

## Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebauter Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit

Enhancing the economic value of organically produced cash crops by optimizing the management of soil fertility

FKZ: 08OE004, 08OE005, 08OE006, 08OE007, 08OE008 und 08OE009

FKZ: 11OE080, 11OE081, 11OE082, 11OE083, 11OE084 und 11OE085 (Verlängerungsprojekte)

### Gesamtkoordination des Verbundvorhabens:

FiBL Deutschland e.V.

Kasseler Straße 1a, 60486 Frankfurt am Main

Tel.: +49 69 7137699-0

Fax: +49 69 7137699-9

E-Mail: [info.deutschland@fibl.org](mailto:info.deutschland@fibl.org)

Internet: [www.fibl.org](http://www.fibl.org)

### Autoren:

Wilbois, Klaus-Peter; Böhm, Herwart; Bohne, Björn; Brandhuber, Robert; Bruns, Christian; Demmel, Markus; Finckh, Maria; Fuchs, Jacques; Gronle, Annkathrin; Hensel, Oliver; Heß, Jürgen; Jörgensen, Rainer; Lux, Guido; Mäder, Paul; Möller, Detlev; Schmidt, Harald; Schmidtke, Knut; Spiegel, Ann-Kathrin; Tamm, Lucius; Vogt-Kaute, Werner; Wild, Melanie; Wolf, Daniel

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebauter Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit

## Gesamtprojekt - Abschlussbericht



Fotos: ©BLE, Bonn/Foto: Wilbois 1., 3. u. 4. v. links; Melanie Wild 2. v. links

### Klaus-Peter Wilbois

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Rahmen des Bundesprogramms ökologischer Landbau

Förderkennzeichen 08OE004 bis 08OE009 und 11OE080 bis 11OE085

**23. Dezember 2013**

## Projektangaben

Zuwendungsempfänger	Förderkennzeichen	Förderkennzeichen Verlängerung
Forschungsinstitut für biologischen Landbau Deutschland e.V. (FiBL)	FKZ 08OE004	FKZ 11OE080
Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL)	FKZ 08OE005	FKZ 11OE081
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung (Hr. Demmel) sowie Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz (Hr. Brandhuber)	FKZ 08OE006	FKZ 11OE082
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fachbereich Landbau/Landespflege (HTW)	FKZ 08OE007	FKZ 11OE083
Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften	FKZ 08OE008	FKZ 11OE084
Thünen-Institut für Ökologischen Landbau (TI)	FKZ 08OE009	FKZ 11OE085

### Vorhabensbezeichnung:

Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebauter Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit

### Laufzeit des Vorhabens:

1. August 2008 bis 31. Dezember 2011 und 1. Januar 2012 bis 30. Juni 2013 (Verlängerung)

### Berichtszeitraum:

1. August 2008 bis 31. Dezember 2011 und 1. Januar 2012 bis 30. Juni 2013 (Verlängerung)

### Projektleitung:







Dr. Klaus-Peter Wilbois, FiBL Deutschland e.V.

Tel. +49 69 7137699-76

Fax +49 69 7137699-9

E-Mail klaus.wilbois@fibl.org

# Übersicht über die an den WPs beteiligten Institutionen und Autoren

Institution	Logo	Beteiligung an folgenden WPs
Forschungsinstitut für biologischen Landbau Deutschland e.V. (FiBL)		5, Projektkoordination, Wissenstransfer
Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL)		1
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (LfL)		1, 3, 4
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Fachbereich Landbau/Landespflege (HTW)		2, 3, 4
Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften		1, 2, 3, 4, 5, 6
Thünen-Institut für Ökologischen Landbau (TI)		2, 3, 4, 6

## Autoren:

Klaus-Peter Wilbois (FiBL Deutschland, Projektkoordinator), Herwart Böhm (TI, Koordinator WP 3), Björn Bohne (WP 2), Robert Brandhuber (LfL), Christian Bruns (Universität Kassel, Koordinator WP 5), Markus Demmel (LfL, Koordinator WP 4), Maria Finckh (Universität Kassel), Jacques Fuchs (FiBL Schweiz), Annkathrin Gronle (TI und Universität Kassel), Oliver Hensel (Universität Kassel), Jürgen Heß (Universität Kassel), Rainer Jörgensen (Universität Kassel), Guido Lux (HTW), Paul Mäder (FiBL Schweiz), Detlev Möller (Universität Kassel, Koordinator WP 6), Harald Schmidt (SÖL, Koordinator WP 1), Knut Schmidtke (HTW, Koordinator WP 2), Ann-Kathrin Spiegel (FiBL Deutschland), Lucius Tamm (FiBL Schweiz), Werner Vogt-Kaute (Naturland), Melanie Wild (LfL), Daniel Wolf (Universität Kassel).



## Danksagung

Die Autoren dieses Abschlussberichts bedanken sich herzlich bei allen Beteiligten "in der zweiten Reihe", die nicht namentlich auftauchen, aber entscheidend zum Gelingen des Projektes und damit auch zur Entstehung dieses Berichtes beigetragen haben. Das sind zunächst die Betriebsleiter der 32 Praxisbetriebe, auf denen über vier Jahre hinweg Daten erhoben wurden und die damit die Aussagen über den Status Quo und die Optimierungsmöglichkeiten im Körnerleguminosenanbau in der Praxis ermöglichten. Unser Dank gilt auch den Beratern, die die Praxiserhebungen und die Auswahl der Böden für die Differenzialdiagnose unterstützten.

Bedanken möchten wir uns auch bei den VersuchstechnikerInnen, die sich um Anlage und Pflege der Versuche gekümmert haben. Dank auch an die wissenschaftlichen MitarbeiterInnen, die in den Labors an den Tests und Analysen beteiligt waren, sowie an die DoktorandInnen und StudentInnen, die Arbeiten im Rahmen des Projektes angefertigt haben.

Auch bei allen Personen, die uns bei Fragen zu Versuchsdesigns, statistischer Auswertung etc. mit Rat zur Seite standen, möchten wir uns bedanken.

Unser Dank gilt weiterhin allen Landwirten und weiteren Personen, die an der Organisation von Feldtagen und Veranstaltungen beteiligt waren, sowie allen, die in dieser kurzen Aufzählung möglicherweise vergessen wurden.

Die Mitarbeit all dieser Personen im Hintergrund war von unschätzbarem Wert für das Projektteam und hat es erst ermöglicht, eine solche Bandbreite an Resultaten zu hervorzubringen.

Last but not least wollen wir uns beim Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Verbraucherschutz und der Geschäftsstelle BÖLN für die finanzielle Förderung bedanken. Besonderer Dank gilt insbesondere auch den MitarbeiterInnen der BLE für ihre stets freundliche und hilfsbereite Unterstützung.

## Kurzfassung deutsch

Das interdisziplinäre Bodenfruchtbarkeitsprojekt beschäftigte sich in vier Versuchs- und fünf Projektjahren mit den Zusammenhängen zwischen dem Anbau von Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit, insbesondere auf viehschwachen bzw. viehlosen Biobetrieben.

In Erhebungen auf 32 Praxisbetrieben konnten bislang allenfalls vermutete Zusammenhänge wie z. B. die Zunahme des Unkrautdeckungsgrades mit zunehmendem Humusgehalt bestätigt werden. Die Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass z. B. die Anbauabstände im Erbsenanbau im Vergleich zu praxisüblichen Empfehlungen vergrößert werden müssen, daneben ergaben sich auch interessante neue Anknüpfungspunkte.

Hinsichtlich der Leguminosengesundheit ermöglicht die neu entwickelte Differenzialdiagnose, die Ursache für ggf. auftretende „Leguminosenmüdigkeit“ einzugrenzen bzw. Praxisschläge vor dem Anbau auf Krankheitsrisiken zu testen. Im Projekt konnte außerdem gezeigt werden, dass Grüngutkomposte die Wurzelgesundheit von Erbsen deutlich verbessern können. Es wurden darüber hinaus verschiedene Methoden zur Kompostapplikation zu Körnerleguminosen geprüft und für den Praxiseinsatz optimiert. Neben Grüngutkomposten spielt auch Grünguthäcksel eine wichtige Rolle bei der Nährstoffversorgung von Leguminosen. Oberflächlich leicht eingearbeiteter Grünguthäcksel ist in der Lage, das Wachstum der Kulturpflanzen sowohl durch eine unkrautunterdrückende Wirkung als auch durch Schutz vor Verschlämmung sowie erhöhte Wasserinfiltrationsraten zu verbessern. Die Ergebnisse zum Landtechnikeinsatz zeigen, dass schon geringe Belastungen zu Bodenverdichtungen und damit zu Ertragsrückgängen in Erbsen führen, weshalb Maßnahmen zu Reduzierung des Bodendrucks essenziell sind.

Hinsichtlich der beikrautunterdrückenden Wirkung des Gemengeanbaus von Erbsen in Kombination mit Hafer konnte gezeigt werden, dass der Gemengeanbau das erhöhte Beikrautaufkommen bei flachwendender Bodenbearbeitung erfolgreich ausgleichen kann und hinsichtlich der Ertragssicherheit Vorteile mit sich bringt. Nicht zuletzt machte das Projekt auf die Vorteile und Potenziale des Wintererbsenanbaus aufmerksam. Über einen fortlaufenden Wissenstransfer war das Projekt von Beginn an in der landwirtschaftlichen Praxis präsent.

## Kurzfassung englisch

The interdisciplinary research project on soil fertility focused in four experimental and five project years on the relationship between the cultivation of grain legumes and soil fertility, especially on low stock density or stockless organic farms.

In surveys of 32 farms, as yet only suspected interrelationships, such as the increase in weed coverage ratio with increasing soil humus content, were confirmed. The results also suggest that a longer break as usually recommended between pea cultivation on a plot is required. In addition, interesting new aspects were revealed.

Regarding the health of grain legumes, a newly developed differential diagnosis allows to narrow the reason for occurring "legume fatigue" down or conduct a simple risk assessment before sowing grain legumes. The project also showed that green waste compost can significantly improve the health of pea roots. Various methods of compost application on grain legumes were tested and optimized for practical use. Besides green waste composts, green waste chaff also plays an important role in nutrient supply of legumes. Superficially applied, it also can improve the growth of crops by suppressing weeds, protecting against siltation and increasing water infiltration rates. The results on agricultural machinery show that even small tractor loads during see bed preparation and seeding can lead to massive soil compaction and hence yield declines in peas. Therefore, reduction of soil pressure in pea cultivation is essential.

It could be shown that the weed-suppressive effect of pea mixed cropping with oats can compensate for the increased weed pressure under reduced soil tillage when compared to deep plough tillage and delivers yield security. Our project also drew attention to the advantages and potential of winter pea cultivation. A continuous transfer of knowledge right from the beginning of the project was anchored in agricultural practice.

# Inhaltsverzeichnis

Projektangaben	2
Übersicht über die an den WPs beteiligten Institutionen und Autoren	3
Danksagung	4
Kurzfassung deutsch	5
Kurzfassung englisch	6
Inhaltsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	14
Verzeichnis lateinischer Artnamen	17
1 Einführung	19
1.1 Gegenstand des Vorhabens	19
1.2 Ziele und Aufgabenstellung, Bezug zu Zielen des BÖLN	19
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	24
2 Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde	26
3 Material und Methoden	28
3.1 Durchführung der Untersuchungen	28
3.1.1 Praxiserhebungen	28
3.1.2 Parzellen-Feldversuche	31
3.1.2.1 Versuchsstandorte	31
3.1.2.2 Untersuchte Versuchsfaktoren	33
3.1.3 Praxisversuche	43
3.1.4 Entwicklung eines Düngeapplikationsverfahren	44
3.1.5 Differenzialdiagnose	48
3.1.6 Ökonomische Analysen	49
3.2 Erfasste Untersuchungsparameter	55
3.2.1 Boden	55
3.2.2 Nährstoffgehalte organische Düngemittel	58
3.2.3 Pflanze	58
3.2.4 Symbiontische N <sub>2</sub> -Fixierung	61
3.2.5 Phytopathologie	63
3.2.6 Schädlinge	63
3.2.7 Qualitätsanalysen	64
3.2.8 Witterung	65
3.3 Statistische Auswertung	66
3.3.1 Praxiserhebungen	66
3.3.2 Parzellen-Feldversuche	67
3.4 Methoden des Wissenstransfers	69
4 Ergebnisse und Diskussion	72
4.1 Workpackage 1: Analyse von Praxiserfahrungen und Praxiserhebungen	72
4.1.1 Ergebnisse zum Erbseanbau	72
4.1.1.1 Ertrag	72
4.1.1.2 Wurzelläsionen	81
4.1.1.3 Pilzbesatz an Wurzeln	84

4.1.1.4	Unkraut	89
4.1.1.5	Bestandesdichte	93
4.1.1.6	N <sub>min</sub> im Frühjahr	94
4.1.1.7	Saatgutqualität	96
4.1.1.8	Erntegutbesatz	98
4.1.2	Zusammenfassende Diskussion zum Erbseanbau	102
4.1.2.1	Bedeutende Faktoren des Ertrags	102
4.1.2.2	Witterung	103
4.1.2.3	Boden	105
4.1.2.4	Unkraut, Schädlinge und Krankheiten	107
4.1.2.5	Bewirtschaftung	108
4.1.2.6	Fruchtfolge-Fußkrankheiten-Komplex	111
4.1.2.7	Maßnahmen für den erfolgreichen Körnererbsenanbau	114
4.1.3	Ergebnisse zum Ackerbohnenanbau	116
4.1.3.1	Ertrag	116
4.1.3.2	Wurzelläsionen	123
4.1.3.3	<i>F. solani</i> an Wurzeln	125
4.1.3.4	Bestandeshomogenität	126
4.1.3.5	Unkraut	128
4.1.3.6	Bestandesdichte	130
4.1.3.7	N <sub>min</sub> im Frühjahr	131
4.1.3.8	Saatgutqualität	133
4.1.3.9	Erntegutbesatz	134
4.1.4	Zusammenfassende Diskussion zum Ackerbohnenanbau	136
4.1.4.1	Bedeutende Faktoren des Ertrags	136
4.1.4.2	Witterung	137
4.1.4.3	Boden	139
4.1.4.4	Unkraut, Schädlinge und Krankheiten	141
4.1.4.5	Bewirtschaftung	142
4.1.4.6	Fruchtfolge-Fußkrankheiten-Komplex	144
4.1.4.7	Maßnahmen für den erfolgreichen Ackerbohnenanbau	147
4.1.5	Ergebnisse zu Getreide	149
4.1.5.1	Ertrag	149
4.1.5.2	Unkrautdeckungsgrad	156
4.1.5.3	Getreidedeckungsgrad	158
4.1.5.4	N <sub>min</sub> im Frühjahr	160
4.1.5.5	Bodenbearbeitung	162
4.1.6	Zusammenfassende Diskussion zu Getreide	164
4.1.6.1	Bedeutende Faktoren des Ertrags	164
4.1.6.2	Witterung	166
4.1.6.3	Boden	167
4.1.6.4	Bewirtschaftung	170
4.1.6.5	Bodenbearbeitung	174
4.1.6.6	Erfolgreicher Getreideanbau nach Körnerleguminosen	174
4.1.7	Ergebnisse zu Bodeneigenschaften	177
4.1.7.1	Bodenstruktur	177
4.1.7.2	Bodennährstoffgehalte, pH-Wert, Kationenaustauschkapazität	180
4.1.7.3	Organische Substanz im Boden	183
4.1.7.4	Bodenbiologie	187

4.1.8	Zusammenfassende Diskussion zu Bodeneigenschaften	194
4.1.8.1	Bodenstruktur	194
4.1.8.2	Bodennährstoffgehalte, pH-Wert, Kationenaustauschkapazität	195
4.1.8.3	Organische Substanz im Boden	197
4.1.8.4	Bodenbiologie	198
4.1.8.5	Bodenqualität und Bewirtschaftung	200
4.2	Workpackage 2: Nährstoffinputs, Sekundärrohstoffe, Wirtschaftsdünger – Teil 1 Vorfruchtwert	202
4.2.1	Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N <sub>2</sub> -Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Saatplatterbse, Ackerbohne und Rotklee 2008 – 2011	202
4.2.1.1	- Versuchsspezifische Materialien und Methoden	202
4.2.1.2	N <sub>min</sub> -Vorrat im Boden	204
4.2.1.3	Bodenrespiration	207
4.2.1.4	Isotopensignatur <sup>13</sup> C <sub>naturalabundance</sub>	208
4.2.1.5	Ertrag Saatplatterbse, Ackerbohne und Rotklee	211
4.2.1.6	Kornertrag Winterweizen	214
4.2.1.7	N <sub>2</sub> -Fixierleistung	216
4.2.1.8	Nährstoffaufnahme	218
4.2.2	Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N <sub>2</sub> -Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Praxisversuche Gehölzhäcksel 2010 und 2011	223
4.2.3	Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N <sub>2</sub> -Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Gefäßversuch Gehölzhäcksel 2012	225
4.2.3.1	Versuchsspezifische Materialien und Methoden	225
4.2.3.2	Ergebnisse Gefäßversuche Gehölzhäcksel	226
4.2.4	Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N <sub>2</sub> -Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Freilandversuch Gehölzhäcksel Dresden-Pillnitz 2012	229
4.2.4.1	Versuchsspezifische Materialien und Methoden	229
4.2.4.2	Ergebnisse Gehölzhäcksel Freiland 2012	229
4.2.5	Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N <sub>2</sub> -Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Pferdemist zu Ackerbohne 2012	232
4.2.5.1	Versuchsspezifische Materialien und Methoden	232
4.2.5.2	Ergebnisse Pferdemist zu Ackerbohne 2012	232
4.2.6	Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N <sub>2</sub> -Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - <sup>13</sup> C- Anreicherung Rotklee 2012	234
4.2.6.1	Versuchsspezifische Materialien und Methoden	234
4.2.7	Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N <sub>2</sub> -Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Ergebnisse <sup>13</sup> C-Anreicherung Rotklee 2012	236
4.2.7.1	Bodenrespiration unter Rotklee	236
4.2.7.2	Sprossertrag und N <sub>2</sub> -Fixierung Rotklee	236
4.2.7.3	<sup>13</sup> C-Anreicherung Rotklee	237
4.2.8	Diskussion und Einordnung der Ergebnisse	238

4.3	Workpackage 2: Nährstoffinputs, Sekundärrohstoffe, Wirtschaftsdünger – Teil 2 Pflanzengesundheit	241
4.3.1	Einsatz organischer Düngemittel in Gemengen und Reinsaaten zur Verbesserung der Nährstoffflüsse und der Pflanzengesundheit (Versuchsansatz 1)	241
4.3.1.1	Bodenmikrobiologie	241
4.3.1.2	Pflanzengesundheit	243
4.3.1.3	Feldaufgang und Ertragsleistung	246
4.4	Workpackage 2: Entwicklung eines innovativen Saat- und Düngerapplikationsverfahrens zur Förderung einer schnellen Jugendentwicklung von Körnerleguminosen (Teil 3)	251
4.4.1	Entwicklung einer Drillmaschinenkombination mit Kompostbunker und Reihenapplikationsaggregaten zur Kompostausbringung	251
4.4.1.1	Entwicklung des Kompoststreuers	252
4.4.2	Entwicklung einer Agglomerationstechnik für Komposte	263
4.4.3	Nachweis der suppressiven Eigenschaften von Komposten gegenüber bodenbürtigen Schaderregern an Erbsen – Biotests	271
4.4.4	Nachweis des suppressiven Potentials von Komposten in Reihenapplikation in Feldversuchen	282
4.5	Workpackage 3: Gemengeanbau und Bodenbearbeitung	292
4.5.1	Gemengeanbau von Sommererbsen bei flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung und mechanischer Bodenbelastung (Versuchsansätze: 8 + 9)	292
4.5.1.1	Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren 2009 und 2010	292
4.5.1.2	Physikalische und biologische Bodenbedingungen	293
4.5.1.3	Unkraut	296
4.5.1.4	Schädlings- und Krankheitsbefall	298
4.5.1.5	Biomasse der Kulturpflanzen	298
4.5.1.6	Spross-N und symbiotische N <sub>2</sub> -Fixierleistung	301
4.5.1.7	Ertragsanteile und Kornertragsleistung	305
4.5.1.8	Rückführung von Ernterückständen	307
4.5.1.9	Gehalte und Entzüge der Makronährstoffe P, K und Mg mit dem Korn	308
4.5.1.10	Rohproteingehalt und -ertrag der Körner	310
4.5.1.11	Ertrag der Nachfrucht Winterweizen	313
4.5.1.12	Dieselvebrauch und Materialverschleiß bei den untersuchten Bodenbearbeitungsverfahren	313
4.5.2	Gemengeanbau von Sommererbsen bei flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung nach Brassicaceen-Zwischenfrüchten (Versuchsansatz 12)	314
4.5.2.1	Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren 2009-2012	314
4.5.2.2	Boden N-Dynamik	315
4.5.2.3	Pflanzenentwicklung und Biomasseerträge ohne Korn Erbsen und Hafer	316
4.5.2.4	Beikrautaufkommen	318
4.5.2.5	Krankheiten und Schadinsekten	321
4.5.2.6	Kornerträge	325
4.5.3	Gemengeanbau von Wintererbsen in Kombination mit flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung (Versuchsansatz: 13)	328
4.5.3.1	Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren	328
4.5.3.2	Auswinterung	329
4.5.3.3	Standfestigkeit	329
4.5.3.4	Unkrautaufkommen und photosynthetisch aktive Strahlung	330
4.5.3.5	Blattlausbefall	332



4.5.3.6	Qualität	336
4.5.3.7	N <sub>2</sub> -Fixierleistung und N <sub>min</sub> nach Ernte	337
4.5.3.8	Ertrag der Nachfrucht Winterweizen	338
4.5.4	Gemengeanbau von halb- und normalblättrigen Wintererbsen in unterschiedlichen Gemengezusammensetzungen mit Triticale (Versuchsansatz: 14)	339
4.5.4.1	Witterungsbedingungen	339
4.5.4.2	Auswinterung	339
4.5.4.3	Unkrautaufkommen	340
4.5.4.4	Blattlausbefall	341
4.5.4.5	Wurzelkrankheiten	342
4.5.4.6	Korn- und Strohertrag	342
4.5.4.7	N <sub>2</sub> -Fixierleistung	343
4.5.4.8	Kornqualität	344
4.5.5	Praxisversuche zum vergleichenden Anbau von Sommererbsen-Gersten und Wintererbsen-Triticale-Gemengen	344
4.6	Workpackage 4: Bodenverdichtung und Bodenbearbeitung	347
4.6.1	Ergebnisse der Parzellenversuche ("Belastungsversuche")	347
4.6.1.1	Bodenchemie	347
4.6.1.2	Bodenphysik	347
4.6.1.3	Verdichtungsrisiko	353
4.6.1.4	Bodentemperatur	354
4.6.1.5	Aufstandsfläche Belastungswagen	355
4.6.1.6	Ertragsdaten	356
4.6.2	<sup>15</sup> N-Anreicherung und Bodenverdichtung 2010 und 2011	360
4.6.2.1	Versuchsspezifische Methodik	360
4.6.2.2	Ergebnisse <sup>15</sup> N-Anreicherung Erbsen	361
4.6.2.3	Diskussion	363
4.6.3	Bodenverdichtung auf Praxisschlägen zu Erbse und Luzerne 2009/2010	365
4.6.3.1	Versuchsspezifische Methoden	365
4.6.3.2	Ergebnisse und Diskussion	369
4.7	Workpackage 5: Boden- und Pflanzengesundheit	375
4.7.1	Bodenbiologie	375
4.7.2	Phytopathologische Untersuchungen	375
4.7.3	Differenzialdiagnose	379
4.7.3.1	Beschreibung der untersuchten Böden	379
4.7.3.2	Wachstum der Pflanzen im Meso-Kosmos System	390
4.7.3.3	Differenzialdiagnose erste Stufe	392
4.7.3.4	Differenzialdiagnose zweiter Stufe: biotische Ursachen	404
4.7.3.5	Abklärungen zur Eignung des Differenzialtests als Prognosetest in der Praxis	412
4.7.3.6	Schlussfolgerungen	420
4.8	Workpackage 6: Ökonomik und Umweltwirkung	422
4.8.1	Bestimmung des Status quo der Arbeitserledigungskosten (Bodenbearbeitung) in Abhängigkeit von Standort, Mechanisierungsvarianten und Fruchtfolge auf den Betrieben	422
4.8.2	Systemanalytische Identifizierung und Quantifizierung von Wirkungszusammenhängen zwischen Bodenbearbeitung, Rolle von Körnerleguminosen in der Fruchtfolge und Wirtschaftlichkeit der Arbeitserledigung.	434
4.8.3	Maßnahmenbewertung	445

4.8.3.1	Bodenbelastung – Anschaffung einer Reifeninnendruckregelanlage zur Bodenschonung	445
4.8.3.2	Ausbringung von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen	455
4.8.3.3	Wintererbsen-Triticale-Gemenge und Sommererbse in Reinsaat- Ökonomische Aspekte	467
4.8.3.4	Monetäre Aspekte einer kombinierten Drill-Kompostausbringungstechnik für die Erbsenaussaat	473
4.8.3.5	Differenzialdiagnostik – Kosten und Nutzen der gezielten Schlagauswahl für Erbsen nach phytopathologischer Eignung	479
4.8.4	Abschätzung der bearbeiteten Verfahren und Maßnahmen zum Bodenfruchtbarkeitsmanagement in einem halbquantitativen Technology Impact Assessment	482
4.8.5	Praxisrückkopplung: Validierung und Evaluierung der Szenariorechnungen	486
4.8.5.1	Ergebnisse für die Verbesserungsmaßnahme Grünguthäcksel	486
4.8.5.2	Ergebnisse für die Verbesserungsmaßnahme Reifeninnendruckregelanlage	496
4.8.5.3	Allgemeine Einschätzung der Betriebsmodelle und des Ansatzes zur ökonomischen Bewertung pflanzenbaulicher Maßnahmen	504
4.8.6	Bewertung der Sekundärrohstoffe	507
4.9	Wissenstransfer	510
4.9.1	Pressemeldungen	510
4.9.2	Nicht-wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Projekt	511
4.9.3	Feldtage	515
4.9.4	Vorträge	515
4.9.5	Webseite	520
4.9.5.1	Aufbau und Inhalte	520
4.9.5.2	Thema des Monats	520
4.9.6	Weitere Medien zum Projekt	522
4.9.7	Veranstaltungen im Rahmen des Projektes	524
4.9.8	Wissenschaftliche Veröffentlichungen	525
5	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit	530
6	Gegenüberstellung geplanter und erreichter Ziele	532
6.1	Workpackage 1: Analyse von Praxiserfahrungen und Praxiserhebungen	532
6.2	Workpackage 2: Nährstoffinputs, Sekundärrohstoffe, Wirtschaftsdünger	533
6.3	Workpackage 3: Gemengeanbau und Bodenbearbeitung	535
6.4	Workpackage 4: Bodenverdichtung	536
6.5	Workpackage 5: Boden- und Pflanzengesundheit	537
6.6	Workpackage 6: Ökonomik und Umweltwirkung	538
6.6.1	Bestimmung des Status quo der Arbeitserledigungskosten (Bodenbearbeitung) in Abhängigkeit von Mechanisierungsvarianten, Standort und Fruchtfolge auf den Betrieben des ökologischen Landbaus in Deutschland (Schwerpunkt viehlose Betriebe)	538
6.6.2	Systemanalytische Identifizierung und Quantifizierung von Wirkungszusammenhängen zwischen Bodenbearbeitung, Rolle von Körnerleguminosen in der Fruchtfolge und Wirtschaftlichkeit der Arbeitserledigung	538
6.6.3	Modellierung und Implementierung eines Kosten-Leistungs-Rechnungsansatzes zur Entscheidungsunterstützung im Spannungsfeld landtechnischer Optionen in Abhängigkeit von Standort, Fruchtfolge und Bewirtschaftung	538

6.6.4	Durchführung von modellgestützten Szenariorechnungen zur Generierung von a) fallbezogenen Detailbetrachtungen und b) generalisierende Bewertungen von Mechanisierungsalternativen in unterschiedlichen Anbausystemen	538
6.6.5	Ableitung von technisch-biologisch-ökonomisch begründeten Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung von betrieblicher Wertschöpfung	539
6.6.6	Abschätzung der im Vorhaben bearbeiteten Verfahren und Maßnahmen zum Bodenfruchtbarkeitsmanagement in einem halbquantitativen technology impact assessment im Hinblick auf die Energiebilanz, Klimarelevanz, Auswirkung auf die Nährstoffkreisläufe, Bodenerosion und Wasserhaushalt.	539
6.6.7	Bewertung der im Vorhaben als prinzipiell geeignet eingestuften Sekundärrohstoffe in Bezug auf die Prinzipien des ökologischen Landbaus	539
6.6.8	Rückkopplung der berechneten einzelbetrieblichen und generalisierten Ergebnisse zu ausgewählten Maßnahmen auf ausgewählten Praxisbetrieben (Verlängerung)	539
6.7	Wissenstransfer	541
7	Zusammenfassung	542
8	Literaturverzeichnis	549

## Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius	cm	Zentimeter
AB	Arbeitsbreite	C <sub>mik</sub>	mikrobiell gebundener C
AbEr	zeitlicher Abstand zu vorherigen Erbsen	CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
AEr	Anbaujahre Erbsen	C <sub>org</sub>	organischer Kohlenstoff
AF	Ackerfläche	CRKS	Aus dem gedüngten Stroh aufgenommener Kohlenstoff
Akh	Arbeitskraftstunde	CSA	comparative sustaina- bility assesment
AL	Ackerland	Cu	Kupfer
ALu	Anbaujahre Luzerne	d. h.	das heißt
ARk	Anbaujahre Rotklee	DAKL	Direkt- und arbeitserledi- gungskostenfreie Leistung
AS	Aggregatstabilität	DB	Deckungsbeitrag
ASo	Anteil Sommerfrüchte	DD	Differenzialdiagnose
atom%	Atomprozent	Delta, Δ	Differenz
B	Bor	DLG	Deutsche Landwirt- schafts-Gesellschaft
BBCH:	Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie.	dm	Dezimeter
BfUL	staatliche Betriebsgesell- schaft für Landwirtschaft und Umwelt in Leipzig	DÖKO	Dauer ökologischer Bewirtschaftung
BLaus	Blattläuse	dt	Dezitonnen
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz	EFB 33	E.F.B. 33
Bofru	Bodenfruchtbarkeitsprojekt	FA	Feldaufgang
BZ	Betriebszweig	FDA	Fluoresceindiacetat- Aktivität
BZ	Betriebszweig	FH	Frankenhausen
bzw.	beziehungsweise	flachw.	flachwendend
C	Kohlenstoff	g	Gramm
Ca	Calcium	GDF	Deckungsgrad an Getreide
ca.	circa	GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
CaCO <sub>3</sub>	Calciumcarbonat	ggf.	gegebenenfalls
CAT-Extrakt	Calciumchlorid/DPTA-Auszug	GV	Großvieheinheit
CFA	Kontinuierliche Durchflussanalyse		

h	Stunden	MS	Mischsaat
H <sub>2</sub> O	Wasser	MST	Miststreuer
HA	Hafer	N, N <sub>2</sub>	Stickstoff
ha	Hektar	n.b.	nicht bekannt/bestimmt
HA-RS	Hafer-Reinsaat	Na	Natrium
HEB-Index	Verhältnis von Bestandeshöhe bei Ernte zu Pflanzenlänge nach Blüte	N <sub>dfa</sub>	Symbiotisch fixierter Stickstoff
IGW	Internationale Grüne Woche	N <sub>dfs</sub>	Stickstoffaufnahme aus dem Boden
IR	Infiltrationsrate	N <sub>fix</sub>	fixierter Stickstoff
K	Kalium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
K <sub>2</sub> O	Kaliumoxid	N <sub>mik</sub>	mikrobiell gebundener N
KAK	Kationenaustauschkapazität	N <sub>min</sub>	Mineralischer Stickstoff
Kap.	Kapitel	NN	Normalnull
kg	Kilogramm	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat
KH	Krummhesse	OS	organische Substanz
Köll.	Köllitsch	P	Phosphor
KornN	Stickstoffertrag im Korn	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Phosphorpentoxid
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft	PAG	Projektbegleitende Arbeitsgruppe
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft	PAR	Photosynthetisch aktive Strahlung
LK	Luftkapazität	Pdf	Portable Document Format
LLH	Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen	PE	Praxiserhebungen
LU	Lohnunternehmer	PMA	Phosphomonoesterase-Aktivität
m	Meter	PS	Pferdestärke
MCS	Monte-Carlo-Simulation	PV	Porenvolumen
Mg	Magnesium	PVC	Polyvinylchlorid
mg	Milligramm	qCO <sub>2</sub>	metabolischer Quotient
mm	Millimeter	R <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß (Maß in der Statistik für die Varianz einer abhängigen Variablen)
Mn	Mangan		
Mo	Molybdän		
MP	Messpunkt	RA	Raps
MPa	Million Pascal	rd.	rund

RDA	Reifeninnendruckregelanlage	TI	Thünen-Institut
REDF	Systeme mit deutlich reduzierter Bodenbearbeitung	tiefw.	tiefwendend
REDT	Systeme mit nicht wendender Bearbeitung, aber krumentiefer Lockerung	TKG	Tausendkorngewicht
RK <sub>m</sub>	Anreicherungsgrad Rotklee mit <sup>13</sup> C-markiertem Stroh gedüngt	TKM	Tausendkornmasse
RK <sub>um</sub>	Anreicherungsgrad Rotklee mit unmarkiertem Stroh gedüngt	TM	Trockenmasse
RS	Reinsaat	TR	Triticale
RW	Regenwürmer	TRD	Trockenrohddichte
S	Schwefel	TS	Trockensubstanz
s	Sekunde(n)	u. ä.	und ähnliche
SD	Standardabweichung	u. U.	unter Umständen
SE	Sommererbsen	v. a.	vor allem
SE-HA	Sommererbsen-Hafer-Gemenge	VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
SE-HA	Sommererbsen-Hafer-Gemenge	vgl.	vergleiche
SE-RS	Sommererbsen-Reinsaat	WFoa	Wurzelbesatz mit <i>F. oxysporum</i> & <i>F. avenaceum</i>
S <sub>min</sub>	mineralischer Schwefel	WFox	Wurzelbesatz mit <i>F. oxysporum</i>
SPilz	von Pilzen geschädigte Sprossfläche	WFsol	Wurzelbesatz mit <i>F. solani</i>
spp.	Species pluralis	WLL	Länge der Wurzelläsion
Stroh <sub>m</sub>	Anreicherungsgrad markiertes Stroh	WLO	Wurzelläsion Oberflächenbonitur
t	Tonne(n)	WMPi	Wurzelbesatz mit <i>M. pinodes</i>
TASC	Tyres, Tracks and Soil Compaction Software	WPme	Wurzelbesatz mit <i>Ph. medicaginis</i>
TH	Trenthorst	z. B.	zum Beispiel
		Zn	Zink
		µg	Mikrogramm

## Verzeichnis lateinischer Artnamen

<i>A. euteiches</i>	<i>Aphanomyces euteiches</i>	<i>F. sacchari</i>	<i>Fusarium sacchari</i>
<i>A. fabae</i>	<i>Ascochyta fabae</i>	<i>F. solani</i>	<i>Fusarium solani</i>
<i>A. pisi</i>	<i>Ascochyta pisi</i>	<i>G. comari</i>	<i>Gnomonia comari</i>
<i>A. pisum</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	<i>H. parasitica</i>	<i>Hyaloperonospora parasitica</i>
<i>A. tumefaciens</i>	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>L. huidobrensis</i>	<i>Liriomyza huidobrensis</i>
<i>B. cinerea</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>L. purpureum L.</i>	<i>Lamium purpureum L.</i>
<i>B. fabae</i>	<i>Botrytis fabae</i>	<i>L. nigricana</i>	<i>Laspeyresia nigricana</i>
<i>B. juncea</i>	<i>Brassica juncea</i>	<i>L. sativum</i>	<i>Lepidium sativum</i>
<i>C. acutatum</i>	<i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>M. chamomilla L.</i>	<i>Matricaria chamomilla L.</i>
<i>C. album L.</i>	<i>Chenopodium album L.</i>	<i>M. pinodes</i>	<i>Mycosphaerella pinodes</i>
<i>C. b.-pastoris</i>	<i>Capsella bursa-pastoris (L.) Medik.</i>	<i>M. roridum</i>	<i>Myrothecium roridum</i>
<i>C. coccodes</i>	<i>Colletotrichum coccodes</i>	<i>P. aphanidermatum</i>	<i>Pythium aphanidermatum</i>
<i>C. destructans</i>	<i>Cylindrocarpon destructans</i>	<i>P. aviculare L.</i>	<i>Polygonum aviculare L.</i>
<i>C. fragariae</i>	<i>Colletotrichum fragariae</i>	<i>P. cactorum</i>	<i>Phytophthora cactorum</i>
<i>C. fuckelii</i>	<i>Coniothrium fuckelii</i>	<i>P. capsici</i>	<i>Phytophthora capsici</i>
<i>C. gleosporioides</i>	<i>Colletotrichum gleosporioides</i>	<i>P. cichorii</i>	<i>Pseudomonas cichorii</i>
<i>C. lawsoniana</i>	<i>Chameacyparis lawsoniana</i>	<i>P. cinnamomi</i>	<i>Phytophthora cinnamomi</i>
<i>D. destructor</i>	<i>Ditylenchus destructor</i>	<i>P. citricola</i>	<i>Phytophthora citricola</i>
<i>D. dipsaci</i>	<i>Ditylenchus dipsaci</i>	<i>P. cryprogea</i>	<i>Phytophthora cryprogea</i>
<i>E. amylovora</i>	<i>Erwinia amylovora</i>	<i>P. cucumerina</i>	<i>Plectosphaerella cucumerina</i>
<i>E. carotovora</i>	<i>Erwinia carotovora</i>	<i>P. destructiva</i>	<i>Phoma destructiva</i>
<i>E. chrysanthemi</i>	<i>Erwinia chrysanthemi</i>	<i>P. dissotocum</i>	<i>Pythium dissotocum</i>
<i>F. avenaceum</i>	<i>Fusarium avenaceum</i>	<i>P. drechsleri</i>	<i>Phytophthora drechsleri</i>
<i>F. cucumerinum</i>	<i>Fusarium cucumerinum</i>	<i>P. fragariae</i>	<i>Phytophthora fragariae</i>
<i>F. culmorum</i>	<i>Fusarium culmorum</i>	<i>P. infestans</i>	<i>Phytophthora infestans</i>
<i>F. oxysporum</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>P. irregulare</i>	<i>Pythium irregulare</i>
		<i>P. lycopersici</i>	<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>



<i>P. marginalis</i>	<i>Pseudomonas marginalis</i>	<i>P. viridiflava</i>	<i>Pseudomonas viridiflava</i>
<i>P. medicaginis</i>	<i>Phoma medicaginis</i>	<i>R. sativus</i>	<i>Raphanus sativus</i>
<i>P. nicotianae</i>	<i>Phytophthora nicotianae</i>	<i>R. solanacearum</i>	<i>Ralstonia solanacearum</i>
<i>P. pisi</i>	<i>Peronospora pisi</i>	<i>R. solani</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
<i>P. polymastum</i>	<i>Pythium polymastum</i>	<i>S. alba</i>	<i>Sinapis alba</i>
<i>P. ramorum</i>	<i>Phytophthora ramorum</i>	<i>S. lineatus</i>	<i>Sitona lineatus</i>
<i>P. sativum</i>	<i>Pisum sativum</i>	<i>S. media (L.) Vill</i>	<i>Stellaria media (L.) Vill</i>
<i>P. sclerotioides</i>	<i>Phomopsis sclerotioides</i>	<i>S. minor</i>	<i>Sclerotinia minor</i>
<i>P. sylvaticum</i>	<i>Pythium sylvaticum</i>	<i>S. sclerotiorum</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
<i>P. sylvestris</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>T. basicola</i>	<i>Thielaviopsis basicola</i>
<i>P. syringae</i>	<i>Pseudomonas syringae</i>	<i>T. repens</i>	<i>Trifolium repens</i>
		<i>T. subterraneum</i>	<i>Trifolium subterraneum</i>
<i>P. ultimum</i>	<i>Pythium ultimum</i>	<i>V. hirsuta (L.) Gray</i>	<i>Vicia hirsuta (L.) Gray</i>
		<i>X. fragariae</i>	<i>Xanthomonas fragariae</i>

# 1 Einführung

## 1.1 Gegenstand des Vorhabens

Ein nachhaltig ertragsstarker Boden ist für ökologisch wirtschaftende Betriebe der bedeutendste Standortfaktor für ein ausgeglichenes Betriebseinkommen und die Lebensfähigkeit des Betriebes. Insgesamt hängt das Niveau der Bodenfruchtbarkeit im Öko-Landbau – abgesehen von den kaum bzw. nicht zu beeinflussenden standörtlichen und klimatischen Gegebenheiten – von folgenden Faktoren ab:

- › der Leistungsfähigkeit der Leguminosen in der Fruchtfolge (N<sub>2</sub>-Fixierung, Durchwurzelungsvermögen, Ertrag),
- › der quantitativ und qualitativ optimalen Rezyklierung von wirtschaftseigenen Düngemitteln sowie landwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffen,
- › den geeigneten, im Bedarfsfalle verfügbaren, externen Nährstoffquellen.

Somit haben die zur optimalen Leistung fähigen Leguminosen im Öko-Betrieb die Schlüsselstellung für Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit. Leguminosen sind durch bodenbürtige Pathogene mit relativ weiten Wirkkreisen stark gefährdet; folglich haben Strategien zur Förderung der Bodengesundheit eine hohe Relevanz. All diese Faktoren werden maßgeblich von der Art der Bodenbearbeitung beeinflusst, die im Öko-Anbau vergleichsweise intensiv ist. Beikräuter müssen reguliert und Nährstoffe gezielt durch Bodenbearbeitung mobilisiert werden. Hier bedarf es der Integration von agrartechnischen Maßnahmen (reduzierte Bodenbearbeitung kombiniert mit gezielter Ausbringung organischer Düngemittel) und pflanzenbaulichen Strategien (vor allem Mischkulturen und Sortenwahl), um Fortschritte zu erzielen. Gleichzeitig bedarf es auf den Öko-Landbau zugeschnittener Entscheidungshilfen zu schädlichen Auswirkungen von Bodenverdichtungen (Oberboden/Unterboden) in Bezug auf wichtige Kulturen, insbesondere Körnerleguminosen.

Hauptziel dieses interdisziplinären Forschungsvorhabens war es, mit einem stark praxisorientierten Ansatz Maßnahmen zur besseren Ausschöpfung standörtlicher Ertragspotenziale und damit zur Steigerung der Wertschöpfung für ökologisch wirtschaftende Betriebe zu entwickeln. Das Projekt fokussierte dabei auf viehlose und viehschwache ökologisch geführte Marktfruchtbetriebe.

## 1.2 Ziele und Aufgabenstellung, Bezug zu Zielen des BÖLN

Die Optimierung der Leistungsfähigkeit von Leguminosen, insbesondere der Körnerleguminosen, und die darauf basierende Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit im Öko-Ackerbau standen im Zentrum der Forschungsziele.

Dem Gesamtprojekt waren folgende Ziele übergeordnet:

- › Der Gewinn neuer Erkenntnisse über standortabhängige Zusammenhänge zwischen Kenngrößen der Bodenfruchtbarkeit und dem Ertrag von ausgewählten Leguminosen- und Getreidearten sowie über Auswirkungen bekannter und im Vorhaben adaptierter Managementmaßnahmen.

- › Die Quantifizierung von pflanzenbaulichen und phytopathologischen Interaktionen von Bodenbearbeitung, mechanischer Bodenbelastung, Mischkulturen und organischen Düngemitteln sowie die Ableitung von Maßnahmen zu deren Optimierung und Überführung in die Praxis.
- › Die Bewertung von erprobten und entwickelten Maßnahmen hinsichtlich Ökonomie, Energie- und Klimarelevanz sowie die Beurteilung von externen Düngemitteln hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit den Prinzipien des Ökolandbaus.
- › Der Transfer von gewonnenen Erkenntnissen und Ergebnissen in die Praxis.

Im Rahmen des Projektes konnte zu folgenden Zielen des BÖLN beigetragen werden:

#### **Entwicklung stabiler Agrarökosysteme:**

- › In WP 1 wurden im Rahmen der Praxiserhebungen eine Vielzahl von Zusammenhängen in dem komplexen System von Standort- und Umwelteigenschaften, Bewirtschaftungsmaßnahmen, Kulturpflanzenentwicklung und -erträgen sowie Bodeneigenschaften ermittelt. Auf Basis dieser Informationen über die Situation auf praktischen Ökobetrieben können Diskussionen angeregt und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

#### **Neue Erkenntnisse zu für den Ökolandbau wichtigen aber relativ wenig beforschten Kulturen**

- › Ein wesentlicher Schwerpunkt der Praxiserhebungen in WP 1 lag in der Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Entwicklung, Gesundheit und Ertragsleistung von Körnererbse und Ackerbohne. Dabei konnten wichtige Erkenntnisse zu Standortvoraussetzungen und Bewirtschaftungseinflüssen auf den Erfolg des Anbaus erarbeitet werden. Besonders die Zusammenhänge von Pflanzengesundheit, Standorteigenschaften und Fruchtfolgeschichte geben wertvolle Hinweise für die Praxis. Mit dem Forschungsansatz wurden somit neue Erkenntnisse zu den für den Ökolandbau wichtigen aber relativ wenig beforschten Kulturen Erbse und Ackerbohne ermittelt und somit ein Ziel des BÖLN erfüllt.

#### **Verbesserung der Fruchtfolgen im ökologischen Landbau in herbologischer und phytopathologischer Hinsicht sowie unter Berücksichtigung der optimalen Nährstoffausnutzung**

- › Die in WP 1 aufgedeckten Zusammenhänge zwischen lang- und kurzfristigen Bewirtschaftungsmaßnahmen mit dem Unkrautdruck, mit dem Auftreten von Fußkrankheiten an Erbse und Ackerbohne und mit der Nährstoffsituation im Boden bieten wesentliche Grundlagen für Optimierung ökologischer Anbausysteme.
- › In den Bemühungen, die Verbesserung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit nachhaltig zu gewährleisten, fehlt es bisher an verlässlichen und einfach anzuwendenden, bodenbiologischen Indikatoren für den Bodenfruchtbarkeitsstatus, die in die Praxis Eingang gefunden haben. Die Ergebnisse aus WP 2 konnten mit den umfangreichen bodenbiologischen Untersuchungen auf Praxisschlägen sowie in Feldversuchen dazu beitragen, diese Lücke etwas zu schließen. So konnten in den Feldversuchen mit Leguminosen und der Anwendung verschiedener organischer Düngemittel, darunter Sekundärrohstoffdüngern, enge Korrelationen zwischen den in mikrobieller Biomasse gebundenen Phosphor- und Stickstoffpools und mit den Nährstoffgehalten an P und N im Korn von Erbsen sowie zum Ertrag nachgewiesen werden. Diese Erkenntnisse konnte bereits in zwei wissenschaftlichen Veröffentlichungen verwendet werden und können dazu dienen,

weitere Arbeiten für eine mögliche Validierung der hier gefundenen Beziehungen voranzutreiben.

- › Im Rahmen der umfangreichen Untersuchungen zum Krankheitserregerbesatz an Saat- und Erntegut bei Erbsen und Ackerbohnen sowie zum Besatz mit Wurzelkrankheiten in WP 2 konnte ein Datensatz auf 32 Betrieben über einen Zeitraum von 4 Jahren gewonnen werden. Bisher gab es für Deutschland eine so umfangreiche Erhebung für ökologisch wirtschaftende Betriebe nicht. Es handelt sich um einen wichtigen Meilenstein zur Gesundheitssituation der Leguminosen und kann zum Vergleich zu dem kürzlich ermittelten Datensatz an Erbsen in konventionellen Anbausystemen herangezogen werden. Die Ergebnisse bilden wichtige Voraussetzungen für die Entwicklung von Anbaustrategien. Beispielsweise können sie Impulse auch für die Implementierung der Einweißpflanzenstrategie geben, die bei den herkömmlichen Leguminosen wie Erbsen und Ackerbohnen von grosser Bedeutung sind. Im Gegensatz zu der Hypothese, dass die Saatgut-Qualität den entscheidenden, überwiegenden Einfluss auf die Ertragsschwäche insbesondere im Erbsenanbau hat, wurde nachgewiesen, dass das bodenbürtige Erregerpotential auf den Zustand der Boden- und Pflanzengesundheit einen weit höheren Einfluss hat und unterschätzt worden ist. Bei der Ermittlung der wichtigsten ertragsbestimmenden Faktoren nahm der Besatz mit bodenbürtigen Wurzelkrankheiten neben der Unkrautkontrolle und der Nährstoffversorgung, insbesondere mit Phosphor, einen hohen Stellenwert ein. In Zukunft wird die Entwicklung von angepassten Anbaustrategien, insbesondere der Fruchtfolgegestaltung, der Versorgung mit organischer Substanz und der Zucht widerstandsfähiger Sorten sowie eine deutlich verbesserte Diagnostik aus praktischer wie aus wissenschaftlicher Sicht von hoher Bedeutung sein, soll der Erbsen Anbau wieder ein besseres Image im Ökolandbau gewinnen.

### **Entwicklung nachhaltiger Konzepte für viehlos wirtschaftende Ökobetriebe sowie für Betriebe mit hohem Marktfruchtanteil**

- › Bei der Auswahl der zu untersuchenden Betriebe für WP 1 wurden gezielt marktfruchtorientierte Ökobetriebe gewählt. Über die Hälfte der 32 Betriebe wiesen einen Tierbesatz unter 0,4 GV/ha auf, 10 Betriebe wirtschafteten ohne Viehhaltung. Es konnten einige Zusammenhänge zwischen der, durch den unterschiedlichen Tierbesatz beeinflussten Bewirtschaftung in den Bereichen Fruchtfolge und Düngung mit der Ertragsleistung der Kulturpflanzen, mit dem Unkrautdruck und mit Bodeneigenschaften aufgezeigt werden. So war z. B. auf viehlosen Betrieben mit hohem Hackfruchtanteil der Unkrautdruck meist geringer, jedoch lagen Humusgehalt und Bodenstruktur oft auf niedrigerem Niveau als für den Standort üblich. Die ermittelten Ergebnisse können zur Entwicklung nachhaltiger Konzepte für viehlos wirtschaftende Ökobetriebe einen wichtigen Beitrag leisten.
- › Aufgrund ihrer Praxisnähe bieten die Ergebnisse aus den Praxiserhebungen in WP 1 zu Zusammenhängen im ackerbaulichen System die Möglichkeit Anbaustrategien neu zu bewerten bzw. zu optimieren. Insbesondere für den Anbau der Körnerleguminosen Erbse und Ackerbohne konnten Kriterien für einen risikoärmeren und ertragssicheren Anbau entwickelt werden. Die Ergebnisse zum Einfluss der Bewirtschaftung auf Aspekte der Bodenfruchtbarkeit können einen Beitrag zur Diskussion über die Nachhaltigkeit marktfruchtreicher Fruchtfolgen im Ökolandbau leisten und darüber hinaus konkrete Hinweise auf mögliche Optimierungsstrategien geben.
- › Im Rahmen von WP 3 wurde der Gemengeanbau von Sommer- und Wintererbsen mit Nichtleguminosen, die krankheitsvermindernde Wirkung von Brassica-Zwischenfrüchten und der Einsatz reduzierter Bodenbearbeitung im Erbsenanbau unter Einbeziehung der Effekte mechanischer Bodenbelastung (in Zusammenarbeit mit WP 4) untersucht. Ziel war es

festzustellen, wie sich die Anbaumaßnahmen und ihre Interaktionen auf bodenphysikalische und -biologische Parameter, den Krankheits- und Schädlingsbefall, das Unkrautauftreten, die Biomasseentwicklung der Kulturpflanzen, die Ertragsleistung und -stabilität, die N<sub>2</sub>-Fixierleistung, die Kornqualität und die Ertragsleistung der Nachfrucht auswirken. Die Untersuchungen fanden größtenteils auf Versuchsbetrieben mit Marktfrucht orientierten Fruchtfolgen oder auf Praxisbetrieben ohne oder mit nur geringem Viehbesatz statt. Insofern tragen die in WP 3 erfassten Daten zu einer Weiterentwicklung von Konzepten und Anbaustrategien für viehlos wirtschaftende Betriebe bzw. für Betriebe mit hohem Marktfruchtanteil bei wie sie als Zielsetzung in den Förderrichtlinien und der Ausschreibung des Forschungsvorhabens vom BÖLN genannt wurden.

### **Kreislaufwirtschaftsprinzipien auf betrieblicher/regionaler Ebene fördern, um regionale Strukturen zu stärken und die Ressourceneffizienz der Landbewirtschaftung zu steigern**

› Ziel des BÖLN ist es, das „Kreislaufwirtschaftsprinzipien auf betrieblicher/regionaler Ebene zu fördern, um dadurch regionale Strukturen zu stärken und die Ressourceneffizienz der Landbewirtschaftung zu steigern“. Die im Rahmen von WP 2 durchgeführten Untersuchungen zum Einsatz von C-reichen Düngemitteln - Grüngutkompost, Holzhäcksel und Pferdemist – zu Leguminosen hatten zum Ziel, eine neue Strategie der landwirtschaftlichen Verwertung von regional verfügbaren Nährstoffressourcen zu erarbeiten, um die Wertschöpfung im ökologischen Landbau zu erhöhen. Die erzielten Projektergebnisse haben gezeigt, dass diese Düngemittel, die regionalen Stoffkreisläufen entstammen sehr gut beim Anbau von Leguminosen zur Unterdrückung von Schaderregern (Unkräutern, bodenbürtige Pilze), Verbesserung der Nährstoffversorgung und Steigerung des Vorfruchtwertes von Leguminosen eingesetzt werden können. Hierdurch konnte wesentlichen Zielen des BÖLN entsprochen werden.

### **Entwicklung von Minimalbodenbearbeitungskonzepten für den ökologischen Landbau**

› Bislang liegen zum Anbau von Körnerleguminosen bei reduzierter Bodenbearbeitung unter ökologischen Anbaubedingungen kaum Ergebnisse vor. Die im Projekt erzielten Ergebnisse zeigen, dass eine Reduzierung der Bodenbearbeitung zu einer Veränderung der Bodenstruktur und einer geringfügigen Erhöhung der Bodenmikrobiologie führen, wobei nur geringe Effekte auf die N<sub>2</sub>-Fixierleistung, die Ertragsleistung und die Kornqualität festgestellt wurden. In den meisten Fällen hat die Reduzierung der Bodenbearbeitung allerdings zu einer Erhöhung des Unkrautauftretens insbesondere bei schwach Unkraut unterdrückenden Kulturen wie etwa halbblattlosen Erbsen geführt. Dies konnte durch den Gemengeanbau von Erbsen reduziert oder in einigen Fällen auch auf ein zur tiefwendenden Pflugbearbeitung vergleichbares Maß gebracht werden. Ein Erbsenanbau bei reduzierter Bodenbearbeitung hat, wie aus den Ergebnissen der Untersuchungen ersichtlich wird, Vorteile hinsichtlich einer besseren Abfederung von mechanischen Bodenbelastungen, die bei der Durchführung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen insbesondere auf verdichtungsgefährdeten Böden entstehen können. Dies könnte einem starken Befall der Erbsen mit Fußkrankheiten vorbeugen und trägt zum Anspruch des BÖLN bei, Minimalbodenbearbeitungskonzepte für den ökologischen Landbau zu entwickeln und Fruchtfolgen hinsichtlich herbologischer und phytopathologischer Hinsicht zu verbessern.

### **Strategien zur Entwicklung von Mischkultursystemen**

› Ein Schwerpunkt von WP 3 war auch der Beitrag des Gemengeanbaus zur Erhöhung des Körnerleguminosen-Anteils in der Fruchtfolge, zur Reduzierung des Krankheits- und Schädlingsbefalls und zur Erhöhung der Ertragssicherheit sowie eine Optimierung des Gemengeanbaus für Wintererbsen. Dabei konnten einige positive Effekte des



Gemengeanbaus wie etwa eine Reduzierung des Blattlausbefalls festgestellt werden. Ein Vergleich des Schädlingsbefalls von Sommer- und Winterformen der Erbse zeigte auch, dass Wintererbsen aufgrund ihres früheren Blüte- und Erntetermines in geringerem Maße von Schädlingen wie etwa der Grünen Erbsenblattlaus oder dem Erbsenwickler befallen werden als Sommererbsen. Insofern verfolgte WP 3 auch das Ziel zur Entwicklung von Strategien zur Regulierung von Schadinsekten sowie zur Entwicklung von Mischkultursystemen, die in den BÖLN Förderrichtlinien vorgegeben sind.

### **Ertrags- und Umweltleistungen des ökologischen Landbaus erhalten und erhöhen**

- › Die Untersuchungen in WP 4 belegen, dass die Minimierung der Bodenbelastung durch Reduzierung der Radlasten und damit möglicher Verringerung des Reifeninnendruckes einer Beeinträchtigung der Bodenfunktionen sowie der Bodenfruchtbarkeit entgegenwirken, und in der Regel zu höheren Erträgen bei den Leguminosen und den Gemengen führen. Die Reduzierung der Intensität der Bodenbearbeitung führte trotz höherem Unkrautaufkommen zu vergleichbaren oder signifikant höheren Erträgen bei den Leguminosen bzw. Gemengen, wobei das Bodengefüge weniger gestört und die Tragfähigkeit des Bodens bzw. die Widerstandsfähigkeit gegenüber Verdichtungen erhöht wurden. Beide Ergebnisse zeigen Wege auf, wie die Bodenfruchtbarkeit, die Ertrags- und auch die Umweltleistungen im ökologischen Landbau beim (arbeitswirtschaftlich notwendigen) Einsatz leistungsfähiger Landtechnik und bodenstrukturschonender Bodenbearbeitungsverfahren erhalten oder sogar erhöht werden können.
- › Die Möglichkeit, die in WP 5 entwickelte Differenzialdiagnose als Prognose-Tool für die Praxis einzusetzen, soll die Landwirte helfen, die Anbau-Eignung schlagspezifisch zu prüfen. Somit sollen sowohl starke Ertragseinbussen sowie Umweltrisiken durch schwache Pflanzenbestände reduziert werden. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass das vorgeschlagene Prognose-Tool durchaus brauchbare Angaben liefert, auch wenn der Test durch mehr Anwendungserfahrung noch optimiert und verfeinert werden kann.

### **Praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben / Maßnahmen zur Verbesserung des Wissenstransfers**

Ziel des BÖLN ist es, insbesondere praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in Verbindung mit Vorhaben zur Verbesserung des Wissenstransfers zu unterstützen. Die praxisorientierte Forschung wurde insbesondere durch die Praxiserhebungen in WP 1, aber auch durch die inhaltliche Ausrichtung der weiteren WPs sowie die Durchführung von Praxisversuchen und der Entwicklung eines Diagnosetools für die Praxis gewährleistet. Daneben war im Bodenfruchtbarkeitsprojekt der Wissenstransfer zentral verankert und während der gesamten Projektlaufzeit aktiv. Im Rahmen des Wissenstransfers wurde eine Projektwebsite erstellt und zu einem Wissensportal rund um Bodenfruchtbarkeit und Körnerleguminosen ausgebaut. Sowohl aus den Projektergebnissen selbst als auch zu weiteren mit dem Projekt verbundenen Themen entstanden laufend Artikel, die sowohl für die Website verwendet als auch an die Fachpresse weitergegeben wurden. Aber auch der direkte Austausch mit Beratern und Praktikern war ein zentraler Aspekt des Projektes: Auf zahlreichen Veranstaltungen wurden Vorträge gehalten, daneben waren die projekteigenen Feldtage mit Vorträgen und Demoparzellen ein Kernstück des Wissenstransfers zwischen Forschung, Beratung und Praxis. Mit der Einbeziehung von Naturland Fachberater Werner Vogt-Kaute in den Wissenstransfer konnte die Praxisanbindung weiter verstärkt werden. Das Projekt wurde auf den DLG-Feldtagen und der IGW vorgestellt, was die Öffentlichkeitswirksamkeit weiter vergrößerte. Mit dem Zusammenstellen einer eigenen Praxisbroschüre aus den Erkenntnissen

des Projektes ist das Bodenfruchtbarkeitsprojekt außerdem ein Vorreiter hinsichtlich der Aufbereitung von Projektergebnissen für die Praxis.

### 1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Ausgerichtet auf die Hauptziele des Projekts wurden Teilziele mit entsprechender inhaltlicher Schwerpunktsetzung definiert, die in Workpackages bearbeitet wurden. Dabei wurden bewusst inhaltliche sowie personelle Überlappungen von einzelnen Workpackages angestrebt, um dem interdisziplinären Charakter des gesamten Vorhabens Rechnung zu tragen und damit verbundene Synergien zu nutzen.

Zentraler Anknüpfungspunkt für die Workpackages untereinander war die während der gesamten Projektlaufzeit fortlaufende Evaluation von Praxiserfahrungen und Untersuchungen auf den dazugehörigen Versuchsfeldern mit Blick auf ertragswirksame Bodenfruchtbarkeitsfaktoren und deren Steuerung (WP 1). Um für Deutschland repräsentative Ergebnisse in Bezug auf die Zusammenhänge im Faktorengedächte Standort-Umwelt-Bodenfruchtbarkeit und dessen Beeinträchtigungen zu erhalten, wurden die Evaluation und weitergehende Untersuchungen in je acht Betrieben in vier wichtigen Boden-Klima-Regionen Deutschlands durchgeführt.

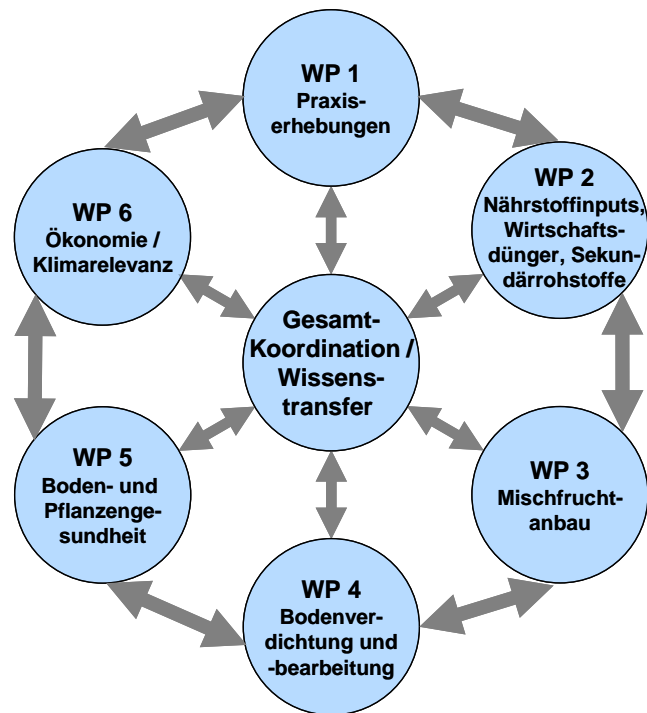


Abbildung 1: Projektaufbau und Workpackages

Forschungsschwerpunkte in WP 2 waren die Steigerung der Assimilationsleistung und symbiotischen  $N_2$ -Fixierung von Leguminosen sowie die Untersuchung von Möglichkeiten zur Verbesserung der Bodengesundheit durch die gezielte Applikation kohlenstoffreicher Düngemittel mit neuen landtechnischen Verfahren. In WP 3 wurden Kombinationen von Verfahren des Gemengeanbaus mit reduzierter Bodenbearbeitung untersucht, in Verbindung mit der Erhöhung des Körnerleguminosenanteils in der Fruchtfolge und die davon ausgehende Wirkung auf Ertragssicherheit, Beikrautaufkommen, Krankheitsbefall aber auch Energieverbrauch für Maschineneinsatz. WP 4 befasste sich mit Bodenverdichtung und Bodenbearbeitung und deren Einfluss auf den Ertrag und die  $N_2$ -Fixierungsleistung der Leguminosen, den Bodenwasserhaushalt und das Auftreten von Pflanzenkrankheiten. Ziel dabei war es, Empfehlungen zur optimalen Intensität der Bodenbearbeitung und Minimierung der mechanischen Bodenbelastung abzuleiten. Die Boden- und Pflanzengesundheit als wesentlicher Faktor für die Leistungsfähigkeit von Körnerleguminosen war inhaltlicher Schwerpunkt von WP 5. Hier wurden der Stellenwert und das Auftreten von Leguminosenkrankheiten ermittelt sowie die Dominanzstrukturen der Erreger kulturabhängig (Erbsen, Ackerbohnen) identifiziert. Außerdem wurden differenzialdiagnostische Methoden zur Identifikation von biotischen und abiotischen Faktoren



der Bodenmüdigkeit angepasst und auf Betriebsebene durchführbar gemacht. In dem alle anderen Workpackages umgreifenden WP 6 wurden mittels Plan-Kosten-Leistungsrechnung die ökonomisch relevanten Indikatoren zur Bodenfruchtbarkeit modellhaft abgebildet. Darüber hinaus wurden die in Projekt bearbeiteten Verfahren und Maßnahmen zum Bodenfruchtbarkeitsmanagement in einem halbquantitativen Technology Impact Assessment im Hinblick auf Energiebilanz, Klimarelevanz, Auswirkungen auf Nährstoffkreisläufe, Bodenerosion und Landschaftswasserhaushalt bewertet.

Der Wissenstransfer in die Praxis erfolgte durch Feldtage, Veröffentlichungen, Informationen auf der Projektwebsite sowie Vorträge auf Praktikerveranstaltungen.

## 2 Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde

Für den Erhalt der Produktionsleistung des Systems Boden im ökologischen Anbau ist vor allem seine Regulierungsleistung, z. B. bei der Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen, zu beachten. Auch im ökologischen Landbau geht die gestiegene Arbeitseffizienz im Ackerbau mit dem Einsatz größerer und schwerer Maschinen einher. Damit steigt das Risiko für Verdichtungen im Ober- und Unterboden mit möglichen negativen Auswirkungen auf Bodenstruktur und Bodenfunktionen (EHLERS et al. 2003; SCHÄFER-LANDEFELD et al. 2004; BRANDHUBER et al. 2006). Im konventionellen Ackerbau können negative Auswirkungen zumindest kurzfristig durch den Einsatz von pflanzenverfügbaren Mineraldüngemitteln und Pestiziden ausgeglichen werden. Der ökologische Landbau ist jedoch darauf angewiesen, dass optimale Bodenstruktur und -funktionen nicht nur die Nährstoff- und Wasserversorgung der Marktfrüchte sondern auch die optimale Entwicklung der Leguminosen als Fundament der Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung sicherstellen. Nur eine hohe physikalische Funktionsfähigkeit des Bodens aufgrund adäquater Anteile und Funktionalität von Luft- und Wasserporen erlaubt eine effiziente Etablierung von Knöllchenbakterien und einen hohen Stickstoffeintrag aus der Luft und damit eine weitgehende Unabhängigkeit von externer Energie in Form von Mineraldüngern (BAEUMER 1991). Gesicherte Erkenntnisse über die Reaktion von Fruchtbarkeits- und umweltrelevanten Bodenkennwerten und des Pflanzenwachstums auf unterschiedliche, für den Öko-Landbau typische Bearbeitungsintensitäten und Belastungen fehlen. Erste Untersuchungsergebnisse in Praxisschlägen zeigen aber, dass auch bei langjähriger ökologischer Bewirtschaftung eine starke Unterbodenverdichtung auftreten kann, die mit einer Einschränkung des Gasaustauschs und Wurzelwachstums im Boden einhergeht (SCHMIDTKE 2006, unveröffentlicht).

Langzeitversuche haben die herausragende Leistungsfähigkeit von ökologischen Landbewirtschaftungssystemen vor allem in Bezug auf Transformationsprozesse und mikrobielle Aktivität im Boden gezeigt (MÄDER et al. 2002; RAUPP et al. 2006). So wird die P-Versorgung durch eine erhöhte Aktivität der mikrobiellen Biomasse in ökologisch bewirtschafteten Flächen im Vergleich zu konventionell bewirtschafteten Böden gesteigert (OEHL et al. 2001, 2002). Die vielfältigen positiven Wirkungen von organischen Wirtschaftsdüngern, insbesondere von Rottemisten und Komposten, sowie von Leguminosen auf die Bodenfauna und Bodenflora (BAUCHHENß, 1991; BEC, 1991; FLIEßBACH & MÄDER 1997; EMMERLING et al. 2001; MÄDER et al. 2002; ZALLER UND KÖPCKE 2004), bilden die Standbeine zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in ökologischen Landbausystemen. Hierbei ist zu beachten, dass die mikrobielle Aktivität in Rotationen mit Klee gras deutlich höher ist als in Fruchtfolgen, die nur Körnerleguminosen enthalten (HAYNES 1999; WATSON et al. 1996). Eine Besonderheit der optimalen Versorgung der Böden mit organischer Substanz liegt in der Steigerung der Bodengesundheit. Diese Phänomene sind bisher vor allem für den Einsatz von Komposten in Kultursubstraten gegenüber *Pythium* und *Phytophthora* spp. sowie *R. solani* bekannt (BRUNS 1998; HOITINK & BOEHM 1999; BRUNS & SCHÜLER 2002; BRUNS et al. 2003), aber auch hinsichtlich *M. pinodes* (SCHÜLER et al. 1993) sind entsprechende Wirkungen ermittelt worden. Die Wirkung suppressiver Komposte war immer dann am erfolgreichsten, wenn möglichst hohe Aufwandmengen am Angriffspunkt des Erregers platziert wurden. Diese Möglichkeit wurde bisher nur im kleinen Maßstab erprobt – es fehlt eine abgesicherte und verfahrenstechnisch wie arbeitswirtschaftlich akzeptable Umsetzung. Neuere Untersuchungen u. a. aus dem DOK-Versuch weisen darauf hin, dass mit der Steigerung der C-Eintrags auch die Bodengesundheit bzw. das suppressive Potential der Böden gegenüber bodenbürtigen Krankheiten gesteigert werden kann (BERNER et al. 2003;

BRUNS 2006; TAMM et al. 2006). Diese Ergebnisse stellen für Ökobetriebe insgesamt einen für die Bodenqualität wichtigen, jedoch sehr vernachlässigten Aspekt dar. Deshalb müssen komplexe, systemimmanente Maßnahmen zur Regulierung bodenbürtiger Krankheiten erarbeitet werden.

In viehschwachen oder viehlosen Marktfruchtbetrieben werden vermehrt Körnerleguminosen angebaut, mit deren Erntegut hohe Nährstoffmengen die Betriebe verlassen (SCHMIDTKE & RAUBER 2000). Unter diesen Umständen müssen Grund- und Mikronährstoffe ersetzt bzw. rezykliert werden, wobei Quantität, Qualität und Ausbringungsort der zugeführten Düngemittel noch zu optimieren sind. In Bezug auf die langfristige Entwicklung des Boden-C-Vorrates sind ebenfalls Veränderungen zu verzeichnen, wenn ausschließlich Körner- und keine Futterleguminosen angebaut werden. Bei Wegfall der Bodenruhe kommen wachsende Probleme mit Beikräutern hinzu, denen häufig mit intensivierter, meist wendender Bodenbearbeitung begegnet wird, und die negative Auswirkungen auf mikrobielle Aktivität und Bodenstruktur haben sowie einen hohen Energieaufwand erfordern (SCHMIDT 2005). Sowohl pflanzenbauliche (Düngung, Mischkulturen und Sortenwahl) als auch agrartechnische Maßnahmen (reduzierte Bodenbearbeitung, gezielte Düngerausbringung) können zur Lösung der skizzierten Probleme beitragen.

Wichtige Vorteile von Gemengen aus Körnerleguminosen und Getreide gegenüber Reinsaaten sind verbesserte Erntebedingungen z. B. für Erbsen, höhere Nährstoffeffizienz der Kulturen, u. a. höhere N und S-Gehalte im Weizen, verbesserte Gesundheit und Beikrautunterdrückung im Bestand (HAUGGAARD NIELSEN et al. 2006; JENSEN et al. 2006). Allerdings fehlen Untersuchungen zu Auswirkungen von Gemengen auf Fruchtfolgekrankheiten (z. B. Fußkrankheiten der Erbse). Vor allem Brassicaceen (KIRKEGAARD et al. 1998; SHETTY et al. 2000; HAO et al. 2003), aber auch Hafer (VILICH-MELLER 1989) haben in den letzten Jahren starkes Interesse wegen ihrer unterdrückenden Eigenschaften gegenüber vielen bodenbürtigen Pathogenen im Getreide und Gemüsebau auf sich gezogen (Biofumigation). Mit dieser Technik lassen sich offenbar auch hartnäckige sklerotienbildende Pathogene unterdrücken (HAO et al. 2003). So ist zu erwarten, dass z. B. Pathogene des *Ascochyta*-Komplexes mit deutlich kleineren Dauersporen eher noch besser erfasst werden. Die Effekte sind stark sortenabhängig (KIRKEGAARD & SARWAR 1999), weshalb ein Sortenscreening auf diesen Aspekt notwendig ist. Die Vorteile des Gemengeanbaus wie Ertragszuwachs, erhöhte Unkrautunterdrückung und Nährstoffeffizienz könnten in Kombination mit Pathogenunterdrückung und gezielter Ausbringung suppressiver Komposte zu den Kulturen neue pflanzenbauliche Optionen im ökologischen Landbau bieten, um den Übergang zu einer nicht wendenden Bodenbearbeitung zu erleichtern.

Ansätze zur modellhaften Analyse und Bewertung ökonomischer und umweltrelevanter Indikatoren sind etabliert (z. B. Repro: HÜLSBERGEN et al. 2000, MODAM: KÄCHELE 1999: Ökobilanzen: HAAS et al. 2000) und können im Detail Verfahrensansätze anbieten. Sie weisen jedoch Schwächen in der zugrunde liegenden Datenbasis, bei der Abbildung komplexer Zusammenhänge in einfachen Modellen, in der Tiefe der ökonomischen Bewertung, im Aufwand für die Datenerhebung oder der Betriebsmodellierung auf. Notwendig ist jedoch die Integration ökonomischer und umweltrelevanter Größen in einem flexiblen, praxisrelevanten und auf Kosten-Leistungsrechnung basierenden Modellansatz.

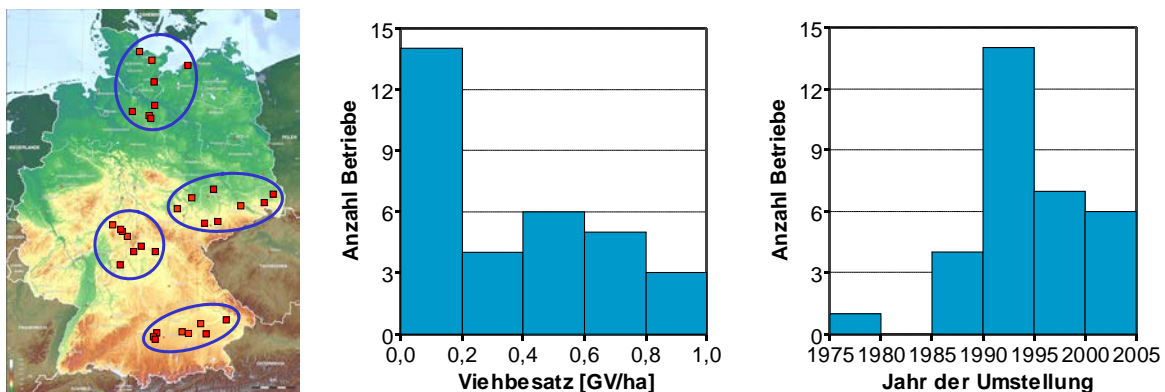
## 3 Material und Methoden

### 3.1 Durchführung der Untersuchungen

#### 3.1.1 Praxiserhebungen

##### Betriebsauswahl

In Zusammenarbeit mit den kooperierenden Beratern wurden bundesweit 32 Öko-Betriebe ausgewählt. Je acht Betriebe lagen in einer der vier ausgewählten Regionen Deutschlands (Abbildung 2). Wie geplant, wurde eine weite Spannweite an Standortbedingungen und Bewirtschaftungssystemen erreicht. Die durchschnittliche Bodengüte der Betriebe reicht von 23 bis 62 Bodenpunkten und liegt im Mittel bei 44. Ohne Tierhaltung wirtschaften zehn der ausgewählten Betriebe, dreizehn Betriebe haben einen Viehbesatz von 0,1 bis 0,5 GV/ha und neun erreichen 0,5 bis 1 GV/ha (Abbildung 2). 21 Betriebe bauen als Marktfrüchte nur Druschfrüchte an, auf 11 Betrieben werden zusätzlich auf 2 bis 25 % der Fläche Knollen- und Wurzelfrüchte angebaut ( $\varnothing$  12 %). Auf allen Betrieben waren zu Projektbeginn die Untersuchungskulturen Erbse oder Ackerbohne und Getreide regulärer Bestandteil der Fruchtfolge. Im Mittel waren die Betriebe zu diesem Zeitpunkt 15 Jahre auf ökologischen Landbau umgestellt (Abbildung 2).



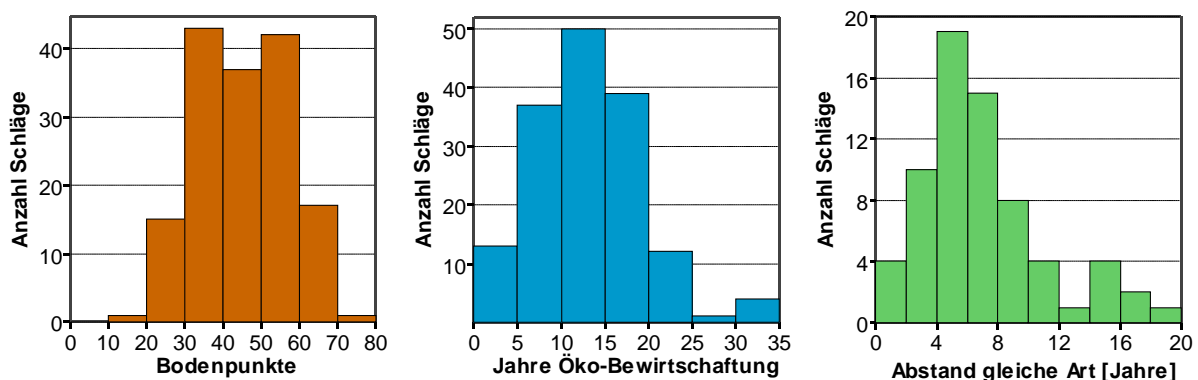
**Abbildung 2: Angaben zu den untersuchten Betrieben; links, Lage in den vier Zielregionen; Mitte, Histogramm der Umstellungsjahre; rechts, Histogramm des Viehbesatzes**

##### Schlagauswahl

In Zusammenarbeit mit der jeweiligen Betriebsleitung wurden in den Jahren 2009 bis 2012 insgesamt 75 Erbsen- und 49 Ackerbohenschläge für die Untersuchung ausgewählt. In einem Fall wurde der Erbsenbestand durch Wildschweine komplett zerstört und deshalb der angrenzende Lupinenschlag untersucht, in einem weiteren Fall wurde nach Untersuchungsbeginn aus innerbetrieblichen Gründen kurzfristig statt Ackerbohne Kresse angebaut. Während der Projektlaufzeit haben fünf der Untersuchungsbetriebe den Anbau von Erbse bzw. Ackerbohne aufgegeben. Als Ausgleich wurden in acht Fällen auf anderen Untersuchungsbetrieben zwei Leguminosenschläge pro Jahr ausgewählt. Im Jahr 2012 wurden wie geplant nur 28 Leguminosenschläge untersucht.

Bei der Auswahl der in 2009 untersuchten Getreideschläge war die Voraussetzung der Anbau von Körnerleguminosen im Vorjahr (vor Projektbeginn). Auf einem Betrieb stand jedoch nur ein Getreidebestand nach Klee gras zur Verfügung. In den Jahren 2010 bis 2012 wurden jeweils die den untersuchten Leguminosen folgenden Getreidebestände untersucht. Insgesamt betrug die Zahl geprüfter Getreidebestände in der Projektlaufzeit 128. In 51 Fällen wurde Winterweizen angebaut, in weiteren 68 Fällen andere Wintergetreidearten. Auf vier Schlägen konnte aus innerbetrieblichen Gründen nur Sommergetreide und auf weiteren fünf Schlägen gar kein Getreide angebaut werden.

Die Bodenqualität der untersuchten Schläge wies eine große Spannweite auf, die Bodenpunkte reichten von 20 bis 75 (Abbildung 3). Der Zeitraum ökologischer Bewirtschaftung variierte deutlich und lag im Mittel bei 14 Jahren (Abbildung 3). Auch die Bewirtschaftungsgeschichte der Untersuchungsschläge zeigte große Unterschiede. So wurde z. B. auf 19 % der Schläge vor Untersuchungsbeginn kein Klee gras angebaut (seit mindestens 25 Jahren). Das liegt zum Teil daran, dass einige Flächen erst relativ kurz vor Projektbeginn umgestellt wurden. Aber auch in einigen langjährigen Öko-Fruchtfolgen wurde auf einen Klee grasanbau verzichtet, vor allem aufgrund der Drahtwurmproblematik im Kartoffelanbau. Bei Schlägen mit Klee gras in der Vorgeschichte variierte der zeitliche Abstand zum ersten Untersuchungsjahr von zwei bis fünfzehn Jahren und lag im Mittel bei 4,5 Jahren. Da die Selbstunverträglichkeit der Körnerleguminosen ein wesentlicher Untersuchungsschwerpunkt war, wurde versucht vor allem Schläge mit häufigem Anbau von Erbse oder Ackerbohne zu untersuchen. Trotz dieser Bemühungen war auf 45 % der Schläge die entsprechende Körnerleguminose im Projektzeitraum zum ersten Mal und in weiteren 33 % zum zweiten Mal im Anbau (in den letzten 25 Jahren). Hier zeigt sich die Reaktion der Landwirte auf die starke Selbstunverträglichkeit. Viele Betriebsleiter wählen vor allem für den Anbau der Erbse bevorzugt Neulflächen. Auf den 55 % der Schläge mit gleicher Art in der Vorfruchtgeschichte reichte der Anbauabstand von zwei Jahren (als Zwischenfrucht) bis zu zwanzig Jahren (Abbildung 3).



**Abbildung 3: Untersuchte Schläge; links, Histogramm der Bodenpunkte; Mitte, Histogramm der Dauer ökologischer Bewirtschaftung; rechts, Histogramm des zeitlichen Abstands vom Anbau der untersuchten Erbsen- bzw. Ackerbohnenbestände zur gleichen Art in der Vorgeschichte (nur Schläge mit mehrmaligem Anbau der gleichen Art)**

### Messparzellenauswahl

In Zusammenarbeit mit der jeweiligen Betriebsleitung wurden die fünf Meter messenden Grundlinien der jeweils drei Messparzellen pro Schlag ausgewählt und vermessen (auch GPS-Positionsbestimmung). Die drei Parzellen wurden mit einem Mindestabstand von zehn Metern zum Schlagrand, zum Vorgewende oder zu anderen Störungen, z. B. Kuppen oder Senken,



gewählt. Fahrspuren wurden nicht untersucht. Die drei Parzellen wiesen untereinander einen Abstand von zehn bis zwanzig Metern auf und wurden in der Regel versetzt zur Bearbeitungsrichtung angelegt.

### **Vorgehen an den Messparzellen**

Die Beprobungen (siehe Kap. 3.2) wurden auf der fünf Meter messenden und senkrecht zur Bearbeitungsrichtung liegenden Grundlinie der Parzelle begonnen. Jede neue Beprobung erfolgte in Bearbeitungsrichtung verschoben auf ungestörter Fläche. Insgesamt wurde in den beiden Untersuchungsjahren eine Parzellenlänge von fünf bis zehn Metern verbraucht.

### **Fragebogenentwicklung**

Für die Evaluierung der Öko-Betriebe wurde zu Projektbeginn in Kooperation mit dem Institut für Betriebswirtschaft der Uni Kassel (UKS-FB) und dem Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) ein Fragebogen erstellt. Folgende Angaben wurden abgefragt:

- › Standort: Witterung, Klima, Bodeneigenschaften (u. a. Arten, Typen, Nährstoffversorgung), Relief, Unkraut
- › Betriebsgeschichte: Anbau und Tierhaltung vor Umstellung, Umstellung und Veränderungen seit Umstellung
- › Betriebsstruktur: Flächenzusammensetzung, Pachtniveau, Schlaggröße und –entfernung, Betriebszweige, Tierbesatz, Stroh- und Futterbedarf, Düngereinsatz, Arbeitskräfte
- › Maschinenbesatz: Schlepper (PS, Reifenbreite & -druck), Ackerbaugeräte und andere Maschinen und Geräte
- › Ackerbau: Düngung, Ernte und Aufbereitung, geplante Fruchtfolgen und reale Anbauanteile, mittlere Erträge je Art
- › Produktionsverfahren: Arbeitsgänge in der Zielfruchtfolge (Zeitpunkt, Gerät, Schlepper-PS, Arbeitstiefe, Aussaatstärken)

Für die Aufnahme von Angaben zu den Untersuchungsschlägen wurde ein weiterer Fragebogen mit folgenden Punkten erstellt:

- › Standort: Bodenpunkte im Messbereich, Besonderheiten (Boden, Witterung, etc.)
- › Bewirtschaftung: Bewirtschaftungsgeschichte (möglichst 25 Jahre zurück: Hauptfrüchte, Zwischenfrüchte/Untersaaten, Düngung), Vorfrucht (Art, Sorte, Ertrag), Untersuchungskultur (Sorte, Ertrag), alle Bewirtschaftungsmaßnahmen von Ernte der Vorfrucht bis Ernte der Untersuchungsfrucht (Datum, Schlepper, Bearbeitungstiefe, Düngermenge, Zwischenfruchtzusammensetzung, etc.), Saatgutherkunft, Saatmenge und Reihenweite der Untersuchungskultur, Besonderheiten (Bodenzustand, Schädigungen, etc.)

### **Evaluierung der Betriebe**

Die Betriebsdaten wurden bei einem Betriebsbesuch zu Beginn des Projekts aufgenommen. Die Schlagdaten wurden in jedem Jahr schriftlich erfragt. Bis zum Projektende wurden die Angaben auf ihre Stimmigkeit überprüft und mit Beobachtungen vor Ort abgeglichen. Rückfragen erfolgten bei Betriebsbesuchen, schriftlich oder per Telefon. Für die statistische

Verrechnung wurden die Einzelangaben (z. B. Pflugtiefe, Saattermin, etc.) verwendet sowie eine Reihe von Parameter abgeleitet:

- › Anbauanteil bzw. –häufigkeit in 5, 15 und 25 Jahren: Erbse, Ackerbohne, Rotklee, Luzerne, Weißklee, Getreide, Hackfrüchte, Wurzel- und Knollenfrüchte, Klee- bzw. Luzernegras, Winterfrüchte, Zwischenfrüchte.
- › Anbauabstand zu (Haupt- sowie Haupt- und Zwischenfrucht): Erbse, Ackerbohne, Körnerleguminose, Leguminose, Rotklee, Luzerne, Weißklee, Klee- oder Luzernegras.
- › Organische Düngung und Strohdüngung: Summe ausgebrachter Menge in 1, 3 und 10 Jahren vor Körnerleguminosen-Untersuchungsjahr sowie Abstand zur letzten Maßnahme.
- › Bewuchs über Winter: Anzahl Jahre 3 und 10 Jahre vor Körnerleguminosen-Untersuchungsjahr
- › Humusbilanz-Parameter (nach LEITHOLD et al. 1997) 15 Jahre vor Körnerleguminosen-Untersuchungsjahr: Summe Humusmehr und Humuszehr, Bilanzsaldo.
- › Gesamte und kurzfristig verfügbare N-Menge in den vor und zu Getreide angewendeten organischen Düngemitteln (unter Verwendung von N-Gehalten aus STEIN-BACHINGER et. al 2004, S. 99): Ernte Vorfrucht bis vor N<sub>min</sub>-Probennahme im Frühjahr und Ernte Vorfrucht bis Ernte Getreide.

### 3.1.2 Parzellen-Feldversuche

#### 3.1.2.1 Versuchsstandorte

Die Parzellen-Feldversuche wurden in den Jahren 2008 - 2012 an Standorten mit unterschiedlichen Boden- und Klimabedingungen in Bayern, Hessen, Sachsen und Schleswig-Holstein durchgeführt. Eine Auflistung der Standorte einschließlich ihrer geographischen Einordnung sowie der langjährigen Klimabedingungen ist in Tabelle 1 enthalten.



**Tabelle 1: Auflistung der Standorte mit Parzellen-Feldversuchen einschließlich der langjährigen Klimabedingungen**

Standort	Bundes-land	Landschaft	Institution	Jahresmittel-temperatur (°C)	Niederschlag (mm)
Mammendorf	Bayern	Altmoräne des Loisachgletschers	LfL	7,5	925
Petershausen	Bayern	Oberbayerisches Tertiärhügelland	LfL	7,5	775
Eichenberg	Hessen	Übergang Leinesenke zu unteres Werraland	UK	7,9	619
Frankenhausen	Hessen	Hofgeismarer Rötensenke	UK	8,5	650
Köllitsch	Sachsen	ehemalige Elbaue	HTW	8,9	550
Dresden-Pillnitz	Sachsen	Sächsische Schweiz/ Osterzgebirge (ehem. Elbaue)	HTW	9,2	650
Krummesse	Schleswig-Holstein	Holsteinisches Hügelland	TI	8,7	706
Trenthorst	Schleswig-Holstein	Holsteinisches Hügelland	TI	8,7	706

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Bodentypen und -arten an den Versuchsstandorten mit Parzellen-Feldversuchen sowie der bodenchemischen Bedingungen.

**Tabelle 2: Bodenbedingungen an den Standorten mit Parzellen-Feldversuchen**

Standort	Bodentyp	Bodenart	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P (CAL) mg/kg	K (CAL) mg/kg	Mg (CaCl <sub>2</sub> ) mg/kg	Nt (%)	Ct (%)
Mammendorf (2009-2011)	Parabraunerde	Schotter	6,6	56	226	290	0,13	1,50
Mammendorf (2012)	Braunerde	sehr toniger Schluff	6,5	87	139	170	0,13	1,31
Petershausen	Braunerde	schluffiger Lehm	6,6	57	147	180	0,14	1,34
Eichenberg	Parabraunerde, Parabraunerde-Pseudogley, schwach pseudovergleyte Parabraunerde	mittel toniger Schluff	6,2-6,5	51-85	88-116	113-188	0,12	1,00-1,40
Frankenhausen	Parabraunerde	mittel toniger Schluff	6,6	45	64	84	0,10	0,92
Köllitsch	Braunerde	lehmgiger Sand	5,7	36	61	126	0,13	1,15
Dresden-Pillnitz	Haftnässe-Braunerde	sandiger Lehm	6	68	145	113	0,12	0,89
Krummesse	Parabraunerde	lehmgiger Sand	6,1	69	72	79	0,13	1,36
Trenthorst	Parabraunerde-Pseudogley	sandiger Lehm	6,5	103	176	155	0,13	1,26

### 3.1.2.2 Untersuchte Versuchsfaktoren

In den Parzellen-Feldversuchen mit dem Schwerpunkt organische Düngung wurden C-reiche organische Düngemittel untersucht, die in unterschiedlicher Art ausgebracht und eingearbeitet wurden. Ein Überblick über alle Parzellen-Versuche mit dem Schwerpunkt organische Düngung ist in Tabelle 3 aufgeführt. Die Schwerpunkte Bodenbearbeitung/Bodenbelastung/Biofumigation und/oder Gemengeanbau von Sommer- und Wintererbsen wurden in weiteren Parzellen-Feldversuchen untersucht. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die mit diesem Schwerpunkt durchgeführten Feldversuche und die untersuchten Versuchsfaktoren. In vielen in den Tabellen gekennzeichneten Versuchen wurde als Nachfrucht Weizen mit dem Ziel etabliert, die Vorfruchtwirkung der Behandlungen zu untersuchen.

**Tabelle 3: Übersicht über die Parzellen-Feldversuchen mit Schwerpunkt organische Düngung (Versuchsansätze 1-7)**

Standort	Jahr	Kurz <sup>1</sup>	Kurz <sup>2</sup>	Düngemittelform		Applikationsart			Kultur	Referenzkultur	Vorfrucht
				organisch		Fläche		Reihe			
						flach <sup>4</sup>	tief <sup>4</sup>				
Trenthorst	2009	1-T09	1-T09N	Grüngutkompost, Pferdemist		X			Sommererbse, Sommer- erbsen-Hafer-Gemenge		Raps
Trenthorst	2010	1-T10	1-T10N	Grüngutkompost, Pferdemist		X			Sommererbse, Sommer- erbsen-Hafer-Gemenge	Hafer	Raps
Frankenhausen	2009	1-F09	1-F09N	Grüngutkompost, Pferdemist		X			Sommererbse, Sommer- erbsen-Hafer-Gemenge		Kartoffel
Frankenhausen	2010	1-F10	1-F10N	Grüngutkompost, Pferdemist		X			Sommererbse, Sommer- erbsen-Hafer-Gemenge	Hafer	Kartoffel
Frankenhausen	2011	1-F11	1-F11N	Grüngutkompost		X			Sommererbse, Sommer- erbsen-Hafer-Gemenge	Hafer	Rote Beete
Dresden- Pillnitz	2009	2-DP09	2-DP09N	Grüngutkompost, Pferdemist, Gehölzhäcksel		X			Saatplatterbse, Ackerbohne, Rotklee	Welsches Weidelgras, Spitzwegerich	Kartoffel
Dresden- Pillnitz	2010	2-DP10	2-DP10N	Grüngutkompost, Pferdemist, Gehölzhäcksel		X			Saatplatterbse, Ackerbohne, Rotklee	Welsches Weidelgras, Spitzwegerich	Kartoffel
Dresden- Pillnitz	2012	3-DP12		Pferdemist, Gehölzhäcksel		X	X		Ackerbohne		Getreide
Dresden- Pillnitz	2012	4-DP12		Stroh		X			Rotklee	Welsches Weidelgras	Getreide
Eichenberg	2010	5-E10		Grüngutkompost				X	Sommererbse		Klee gras
Eichenberg	2011	5-E11		Grüngutkompost				X	Sommererbse		Phacelia
Eichenberg	2011	6-E11		Grüngutkompost				X	Sommererbse		Klee gras
Frankenhausen	2012	6-E12		Grüngutkompost		X		X	Sommererbse		Möhren
Eichenberg	2012	7-E12		Grüngutkompost				X	Wintererbse, Wintererbsen- Triticale-Gemenge		Erbse-Hafer Gemenge
Frankenhausen	2012	7-F12		Grüngutkompost		X		X	Wintererbse, Wintererbsen- Triticale-Gemenge		Rote Beete

<sup>1</sup> Kurzbezeichnung Versuch: Die erste Zahl kennzeichnet die Nummer des Versuchsansatzes

<sup>2</sup> Kurzbezeichnung Nachfruchtversuch: Die erste Zahl kennzeichnet die Nummer des Versuchsansatzes

<sup>3</sup> Mineralische Ausgleichsdüngung mit P, K, Mg, S, Ca

<sup>4</sup> tiefe/flache Einarbeitung bei der Flächenapplikation

**Tabelle 4: Übersicht über die Parzellen-Feldversuche zu Bodenbearbeitung/Bodenbelastung/Biofumigation und Gemengeanbau (Versuchsansätze 8-14)**

Standort	Jahr	Kurz <sup>1</sup>	Kurz <sup>2</sup>	Bodenbearbeitung		Bodenbelastung			Bio-fumi-gation	Winter-erbse-Sorte	Gemengeanbau	Vor-Vorfrucht - Vorfrucht
				Tiefw.	Flachw.	0t	2,6 t	4,6 t				
Trenthorst	2009	8-T09	8-T09N	X	X	X	X	X			Sommererbse-Hafer	Erbse-Raps
Trenthorst	2010	8-T10	8-T10N	X	X	X	X	X			Sommererbse-Hafer	Erbse-Raps
Köllitsch	2009	8-K09	8-K09N	X	X	X	X	X			Sommererbse-Hafer	Getreide-Getreide
Köllitsch	2010	8-K10	8-K10N	X	X	X	X	X			Sommererbse-Hafer	Getreide-Getreide
Trenthorst	2009	9-T09	9-T09N	X	X	X		X			Sommererbse-Hafer	Erbse-Getreide
Trenthorst	2010	9-T10	9-T10N	X	X	X		X			Sommererbse-Hafer	Erbse-Getreide
Mammendorf	2009	10-M09	10-M09N	X		X	X	X			Sommererbse-Hafer	Erbse-Kartoffel
Mammendorf	2010	10-M10	10-M10N	X		X	X	X			Sommererbse-Hafer	Kartoffel-Getreide
Mammendorf	2011	10-M11		X		X	X	X			Sommererbse-Hafer	Getreide-Getreide
Mammendorf	2012	10-M12		X		X	X	X			Sommererbse-Hafer	Getreide-Getreide
Petershausen	2011	10-P11		X		X	X	X			Sommererbse-Hafer	Getreide-Getreide
Petershausen	2012	10-P12		X		X	X	X			Sommererbse-Hafer	Getreide-Getreide
Frankenhausen	2009	10-F09	10-F09N	X		X	X	X			Sommererbse-Hafer	Kleegras-Kartoffel
Frankenhausen	2010	10-F10	10-F10N	X		X	X	X			Sommererbse-Hafer	Kleegras-Kartoffel
Köllitsch	2011	11-K11		X	X	X	X				Sommererbse-Hafer	Getreide-Getreide
Eichenberg	2009	12-E09	12-E09N	X	X				X		Sommererbse-Hafer	Erbse-Getreide
Eichenberg	2010	12-E10	12-E10N	X	X				X		Sommererbse-Hafer	Erbse-Phacelia
Eichenberg	2011	12-E11	12-E11N	X	X				X		Sommererbse-Hafer	Erbse-Getreide
Trenthorst	2009	13-T09	13-T09N	X	X						Wintererbse-Raps/Triticale	Erbse-Getreide
Trenthorst	2010	13-T10	13-T10N	X	X					X	Wintererbse-Raps/Triticale	Erbse-Getreide
Trenthorst	2011	13-T11	13-T11N	X	X					X	Wintererbse-Raps/Triticale	Erbse-Getreide
Trenthorst	2012	14-T12		X						X	Wintererbse-Triticale	Erbse-Getreide
Krummesse	2012	14-K12		X						X	Wintererbse-Trticale	Getreide-Getreide

<sup>1</sup> Kurzbezeichnung Versuch: Die erste Zahl kennzeichnet die Nummer des Versuchsansatzes

<sup>2</sup> Kurzbezeichnung Nachfruchtversuch: Die erste Zahl kennzeichnet die Nummer des Versuchsansatzes

## C-reiche organische Düngung in Versuchsansatz 1

In Versuchsansatz 1 wurden als C-reiche organische Düngemittel Grüngutkompost und Pferdemist mit einer äquivalenten Menge an gedüngtem C von 10 t/ha an den Standorten Trenthorst (2009, 2010) und Frankenhausen (2010) untersucht. Der Versuchsfaktor organische Düngung im Feldversuch in Frankenhausen im Jahr 2009 beinhaltete ebenfalls beide organische Düngemittel, wobei eine äquivalente Menge an gedüngtem C von 5 t/ha ausgebracht wurde. Im Versuchsjahr 2011 wurde in Frankenhausen ebenfalls ein Düngungsversuch mit Grüngutkompost angelegt, in dem sowohl eine Variante mit 5 t C-Äquivalent/ha als auch mit 10 t C-Äquivalent/ha untersucht wurde. An beiden Standorten wurde Grüngutkompost aus gleicher Herkunft verwendet. Die Wirkung der organischen Düngemittel wurde im Jahr 2009 an beiden Standorten auf eine Erbsen-Reinsaat und ein Erbsen-Hafer-Gemenge quantifiziert, in den Jahren 2010 und 2011 wurde zusätzlich auch eine Hafer-Reinsaat angebaut. Alle Versuche beinhalteten eine Kontrolle ohne organische Düngung, wobei in diesen Parzellen eine Ausgleichsdüngung mit Phosphor und Kalium vorgenommen wurde. In Trenthorst erfolgte auch in den Parzellen mit organischer Düngung eine Ausgleichsdüngung. Basis für die Ausgleichsdüngung in den Jahren 2009 und 2010 für Kalium war Pferdemist und für Phosphor Grüngutkompost. Im Versuchsjahr 2011 erfolgte die Ausgleichsdüngung auf Basis der Variante mit 10 t C-Äquivalent/ha Grüngutkompost. Zur Ausgleichsdüngung wurde Dolophos 15 (DüKa) in Trenthorst, Rohphosphat Ltho-Physalg G 18 (Timac) in Frankenhausen und Kaliumsulfat (Kali und Salz AG) an beiden Versuchsstandorten eingesetzt. Die organischen Düngemittel wurden an beiden Standorten mit Hilfe einer Fräse eingearbeitet.

## C-reiche organische Düngung in den Versuchsansätzen 2-4

Die Feldversuche in den Jahren 2008 und 2009 mit Saatplatterbse erfolgten als einfaktorielle Blockanlage mit 4 Wiederholungen. Die Feldversuche mit Ackerbohne und Rotklee in den Jahren 2009 und 2010 wurden in Form einer zweifaktoriellen Spaltanlage mit der Obereinheit Düngestufe und der Untereinheit Kulturart angelegt. Zu allen Kulturen wurden jeweils Parzellen mit Referenzpflanzen (zu Saatplatterbse Welsches Weidelgras, zu Ackerbohne Spitzwegerich, zu Rotklee Welsches Weidelgras) zur Schätzung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung angelegt (Tabelle 5). Die Parzellengröße der Leguminosen in allen Versuchen betrug einheitlich 13,5 m<sup>2</sup>. Die Parzellengröße der Referenzpflanzen betrug in allen Versuchen einheitlich 6,75 m<sup>2</sup>. Zur Untersuchung der Vorfruchteffekte der Leguminosen wurde nach allen Kulturen Winterweizen etabliert, welcher im jeweils folgenden Jahr beerntet wurde (Tabelle 7). Zur Minderung von Windeinflüssen (Luftverwirbelung) in den Pflanzenbeständen wurde nach erfolgter Saat eine UV-beständige Gitterfolie mit einer Höhe von 0,7 m um jede Großparzelle installiert.

**Tabelle 5: Art, Sorte und Saatstärke der geprüften Kulturen am Standort Dresden-Pillnitz in den Jahren 2008 bis 2011**

Kultur	Sorte	Keimfähige Samen/m <sup>2</sup>	TKM[g]	Keimfähigkeit [%]	Saatstärke [kg/ha]
<b>1. Versuchsjahr</b>					
Saatplatterbse	Merkus	100	235	98	240
Ackerbohne	Fuego	50	458	94	245
Rotklee	Titus	850	3,0	91	28
W.Weidelgras	Lipo	1500	3,9	88	67
Spitzwegerich	Libor	800	2,8	88	27
Winterweizen	Achat	300	53	80	199

Kultur	Sorte	Keimfähige Samen/m <sup>2</sup>	TKM[g]	Keimfähigkeit [%]	Saatstärke [kg/ha]
<b>2. Versuchsjahr</b>					
Saatplatterbse	Merkus	100	224	69	324
Ackerbohne	Fuego	50	607	93	327
Rotklee	Titus	850	2,8	91	26
W.Weidelgras	Lipo	1500	3,3	88	57
Spitzwegerich	Libor	800	1,9	80	19
Winterweizen	Achat	300	46	97	141

## Bodenbearbeitung und Düngung

In den Jahren 2008 und 2009 wurde jeweils nach Ernte der Vorfrucht Sommergerste eine tief wendende Bodenbearbeitung mit einem Pflug (Bearbeitungstiefe ~ 25 cm, Lemken-Vari Opal 5) und eine darauf folgende Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge (Fa. Maschio) durchgeführt. Anschließend wurden die Düngemittel parzellengenau (Großparzelle) eingewogen mit der Hand ausgebracht, mit einer Kreiselegge flach (~ 10 cm) eingearbeitet und die Leguminosen und Referenzpflanzen mit einer Parzellensämaschine (Typ Hege 80) gesät. Die Bodenbearbeitung, Düngung und Saat nach Vorfrucht Kartoffel für Ackerbohne und Rotklee in den Jahren 2009 und 2010 erfolgte identisch wie zur Saatplatterbse. Während der Vegetationsperiode wurde keine Unkrautregulierung in den Kulturen durchgeführt. Nach Ernte der Leguminosen wurden verbliebene Erntereste und Unkräuter auf alle Parzellen gemulcht und es erfolgte jeweils im Herbst eine nicht wendende Bodenbearbeitung mit einem Flügelschargrubber (Lemken) auf einer Tiefe von ~ 15 cm, eine Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge und die Aussaat von Winterweizen mit der Parzellendrillmaschine (Tabelle 7). Zu Saatplatterbse wurde neben einer Kontrolle ohne Düngung kohlenaurer Kalk, eine rein mineralische Variante mit Dolophos und Kaliumsulfat, Grüngutkompost, frischer, strohreicher Pferdemist und Stroh gedüngt. Zu Ackerbohne und Rotklee wurde analog verfahren, jedoch Gehölzhäcksel anstelle von Stroh gedüngt. In Tabelle 6 sind die applizierten Mengen der eingesetzten Düngemittel und die Mengen der mit den eingesetzten Düngemitteln ausgebrachten Nährstoffe angegeben.

**Tabelle 6: Applizierte Düngemittel und Mengen der mit den eingesetzten Düngemitteln ausgebrachten Nährstoffe zu Saatplatterbse (2008/2009), Ackerbohne und Rotklee (2009/2010)**

Düngemittel	TM [dt/ha]	FM [dt/ha]	C/N-Verhältnis	P [kg/ha]	K [kg/ha]	S [kg/ha]	Ca [kg/ha]
<b>Saatplatterbse 2008</b>							
CaCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	2115
Dolophos+K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	-	78	230	100	311
Grüngutkompost	455	606	15	114	604	84	-
Pferdemist	200	570	24	70	436	40	-
Stroh	90	104	95	13	48	9	-
<b>Saatplatterbse 2009</b>							
CaCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	2115
Dolophos+K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	-	78	230	100	311
Grüngutkompost	509	917	21	87	366	61	-
Pferdemist	252	700	36	40	842	81	-
Stroh	109	121	80	13	82	11	-



Düngemittel	TM [dt/ha]	FM [dt/ha]	C/N-Ver- hältnis	P [kg/ha]	K [kg/ha]	S [kg/ha]	Ca [kg/ha]
<b>Ackerbohne/Rotklee 2009</b>							
CaCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	2115
Dolophos+K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	-	102	399	173	400
Grüngutkompost	349	620	18	83	394	7	-
Pferdemist	249	1083	39	42	413	45	-
Gehölzhäcksel	219	435	62	26	137	22	-
<b>Ackerbohne/Rotklee 2009</b>							
CaCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	2115
Dolophos+K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	-	102	399	173	400
Grüngutkompost	612	1094	16	110	569	86	-
Pferdemist	224	688	36	45	365	61	-
Gehölzhäcksel	253	426	45	23	103	2	-

**Tabelle 7: Ablauf der durchgeführten Maßnahmen in den Feldversuchen mit organischer Düngung zu Saatplatterbse (SP), Ackerbohne (AB) und Rotklee (RK) einschließlich Nachfrucht Winterweizen in den Jahren 2008 bis 2011**

Maßnahme	SP 2008	SP 2009	AB 2009	AB 2010	RK 2009	RK 2010
<b>Bodenbearbeitung</b>	16.07.	08.07.	03.03.	11.03.	03.03.	11.03.
<b>Düngung &amp; Saat</b>	17.07.	16.07.	02.04.	19.03.	02.04.	19.03.
<b>Windschutz</b>	19.07.	20.07.	25.05.	08.04.	25.05.	08.04.
<b>Bodenrespiration 1</b>	24.07.	-	27.04.	07.04.	-	-
<b>Bodenrespiration 2</b>	03.08.	-	16.05.	06.06.	-	-
<b>Bodenrespiration 3</b>	07.08.	-	28.05.	13.06.	-	-
<b>Bodenrespiration 4</b>	14.08.	-	21.08.	06.07.	-	-
<b>Bodenrespiration 5</b>	22.08.	-	-	21.09.	-	-
<b>Zwischenernte 1</b>	-	-	-	-	10.07.	28.06.
<b>Zwischenernte 2</b>	-	-	-	-	24.08.	10.08.
<b>Blattentnahme</b>			17.06.	02.07.	-	-
<b>Blattauffangkörbe</b>	-	-	13.07.	05.07.	-	-
<b>Blattauffangkörbe</b>	-	-	18.07.	12.07.	-	-
<b>Blattauffangkörbe</b>	-	-	24.07.	22.07.	-	-
<b>Blattauffangkörbe</b>	-	-	12.08.	30.07.	-	-
<b>Handernte</b>	20.10.	21.10.	31.08.	09.08.	14.10.	04.10.
<b>Parzellendrusch</b>	-	-	08.09.	22.08.	-	-
<b>Bodenbearbeitung</b>	03.11.	31.10.	31.10.	11.10.	31.10.	11.10.
<b>Saat Weizen</b>	05.11.					
<b>Handernte</b>	08.08.	27.07.	27.07.	13.07.	27.07.	13.07.
<b>Parzellendrusch</b>		02.08.			02.08.	
<b>N<sub>min</sub>-Beprobung</b>	Siehe Abbildungen in Abschnitt „Ergebnisse und Diskussion“					

## Entnahme und Aufbereitung von Pflanzenproben

Zur Untersuchung des Versorgungszustandes der Pflanzen mit Nährstoffen wurden in den Jahren 2009 (BBCH 65) und 2010 (BBCH 78) bei Ackerbohne in allen Düngevarianten die jüngsten, entfalteten Blätter (etwa 25 Blätter je Parzelle) entnommen (Tabelle 7). Die Beerntung von Hand bei Saatplatterbse, Rotklee, Ackerbohne und Winterweizen zu den jeweiligen Terminen erfolgte auf einer Fläche von 1 m x 1,35 m je Parzelle. Der Parzellendrusch bei Ackerbohne und Winterweizen (Parzellenmähdrescher Fa. Wintersteiger) nach der Handernte erfolgte auf einer Fläche von 10 m x 1,35 m (abzüglich der per Hand geernteten Teilfläche). Stroh und Hülsenreste verblieben nach dem Parzellendrusch auf den Parzellen. Nach der Erfassung der Frischmasse wurden die Handernteproben in Leguminosen- und Unkrautanteil getrennt, jeweils separat mit einem Häcksler homogenisiert und repräsentative Teilproben entnommen. Bei druschfähigen Kulturen (Ackerbohne und Weizen) wurden die Handernteproben mittels Standdrescher (Fa. Baumann Saatzucht) ausgedroschen und Korn- und Strohanteil ermittelt. Für die Ermittlung der Blattmasse der Ackerbohne wurde ab dem BBCH-Stadium 80 je Parzelle ein Gitterrahmen mit einer Fläche von 0,1 m<sup>2</sup> zwischen die Reihen am Boden platziert und regelmäßig entleert. Die in den Gitterrahmen befindlichen, abgefallenen Blätter wurden in einem Trockenschrank (Heraeus Instruments, UT 6760) bei einer Temperatur von 60 °C getrocknet, vermahlen und hinsichtlich des Anteils an C und N analysiert. Für die Erfassung der Tausendkornmasse wurden je Probe 4 x 100 Körner ausgezählt. Zur Ermittlung der Trockenmasse wurden die Pflanzenproben bei 105 °C in einem Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Pflanzenmaterial für Nährstoffanalysen wurden bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, mit einer Schneidmühle (Retsch SM 100) grob zerkleinert und anschließend auf eine Partikelgröße von ≤ 0,2 mm vermahlen (Retsch ZM 200). Für Isotopenanalysen (<sup>15</sup>N und <sup>13</sup>C) wurde vermahlene Pflanzenmaterial in Zinnkapseln eingefüllt und mittels Feinwaage (Mettler Toledo XA 105 Dual Range) mit einer Genauigkeit von ± 10 mg eingewogen. Die Nährstoffanalyse der Pflanzenproben erfolgte durch die staatliche Betriebsgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt in Leipzig (BfUL). Für die Analyse stabiler Isotope (<sup>15</sup>N und <sup>13</sup>C) wurden verwendet (siehe Tabelle 8):

- › Saatplatterbse: Sprossmasse (oberirdische Pflanzenteile)
- › Rotklee: Mischprobe aus drei Schnitterminen und Stoppel nach letztem Schnitt
- › Ackerbohne: Mischprobe aus anteiligem Korn, Stroh und Blatt.

Die Analyse stabiler Isotope erfolgte in der UC Davis Stable Isotope Facility (PDZ Europa ANCA-GSL Elementanalyser in Verbindung mit PDZ Europa 20-20 Isotopen-Massenspektrometer) in den USA.

## Entnahme und Aufbereitung von Bodenproben

Proben zur Erfassung der Grundnährstoffe wurden jeweils vor der Saat in einer Tiefe von 0 bis 30 cm mit 8 Einstichen über die gesamte Versuchsfläche verteilt entnommen. Die Entnahme von gestörten Bodenproben zur Ermittlung der N<sub>min</sub>-Mengen im Boden erfolgte in einer Abstufung von 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm jeweils vor der Saat blockweise und etwa 4 Wochen nach Saat, zur Ernte der Leguminosen, im Frühjahr zum nachfolgendem Winterweizen und zur Ernte des Winterweizens mit 4 Einstichen je Parzelle. Die Proben wurden bis zur Analyse bei -18 °C gelagert. Zur Herstellung eines Extraktes zur Analyse von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> und NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in den Proben wurden die gefrorenen Proben aufgetaut, in 1000 ml Weithalsflaschen für 60 Minuten mit 250 ml einer 0,01 molaren CaCl<sub>2</sub>-Lösung in einem Überkopfschüttler geschüttelt. Anschließend wurde die Lösung durch Mikrofilter (MN 651¼, Ø 150 mm) gefiltert und bei -18 °C eingefroren. Die Analyse von Ammonium- und Nitratstickstoff erfolgte photometrisch mittels

CFA-Analyse durch die staatliche Betriebsgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt in Leipzig (BfUL).

**Tabelle 8: Entnahme von Pflanzenproben zur Ertragsermittlung und Nährstoffanalyse in den Jahren 2008 bis 2011**

Kultur	Entwicklungsstadium	Pflanzenteil	Vegetationstage	Analysen
Saatplatterbse 2008	Ende Blüte	Spross	96	C,N,P,K,Mg,S,Mo ,B, <sup>13</sup> C
Saatplatterbse 2009	Ende Blüte	Spross	98	
Ackerbohne 2009	Blüte	Blatt	77	C,N,P,K,Mg,S,Mo ,B
Ackerbohne 2009	Totreife	Korn, Stroh, Blatt	152	C, N, <sup>13</sup> C
Ackerbohne 2010	Fruchtentwicklung	Blatt	106	C,N,P,K,Mg,S,Mo ,B
Ackerbohne 2010	Totreife	Korn, Stroh, Blatt	144	C, N, <sup>13</sup> C
Rotklee 2009 1. Schnitt	Ende Blüte	Spross	100	C,N,P,K,Mg,S,Mo ,B, <sup>13</sup> C
Rotklee 2009 2. Schnitt	Ende Blüte	Spross	145	
Rotklee 2009 3. Schnitt	Ende Blüte	Spross, Stoppel	196	
Rotklee 2010 1. Schnitt	Ende Blüte	Spross	102	C,N,P,K,Mg,S,Mo ,B, <sup>13</sup> C
Rotklee 2010 2. Schnitt	Ende Blüte	Spross	145	
Rotklee 2010 3. Schnitt	Ende Blüte	Spross, Stoppel	200	
Weizen nach SP 2008	Totreife	Korn, Stroh	277	C, N
Weizen nach SP 2009	Totreife	Korn, Stroh	270	C, N
Weizen nach AB/RK 2009	Totreife	Korn, Stroh	270	C, N
Weizen nach AB/RK 2010	Totreife	Korn, Stroh	276	C, N

## Bodenbearbeitung

Der Versuchsfaktor Bodenbearbeitung umfasste eine tiefwendende und eine flachwendende Bodenbearbeitung. In der tiefwendenden Bearbeitungsvariante wurde nach der Stoppelbearbeitung an allen Standorten eine Bearbeitung mit dem Pflug durchgeführt, wobei der Boden bis in eine Tiefe von 25-30 cm bearbeitet wurde. In der flachwendenden Bearbeitung erfolgte die Stoppel- und die Grundbodenbearbeitung mit dem Stoppelhobel (Firma Zobel-Stahlbau, Rot am See), wobei der Boden bei der Grundbodenbearbeitung bis in eine Tiefe von 7-9 cm (Köllitsch), 8-12 cm (Trenthorst) und ca. 8 cm (Neu-Eichenberg) bearbeitet wurde. Die Grundbodenbearbeitung erfolgte am Standort Trenthorst im Herbst und am Standort Köllitsch im Frühjahr. Zu den Nachfruchtversuchen an den Standorten Köllitsch und Trenthorst wurde der Boden erneut differenziert bearbeitet. Am Standort Neu-Eichenberg wurde die Bodenbearbeitung im August vor Aussaat der Biofumigationszwischenfrüchte, im Frühjahr zur Saatbettbereitung der Erbsen und im Sommer zur Saatbettbereitung für den Winterweizen durchgeführt. Alle Flächen wurden vor Beginn der Versuche langjährig tiefwendend bearbeitet.

## Bodenbelastung

Mit einem an der LfL in Anlehnung an den „Sensor Fitted Load-frame“ (DENKER et al. 2007) konstruierten und aufgebauten Belastungswagen wurden die Parzellen der Versuche 8-T, 8-K, 10-M, 10-P und 10-F an den Standorten Trenthorst (nur Pflugvariante), Köllitsch (nur

Pflugvariante), Mammendorf, Petershausen, Eichenberg und Frankenhausen jeweils im Frühjahr mit 2,6 t oder 4,6 t Radlast ganzflächig überrollt. Zusätzlich gab es Kontrollparzellen, die unbelastet blieben (0 t). Für die Belastung wurde ein Standard-Radialreifen (Michelin 650/65 R 38 Multibib Tubeless) so im Belastungswagen montiert, dass nur der Parzellenbereich zwischen der Fahrspur des Schleppers überrollt wurde. Der Reifenluftdruck wurde nach Reifenluftdrucktabelle des Herstellers für 30 km/h Fahrgeschwindigkeit (= Straßenfahrt zum Feld ohne zusätzliche Luftdruckabsenkung im Feld) eingestellt: 0,6 bar bei 2,6 t und 1,6 bar bei 4,6 t Radlast. Das Leergewicht des Belastungswagens betrug 2,6 t, die Radlast von 4,6 t wurde durch Einhängen von Gewichten in den Rahmen erreicht. Die Geschwindigkeit beim Überrollen betrug zwischen 6 und 7 km h/h. Die Breite der Parzelle betrug 130 cm, die des Reifens 65 cm, daher wurden zwei "Belastungstreifen" in gegenläufiger Fahrtrichtung nebeneinander gelegt. Nach der Überrollung erfolgte die Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge (8 cm Arbeitstiefe) und die Aussaat von Erbse ('Santana') und Erbse-Hafer-Gemenge ('Santana' mit 'Dominik').

Ziel war es, Belastungssituationen zum Zeitpunkt der Saatbettbereitung bzw. der Aussaat im Frühjahr zu simulieren. Der Zeitpunkt der Belastung wurde so gewählt, dass der Oberboden abgetrocknet und tragfähig war, und spiegelte damit eine Bearbeitung und Befahrung entsprechend der guten fachlichen Praxis wider. Die Versuche wurden innerhalb eines Standortes jedes Jahr auf einem anderen Feldstück angelegt, d. h. es fand keine Mehrfachüberrollung der Parzellen statt.

Die gewählte Radlast von 2,6 t entspricht in etwa der Hinterradlast eines 120-PS-Schlepper mit angebauter aktiver Bestellkombination in Arbeitsposition (3 m Arbeitsbreite) bzw. einer aufgesattelten Bestellkombination in Arbeits- oder Transportstellung; die Radlast von 4,6 t entspricht in etwa der Hinterradlast bei ausgehobener Bestellkombination.

## Biofumigation mit Zwischenfrüchten

Zur Untersuchung der krankheitsvermindernden Wirkung von Zwischenfrüchten wurden Zwischenfrüchte mit unterschiedlichen Gehalten an Glucosinolaten angebaut. Diese wurden im Herbst nach der Blüte gehäckselt und eingearbeitet. Tabelle 9 gibt eine Übersicht über die untersuchten Zwischenfrüchte.

**Tabelle 9: Übersicht über die in den Biofumigationsversuchen untersuchten Zwischenfrüchte**

Zwischenfrucht	Detail
Weißer Senf ( <i>S. alba</i> )	'Samba' 25 kg/ha. Mittlerer Biomasseertrag, geringe Gehalte an Sinalbin
Ölrettich ( <i>R. sativus</i> conv. <i>oleiformis</i> )	'Colonel' 30 kg/ha. Hoher Biomasseertrag, mittlere Gehalte an Glucoraphein
Sareptasenf ( <i>Brassica juncea</i> )	'Terrafit' 12 kg/ha. Mittlerer Biomasseertrag. Hohe Gehalte an Sinigrin

## Gemengeanbau

Der Versuchsfaktor Gemengeanbau umfasste in den Versuchen mit Sommererbsen (Versuchsansätze 1, 8-12) eine Sommererbsen-Reinsaat (Saatstärke: 80 Körner/m<sup>2</sup>), eine Hafer-Reinsaat (Saatstärke: 300 Körner/m<sup>2</sup>) und ein Sommererbsen-Hafer-Gemenge (80 Körner Sommererbsen + 60 Körner Hafer/m<sup>2</sup>). Angebaut wurde die halbblattlose Sommererbsen-Sorte 'Santana' und die Hafer-Sorte 'Dominik'. In allen Versuchen wurde Saatgut gleicher Herkunft verwendet. Der Gemengeanbau erfolgte in Form eines Gemenges mit einem Reihenabstand zwischen 12,5 und 13,0 cm bei einer Saattiefe von 4-6 cm.

In den Versuchen zum Gemengeanbau von Wintererbsen (Versuchsansätze 13, 14) wurde in allen vier Versuchsjahren (2008/09-2011/12) die normalblättrige, buntblühende Wintererbsen-Sorte 'E.F.B. 33' (kurz: 'EFB') verwendet. Zusätzlich wurde in den Jahren 2009/10 bis 2011/12 die halbblattlose, weißblühende Wintererbsen-Sorte 'James' untersucht. In Versuchsansatz 13 wurden die Wintererbsen in Reinsaat und in Mischsaaten mit Raps (Sorte 'Visby') und Triticale (Sorte 'Grenado'/'Tarzan') angebaut. Unterschiedliche Saatstärkenverhältnisse von Wintererbsen und Triticale wurden in Versuchsansatz 14 getestet und mit den entsprechenden Reinsaaten verglichen. Die Reinsaat-Saatstärke betrug bei Wintererbsen sowie Raps 80 Körner/m<sup>2</sup> und bei der Triticale 300 Körner/m<sup>2</sup>. Die untersuchten Saatstärkenverhältnisse einschließlich ihrer Abkürzungen sind in Tabelle 10 angegeben. Die Saat der Kulturen erfolgte in alternierenden Reihen, wobei die Wintererbsen und die Triticale gemeinsam auf eine Tiefe von 4-6 cm gesät wurden. Bei der Saat der Mischsaaten von Wintererbsen und Raps wurde dagegen absätzig vorgegangen. Zunächst wurden die Wintererbsen auf 4 cm Tiefe ausgesät. In einer zweiten Überfahrt wurde dann der Raps auf eine Tiefe von 1-2 cm gesät. Der Reihenabstand betrug 12,5 cm mit Ausnahme der Raps-Reinsaaten, die mit einem Abstand von 25 cm ausgesät wurden. Geplant war in Versuchsansatz 13 ein Saattermin Mitte September, der in den ersten beiden Versuchsjahren auch eingehalten werden konnte (13. September 2008, 10. September 2009). Witterungsbedingt konnte der Versuch im Jahr 2010/11 erst am 11. Oktober 2010 angelegt werden. Die Saat der Versuche von Versuchsansatz 14 erfolgte an beiden Versuchsstandorten am 4. Oktober 2011. Der Mischfruchtanbau von Wintererbsen und Triticale erfolgte in Form eines Gemenges.

**Tabelle 10: Übersicht über die in den Wintererbsen-Versuchen untersuchten Saatstärken-Verhältnisse der Gemenge (keimfähige Körner/m<sup>2</sup>).**

Abkürzung	Abkürzung	Winter-erbse	Triticale	Raps	Versuchs-ansatz	Versuchsjahr
Wintererbsen-Raps-MS1	EFB-RA-MS1	60		20	13	2008/09
Wintererbsen-Raps-MS2	EFB-RA-MS2	40		40	13	2008/09
Wintererbsen-Raps-MS3	EFB-RA-MS3	20		60	13	2008/09
Wintererbsen-Raps-MS4	EFB-RA-MS4	40		60	13	2009/10-2010/11
Wintererbsen-Triticale-Mischsaat	EFB-TR-MS/ James-TR-MS	40	150		13	2008/09-2010/11
Wintererbsen-Triticale-Gemenge1	WE-TR1	60	150		14	2011/12
Wintererbsen-Triticale-Gemenge2	WE-TR2	60	75		14	2011/12
Wintererbsen-Triticale-Gemenge3	WE-TR3	40	150		14	2011/12
Wintererbsen-Triticale-Gemenge4	WE-TR4	40	75		14	2011/12
Wintererbsen-Triticale-Gemenge5	WE-TR5	20	150		14	2011/12
Wintererbsen-Triticale-Gemenge6	WE-TR6	20	75		14	2011/12

### 3.1.3 Praxisversuche

#### Praxisversuche zum Einsatz von Gehölzhäcksel

Die Anlage der Praxis- und Demonstrationsversuche mit Gehölzhäcksel erfolgte in den Jahren 2010 und 2011 an insgesamt 6 Standorten. In Tabelle 11 sind Bodenart, Ausbringungstermin, Aufwandmenge und Anlageform der einzelnen Versuche aufgeführt. Der Standort Freising (Bayern) wurde in der vorliegenden Auswertung nicht berücksichtigt, da keine Handernte der Kultur und des Unkrautes durchgeführt werden konnte. Die Ausbringung der Gehölzhäcksel erfolgte an allen Standorten vor der Saat, die Einarbeitung erfolgte flach mit einer Kreiselegge in einer Tiefe von 4 bis 10 cm. Von der Saat bis zur Ernte wurden keine Maßnahmen einer mechanischen Unkrautregulierung durchgeführt. Größtenteils wurden die Versuche in Form von Streifen angelegt, indem auf ausgewählten Abschnitten eines Schrages Gehölzhäcksel ausgebracht wurde und die Saat mit einer konventionellen Sämaschine erfolgte. An den Standorten Dresden und Köllitsch wurde der Versuch in Form einer Spaltanlage mit Obereinheit Düngestufe und Untereinheit Kulturart angelegt. Zusätzlich zu den Varianten ohne und mit Gehölzhäcksel an allen Standorten wurde am Standort Trenthorst (2010) eine Variante mit Holzhackschnitzel und am Standort Frankenhausen (2011) eine Variante ohne und mit Unkrautregulierung und eine Variante Ausbringung vor und nach der Saat in den Versuch aufgenommen. Die Beerntung mit der Hand und die Ermittlung der Trockenmasse von Korn und Unkraut erfolgte analog der Beschreibung in Kapitel 3.1.2.2.

**Tabelle 11: Bodenart, Termin der Ausbringung, Aufwandmenge und Anlageform in Demonstrationsversuchen mit Gehölzhäcksel in den Jahren 2010 und 2011**

Standort	Bodenart	Termin Düngung	Aufwandmenge [dt/ha]	Versuchsaufbau
KH	Su3	25.03.2010	480	Streifen
KH		21.03.2011	230	Streifen
TH	Ls3	16.04.2010	114	Streifen
TH		11.04.2011	134	Streifen
TH		29.03.2011	215	Streifen
DD	Sl3	19.03.2010	255	Spaltanlage
Köll	Sl3	23.03.2011	250	Spaltanlage
FH	Ut3	31.03.2011	300	Streifen

KH – Krummhesse, TH – Trenthorst, DD – Dresden, Köll – Köllitsch, FH - Frankenhausen

#### Praxisversuche zum vergleichenden Gemengeanbau von Sommer- und Wintererbsen

Die Praxisversuche zum vergleichenden Gemengeanbau von Sommer- und Wintererbsen mit Getreide wurden im Versuchsjahr 2011/12 auf jeweils einer Praxisfläche in Sachsen (Dürröhrsdorf) und Bayern (Jedenhofen) und auf zwei Praxisflächen in Schleswig-Holstein (Trenthorst, Krummhesse) durchgeführt (Tabelle 12). Dabei wurde jeweils der Gemengeanbau einer Wintererbsen-Sorte mit Triticale sowie einer halbblattlosen Sommererbsen-Sorte mit Gerste in einer Streu- bzw. Streifenanlage verglichen. Es wurden praxisübliche Saatstärken verwendet.



**Tabelle 12: Übersicht über die Praxisversuche zum Gemengeanbau von Winter- und Sommererbsen**

Kurzbezeichnung	Institution	Standort	Wintererbsen-Triticale-Gemenge		Sommererbsen-Gersten-Gemenge	
			Wintererbse	Triticale	Sommererbse	Gerste
PVM-1	HTW	Dürröhrsdorf	E.F.B. 33	Benetto/Massimo	Respect/Rocket	Djamila
PVM-2	LFL	Jedenhofen	James	n.b.	Santana	n.b.
PVM-3	TI	Trenthorst	E.F.B. 33	Tarzan	Respect	Djamila
PVM-4	TI	Krummesse	E.F.B. 33	Tarzan	Casablanca	Armada

### 3.1.4 Entwicklung eines Düngapplikationsverfahren

#### Beschreibung Technikentwicklung

Die Entwicklung einer Drillmaschine mit Reihenapplikationsaggregaten für die gleichzeitige Ausbringung von Saatgut und Kompost sowie der Bau eines Kompostbunkers erfolgten in mehreren Schritten. Zunächst wurden in einer ersten Entwicklungsphase grundlegende Untersuchungen zum Rieselverhalten mit Komposten unterschiedlicher Körnung und Feuchtigkeitsgehalte durchgeführt. Daran schlossen sich Arbeiten zur Dimensionierung des Bunkers mit Veränderung der Neigungswinkel der Seitenwände zur Eliminierung von Brückenbildungen an, es wurden Rührwellen und verschiedene Austragsschnecken entwickelt, Saatgutschaare und Furchenkörper angepasst sowie schließlich die Verteilgenauigkeit der Maschine in Prüfstandsversuchen überprüft. In der Erprobungs- und Demonstrationsphase wurde die Maschine in Feldversuchen eingesetzt.

#### Beschreibung Feld- und Gefäßversuche

##### Feldversuche

Zur Prüfung der phytosanitären Wirkung von gezielt in die Saatfurche appliziertem Grüngutkompost gegenüber pilzlich verursachten Pflanzenkrankheiten wurden sechs Reihenapplikationsversuche angelegt: vier am Standort Neu-Eichenberg (5-E10, 5-E11, 6-E11, 7-E12) und zwei in Frankenhausen (6-F12 und 7-F12) (siehe Tabelle 3, Versuchsansätze 1 - 7). Die Kompostapplikation in die Saatreihen wurde in den Versuchsansätzen mit dem Code 5 per Hand durchgeführt, nachdem die Saatfurche mit dem Säschar vorgezogen worden war. Die Versuche mit dem Code 6 und 7 wurden mit der Drillmaschine mit Reihenapplikationsaggregaten angelegt (Abbildungen). Die Maschine ist im Detail unter Kapitel 4.4.1 beschrieben. In den Versuchen 6-F12 (Sommererbse) sowie 7-F12 (Wintererbse) wurde die suppressive Wirkung des Kompostes in Reihenapplikation zusätzlich mit einer Flächenapplikation verglichen. In beiden Versuchen wurde die Flächenapplikation von Hand durchgeführt und vor der Saat mit der Fräße 10 cm tief eingearbeitet.

Insgesamt wurden 11 verschiedene Komposte im Feld getestet, deren potentielle Suppressivität gegenüber bodenbürtigen Schaderregern parallel in Biotests (vgl. Unterkapitel Beschreibung Gefäßversuche) geprüft wurde. Mit Ausnahme von Kompost Nr. 3 (Bioabfall-Grüngutkompost) handelte es sich um reine Grüngutkomposte verschiedener Herkunft. Im Reihenapplikationsversuch 6-F12 wurde in den Kontrollparzellen ohne Kompost eine Ausgleichsdüngung mit Kalimagnesia (Kali und Salz AG) und Rohphosphat Litho-Physalg 25 (Fa. Timac) vorgenommen. Basis der Ausgleichsdüngung war die Kompost-Variante mit 18 t TS/ha. Alle

anderen Versuche erhielten keine Ausgleichsdüngung. Angaben zu den Nährstoffgehalten und zu den eingesetzten Kompostmengen sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Prüfkultur war in allen Versuchen Sommererbse (Sorte 'Santana'), mit Ausnahme der Versuche 7-E12 und 7-F12, bei denen Wintererbsen (Sorte 'EFB33') verwendet wurden. Die Saatstärke betrug 80 Körner/m<sup>2</sup>. Wintererbsen wurden in Reinsaat (80 Körner/m<sup>2</sup>) und im Gemenge mit Triticale (Sorte 'Benetto') (50 Körner/m<sup>2</sup> Erbse/100 Körner/m<sup>2</sup> Triticale) eingesetzt. Alle Versuche wurden in Reihenabständen von 30 cm angelegt. In der Regel wurden die Versuche mit Sommererbse in der ersten Aprildekade gesät; der Versuch 6-E11 wurde am 26. Mai 2011 angelegt, um noch im Jahr 2011 den Einsatz der Maschine im Feldversuch zu überprüfen; dieser Versuch wurde nicht bis zur Ernte gebracht, sondern wurde zum Stadium 61 auf Krankheitssymptome bonitiert und dann abgebrochen. Die Wintererbsenversuche wurden am 5. Oktober 2011 (7-E12) und am 17. Oktober 2011 (7-F12) gedrillt.

Erhebungen zum Effekt der Komposte waren zum einen die Bonitur der Krankheitssymptome und die Bestimmung der Läsionslängen auf den Wurzeln, zum anderen die Ertragserhebungen (siehe auch Kap. 3.2.5).

**Tabelle 13: Analysedaten der verwendeten Komposte und deren Einsatz in Biotests und Reihenapplikationsversuchen**

Nr.	TS	Vol.Gew	EC	pH	K	P	Nt	Ct	C/N	NO3-N	NH4-N	Biotest Nr.	Feldversuche	Menge im Feldversuch
	(%)	(g/l)	(µS/cm)		mg/kg (TS)	mg/kg (TS)	(%)	(%)		mg/kg (TS)	mg/kg (TS)			t TS / ha
1	45,3	377	908	5,7	4477,8	506,3	1,0	27,1	27,8	1,2	213,5	11	5-E10	2,5 und 5
2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4522,9	406,7	1,4	18,8	13,1	119,6	n.n.	11	5-E10	2,5 und 5
3	62,7	773	1046	8,0	8691,8	1487,4	1,4	18,8	13,1	190,8	n.n.		5-E10	2,5 und 5
4	60,9	685	833	7,4	6075,8	711,1	1,2	17,7	14,3	206,7	33,3		5-E10	2,5 und 5
5	48,4	449	537	7,8	7967,4	1142,5	1,5	38,0	26,0	0,0	22,6	3, 4	5-E11	2,5 und 5
6	55,8	687	699	8,0	6860,9	1125,5	1,2	19,2	15,6	82,6	12,1	3, 4	5-E11	2,5 und 5
7	51,1	809	402	7,7	3700,9	811,3	1,1	16,9	15,9	70,4	26,8	3, 4, 13, 14	5-E11	2,5 und 5
8	61,4	625	832	7,5	9360,0	1348,9	1,4	17,9	12,4	430,7	8,4	3, 4	5-E11 6-E11	2,5 und 5 5
9	66,7	408	533	6,9	5096,3	477,2	1,2	26,9	22,9	0,4	0,7	6, 7	6-F12	5 und 18
10	53,4	429	604	7,9	7832,8	1265,3	1,8	29,9	16,9	58,0	60,7	5	7-F12	5 und 18
11	55,1	630	762	8,0	7437,3	1219,2	1,2	16,4	13,8	59,7	13,5	5, 12	7-E12	5

## Beschreibung Gefäßversuche

Gefäßversuche dienen als Standardnachweisverfahren zur Sicherstellung des suppressiven Potentials der Komposte, die in Feldversuchen eingesetzt worden sind. Außerdem werden sie zum prinzipiellen Nachweis gegenüber relevanten bodenbürtigen Erregern herangezogen, die an Erbsen Wurzelkrankheiten verursachen können wie *P. medicaginis*, *M. pinodes* oder *Fusarium* spp. Dies wurde im Rahmen des Projektes etabliert. Als bewährtes Verfahren wurde ein System mit *P. ultimum* und Erbse eingesetzt. Das Prinzip des Biotestes besteht in einem Vergleich eines Basissubstrates, welches mit Kompost behandelt ist, mit dem gleichen Substrat ohne Kompost. Das Basissubstrat ist sterilisiert und in der Regel mineralisch, damit alle Einflüsse des Substrates selbst möglichst gering bleiben. Beide Varianten werden künstlich in mehreren Infektionsstufen mit einem unter Standardbedingungen gehaltenen hochvirulenten Erreger inokuliert, mit empfindlichem Saatgut angesät und nach einer definierten Zeitspanne unter kontrollierten Bedingungen auf diverse Pflanzenparameter wie Wurzelläsionen, Sproß- oder Wurzelgewicht, Anzahl gekeimter Pflanzen und Pflanzenzustand untersucht. Zur Vermeidung von Nährstoffeinflüssen wird die Kontrollbehandlung ohne Kompost mit einer definierten Nährstofflösung in ausreichendem Maß gedüngt. In Tabelle 14 findet sich eine Auflistung der wesentlichen Gefäßversuche. Zusätzlich zum Biotest unter sterilen Bedingungen wurden Tests mit natürlicher und künstlicher Infektion von Böden in gleicher Weise angelegt bzw. alternativ zur Kompostbehandlung agglomerierte Kompostpellets – im weiteren als Pellets bezeichnet – eingesetzt. Bis auf 3 Komposte, die ausschließlich in Biotests angewendet wurden, sind alle weiteren Komposte in Tabelle 13 gelistet. Die drei verbliebenen Komposte lagen bzgl. ihrer Charakteristika in gleicher Größenordnung wie die in Tabelle 13 gezeigten Daten und finden sich im Anhang.

**Tabelle 14: Auflistung der Biotests zum Nachweis suppressiver Effekte von Komposten gegenüber den Erregern *P. medicaginis* und *P. ultimum***

Biotests im sterilen System			
Biotest Nr.	Erreger	Inf. Stufen	Anzahl untersuchter Komposte
<b>Nachweis des suppressiven Potentials von Komposten</b>			
1	<i>P. medicaginis</i>	7	1
2	<i>P. medicaginis</i>	4	3
3	<i>P. ultimum</i>	3	4
4	<i>P. medicaginis</i>	3	4
5	<i>P. ultimum</i>	3	2
6	<i>P. medicaginis</i>	3	1
7	<i>P. medicaginis</i>	3	1
<b>Kompost lose vs. pelletiert</b>			
8	<i>P. ultimum</i>	3	1
9	<i>P. medicaginis</i>	3	1
10	<i>P. ultimum</i>	3	1

Biotests im nicht-sterilen System				
Biotest Nr.	Erreger	Inf. Stufen	Boden	Anzahl untersuchter Komposte
<b>Suppressive Wirkung von Kompost in natürlich hochbelastetem Boden (simulierte Reihenapplikation)</b>				
11	<i>natürlich</i>	-	Saurasen NEB	2
<b>Suppressive Wirkung von Kompost in natürlich und künstlich infiziertem Boden</b>				
12	-	-	Holzbeck DFH	1
13	<i>P. ultimum</i>	5	Holzbeck DFH	1
14	<i>P. medicaginis</i>	5	Holzbeck DFH	1

### 3.1.5 Differenzialdiagnose

Im Rahmen des WP 5 "Boden- und Pflanzengesundheit" sollten die Ursachen der Bodenmüdigkeit im Anbau von Körnerleguminosen eingengt werden. Um dies zu erreichen, wurde ein zweistufiger Bodenmüdigkeitstest (modifiziert nach Bouhot) durchgeführt. In einer ersten Stufe wurde die Ursache grob eingegrenzt (Nährstoff-, Toxizitäts- oder biotisches Problem). In einer zweiten Stufe wurde dann die Ursachen genauer untersucht (z. B. im Fall eines biotischen Problems: Abklärung der verantwortlichen Organismengruppe).

Um dies zu realisieren, wurde in 23 augenscheinlich Praxis schlägen mit einem Spaten je eine repräsentative Bodenprobe von 200 Liter Erde in den obersten 20 cm des Bodens entnommen. Der Boden wurde bei den Probenahmen auf 10 mm gesiebt, in Styroporboxen gegeben und dann bis zur Verwendung bei 3°C gelagert.

Die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften der Böden wurden charakterisiert: Korngrössenzusammensetzung, pH-Wert, Nährstoffgehalt, Enzymaktivitäten, Anwesenheit von gesundheitsrelevanten Pilzen, Bakterien und Nematoden, Krankheitsrezeptivität, Einfluss auf die Resistenz der Böden.

Alle Bodenproben wurden dann im Topfversuch dem zweistufigen Differenzialdiagnosetest unterzogen. Das Ziel der ersten Stufe war herauszufinden, wie stark die Bodenmüdigkeit ist, und ob sie durch ein Nährstoffungleichgewicht, durch die Anwesenheit von toxischen Substanzen oder durch Schadorganismen verursacht wurde. Um dies zu realisieren, wurden die Erdproben in vier Teilproben aufgeteilt, die verschieden behandelt wurden: unbehandelter Boden, wöchentliche Zugabe von Nährlösung, Zugabe von Aktivkohle (10 g pro Liter Erde) oder Sterilisation der Erde (mit Gammabestrahlung oder Hitzebehandlung). Wenn die Gammastrahlung der Erde eine deutliche Verbesserung des Erbsenwachstums zur Folge hatte, war die Bodenmüdigkeit höchstwahrscheinlich durch Organismen verursacht. Um abzugrenzen, welche Organismengruppe an der Bodenmüdigkeit beteiligt war, wurde die Differenzialdiagnose Stufe 2 durchgeführt. Die Erde wurde dabei fünf verschiedenen Behandlungen unterzogen: unbehandelter Boden, Bodenbehandlung mit Vertimec (0,05 ml/Liter Erde) (gegen Nematoden), Bodenbehandlung mit Fongamil (0,025 ml/Liter Erde) (gegen Oomyceten), Bodenbehandlung mit Benlate (1 g/Liter Erde) (gegen höheren Pilze), Bodenbehandlung mit Monceren 250FS (15,7 µl/Liter Erde) (gegen Rhizoctonia-Pilze).

Um die potenziellen Ursachen auch in den noch relativ wenig betroffenen Böden herauszukristallisieren, wurde versucht, mit Hilfe eines Meso-Kosmos (nach FLIESSBACH und MÄDER, 2004) die Bodenmüdigkeitssymptomen zu verschärfen. Dafür wurden Rakoboxen von

20 Liter Inhalt und mit Drainagematten auf dem Boden mit Erde gefüllt, und drei Mal hintereinander Erbsen angebaut.

Die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen wurden analysiert, um herauszufinden ob diese Methode dem Praktiker in der Praxis helfen kann, um das Risiko von Ernteverlusten bei Ackerbohne und Erbse auf einem Schlag abzuschätzen.

### 3.1.6 Ökonomische Analysen

#### Konzept

Die ökonomische Bewertung der Teilziele 1 bis 5 basiert einerseits auf den in WP 1 untersuchten landwirtschaftlichen Praxisbetrieben und andererseits auf den Exaktversuchen der WP 2 bis WP 5. Praxisnahe Betriebsmodelle sowie die in Exaktversuchen quantifizierten relativen Kosten- und Nutzendifferenzen ermöglichen betriebspezifische und auch generalisierte Aussagen zur Bewertung von Maßnahmen (Abbildung 4). Die gewählte Vorgehensweise hat den Vorteil, dass auf Grundlage real existierender Betriebe deren Spezifika bezüglich Standortbedingungen, Betriebsstruktur, Mechanisierungskonzepten, Fruchtfolge und Bewirtschaftungsverfahren berücksichtigt werden. Diese wurden im Bedarfsfalls durch standardisierte Daten ergänzt (Details siehe unten).

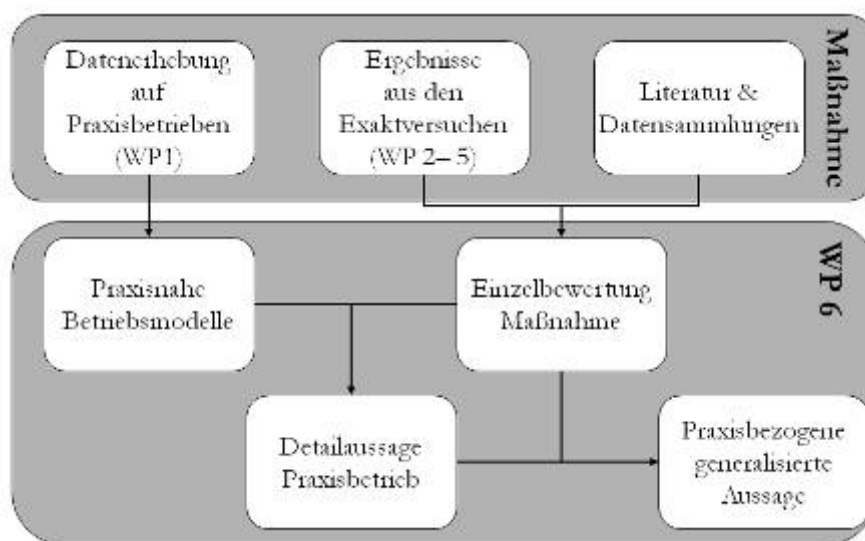


Abbildung 4: Konzept der ökonomischen Bewertung in WP 6

Für die ökonomischen Bewertungen wurden Deckungsbeiträge (DB) sowie direkt- und arbeitsleistungskostenfreie Leistungen (DAkL) (nach den Standards von KTBL und DLG (vgl. KTBL 2011, DLG 2007, DLG 2011) für die hierarchisch gegliederten Ebenen Kulturen – Fruchtfolgen – Betriebszweig Ackerbau berechnet. So konnten maßnahmenangepasste Kosten-Nutzen-Bewertungen je Maßnahme, je Praxisbetrieb und in der Gesamtheit der jeweils ausgewählten Praxisbetriebsmodelle vorgenommen werden.

#### Datenerhebung - Praxisbetriebe:

Mittels standardisierter Fragebögen wurden im Jahr 2009 betriebliche, standörtliche und ackerbauliche Parameter der 32 Betriebe (siehe Tabelle 15) abgefragt. Im Jahr 2010 wurden offene



oder unklare Aspekte nacherhoben. Die Befragungen wurden im Zusammenhang mit der allgemeinen Betriebserhebung durch WP 1 durchgeführt.

**Tabelle 15: Erhobene und in WP 6 ausgewertete Parameter der Praxisbetriebe**

<b>Standort</b>	Höhe; Niederschlag, Temperatur, Bodenart, Bodentypen; Ackerzahl ...
<b>Betriebsstruktur</b>	Betriebszweige, Acker- & Grünlandfläche; Eigen- & Pachtlandanteil, Pachtpreisniveau, durchschnittliche Schlaggröße und -entfernung, Tierarten und Anzahl Tiere; Futter- & Strohbedarf; Düngereinsatz, Arbeitskraftangebot (gesamt und Ackerbau)
<b>Maschinenbesatz</b>	Schlepper und Geräte im Ackerbau (Typ, Alter, PS/KW, Arbeitsbreite, Ausführung, Spezifizierung)
<b>Ackerbau</b>	Angebaute Kulturen, Fruchtfolgen, Düngemittel (Art, Mengen, eigen/Import), alle ackerbaulichen Maßnahmen je Kultur (detaillierte Beschreibung: Geräte & Schlepper, Zeitpunkt, Arbeitstiefe, Geschwindigkeit, Sorte, Aussaatstärke, Durchführung der Arbeiten: Betrieb / Maschinenring, etc.), Anbauumfang je Kulturart und Zwischenfrucht, Erträge & z. T. Qualitäten der angebauten Kulturarten

Notwendige Kalkulationsdaten, deren Erhebung auf den landwirtschaftlichen Betrieben nicht oder nur sehr unbefriedigend möglich gewesen wäre, wurden aus Standardwerten des KTBL-Onlinetools ([www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)) übernommen. Hierzu zählten die variablen und fixen Schlepper- und Maschinenkosten und die Arbeitszeiten für die einzelnen Arbeitsgänge, individuell nach den betrieblichen Gegebenheiten spezifiziert.

Preise für Verkaufsware, Saatgut, Düngemittel und andere Aufwendungen wurden einheitlich aus Standardwerten des KTBL-Onlinetools angesetzt, um Zufälligkeiten und den Einfluss von Vermarktungs- und Verhandlungsgeschick einzelner Landwirte zu eliminieren. Die Datenherkunft der einzelnen Faktoren ist in Tabelle 16 aufgegliedert.

**Tabelle 16: Datengrundlage und -herkunft für die Berechnung der DB und DAkL in WP 6**

Daten	Berechnungsgrundlage	Herkunft der Daten
Fruchtfolge(n) auf dem Betrieb/ Anteil der Kulturen am Umfang insgesamt angebaute Kulturen	Betriebsindividuell	Betriebserhebung
Erträge	Betriebsindividuell	Betriebserhebung
Bewirtschaftungsmaßnahmen in den einzelnen Kulturen	Betriebsindividuell	Betriebserhebung
Düngung (Art, Menge, Umfang)	Betriebsindividuell	Betriebserhebung
Zu- und Verkaufspreise	Einheitlich über alle Betriebe	KTBL 2011
Variable und Fixe Maschinenkosten	Einheitlich über alle Betriebe	KTBL 2011 und KTBL-ONLINETOOL, spezifiziert nach betrieblichen Rahmenbedingungen
Lohnarbeit	Umfang: betriebsindividuell; Kosten: betriebsindividuell falls genannt, ansonsten einheitlich ergänzt	Betriebserhebung bzw. Maschinenkostensätze NRW (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW 2009 u. 2010)
Arbeitszeitbedarf	Einheitlich über alle Betriebe; Bewertung: 15,- €/Akh	KTBL 2011 und KTBL-ONLINETOOL

## **Datenerfassung und -verwaltung:**

Die betrieblichen Daten wurden in ein excelbasiertes Deckungsbeitragsrechnungstool (DB max, Herausgeber: Triesdorf Consult GmbH & Co. KG) übertragen und damit Deckungsbeiträge für die einzelnen Kulturen und Fruchtfolgen berechnet. Für die Auswertung veränderter, optimierter Bewirtschaftungsverfahren wurden die Anbauverfahren bei den betroffenen Kulturen entsprechend abgeändert. Die Ergebnisse wurden in mysql-Datenbanken (Herausgeber: ORACLE Deutschland B.V. & Co. KG) überführt. Die Datenbank wurde für die Berechnung der DB und DAkL der einzelnen Kulturen, Fruchtfolgen und des Betriebszweiges Ackerbau betriebsindividuell für die Auswertung des Status quo wie auch für die Bewertung der geänderten Bewirtschaftungsmaßnahmen genutzt. Berechnungsbasis der DB und DAkL ist jeweils der DB und DAkL Hektar Ackerland (je ha AL).

In die Datenbank aufgenommen wurden zusätzlich die Betriebs- und Standortspezifika, so dass je nach zu bearbeitender Fragestellung die entsprechenden Datensätze für die weitere Auswertung abgerufen werden können.

## **Datenauswertung und -analyse:**

Die deskriptive Statistik, Varianz- und Korrelationsanalyse wurde in r-Project (R FOUNDATION) durchgeführt.

Für die Bewertung der bodenfruchtbarkeitsverbessernden Maßnahmen und veränderten Bewirtschaftungsverfahren wurde zusätzlich eine Risikoanalyse durchgeführt (vgl. COTTIN & DÖHLER 2009). Hierfür wurde die Monte-Carlo-Simulation (MCS) angewendet, die mit dem excelbasierten Programm @risk (Herausgeber: Palisade Corporation) durchgeführt wurden.

## **Allgemeine Auswertung der Status quo-Situation und Systemanalyse auf den Betrieben**

Die Auswertung ausgewählter Parameter hinsichtlich Standort, Betriebsstruktur, Mechanisierung, Bewirtschaftungsverfahren und angebaute Kulturen erfolgte mittels deskriptiver Statistik und Korrelationsanalysen. Hierfür konnten die Daten von 30 Betrieben genutzt werden.

Die Systemanalytische Identifizierung der Auswirkung des Körnerleguminosenanbaus auf den untersuchten Praxisbetrieben wurden in Ergänzung zu den Untersuchungen aus WP 1 über theoretische Ansätze (vgl. BOSSEL 2004) und darüber hinaus über die deskriptive statistische Auswertung der betriebswirtschaftlichen Parameter erreicht.

Für die Körnerleguminosen wurden zusätzlich in den Untersuchungsjahren die aktuellen Aussaat- und Erntemengen sowie die ackerbaulichen Maßnahmen detailliert abgefragt. Für die Auswertung der betriebswirtschaftlichen Ergebnisse der Körnerleguminosen standen Angaben von insgesamt 67 Feldschlägen mit Futtererbsen und von 48 Feldschlägen mit Ackerbohnen aus den Jahren 2009 bis 2012 zur Verfügung. Für Vergleiche standen die durchschnittlichen Bewirtschaftungsdaten von 16 Futtererbsen-, 19 Ackerbohnen- und 33 Winterweizenverfahren zur Verfügung.

## **Spezifika zur ökonomischen Bewertung ausgewählter Maßnahmen**

Für die Darstellung der ökonomischen Bewertungsmethode wurden einzelne der in Projekt untersuchten und erforschten bodenfruchtbarkeitsverbessernder Maßnahmen ausgewählt. Aus dem Datenpool der landwirtschaftlichen Betriebe wurden jene ausgewählt, für die die entsprechende Maßnahme aufgrund angebaute Kulturen, Standortgegebenheiten und der Mechanisierung grundsätzlich möglich ist. Unterstellt wurde, dass die Maßnahme auf dem Betrieb angewendet wird und die Anbaumaßnahmen entsprechend abgeändert. Die Aufwendungen und Auswirkungen der Maßnahme wurden aus den Feldversuchsergebnissen in Relation zu den Bedingungen auf dem jeweiligen Betrieb übertragen.

Angepasster Reifeninnendruck:

- >Basis: Untersuchungen zur Auswirkung von unterschiedlicher Bodenschadverdichtung auf Erbsen, Hafer und Erbsen-Hafer-Gemenge – Bezug ausschließlich auf Erbsen aufgrund uneinheitlicher Ertragsauswirkungen auf den Hafer (vgl. WP 4)
- >Ansatz: Verringerung des Kontaktflächendrucks durch angepassten Reifeninnendruck mittels nachgerüsteter Reifeninnendruckregelanlage (RDA) für Schlepper im Ackerbau
  - je an beiden Achsen, Bedienung vom Schlepplersitz während der Fahrt
  - Kaufpreis: 4000 €, Nutzung: 12 Jahre/ 10.000 Std., variable Kosten: 0,14 €/Akh (BRUNOTTE et al 2011)
- >Auswirkung:
  - Übertrag der Ertragsauswirkungen aus den Ergebnissen der Versuche: Verringerung des Kontaktflächendrucks synonym zur Verringerung der Bodenbelastung von 4 t auf 2,6 t sowie in Bezug auf die belastete Fläche durch Standardschlepperreifen (650 mm) bei 3 m Arbeitsbreite und daraus resultierender Ertragsanstieg von 9,7 % für Erbsen
  - Übertrag der Literaturrecherche und Expertendiskussion: Reduktion des Dieserverbrauchs und des Arbeitszeitbedarfs (produktive Feldarbeit ohne Rüst- und Wendezeiten) von je ø 10 % (u.a. BRUNOTTE et al. 2011)
- >Auswahl Praxisbetriebsmodelle: 16 Betriebe, die Erbsen in Reinsaat anbauen
- >Risikoanalyse MCS: Ertragsvariation Erbsen als Normalverteilung mit den Parametern aus den Exaktversuchen (Mittelwert: 9,7 %); Variation bei Diesel- und Arbeitsbedarfreduktion als Dreiecksverteilung von -5 % bis -15 % (ø 10 %)

Grünguthäcksel zu Ackerbohnen:

- >Basis: Untersuchungen zur Auswirkung von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen (vgl. WP 2)
- >Ansatz:
  - Ausbringung von 43 t Grünguthäcksel/ha vor der Aussaat von Ackerbohnen und leichte Einarbeitung sofern nicht bei Drillkombination vorhanden, zusätzlich integriert
  - Ausbringung mit betriebseigenem Miststreuer (sofern vorhanden, Variante MST) oder mit Kompoststreuer durch einen Lohnunternehmer (zu 4,50 €/t, Variante LU)
- >Auswirkung:
  - Übertrag der Ertragsauswirkungen aus den Ergebnissen der Versuche: Mehrerträge der Ackerbohnen von +12 % und der nachfolgenden Getreidekultur von +16 %
  - Reduziertes Unkrautaufkommen in den Ackerbohnen: daher Reduzierung der betriebsüblichen, mechanischen Unkrautregulierung um die Hälfte
- >Auswahl Praxisbetriebsmodelle: 11 Betriebe (Variante MST) bzw. 18 Betriebe (Variante LU), die Ackerbohnen in Reinsaat anbauen
- >Risikoanalyse MCS: Ertragsvariation der Ackerbohnen und des nachfolgenden Getreides als Normalverteilung mit den Parameter aus den Exaktversuchen (Mittelwert: 12 % bzw. 16 %)

Wintererbsen-Triticale-Gemenge anstelle von Sommererbsen-Reinsaat:

- >Basis: Untersuchungen zur Auswirkung des Anbaus eines Wintererbsen-Triticale-Gemenges anstelle einer Sommererbsen-Reinsaat (vgl. WP 3)
- >Ansatz:
  - Anbau eines Wintererbsen-Triticale-Gemenges anstelle der Sommererbsen-Reinsaat
  - Saatgutmenge des Wintererbsen-Triticale-Gemenges nach Versuchsdurchführung
- >Auswirkung – Übertrag aus den Versuchen:

- Reduziertes Unkrautaufkommen in den Wintererbsengemengen durch stärkere und frühzeitigere Bodenbedeckung im Frühjahr: Reduzierung der mechanischen Unkrautregulierung um die erste Maßnahme
  - Variation der Saatgutkosten aufgrund veränderter Saatgutmengen und -preise
  - Ertragsanpassung anhand der Feldversuchsergebnisse für die Erbsen (+33 %) und Addition der durchschnittlichen Triticaleerträge (8 dt) aus den Versuchsergebnissen zu den jeweiligen Erbsenerträgen zur Simulation des Wintererbsen-Triticale-Gemengeertrages
- › Auswahl Praxisbetriebsmodelle: 16 Betriebe, die bislang Erbsen in Reinsaat anbauen
- › Risikoanalyse MCS: Ertragsvariation Erbsen und Triticale als Normalverteilung mit den Parametern aus den Exaktversuchen

Kompostbeigabe zur Erbsenaussaat (Reihenapplikation):

- › Basis: Ausbringung von Kompost bei der Erbsenaussaat innerhalb der Saatzfurche (Reihenapplikation) mit einem Saatgut-Kompost-Kombinationsgerät zur Reduzierung von bodenbürtigen Erbsenerkrankungen (vgl. WP 5)
- › Ansatz:
- Ergänzung des Maschinenausrüstung der Betriebe um einen Kompost-Drill-Kombination mit 3 m Arbeitsbreite
  - Abschätzung der Anschaffungskosten, variablen und fixen Maschinenkosten und der Arbeitszeitbedarfs für die Anwendung der Maschine
  - Anpassung von variablen und fixen Maschinenkosten und Arbeitszeit in den Aussaatgängen der Erbsen nach eigener Datenerhebung und -einschätzung
- › Auswirkung – Übertrag aus den Versuchen:
- Ertragsanpassung: + 6%
  - Auswirkungen in Arbeitszeit und Maschinenkosten
- › Auswahl Praxisbetriebsmodelle: 13 Betriebe, die Erbsen in Reinsaat oder Gemenge anbauen und 3m-Drilltechnik besitzen
- › Risikoanalyse MCS: Ertragsvariation Erbsen als Normalverteilung mit den Parametern aus den Exaktversuchen (Mittelwert: 6 %);

Krankheitsvorhersagebasierte Schlagauswahl:

- › Basis: Auswahl des Erbsenschlages durch praktische Anwendung der Differenzialdiagnostik (vgl. WP 5)
- › Ansatz:
- Schlagauswahl für den Erbsenanbau über Aussaatstest in thermisch behandelte und unbehandelte Erde der zur Auswahl stehenden Äcker auf dem Betrieb
  - Kalkulation des Arbeits- und Kostenaufwandes für die Methodik
- › Auswertung:
- Abschätzung der Kosten und Nutzen für die Schlagauswahl
- › Auswahl Praxisbetriebsmodelle: 22 Betriebe, die Erbsen in Reinsaat oder Gemenge anbauen

## Spezifika zur ökologischen Bewertung ausgewählter Maßnahmen

Die ökologische Bewertung erfolgte mittels eines halbqualitativen Ansatzes, der praktisch mit einer Gruppendelphi-Befragung in einem mehrstündigen Workshop umgesetzt wurde (HÄDER 2009, SCHULZ & RENN 2009). Als Experten konnten 14 projektbeteiligte Wissenschaftler verschiedener naturwissenschaftlicher Disziplinen gewonnen werden. Mittels Fragebogen wurden die erwarteten Auswirkungen ausgewählter Maßnahmen aus dem Projekt auf zuvor definierte Umweltindikatoren abfragt. Ausgewählt wurden die Maßnahmen, welche auch ökonomisch bewertet wurden. Zusätzlich wurde noch die Maßnahmen „Anwendung eines Stoppelhobels“ und „Strohreicher Pferdemist zu Rotklee-Gras“ hinzugenommen.

Die langfristige Veränderung folgender Umweltindikatoren wurde - jeweils systemspezifisch und langfristig - betrachtet:

- › Kohlenstoffdioxid-Bilanz im System
- › Humusgehalt
- › Distickstoffoxid-Emission
- › Nitrat-Auswaschung ins Grundwasser
- › Bodenstruktur
- › Wasserbedingte Bodenerosion
- › Windbedingte Bodenerosion

Die jeweiligen Umweltindikatoren konnten jeweils auf einer Skala von -5 bis +5 bewertet werden. Dabei bedeutete -5 jeweils eine deutliche Verschlechterung des Umweltindikators gegenüber dem IST-Zustand und +5 eine deutliche, durch die Maßnahme hervorgerufene Verbesserung. Die Fragebögen für die erste Befragungsrunde wurden mit einer ausführlichen Erläuterung per E-Mail verschickt und vor dem Workshop eingesammelt. In vorbereiteten Auswertungsschritten wurden erste Ergebnisse zusammengestellt und den Experten präsentiert. Anschließend fand eine ausgiebige Gruppendiskussion zu jedem Umweltindikator und jeder Maßnahme statt. Danach wurden erneut die Fragebögen für die zweite Delphi-Runde verteilt. Die Ergebnisse der zweiten Delphi-Runde hatten nach der ausführlichen Diskussion nur noch eine geringe Streuung. Daher wurde auf eine dritte Befragungsrunde verzichtet. Die Ergebnisse beruhen auf Daten aus der zweiten Befragungsrunde.

## Praxisrückkopplung

In Erweiterung gegenüber dem ursprünglichen Antrag erfolgte eine Rückkopplung mit den „Datenlieferanten“, den Betriebsleitern der im Projekt eingebundenen Praxisbetriebe durch qualitative Experteninterviews (vgl. ATTESLANDER 2003, MEUSER & NAGEL 1991, MEYER 2004). Zur Evaluierung und Validierung der Szenariorechnungen durch Betriebsleiterinterviews wurden 16 Betriebe ausgewählt. Auswahlkriterien:

- › Anbau von Erbsen und/oder Ackerbohnen in der Laufzeit des Projektes;
- › Intensive Untersuchung einer der beiden Kulturen im Rahmen von WP 1;
- › Eine bodenfruchtbarkeitsverbessernde Maßnahmen ist für den Betrieb anwendbar und wurde in einem Szenario berechnet;
- › Zeit und Bereitschaft für ein Interview durch die Betriebsleiter.

Für die Interviews wurden die Szenariorechnungen für „Grünguthäcksel zu Ackerbohnen“ oder „Anschaffung einer Reifeninnendruckregelanlagen – Reduzierung der Bodenbelastung bei der Aussaat (von Erbsen)“ ausgewählt. Mit den 16 Interviews konnten jeweils 11 Szenarien (11 für



„Grünguthäcksel...“ und 11 für „Reduzierung der Bodenbelastung...“) vorgestellt und die Betriebsleiter hierzu befragt werden, da teils Doppelinterviews (zwei Szenarien auf einem Betrieb) möglich waren.

Die Interviews wurden als Experteninterviews durchgeführt, wobei die Betriebsleiter als Experte für ihren Betrieb, die angebauten Kulturen und die verwendete Technik angesehen wurden. Die Interviews wurden leitfadengestützt durchgeführt. Der Leitfaden enthielt sowohl quantitative als auch qualitative, offene Fragen.

Vor der Diskussion und dem Interview wurden den Landwirten die Methoden, Szenarien und Ergebnisse präsentiert. Die Präsentationen, die Diskussionen und die Interviews wurden elektronisch aufgezeichnet. Die Antworten auf die quantitativen Fragen und Stichworte zu den qualitativen, offenen Fragen wurden im Fragebogen vermerkt. Die Befragung und Diskussion fand u.a. zu folgenden Themenkomplexen statt:

- › Akzeptanz: Inwieweit werden Kosten-Leistungsrechnungen von Fruchtfolgen unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte in der Praxis eingesetzt?
- › Maßnahmenbewertung: Wie werden die vorgestellten Maßnahmen mit Blick auf die ökonomischen Folgen für den eigenen Betrieb von den Betriebsleitern eingeschätzt? Welche Kongruenzen und welche Diskrepanzen gibt es zwischen den errechneten Modellergebnissen und den Erwartungen der Betriebsleiter anhand ihrer Erfahrungen?
- › Beurteilung der Modelldaten: Sind Anpassungen bezüglich der Modellannahmen notwendig?
- › Praxisrelevanz der wissenschaftlichen Empfehlungen: Welche Gründe sprechen für oder gegen die Übernahme der vorgestellten bodenfruchtbarkeitsverbessernden Maßnahmen für den Betrieb? Welche Entscheidungsgründe sind im Modell und den Berechnungen widergespiegelt? Welche Motive sind anderer Art?

In den Interviews wurde ein Schwerpunkt auf die qualitativen, offenen Fragen gelegt. Die Angaben zu den quantitativen Fragen wurden zusammengetragen, verrechnet und deskriptiv ausgewertet. Die Interviewmitschnitte wurden abgehört und die Antworten auf die qualitativen, offenen Fragen stichpunktartig transkribiert und in die weitere qualitative Auswertung übernommen.

## 3.2 Erfasste Untersuchungsparameter

### 3.2.1 Boden

#### Bodenphysikalische Parameter

In den Versuchen 8-T, 8-K, 9-T, 10-M, 10-P, 10-F und 11-K sowie in den Praxiserhebungen (PE) wurden Untersuchungen der Bodengefügeeigenschaften zu Vegetationsbeginn durchgeführt. Dazu wurden ungestörte und gestörte Proben aus jeder Parzelle entnommen.

In den Versuchen wurden je Parzelle 6 Stechzylinder aus einer Tiefe von 10-15 cm genommen und eine gestörte Probe. In den PE wurden aus jeder der 3 gekennzeichneten Parzellen der Leguminosenschläge 6 Stechzylinder in je 3 Tiefen (10-15 cm, Pflugsohle, Unterboden) und eine gestörte Probe je Tiefe genommen. Auf Grund der Bodenbeschaffenheit (hoher Steinanteil) konnten nicht alle Betriebe beprobt werden. Betriebe, deren Boden zum Beprobungstermin bereits zu trocken war wurden im Folgejahr beprobt.



Folgende Bodenkennwerte wurden im bodenphysikalischen Labor ermittelt: Trockenrohichte (TRD), Gesamtporenvolumen (PV), Luftkapazität (pF 1,8; LK), Feldkapazität (> pF 1,8; FK), nutzbare Feldkapazität (pF 1,8 bis pF 4,2; nFK), Luftleitfähigkeit (bei pF 1,8; VP), Totwasser (pF 4,2; TW), Korngrößenverteilung, Substanzdichte (zur Berechnung des Gesamtporenvolumens).

### **Bodenchemische Parameter**

Die in den Praxiserhebungen und in den einzelnen Versuchsansätzen ermittelten bodenchemischen Parameter und die verwendeten Analysemethoden sind in Tabelle 17 aufgeführt. Die Probenahme für die bodenchemischen Untersuchungen unterschied sich zwischen den Parametern  $N_{\min}$ ,  $H_2O$  und  $S_{\min}$  (Bodenchemie I) sowie den anderen analysierten Parametern (Bodenchemie II).

Beprobung für Bodenchemie I: In den Praxiserhebungen erfolgte die Beprobung im Frühjahr (März bis Anfang April) mit mindestens vier Einstichen je Messparzelle in den Tiefen 0-30 cm, 30 - 60 cm und 60 - 90 cm ( $S_{\min}$  nur bis 60 cm). Beprobt wurden die Messparzellen in den Leguminosen- und in den Getreidebeständen. Bis zur Analyse wurden die Proben gefroren gelagert.

In den Versuchsansätzen erfolgte eine Beprobung sowohl nach der Saat als auch nach der Ernte in den Tiefen 0 - 30 cm, 30 - 60 cm und 60 - 90 cm (in Versuchsansatz 12 nur bis 60 cm). In Winterungen wurde zusätzlich eine Beprobung im Frühjahr durchgeführt.

Beprobung für Bodenchemie II: In den Praxiserhebungen erfolgte die Beprobung im Frühjahr (März bis Anfang April) mit mindestens vier Einstichen je Messparzelle in der Tiefe 0 - 20 cm. In den Jahren 2009 bis 2011 erfolgte nur die Beprobung der Getreidebestände, 2012 zusätzlich auch der Leguminosenbestände. Die Proben wurden bei max. 35 °C getrocknet und auf 2 mm gesiebt.

In den Versuchsansätzen erfolgte die Beprobung nach der Aussaat auch aus der Tiefe von 0 - 20 cm pro Parzelle.

Für die Differenzialdiagnose wurden über den gesamten Schlag verteilt ca. 100 mal zwei Liter Boden aus der Schicht 0-15 cm entnommen, gemischt und auf 10 mm gesiebt. Bis zu Testdurchführungen wurden die Proben bei 3 °C gelagert.

**Tabelle 17: In den einzelnen Untersuchungen ermittelte bodenchemisch Parameter und die jeweils verwendete Analytik**

Parameter	Anmerkungen zur Methode	Quelle	Untersuchung*
<b>N<sub>min</sub></b>	NH <sub>4</sub> -N und NO <sub>3</sub> -N aus 0,0125 M CaCl <sub>2</sub> , -Extrakt	VDLUFA, 1991, Bd. I, A5.1.1	PE, 1-14
<b>S<sub>min</sub></b>	aus 0,0125 M CaCl <sub>2</sub> -Extrakt	VDLUFA, 1991, Bd. I, A6.3.1	PE
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Trocknung bei 105°C		PE
<b>pH</b>		VDLUFA, 1991, Bd. I, A5.1.1	PE, DD, 1-14
<b>P, K</b>	aus CAL-Extrakt	VDLUFA, 1991, Bd. I, A6.2.1.1	PE, DD, 1-14
<b>Mg</b>	aus 0,01 M CaCl <sub>2</sub> -Extrakt	VDLUFA, 1991, Bd. I, A6.2.4.1	PE, DD, 1-14
<b>Mn, Zn, B, Cu, Na, S</b>	aus CAT-Extrakt / ICP, VDLUFA 1A6.4.1	VDLUFA, 1991, Bd. I, A6.4.1	PE, DD
<b>Mo</b>		DIN 38406-E22	PE 2009-2011
<b>potentielle Kationen-austauschkapazität: Gesamt, Ca, K, Mg, Na</b>		DIN 19684-8	PE 2009-2011
<b>C<sub>t</sub>, N<sub>t</sub></b>	Elementar-Autoanalyser	DIN ISO 13878	PE & DD (nur N <sub>t</sub> ), 1-14
<b>C<sub>org</sub></b>	Elementar-Autoanalyser nach Austreibung von CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mit HCl	DIN ISO 13878	PE, DD

\* PE: Praxiserhebungen, DD: Differenzialdiagnose, Zahlen: Nummer der Versuchsansätze

## Bodenbiologische Parameter

Für die Untersuchungen auf den Betriebsschlägen sowie in Gefäßversuchen Topf- und Feldversuchen unter WP 1 bis 5 wurden die folgenden bodenbiologische Methoden angewendet:

Die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse als mikrobieller Kohlenstoff oder Stickstoff in Böden oder Komposten (C<sub>mik</sub>, N<sub>mik</sub>) erfolgte mittels der Chloroform-Fumigations-Extraktionsmethode (VANCE et al. 1987). Die pilzliche Biomasse wurde über die Bestimmung des Bioindikators Ergosterol nach ZELLES et al. (1987) ermittelt und die mikrobielle Aktivität wurde als CO<sub>2</sub>-Respiration nach dem Prinzip zur Ermittlung der Basalatmung bestimmt (Basalratmung nach ISERMAYER 1952) sowie als Gesamtaktivität mit der Fluoresceindiacetat-Hydrolyserate (nach SCHNÜRER & ROSSWALL 1982). Als weitere Enzymaktivitäten für 2 Schlüssel-Enzyme, die entscheidend am N- und P-Kreislauf beteiligt sind, wurde die Proteaseaktivität nach LADD & BUTLER (1972) sowie die Phosphataseaktivität nach MARGESIN (1993) angewendet. Der metabolische Quotient (qCO<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> pro Einheit mikrobielle Biomasse) und das C<sub>mic</sub>/C<sub>org</sub> Verhältnis konnten rechnerisch bestimmt werden. In einigen Versuchen wurde eine in situ Methode zur Bestimmung der Bodenatmung als Indikator für die mikrobielle Aktivität in Feldversuchen angewendet. Dazu diente ein tragbarer Kohlenstoffdioxid-Wasser-Infrarot-Gasanalyser (CIRAS-1-Combined Infrared Gas Analysis System, PPSystems, Hitchin, Großbritannien).

### 3.2.2 Nährstoffgehalte organische Düngemittel

Die Nährstoffgehalte der organischen Düngemittel wurden entsprechend der Methodik in Tabelle 21 erfasst.

### 3.2.3 Pflanze

#### Allgemeine pflanzenbauliche Parameter

Als pflanzenbaulicher Parameter wurde in den Versuchen der Feldaufgang bestimmt, wobei alle Pflanzen auf einer Länge von einem Meter ausgezählt wurden. Dies umfasste bei den Versuchsansätzen 1 - 7 fünf Zählungen pro Parzelle bei Sommerungen und 4 Zählungen pro Parzelle bei Winterungen. In den Versuchsansätzen 8 - 14 wurden die Pflanzen in dreimal einem Meter pro Parzelle erfasst.

Als weiterer Parameter wurde die Überwinterung der Kulturen festgestellt. Dabei wurden die Pflanzen nach dem Auftreten der letzten Frühjahrsfröste in den Meterabschnitten, in denen im Herbst der Feldaufgang bestimmt wurde, noch einmal ausgezählt. In den Versuchsansätzen 13 und 14 wurden die Wintererbsen vor Winter markiert, um ein Mitzählen von später gekeimten Wintererbsen zu vermeiden. Die Anzahl Pflanzen nach Winter wurde dann ins Verhältnis gesetzt zu den Pflanzen, die vor Winter gezählt wurden und auf diese Weise die Auswinterungsrate bestimmt.

Die Entwicklungsstadien der Pflanzen wurden in den Praxiserhebungen, den Versuchsansätzen 1 - 14 sowie in den Praxisversuchen zu jedem Beprobungs- und Boniturtermin anhand der BBCH-Stadien (MEIER 2001) erfasst. In den Versuchen am Standort Eichenberg und Frankenhausen wurde das BBCH-Stadium pro Parzelle zu Beginn und zur Ende der Blüte sowie zur Abreife der Erbsen festgehalten.

Die Standfestigkeit der Erbsen wurde in den Versuchsansätzen 1, 8 - 14 anhand des HEB-Indexes (SAUERMAN 2013) bestimmt, wobei die Höhe der Bestände jeweils fünfmal pro Parzelle zur Blüte und zur Reife bestimmt wurde.

In den Versuchsansätzen 2 - 4 wurde der stomatäre  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -Gaswechsel mit Hilfe eines Porometers (CIRAS-2, PP-Systems, GB) bei hoher Sonneneinstrahlung am jüngsten voll entwickelten Blatt gemessen.

Die Saattiefe der Leguminosen wurde in den Praxiserhebungen an fünf Pflanzen pro Messparzelle durch eine Messung der Ablagetiefe der Unterkante des Saatkorns bestimmt. Außerdem wurde das auf den Praxisschlägen eingesetzte Saatgut hinsichtlich TKM und dem Anteil geschädigter Körner (halbiert, geplatzt, angefressen, verfärbt) untersucht.

#### Unkraut

Zur Erfassung der Verunkrautung der Bestände wurde der Unkrautdeckungsgrad geschätzt und/oder eine Beprobung der Unkrautbiomasse durchgeführt (Tabelle 18). Die vorkommenden Unkrautarten bzw. die Leitunkrautarten wurden dabei in Abhängigkeit vom Versuchsansatz ebenfalls erfasst (Tabelle 18). Dies erfolgte in den Praxisversuchen an den Standorten Pillnitz und Köllitsch 2010 mittels Göttinger Schätzrahmen an drei Terminen während der Vegetationsperiode in Ackerbohnen, Lupinen und Erbsen-Reinsaaten. In den Versuchsansätzen 8, 9, 13,

14 wurde zusätzlich die photosynthetisch aktive Strahlung fünf Mal pro Parzelle oberhalb des Kulturpflanzenbestandes und auf Höhe des Unkrautbestandes quer zur Drillrichtung gemessen und ins Verhältnis gesetzt. Die Messungen erfolgten einmal wöchentlich ab Bestandesschluss bis zum Erntetermin mit Hilfe des SunScan Canopy Analysis System (Delta-T Devices, GB).

**Tabelle 18: Durchführung der Unkrautdeckungsgrad-Bonituren und der Unkrautbiomasse-Beerntungen**

Parameter	Durchführung	Termin	Versuchsansatz
<b>Unkrautdeckungsgrad</b>	an 3 Stellen pro Messparzelle wurden Aufsichtfotos von ca. 1-1,5 m <sup>2</sup> Fläche erstellt und später der Unkrautdeckungsgrad geschätzt	März-Anfang April (Getreide), Leguminosen (Mai)	PE
	Bonitur an 3 Stellen pro Messparzelle jeweils auf ca. 1,5 m <sup>2</sup> Fläche, zusätzlich wurden die vorkommenden Unkrautarten bestimmt	Juni (Getreide, Leguminosen)	PE
	Bonitur an 5 Stellen pro Parzelle in 0,5 m <sup>2</sup> , gleichzeitig wurden die Leitunkrautarten bestimmt	Ende des Längenwachstums und Beginn der Entwicklung der Blütenanlagen der Erbsen (BBCH 39-51)	8-14
	Bonitur an 4 Stellen pro Kontrolle bzw. pro Behandlung in 1 m <sup>2</sup>	alle drei bis vier Wochen	PVG-1 bis-12
	Bonitur an 5 Stellen pro Parzelle in 1 m <sup>2</sup>	Ende April, Mitte Mai, Anfang Juli	PVG-13
	Bonitur an 4 Stellen pro Wintererbsen bzw. Sommererbsen-Gemenge-Streifen in 1 m <sup>2</sup>	Frühjahr	PVM
<b>Annuelle Unkrautbiomasse</b>	Beerntung auf einer Fläche von 1 m <sup>2</sup> , Trocknung der Biomasse bei 60 °C über 72 h	Blüte der Erbsen	1, 7
	Beerntung auf einer Fläche von 0,5 m <sup>2</sup> (Blüte) und 1 m <sup>2</sup> (Ernte), Trocknung der Biomasse bei 60 °C über 72 h	Blüte und Ernte der Erbsen	8-14
	Beerntung auf einer Fläche von 1 m <sup>2</sup>	Ernte Leguminosen	PVG, PVM

## Ertragsentwicklung

Der Deckungsgrad der einzelnen angebauten Kulturpflanzen wurde in den Praxiserhebungen, den Versuchsansätzen 8 bis 14 sowie in den Praxisversuchen parallel zur Bestimmung des Unkrautdeckungsgrades (Tabelle 18) durchgeführt. Ebenso erfolgte in den Versuchen, in denen eine Bestimmung der annualen Unkrautbiomasse vorgenommen wurde, eine Erfassung der Kulturpflanzenbiomasse, wobei in den Gemengebeständen die Biomasse der Kulturpflanzenarten getrennt wurde. In Versuchsansatz 2 wurde bei Rotklee die Sprossmasse der Kulturpflanze zu je 3 Terminen in 2009 und 2010 erfasst. Dabei erfolgte eine Trennung in Leguminose und Unkraut. Die Trocknung der Biomasse erfolgte ebenfalls bei 60° C über 72 Stunden. Zusätzlich wurden in den Praxiserhebungen die in Tabelle 19 aufgelisteten Parameter erfasst.

**Tabelle 19: Erfassung von Parametern der Ertragsentwicklung in den Praxiserhebungen**

Parameter	Durchführung	Termin
Anzahl Triebe/m <sup>2</sup>	Je Messparzelle wurde auf 3-mal 0,5 m <sup>2</sup> die Anzahl Leguminosentriebe gezählt	Mai
Bestandeshomogenität	Bei den Leguminosen wurden an 3 Stellen pro Messparzelle Aufsichtfotos von ca. 1-1,5 m <sup>2</sup> Fläche erstellt und später die Homogenität des Nutzpflanzenbestandes bonitiert (1: inhomogen bis 4 homogen).	Mai
	Bonitur der Bestandeshomogenität bei Leguminosen und Getreide direkt im Bestand	Juni
Getreidefarbe	Die Farbe der Getreidepflanzen wurde in den Messparzellen bonitiert (1: hell bis 4 dunkel).	Juni
Pflanzenhöhe	Erfassung der mittleren Höhe der Nutzpflanzen	Juni
Ährenausprägung	Erfassung der Ausprägung der Ähren (Länge & Dicke) mit Hilfe eines vierstufigen Boniturschemas	Juni

### Ertragskomponenten und Ertragsleistung

In den Praxiserhebungen erfolgte bei den Leguminosen wenige Tage vor dem Praxisdruschtermin auf dreimal 0,5 m<sup>2</sup> pro Messparzelle eine Bestimmung der Anzahl Triebe/m<sup>2</sup>. In den Feld- und Praxisversuchen wurde in den Handernteparzellen im Frühjahr die Anzahl Pflanzen/m<sup>2</sup> und/oder zur Reife die Anzahl Hülsen- bzw. Ährentragender Halme/m<sup>2</sup> erfasst. In den Praxiserhebungen und den Feldversuchen wurde eine Handernte zur Erhebung der Ertragskomponenten sowie des Korn- und Strohertrags durchgeführt. Die genaue Vorgehensweise bei der Beprobung ist in Tabelle 20 beschrieben.

**Tabelle 20: Durchführung der Handbeerntung in den Praxiserhebungen und den Feldversuchen**

Parameter	Durchführung	Versuchsansatz
Handernte	Wenige Tage vor dem Praxisdruschtermin wurden von Hand auf 3-mal 0,5 m <sup>2</sup> pro Messparzelle alle Nutzpflanzen beerntet und beim Getreide die Anzahl Ähren erfasst. Bei den Leguminosen wurde an 15 Pflanzen je Messparzelle die Anzahl Hülsen bestimmt. Auf einem Standdrescher wurden die Proben anschließend ausgedroschen und der Kornertrag erfasst. Abschließend erfolgte noch eine Bestimmung des TKG.	PE
	Zur Reife der Kulturen wurde von Hand ein Quadratmeter oder ein laufender Meter pro Parzelle, in dem zuvor die Anzahl Pflanzen erfasst wurde, beerntet und die Anzahl Hülsen/Ähren/Rispen/m <sup>2</sup> erfasst. Auf einem Standdrescher wurden die Proben anschließend ausgedroschen und der Stroh- und Kornertrag erfasst. Abschließend erfolgte noch eine Bestimmung des TKG.	1 bis 13
	Zur Reife der Kulturen wurde ein Quadratmeter von Hand beerntet. Auf einem Standdrescher wurden die Proben anschließend ausgedroschen und der Stroh- und Kornertrag erfasst. In Ausnahmefällen wurden zusätzlich die Ertragskomponenten erfasst.	PVG, PVM

Nach der Handbeerntung wurde der Kornertrag in den Feldversuchen mittels Parzellenmähdrusch in den dafür vorgesehenen Druschparzellen erfasst. Zusätzlich zur Handbeerntung wurde auch in Teilen der Praxisversuche ein Parzellenmähdrusch durchgeführt. Das Tausendkorngewicht (TKG) der Leguminosen wurde in den Praxiserhebungen an 500 Körnern bestimmt. In den Feldversuchen wurden dreimal 200 Körner zur Bestimmung des TKG verwendet. Die Trockensubstanz wurde jeweils bei 105 °C festgestellt.

### 3.2.4 Symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung

Anhand des laboranalytisch ermittelten Verhältnisses stabiler 15N/14N-Isotope im Pflanzenmaterial in Rotklee und Ackerbohne wurde der Anteil an symbiotisch fixiertem Stickstoff der Leguminosen nach folgender Formel berechnet:

$$N_{dfa} = \frac{(\delta^{15}N_{Leg} - \delta^{15}N_0)}{(\delta^{15}N_{Ref} - \delta^{15}N_0)}$$

Die art- und sortenspezifischen Korrekturwerte für die Isotopendiskriminierung wurden für Rotklee aus Jung (2003) und für Ackerbohne aus Jost (2003) entnommen.

Durch Multiplikation des errechneten N-Anteils aus der Luft (N<sub>dfa</sub>) mit der Spross-N-Menge der Leguminosen wurde die absolute Menge an fixiertem Stickstoff (N<sub>fix</sub>) errechnet:

$$N_{fix} [kg ha^{-1}] = N_{dfa} * N_{Leg}$$

N<sub>dfa</sub> = Anteil Stickstoff aus der Luft

N<sub>fix</sub> = symbiotisch fixierte N-Menge [kg ha<sup>-1</sup>]

N<sub>Leg</sub> = Gesamt-N Menge der Leguminose im Spross [kg ha<sup>-1</sup>]

δ<sup>15</sup>N<sub>Leg</sub> = δ<sup>15</sup>-Wert der Leguminose

δ<sup>15</sup>N<sub>Ref</sub> = δ<sup>15</sup>-Wert der Referenzpflanze

δ<sup>15</sup>N<sub>0</sub> = δ<sup>15</sup>-Wert der auf N-freiem Nährmedium gewachsenen Leguminose

Für die Berechnung der symbiotisch fixierten N-Menge der Saatplatterbse wurde die erweiterte Differenzmethode verwendet:

$$N_{fix} [kg ha^{-1}] = N_{Leg} + N_{UK} + N_{minLeg} - N_{Ref} - N_{minRef}$$

N<sub>Ref</sub> = Gesamt-N Menge der Referenzpflanze [kg ha<sup>-1</sup>]

N<sub>UK</sub> = Gesamt-N Menge Unkraut Leguminosen [kg ha<sup>-1</sup>]

N<sub>minLeg</sub> = N<sub>min</sub> unter Leguminose zur Ernte [kg ha<sup>-1</sup>]

N<sub>minRef</sub> = N<sub>min</sub> unter Referenzpflanze zur Ernte [kg ha<sup>-1</sup>]

Die Menge an Ammonium-N und Nitrat-N im Boden wurde nach folgender Formel berechnet:

$$N_{min} [kg ha^{-1}] = c_L * d * \frac{\rho}{TS} * f * S$$

c<sub>L</sub> = NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -Konzentration in der Messlösung [mg l<sup>-1</sup>]

d = Mächtigkeit der beprobten Schicht [dm]

ρ = Lagerungsdichte der beprobten Schicht [g cm<sup>-3</sup>]

TS = Trockensubstanzgehalt des Bodens [%]

f = Verhältnis CaCl<sub>2</sub>-Lösung [ml] zu Bodeneinwaage [g]

S = Steingehalt [%]



Die für die Berechnung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung notwendigen Stickstoffmengen in der pflanzlichen Biomasse (Leguminose, Referenzfrucht, Unkraut) und der N<sub>min</sub>-Vorrat im Boden wurden bestimmt wie in den Kapiteln 3.1.2.2 und 3.2.7 beschrieben. Die N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Reinsaat von Erbse wurde nach LA RUE & PATTERSON 1981, STÜLPNAGEL 1982, HAUSER 1987 mit Hilfe der erweiterten Differenzmethode berechnet:

$$N_{\text{Fix Reinsaat}} [\text{kg N/ha}] = N_L + N_{\text{UKL}} + N_{\text{minL}} - N_R - N_{\text{RUK}} - N_{\text{minR}}$$

$N_{\text{Fix Reinsaat}}$  = fixierte N-Menge [kg/ha]

$N_L$  = N-Ertrag Leguminose [kg/ha]

$N_{\text{LUK}}$  = N-Ertrag Unkraut Leguminose [kg/ha]

$N_{\text{minL}}$  = N<sub>min</sub>-Menge im Boden unter Leguminose [kg/ha]

$N_R$  = N-Ertrag Referenzkultur [kg/ha]

$N_{\text{RUK}}$  = N-Ertrag Unkraut Referenzkultur [kg/ha]

$N_{\text{minR}}$  = N<sub>min</sub>-Menge im Boden unter Referenzkultur [kg/ha].

Die Berechnung des Erbse/Hafer-Gemenge erfolgte nach:

$$N_{\text{Fix Gemenge}} [\text{kg N/ha}] = N_L + N_{\text{UKG}} + N_{\text{minG}} + N_G - N_R - N_{\text{RUK}} - N_{\text{minR}}$$

$N_{\text{Fix Gemenge}}$  = fixierte N-Menge [kg/ha]

$N_{\text{UKG}}$  = N-Ertrag Unkraut Gemenge [kg/ha]

$N_{\text{minG}}$  = N<sub>min</sub>-Menge im Boden unter Gemenge [kg/ha]

$N_G$  = N-Ertrag nichtlegumer Gemengepartner

### 3.2.5 Phytopathologie

#### Krankheitsbonituren und Pathogenbestimmungen

In den Untersuchungen auf den Betrieben sowie in den Feldversuchen der Versuchsansätze 1 und 2 und 5 - 7 (siehe Tabelle 3) wurden in den betreffenden Parzellen, die Erbsen oder Ackerbohnen enthielten sowie bei Erbsen aus Gemengen jeweils an fünf Stellen insgesamt 25 Erbsenpflanzen entnommen. Die Probenahme erfolgte zur Blüte oder kurz danach (BBCH Stadium 65 – 73). In den Reihenapplikationsversuchen (Versuchsansätze 5 - 7) wurden jedoch die 25 Wurzelproben aus vorher festgelegten Kleinparzellen in den Hauptparzellen entnommen. Die Probenahme erfolgte an zwei Terminen: zu einem frühen Zeitpunkt (BBCH 19/39) und zur Vollblüte (BBCH 65) oder kurz danach.

Die abgewaschenen Wurzeln wurden nach dem Schema von PFLUGHÖFT (2008) auf Befall nach Läsionsausprägung bonitiert und die Läsionslänge auf Wurzel und Epicotyl in mm gemessen. Die Wurzeln wurden bis zur Pathogen-Identifikation bei -18°C gelagert.

Zur Erregeridentifikation wurden acht bis zehn Wurzeln pro Parzelle zufällig ausgewählt, oberflächensterilisiert, gewaschen und getrocknet. Drei 1 - 3 mm lange Wurzelstücke wurden auf Coon's agar ausgelegt (ALI et al. 1978, NASIR & HOPPE 1991). Die Pilze wurden aufgrund morphologischer Merkmale der sich entwickelnde Pilzstrukturen nach 7 und 14 Tagen bestimmt. Bei Bedarf wurden die Kulturen zur besseren Identifikation auf Malzagar übersetzt. Folgende Pathogene wurden identifiziert: *A. pisi*, *M. pinodes*, *P. medicaginis*, *Fusarium* spp. Andere Pilze wie *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Rhizopus* spp., *Trichoderma* spp. und unbekannte Arten wurden ebenfalls gefunden.

Zur Identifikation von Blattkrankheiten wurden pro Parzelle 10 Pflanzen zufällig selektiert. Krankheiten wurden nach dem Schema von PFLUGHÖFT (2008) auf den Nekrotisierungsgrad der Stängel, Blätter und Ranken sowie auf Befallsdruck und Befallshäufigkeiten zum BBCH Stadium 61 - 74 Erbsen bonitiert.

### 3.2.6 Schädlinge

In den Praxiserhebungen erfolgte an einem Termin Mitte/Ende der Blüte eine Bonitur des Blattlausbefalls an Leguminosen. Dabei wurden der Besatz und/oder die Schädigung mit einem fünfstufigen Boniturschema an zehn Pflanzen pro Messparzelle geschätzt. Die Schädigungen durch den Blattrandkäfer wurden ebenfalls an einem Termin im Mai an zehn Pflanzen pro Messparzelle mit einem fünfstufigen Boniturschema geschätzt. Anhand des Anteils geschädigter Körner im Erntegut aus der Stichprobe für die TKG-Bestimmung wurden die Schädigungen durch einen Befall mit dem Erbsenwickler abgeschätzt.

Der Befall mit dem Blattrandkäfer wurde in Teilen der Feldversuche (8 - 12) anhand einer Bonitur der typischen Fraßschäden an den Blatträndern abgeschätzt. In einigen Feldversuchen (8, 9, 13, 14) wurden zusätzlich auch die Schädigungen durch den Erbsenwickler über eine Bestimmung des Anteils geschädigter Körner im Erntegut (viermal 200 Körner pro Parzelle) erfasst. In Versuchsansatz 12 wurden etwa 100 ml Erbsensamen auf Schäden durch den Erbsenwickler bonitiert. In den Versuchsansätzen 8 - 12 erfolgte eine Bonitur des Blattlausbefalls an 10 Pflanzen pro Parzelle. Dabei wurde der Blattlausbefall nach dem Schema von HILL et al. (2006) in Klassen von 0 - 4 eingeteilt. In den Versuchsansätzen 13 und 14 wurde die

Anzahl der Grünen Erbsenblattlaus/Triebspitze anhand der EPPO-Richtlinie PP1/229 (1) (STECK et al. 2005) bestimmt.

### 3.2.7 Qualitätsanalysen

Qualitätsanalysen erfolgten an der Kultur- und Unkrautbiomasse, am Stroh und am Korn. Die Analysen erfolgen anhand der in Tabelle 21 aufgelisteten Methoden. Der N-Gehalt wurde in den Praxiserhebungen bei allen Getreideertragsproben festgestellt, wobei Dinkelproben ohne Spelz analysiert wurden.

**Tabelle 21: Übersicht über die in den Praxiserhebungen und Feldversuchen durchgeführten Qualitätsanalysen und ihre Durchführung**

Parameter	Durchführung	Quelle	Versuchsansatz
<b>N-Gehalt Korn</b>	Nahinfrarot-Spektroskopie oder Elementaranalyse	VDLUFA Methodenbuch III, 4.1.1	PE, 1, 2, 3, 4, 8, 9, 13, 14
<b>N-Gehalt Biomasse/Stroh</b>	Nahinfrarot-Spektroskopie oder Elementaranalyse	VDLUFA Methodenbuch III, 4.1.1	1, 2, 3, 4, 8, 9, 13, 14
<b>N-Gehalt Unkraut</b>	Nahinfrarot-Spektroskopie oder Elementaranalyse	VDLUFA Methodenbuch III, 4.1.1	2, 3, 4, 8, 9, 13, 14
<b>P/K/Mg-Gehalt Korn</b>	Königswasseraufschluss, Atom-Emmissionsspektrometrie (ICP-OES)	VDLUFA Methodenbuch III, 10.8.1.1 DIN EN ISO 11885	8, 13
<b>P/K/Mg/S-Gehalt Korn/Stroh/Unkraut</b>	Röntgenfluoreszenzanalyse	VDLUFA Methodenbuch III, 10.8.3	2, 3, 4
<b>P/K-Gehalt Blatt</b>	Säuredruckaufschluss, Flammenfotometrie	VDLUFA Methodenbuch III, 10.8.1.1	2,3,4
<b>Mg-Gehalt Blatt</b>	Säuredruckaufschluss, Atomadsorptionsspektrometrie	VDLUFA Methodenbuch III, 10.8.1.1	2,3,4
<b>S-Gehalt Blatt</b>	Elementaranalyse	VDLUFA Methodenbuch III, 4.1.1	2,3,4
<b>Mo/B-Gehalt Korn/Stroh/Unkraut</b>	ICP-MS	VDLUFA Methodenbuch VII, 2.2.2.5	2,3,4
<b>Mo-Gehalt Blatt</b>	Atom-Emmissionsspektrometrie (ICP-OES)	VDLUFA Methodenbuch VII, 2.2.2.6	2,3,4
<b>B-Gehalt Blatt</b>	Säuredruckaufschluss, UV/VIS-Spektrometrie mit Curcurmin-Anfärbung		2,3,4
<sup>13</sup> C	Massenspektrometrie		2,3,4
<b>Rohprotein-/faser/-asche/-fett Korn</b>	Nahinfrarot-Spektroskopie		1, 8, 9, 13, 14
<b>Stärke Korn</b>	Nahinfrarot-Spektroskopie, nach Ewers	DIN EN ISO 10520	1, 8, 9, 13, 14
<b>Zucker Korn</b>	Nahinfrarot-Spektroskopie, kolorimetrische Methode mittels Anthron	LAWS & OLDENBURG 1993	1, 8, 9, 13, 14

In den Versuchsansätzen 8, 9, 13 und 14 wurde zusätzlich der Metabolische Energiegehalt der Körner ermittelt. Dieser wurde entsprechend der Gleichungen der GfE für Schweine (GfE, 2008)

unter Zuhilfenahme von Verdaulichkeits-Tabellenwerten der DLG (DLG, 2002) bei weißblühenden Erbsen geschätzt. Bei der buntblühenden Wintererbsensorte 'E.F.B. 33' wurden vorläufige Verdaulichkeitswerte für Schweine verwendet (A. BERK, 2012; persönliche Mitteilung).

### 3.2.8 Witterung

#### Praxiserhebungen

Im Rahmen der Praxiserhebungen wurden für jeden Untersuchungsschlag Witterungsdaten von der nächstgelegenen Messstation des Deutschen Wetterdienstes bzw. des agrarmeteorologischen Messnetzes Bayern (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) erworben. Für den Zeitraum 25 Jahre vor Untersuchungsbeginn bis Projektende wurden die Tagesmittel für Lufttemperatur (2 m) und Niederschlagsmenge verwendet. Für die Berechnung der Evapotranspiration wurden zusätzlich die täglichen 14-Uhr-Werte für Lufttemperatur und Luftfeuchte von 2008 bis 2012 ausgewertet. Die Evapotranspiration wurde nach HAUDE (1955) und HÄCKEL (1999) berechnet. Für die Anpassung der Temperaturmesswerte an die reale Schlaghöhe über NN wurde aus den abgerufenen Daten für jede der vier Regionen der Temperaturgradient in Abhängigkeit von der geographischen Höhe ermittelt. Die Korrekturfaktoren lagen je Region zwischen 0 und 0,41 K je 100 m Höhenunterschied.

Für die statistische Auswertung wurden aus den Witterungsdaten die Parameter Anzahl Frosttage, mittlere Temperatur, Temperatursumme (Tage über 5 °C), Anzahl Tage über 5 °C, Niederschlagssumme sowie Differenz von Niederschlag und Evapotranspiration für verschiedene Zeitspannen abgeleitet. Beispielsweise wurden Werte für den Zeitraum eine, zwei und vier Wochen vor und nach der Saat sowie vor der Ernte berechnet. Weiterhin wurden auch Werte für die gesamte Vegetationsperiode, für einzelne Monate und für die Wintermonate ermittelt.

Um Extreme im Witterungsverlauf mit in die Auswertung einbeziehen zu können, erfolgte ein visueller Vergleich vom mittleren Verlauf der Witterungsparameter einer Vegetationsperiode und den Kurven der Einzelschläge. Deutliche Abweichungen über mindestens fünf Tage wurden erfasst und in verrechenbare Daten umgesetzt

Die Einbeziehung langfristiger Klimabedingungen erfolgte über die Jahresmittel von Lufttemperatur und Niederschlagssumme aus 25 Jahren. Darüber hinaus wurden auch die Werte der Perioden Dezember - Februar, März - Mai, Juni - August und September - November verwendet.

#### Parzellen-Feldversuche

Der Verlauf der Witterung wurde bei Feldversuchen auf Versuchsstationen von Wetterstationen in Feldnähe erfasst. Im Fall von Parzellen-Feldversuchen auf Praxisschlägen und Praxisversuchen wurde auf Wetterdaten der nächstgelegenen Station des Deutschen Wetterdienstes zurückgegriffen. Für langjährige Mittelwerte wurden ebenfalls die aufgezeichneten Werte der nächsten Station des Deutschen Wetterdienstes verwendet.

## 3.3 Statistische Auswertung

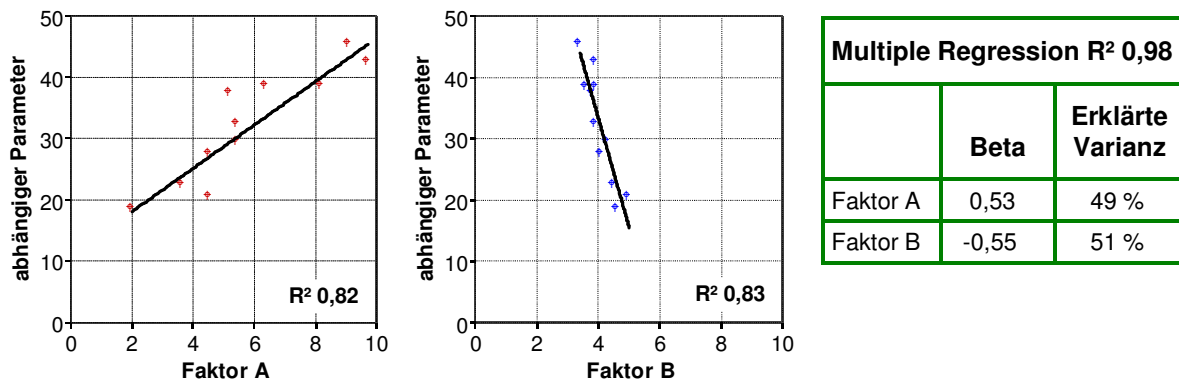
### 3.3.1 Praxiserhebungen

Nach Eliminierung von Ausreißern wurden je Parameter die Werte der drei Messparzellen gemittelt. Im ersten Schritt der statistischen Auswertung erfolgte die Prüfung von Einflussfaktoren der jeweiligen Zielparameter mit der Korrelationsanalyse nach PEARSON. Bei starker Abweichung der Zielparameter von der Normalverteilung wurden entsprechende Transformationsverfahren getestet oder die Korrelationsanalyse nach SPEARMAN verwendet. Zudem wurden die einzelnen Streudiagramme auf mögliche Scheinkorrelationen oder verdeckte bzw. nichtlineare Zusammenhänge geprüft.

Im zweiten Schritt erfolgte die Überprüfung von Zusammenhängen mit der partiellen Korrelationsanalyse. Als Kontrollvariablen wurden dabei die Parameter mit den höchsten Korrelationskoeffizienten aus dem ersten Auswertungsdurchgang verwendet. Mögliche Faktoren in diesem Auswertungsdurchgang waren Parameter mit einer signifikanten bivariaten Korrelation mit dem Zielparameter sowie Parameter bei denen auf Basis des derzeitigen Erkenntnisstandes Zusammenhänge zu erwarten waren.

Der dritte Schritt der Auswertung bestand in der Prüfung der möglichen Faktoren mit der multiplen Regressionsanalyse. Dies erfolgte in mehreren Stufen mit schrittweiser Faktorauswahl und mit gezielt zusammengestellten Faktorkombinationen. Hierbei wurden auch mögliche Interaktionen geprüft. In einzelnen Fällen musste aufgrund der Datenbeschaffenheit die logistische Regressionsanalyse gewählt werden. Als erklärende Regressionsmodelle wurden Faktorkombinationen ausgewählt, die ein möglichst hohes  $R^2$  erreichten und in denen bei allen Faktoren ein kausaler Zusammenhang zum Zielparameter plausibel war.

Für die Gewichtung des Einflusses der verschiedenen Faktoren in einem Regressionsmodell dienen die Beta-Werte. Beta-Werte sind die B-Werte für standardisierte (z-transformierte) Daten. Anhand dieser normierten Werte kann eine Aussage über die Wichtigkeit von einzelnen unabhängigen Faktoren gemacht werden. Je größer die Abweichung des Beta-Wertes von Null, desto stärker ist der Einfluss dieses Faktors auf den Zielparameter (abhängiger Parameter). Nach FOX (1997) erlauben diese standardisierten Regressionskoeffizienten einen begrenzten Vergleich der relativen Bedeutung unabhängiger Faktoren. Allerdings kann ein hoher Beta-Wert sowohl auf einer großen Streubreite eines Faktors (Faktor A in Abbildung 5) als auch auf einem großen Effekt bei geringer Änderung des Faktors (Faktor B in Abbildung 5) beruhen. Der Anteil erklärter Varianz eines Faktors errechnet sich aus dem Anteil des entsprechenden Beta-Wertes an der Summe aller Beta-Werte (Absolutzahlen, Abbildung 5). Korrelationen und Interaktionen zwischen den Faktoren können die Beta-Werte stark verändern oder zu Problemen bei der Interpretation führen. Allerdings werden zurzeit alle verfügbaren Verfahren zur Gewichtung von Faktoren in Regressionsmodellen kontrovers diskutiert (GRÖMPING 2007). Die Multikollinearität von Faktoren wurde mit dem Toleranzwert geprüft, bei Werten über 0,2 wurde das entsprechende Modell nicht verwendet bzw. ein Faktor ausgeschlossen oder ersetzt.



**Abbildung 5: Beispiel für die Gewichtung des Einflusses verschiedener Faktoren bei der multiplen Regression mit Hilfe der Beta-Werte; links und Mitte, Streudiagramme von Faktor A und B mit dem abhängigen Parameter sowie die Regressionsgeraden; rechts Ergebnis der multiplen Regressionsanalyse mit Faktor A und B**

Für die oben genannten statistischen Verfahren wurde das Programm SPSS verwendet. Die Anwendung weiterer statistischer Verfahren (u. a. Hauptkomponentenanalyse und Redundanzanalyse) war entweder aufgrund der Datenvoraussetzungen nicht möglich oder erbrachte keine wesentlichen neuen Erkenntnisse. Dies gilt auch für die Verwendung des Statistikprogramms Canoco.

### 3.3.2 Parzellen-Feldversuche

#### Versuchsansatz 1

Die Feldversuche des Versuchsjahres 2009 waren als randomisierte, vollständige Blockanlage angelegt. Bei den Versuchsanlagen in den Jahren 2010 und 2011 am Standort Frankenhausen handelte es sich um Spalt-Block-Anlagen mit der organischen Düngung als Großteilstückfaktor, wohingegen der Versuch in Trenthorst im Jahr 2010 ebenfalls als randomisierte, vollständige Blockanlage angelegt war. Die Versuche umfassten jeweils vier Wiederholungen. Die Daten wurden varianzanalytisch mit der Proc Mixed in SAS 9.2 ausgewertet.

#### Versuchsansätze 2 bis 4

Der Test auf Normalverteilung der Daten erfolgte mit Hilfe des Shapiro-Wilk Tests. Die Varianzanalyse erfolgte in Form der GLM-Prozedur. Der anschließende multiple Vergleich der Mittelwerte erfolgte mit Hilfe des Tukey-Tests. Datensätze mit fehlenden Einzelwerten wurden mit Hilfe des Scheffé-Tests ausgewertet. Signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten wurden, wenn nicht anders angegeben, für  $P < 0,05$  ermittelt und sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

#### Versuchsansätze 5 bis 7

Tabelle 22 gibt einen Überblick über die Versuchsanlagen der Reihenapplikationsversuche in Eichenberg und Frankenhausen



**Tabelle 22: Übersicht über die Versuchsanlagen der Reihenapplikationsversuche (Versuchsansatz 5-7)**

Versuch	Versuchsanlage	Faktoren			Wiederholungen
		A	B	C	
5-E10	Randomisierte Blockanlage	Kompost (4)	Menge (2)		4
5-E11	Randomisierte Blockanlage	Kompost (4)	Menge (2)		5
6-E11	Randomisierte Blockanlage	Kompost (1)			4
6-F12	Lateinisches Rechteck	Menge (2)	Applikationsart (2)		4
7-E12	Randomisierte Spaltanlage	Kompost (1)	Gemenge (2)		4
7-F12	Randomisierte Spaltanlage	Menge (2)	Applikationsart (2)	Gemenge (2)	4

In den Versuchen 6-E11 und 6-F12 wurde aufgrund der Erfahrungen aus den Vorjahren, in denen erkannt wurde, dass durch das punktweise Auftreten des natürlichen Inokulums auf den Versuchsfeldern die Auswertung erschwert und die Effekte verschwommen waren, eine Teilung der Parzellen vorgenommen. Jede Parzelle hatte direkt neben der Kompostbehandlung eine Kontrolle ohne Kompost, um die räumlichen Unterschiede als Einflussfaktor einzuschränken. Damit war es möglich, die Differenz zwischen den Behandlungen zu bilden und diese auszuwerten. Die statistische Auswertung erfolgte in SPSS 19 varianzanalytisch (GLM); Mittelwerte wurden Posthoc auf signifikante Unterschiede mit dem Tukey-Test überprüft während die qualitativen Daten mit dem parametrischen Verfahren nach Kruskal Wallis auf signifikante Unterschied geprüft wurden.

In den Gefäßversuchen (randomisierte Blockanlage) wurden die quantitativen Parameter varianzanalytisch mit SPSS 19 verrechnet und die Mittelwert Posthoc auf signifikante Unterschiede mit dem Tukey-Test überprüft; im Fall der Boniturwerte erfolgte die statistische Prüfung mit dem nicht parametrischen Verfahren nach Kruskal Wallis.

### Versuchsansätze 8, 9 und 11

Die Versuche waren als Spalt-Blockanlage mit vier Wiederholungen mit dem Faktor Bodenbearbeitung als Großteilstückfaktor und der Kombination der Versuchsfaktoren mechanische Bodenbelastung und Kultur als Kleinteilstückfaktor angelegt. Die Daten wurden mit der Prozedur MIXED in SAS 9.2 ausgewertet, wobei neben den drei Versuchsfaktoren als weiterer Faktor der Versuchsstandort berücksichtigt wurde. Der Versuchsstandort wurde entsprechend PIEPHO et al. (2003) als fixer Faktor bewertet, da die Versuche auf festen Versuchsstationen durchgeführt wurden. Die Auswertung der Daten erfolgte aufgrund von unterschiedlichen Witterungsbedingungen getrennt für die Versuchsjahre.

### Versuchsansatz 10

Bei den Parzellen-Feldversuchen 10-M, 10-P und 10-F handelt es sich um zweifaktorielle Blockanlagen mit vier Wiederholungen mit einem kurzen Anbauabstand (ein bis vier Jahre) zu einer vorangegangenen Leguminose (Erbse oder Klee). Geprüft wurden die Versuchsfaktoren Kultur (Erbse Reinsaat, Hafer Reinsaat, Erbse-Hafer-Gemenge) und Bodenbelastung (0 t, 2,6 t, 4,6 t Radlast) in 4 Wiederholungen (=36 Parzellen).

Die Anlage der Versuche erfolgte im Frühjahr nach einer vorangegangenen Herbstpflugfurche (15-20 cm) auf leicht abgetrocknetem, tragfähigem Oberboden. Die Belastung wurde mit einem

speziell angefertigten „Belastungswagen“ (siehe 3.1.2.2.) auf der später einzusäenden Fläche der Parzelle gesetzt. Anschließend an die „Überrollung“ erfolgte eine Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge und die Aussaat der Kulturen. Als Kulturen wurden ein Sommererbsen Reinbestand (Saatstärke 80 Körner/m<sup>2</sup>, Sorte Santana), ein Hafer Reinbestand (Saatstärke 300 Körner/m<sup>2</sup>, Sorte Dominik) und ein Sommererbsen-Hafer-Gemenge (80 Körner/m<sup>2</sup> Santana und 60 Körner/m<sup>2</sup> Dominik) angebaut. Die Parzellengröße betrug mindestens 1,50 m x 12 m.

Um den Krankheitsdruck auf die Erbsen zu erhöhen, betrug der Anbauabstand in den Versuchen 10-M09, 10-F09 und 10-F10 nur ein Jahr, was zu einem starken Krankheitsbefall bzw. zum Totalausfall der Erbsen führte. Daraufhin wurde der Anbauabstand in den Versuchen 10-M und 10-P in den folgenden Jahren auf bis zu vier Jahre ausgedehnt.

## **Versuchsansatz 12**

Die Mittelwerte der Läsionslängen wurden vor der Varianzanalyse pro Parzelle ermittelt. Alle Daten wurden mit dem Programm SAS 9.1. analysiert. Mit PROC UNIVARIATE wurden die Daten auf Normalverteilung untersucht und wenn notwendig wurzeltransformiert (Ertragsdaten) oder arcsinus (Befallsdaten). Nicht-transformierte Daten werden präsentiert. Varianzanalysen wurden mit gemischten Modellen (PROC MIXED) gerechnet. Erträge und Läsionslängen wurden mit Tukey honestly significance difference test verglichen. Befallsklassen wurden mit dem nicht-parametrischen Friedman Test verglichen. Der Blattlausbefall wurde mit dem Wilcoxon Mann-Whitney rank sum test und Kruskal-Wallis rank sum test verglichen.

## **Versuchsansatz 13 und 14**

Die Versuche im Versuchsansatz 13 beinhalteten die Faktoren Kultur und Bodenbearbeitung. Sie waren als Spalt-Blockanlage mit vier Wiederholungen mit der Bodenbearbeitung als Großteilstückfaktor und der Kultur als Kleinteilstückfaktor angelegt. Die Auswertung erfolgte mit der Prozedur MIXED in SAS 9.2. In Versuchsansatz 14 wurden die Faktoren Wintererbsen-Sorte und Anbauform untersucht. Die Versuche waren dabei als randomisierte vollständige Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt und ebenfalls mit der Prozedur MIXED in SAS 9.2 ausgewertet.

## **3.4 Methoden des Wissenstransfers**

Ein wichtiger Aspekt im Bodenfruchtbarkeitsprojekt war die Praxisrelevanz der Forschungsarbeiten. Dies wurde im Besonderen durch zwei Maßnahmen sichergestellt: durch die Einberufung einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe (PAG), mit der die Arbeiten und Ergebnisse regelmäßig diskutiert wurden, sowie durch die Einbindung von Praxisbetrieben sowohl für Erhebungen, als auch für Versuche auf den Betrieben und eine abschließende Befragung.

Der Wissenstransfer im Rahmen des Projektes zielte darauf ab, die externen Zielgruppen Landwirte, Berater, Wissenschaftler und weitere Multiplikatoren (wie Fachjournalisten) zu erreichen.

Dazu wurde eine Projektwebsite eingerichtet, auf der über die Projektlaufzeit kontinuierlich Informationen zum Projekt, zu den Themenkomplexen Boden und Körnerleguminosen sowie erste Ergebnisse veröffentlicht wurden. Die Website war als Anlaufstelle für alle am Projekt interessierten Personen gedacht, die sich dort sowohl über das Projekt allgemein als auch über einzelne Inhalte sowie verschiedene Aspekte der Bodenfruchtbarkeit informieren können. Dazu

wurden neben den eigens in der Projektlaufzeit erarbeiteten Inhalten auch alle im Projekt erarbeiteten Informationsmaterialien zum Download bereitgestellt. Um das Wissensangebot auf der Website zu erhöhen und sie inhaltlich aufzuwerten, wurde die Grundlagenbroschüre Boden in die Website integriert, an der einige Projektpartner als Co-Autoren beteiligt waren. Um Leser zum regelmäßigen Besuch auf der Website zu animieren, wurde ab Februar 2010 außerdem ein Thema des Monats zum Download angeboten. Dieses wurde zusammen mit aktuellen Terminen und Informationen aus dem Projekt als Multiplikatorenrundbrief an Berater und interessierte Landwirte versandt. Diese sollten so in den Fortgang des Projektes eingebunden werden und regelmäßig neue Informationen zu Themen der Bodenfruchtbarkeit erhalten. Daneben wurde das Thema des Monats auch der Fachpresse zur Veröffentlichung angeboten. Außerdem wurde das Thema des Monats in gedruckter Fassung bei Feldtagen als Infomaterial ausgelegt. Für die Fachpresse wurden außerdem weitere Veröffentlichungen vorbereitet. Um Themen anschaulicher darzustellen, wurden kurze Videos erstellt und auf der Projektwebsite verfügbar gemacht. Um bei Interesse oder tiefergehenden Fragen den persönlichen Kontakt zu ermöglichen, wurden außerdem die Kontaktdaten aller Projektpartner auf die Website gestellt.

Daneben wurden Themenblätter zum Zwischenfruchtbau, zum Grünbrache-Management sowie zur Reduzierung des Bodendrucks erstellt und aufbereitet. Diese sollten ebenfalls das Interesse zum Thema Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit wecken und in kompakter Weise das entsprechende Fachwissen vermitteln. Die Themenblätter wurden zum Download zur Verfügung gestellt, bei Feldtagen ausgelegt und der Fachpresse zur Verfügung gestellt. Außerdem wurden ein Flyer zum Projekt sowie Visitenkarten erstellt, die auf die Projektwebsite hinweisen.

Es wurden insgesamt zehn Projektfeldtage geplant, organisiert, angekündigt und durchgeführt sowie für die Veröffentlichung auf der Projektwebsite als „Virtuelle Feldtage“ aufbereitet. Die Feldtage wurden als wichtiges Instrument angesehen, um Landwirten und Beratern in der direkten Anschauung Themen aus dem Projekt zu vermitteln und sie mit ihnen zu diskutieren. Daneben wurden der Fachpresse Artikel zu den Feldtagen zur Veröffentlichung angeboten, um die Öffentlichkeitswirksamkeit der Feldtage und damit auch der Projektinhalte weiter zu verstärken. Auch auf den DLG-Feldtagen 2012 in Bernburg-Strenzfeld war das Projekt mit Demonstrationsparzellen, Postern, Topfversuchen und Informationsmaterial präsent und sollte insbesondere auch konventionelle Landwirte ansprechen und zum Körnerleguminosenanbau und einem schonenden Umgang mit dem Boden sensibilisieren.

Dieses Ziel verfolgte auch die Vorstellung des Projektes und seiner Ergebnisse durch die Projektpartner auf externen Feldtagen, Vortragsveranstaltungen für Landwirte, Beratertagungen etc.. Mit der Vorstellung der Projektergebnisse auf wissenschaftlichen Tagungen wie der Wissenschaftstagung, der Pflanzenbautagung, der GEWISOLA usw. wurde darauf abgezielt, die Projektthemen nicht nur mit der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu diskutieren, sondern diese auch für die Themen verstärk zu sensibilisieren. Außerdem wurde das Projekt während der Internationalen Grünen Woche 2013 in Berlin in der Halle des BMELV vorgestellt. Hier lag der Schwerpunkt auf der Darstellung des Projektes für Verbraucher, die so einen Einblick in den ökologischen Ackerbau und die Rolle der Körnerleguminosen erhalten sollten.

Im Rahmen des Projektes wurden zwei große Vortragsveranstaltungen durchgeführt, die neben Landwirten und Beratern vor allem auch Personen aus Wissenschaft und Politik als Zielgruppe hatten. Dadurch sollte ein erweiterter Personenkreis mit den Projektthemen in Kontakt kommen. Zum Tag des Bodens fand im Dezember 2010 eine Tagung in Frankfurt am Main statt, zum Abschluss des Projektes wurde im Dezember 2013 der Hochschultag von Universität Kassel und dem Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) der Vorstellung der Projektergebnisse gewidmet.

Aus den praxisrelevanten Ergebnissen und Erfahrungen des Projektes wurde in Zusammenarbeit mit der BLE eine Praxisbroschüre erstellt, die sich an interessierte Praktiker und Berater richtet. Die bereits im Vorfeld zahlreich eingegangenen Vorbestellungen zeigen das rege Interesse der Zielgruppe an der Broschüre.

Um die projektinterne Kommunikation und die Vernetzung der Partner im Projektverbund zu gewährleisten, wurden in regelmäßigen Abständen Telefonkonferenzen via Skype abgehalten, in deren Folge ein interner Newsletter an das Projektteam versandt wurde. Weiterhin fanden regelmäßige Projekttreffen an verschiedenen Standorten statt. Auf Wunsch des Projektgebers wurde eine projektbegleitende Arbeitsgruppe (PAG) eingerichtet, mit welcher jährliche Treffen abgehalten wurden.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Workpackage 1: Analyse von Praxiserfahrungen und Praxiserhebungen

Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse wurden mit einer beobachtenden Forschungsmethodik erarbeitet. Im Unterschied zum klassischen Feldversuch wurden keine gezielten Varianten angelegt, sondern Daten auf Praxisflächen von Ökobetrieben erhoben. Mit verschiedenen statistischen Verfahren wurden wesentliche Einflussfaktoren einzelner Zielparameter, z. B. dem Ertrag, ermittelt. Mit dieser Methodik können nur Faktoren ermittelt werden, die eine ausreichende Streubreite aufweisen. So wird z. B. der ertragslimitierende Einfluss eines niedrigen Nährstoffgehaltes nicht erkannt, wenn dieser bei allen untersuchten Fällen auf niedrigem Niveau liegt. Um bei möglichst vielen Parametern eine große Streubreite zu erhalten, wurden deshalb viele verschiedene Standorte und Bewirtschaftungsverfahren einbezogen. Viele der Daten, vor allem im Bereich Boden und Bewirtschaftung, sind redundant und stark korreliert. Das Fehlen einer signifikanten Korrelation von einzelnen Variablen mit dem Zielparameter kann deshalb nicht in jedem Fall als das Fehlen eines Zusammenhangs interpretiert werden. Auch können erklärende Parameter komplementär sein und dadurch in der statistischen Auswertung nicht ihrem realen Einfluss gemäß bewertet werden. Es ist somit wesentlich, die Ergebnisse der statistischen Auswertung vor dem Hintergrund des derzeitigen Erkenntnisstandes zu diskutieren und zu interpretieren.

Mit den angewendeten multivarianten Statistikverfahren (vgl. Kap. 3.1.1) konnten Kombinationen wesentlicher Faktoren ermittelt werden, die in der Öko-Praxis einen bedeutenden Einfluss auf die entsprechenden Zielparameter haben. Auch eine Gewichtung der Faktoren war mit dieser Methodik möglich. Im Vergleich zu Ergebnissen aus Feldversuchen spiegeln die Resultate des beobachtenden Forschungsansatzes besser die komplexen Verhältnisse in der Praxis wider, sie können jedoch nicht deren Exaktheit und Schärfe erreichen.

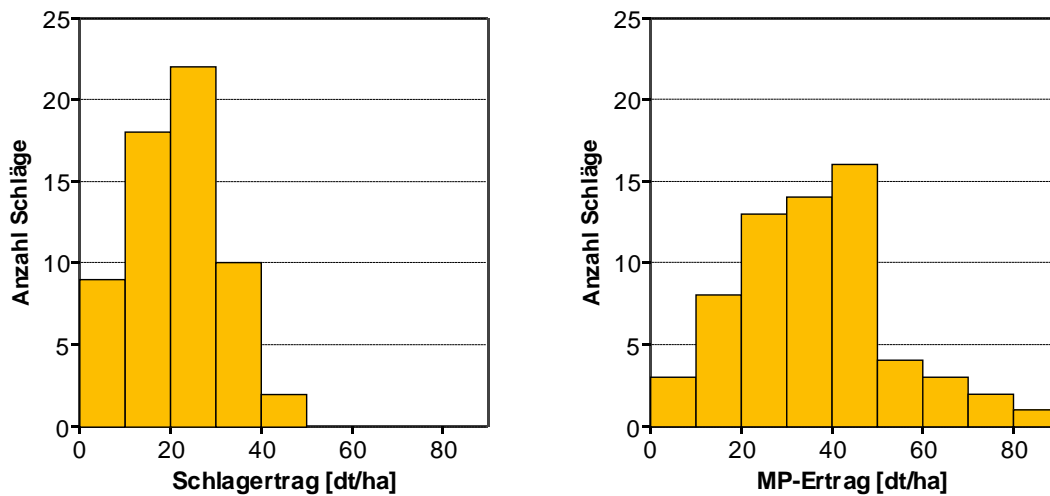
#### 4.1.1 Ergebnisse zum Erbseanbau

Im Zeitraum 2009 bis 2012 wurden 74 Untersuchungsschläge mit Erbsen angesät. Ein Schlag wurde aufgrund schlechten Feldaufgangs umgebrochen und zwei Schläge aufgrund von Hagelschlag bzw. extremen Säfehlern nicht in die Auswertung einbezogen. Auf sieben der verbleibenden 71 Schläge standen bunt blühende Sommererbsen; die Ergebnisse dieser Schläge wurden nicht die Ableitung von Faktoren einbezogen, es erfolgte jedoch jeweils ein Vergleich mit den Ergebnissen der weiß blühenden Erbsen.

##### 4.1.1.1 Ertrag

Sechs der 64 mit weiß blühenden Erbsen bebauten Schläge wurden zwar beprobt, aber von den Landwirten nicht geerntet, sondern gemulcht. Als Gründe wurden ein unzureichender Bestand und/oder ein für den Mähdrusch zu hoher Unkrautbesatz genannt. Der höchste von den Betriebsleitern ermittelte Schlagenertrag lag bei 47 dt/ha, der Durchschnitt bei 22 dt/ha (Verteilung in Abbildung 6). In den Messparzellen wurden zwischen 6 und 82 dt/ha und im Mittel 36 dt/ha geerntet (MP-Ertrag, Abbildung 6). Auf den betrieblich nicht geernteten Schlägen

konnten in den Messparzellen noch 12 bis 44 dt/ha ( $\varnothing$  25 dt/ha) geerntet werden. Sowohl die Schlag- als auch die MP-Erträge streuten in einem weiten Bereich.



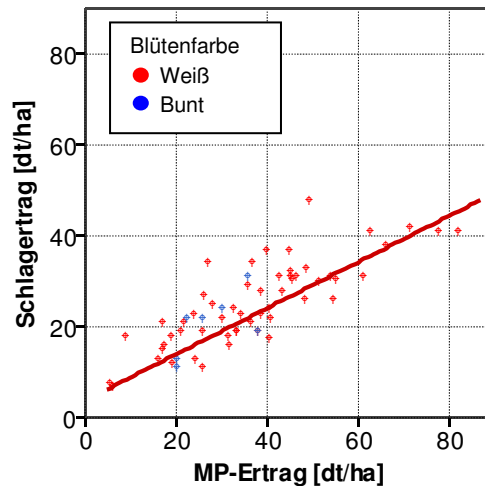
**Abbildung 6: Histogramme der Erbsenerträge (14 % Feuchte), links Schlag-ertrag (Betriebsleiterangaben), rechts Messparzellenertrag (MP-Ertrag, Hand-ernte)**

### Unterschied Schlag- und MP-Ertrag

Im Mittel übertrafen die MP-Erträge die Schlag-erträge um 54 % (nur betrieblich beerntete Schläge). Da bei der Ermittlung der MP-Erträge keine Fahrspuren, Vorgewende, Senken, Kuppen und größere Lücken beprobt wurden, sind höhere MP-Erträge nachvollziehbar. Bei den mit gleicher Methodik ermittelten Getreideerträgen übertraf der Messpunktertrag den Schlag-ertrag jedoch nur um 30 % (vgl. 4.1.5.1). Beobachtungen des Wachstumsverlaufs und bei der Ernte lassen darauf schließen, dass die Erbse deutlich stärker als das Getreide auf ungünstige Verhältnisse innerhalb eines Schlages reagiert, d. h. die Erbsenbestände waren meist heterogener und lückiger als die Getreidebestände im Folgejahr. Die Ausfall- und Druschverluste waren bei der Probenernte sehr niedrig und wahrscheinlich deutlich geringer als beim Mähdrusch. Auch bei den Ausfallverlusten vor der Ernte kann wohl von geringeren Werten bei der Hand-ernte ausgegangen werden, da die später erfolgte Betriebsernte in einigen Fällen witterungsbedingt nicht zum optimalen Termin stattfand. Weiterhin werden bei der Hand-ernte alle Hülsen erfasst, während beim Mähdrusch ein gewisser Abstand zum Boden eingehalten werden muss und dadurch tief angesetzte Hülsen und lagernde Pflanzen schlechter erfasst werden.

Aus Abbildung 7 wird deutlich, dass sich die bunt blühenden Erbsen in der Differenz von Schlag- zu MP-Ertrag nicht wesentlich von den weiß blühenden unterscheiden. Obwohl mit den drei Messparzellen nur ein kleiner Teil des jeweiligen Schlages abgedeckt wurde erreichte das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  der Regressionsgeraden von MP- und Schlag-ertrag 0,65.





**Abbildung 7: Streudiagramm von Schlag- und Messpunktertrag (MP-Ertrag) sowie die Regressionsgerade auf Basis der weiß blühenden Erbsen**

### Ertragskomponenten

Bei den weiß blühenden Erbsen wies die Anzahl Hülsen pro Trieb unter den Ertragskomponenten den engsten Zusammenhang mit dem Ertrag auf (Tabelle 23). Sie variierte zwischen den einzelnen Schlägen von 1,3 bis 10,0 Hülsen pro Trieb ( $\varnothing$  6,0). Tausendkornmasse (TKM), Anzahl Triebe pro m<sup>2</sup> und Anzahl Körner pro Hülsen hatten hingegen einen deutlich geringeren Einfluss. Bei der gemeinsamen Verrechnung mit den bunt blühenden Erbsen gewann durch die geringere TKM dieser Sorten die Ertragskomponente TKM geringfügig an Bedeutung.

**Tabelle 23: Korrelationskoeffizienten (Pearson) der verschiedenen Ertragskomponenten mit dem Ertrag der weiß blühenden und aller untersuchten Erbsensorten**

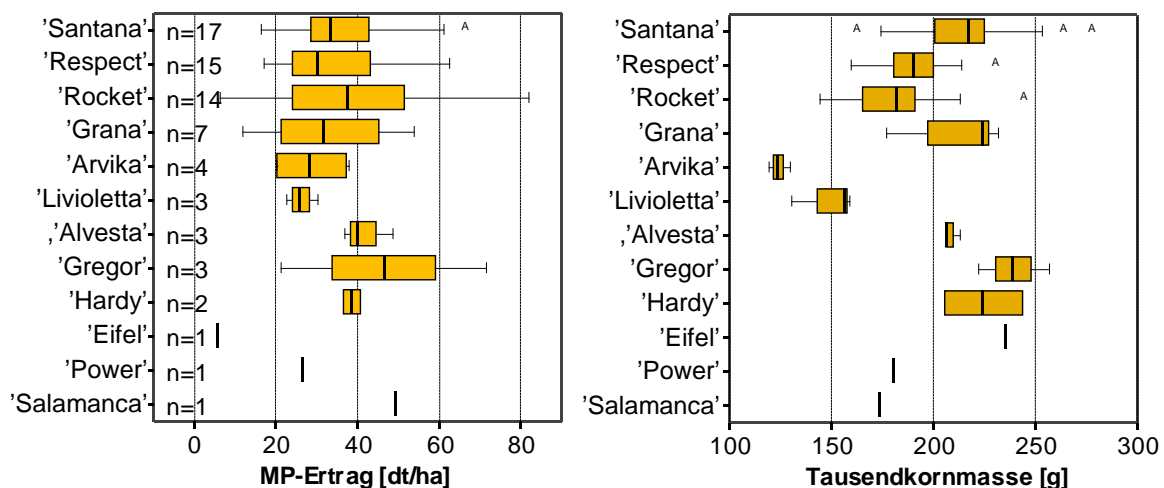
	Triebe/m <sup>2</sup>	Hülsen/Trieb	Körner/Hülse	Tausendkornmasse
Weiß blühend	0,31*	0,75**	0,26	0,33**
Alle Sorten	0,28*	0,73**		0,35**

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

### Sorten

Sortenbedingte Ertragsunterschiede konnten nur zwischen den drei am häufigsten angebauten Sorten 'Santana', 'Respect' und 'Rocket' geprüft werden. Die Differenzen waren nicht signifikant. Bei den Unterschieden im Ertragsniveau zwischen den anderen Sorten (Abbildung 8) konnte aufgrund der geringen Anzahl an Fällen der Sorteneinfluss nicht von weiteren möglichen Faktoren der Ertragsvarianz getrennt werden.

In den Ertragskomponenten zeigten sich deutliche Sortenunterschiede nur bei der Tausendkornmasse (TKM, Abbildung 8). Statistisch konnten nur die Unterschiede zwischen den drei am häufigsten angebauten Sorten geprüft werden. Signifikante Unterschiede traten zwischen 'Rocket' ( $\varnothing$  172 g) und 'Santana' ( $\varnothing$  210 g) auf.



**Abbildung 8: Boxplots des Messpunktertrags (MP-Ertrag) und der Tausendkornmasse nach den auf den Untersuchungsschlägen angebauten Erbsensorten (\* signifikant,  $p < 0,05$ )**

### Faktoren der Ertragsvarianz

Eine Korrelationsanalyse vom MP- und Schlägertrag mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab auch nach Prüfung der Streudiagramme und Eliminierung der Fälle ohne Möglichkeit eines kausalen Zusammenhangs eine Vielzahl signifikanter Korrelationen. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 24 aufgeführt. Die große Zahl an Parametern mit signifikanten Korrelationen weist darauf hin, dass der Erbsenertrag von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst wurde. Vor allem in den Bereichen Wasserversorgung, Bodenart, Wurzelschädigung, Unkrautdruck, Anbaugeschichte sowie Saattiefe und Unkrautregulierung traten hohe Korrelationskoeffizienten auf. Wesentliche Unterschiede zwischen MP-Ertrag und Schlägertrag waren selten. So wies z. B. die Niederschlagsmenge vor der Ernte nur mit dem Schlägertrag eine signifikante negative Korrelation auf. Im Vergleich zum Mähdrusch war ein Einfluss durch die Witterungsbedingungen auf die Ergebnisse der Handernte an den Messpunkten nicht signifikant.

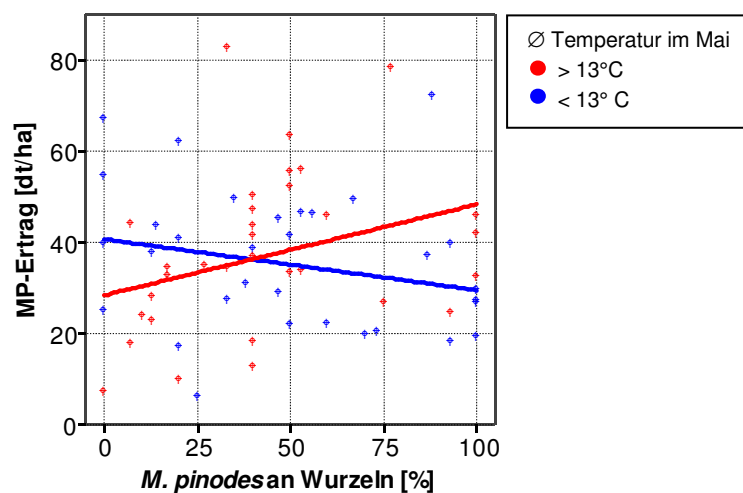
**Tabelle 24: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Messpunkt- (MP) und dem Schlägertrag (S) der Erbsen**

Höhe / Witterung	MP	S	Pflanze	MP	S
Höhe über NN	-0,29*	-0,29*	<i>F. oxysporum/avenaceum</i> an Wurzeln	-0,38**	-0,17
Ø Temperatur 2 Wochen vor Saat	-0,13	-0,30*	Länge der Wurzelläsion	-0,43**	-0,34**
Niederschlag Juni	0,16	0,26*	Wurzelläsion Oberflächenbonitur	-0,37**	-0,35**
Niederschlag 2 Wochen vor Ernte	0,06	-0,28*	Wurzelläsion Gewebebonitur	-0,35**	-0,29*
∑ Wasserbilanz in Trockenperioden	0,13	0,27*	Höhe Erbsenbestand Juni	0,49**	0,36**
<b>Boden</b>			Homogenität Erbsenbestand Juni	0,47**	0,46**
Bodenpunkte	0,26*	0,23	Unkrautdeckungsgrad Juni	-0,48**	-0,52**
Ton	-0,26*	-0,25*	<b>Bewirtschaftung</b>		
Feinschluff	-0,25*	-0,31*	Jahre seit Umstellung	-0,28*	-0,28*
Feinsand	0,31*	0,33**	Jahre mit Viehhaltung	-0,48**	-0,45**
Nutzbare Feldkapazität Unterboden	0,51**	0,22	Anbaujahre Erbse (25 Jahre)	-0,35**	-0,32*
Eindringtiefe Bodensonde	0,47**	0,48**	Anbauabstand vorherige Erbse	0,35**	0,31*
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (>10 mg/100g)	0,28*	0,25	Anteil Klee gras (15 Jahre)	-0,27*	-0,25*
K <sub>2</sub> O	-0,30*	-0,21	Anbaujahre Luzerne (25 Jahre)	-0,26*	-0,24
N <sub>min</sub> 0-30 cm Frühjahr	-0,34**	-0,11	Anbauabstand vorherige Luzerne	0,29*	0,30*
Organische Substanz	-0,40**	-0,36**	Anbaujahre Rotklee (25 Jahre)	-0,28*	-0,23
C/N-Verhältnis	-0,26*	-0,15	Anteil Wurzel- & Knollenfrüchte (15 J.)	0,44**	0,38**
C <sub>mik</sub>	-0,42**	-,33*	Anteil Getreide (15 Jahre)	-0,36**	-0,34**
<b>Pflanze</b>			Tiefe Stoppelbearbeitung Vorjahr	0,28*	0,29*
Anteil Saatgut ohne Krankheitserreger	0,10	0,27*	Pflugtiefe	0,32*	0,41**
Anteil keimfähiges Saatgut	0,23	0,33*	Saatgutherkunft ökologisch	-0,25*	-0,31*
Unkrautdeckungsgrad Mai	-0,28*	-0,21	Saattiefe	0,24	0,25
Homogenität Erbsenbestand Mai	0,30*	0,45**	Anzahl Striegelgänge	0,27*	0,24

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

Bei einer Reihe von Parametern, bei denen ein Zusammenhang zum Ertrag erwartet wurde, konnte keine signifikante Korrelationen gefunden werden, z. B. bei Parametern der Boden-

struktur bzw. von Verdichtungen im Boden, dem Saatgutbesatz mit Krankheitserregern, dem Unterschied zwischen Erbsen-Reinsaat und Gemengeanbau in der Vorgeschichte sowie dem Besatz der Wurzeln mit den Pilzen *F. solani*, *P. medicaginis* und *M. pinodes*. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass der erwartete kausale Zusammenhang bei den zugrunde liegenden Schlägen nicht bzw. nur in wenigen Fällen auftrat. Der Saatgutbesatz mit Krankheitserregern war z. B. oft auf wenige Fälle beschränkt, was eine Absicherung von Zusammenhängen mit der Korrelationsanalyse erschwert. Weiterhin können Interaktionen mit anderen Parametern den Einfluss von Faktoren überdecken. Bei Parametern aus den oben genannten Bereichen wurden verschiedene Interaktionen geprüft. Nur bei dem Wurzelbesatz mit *M. pinodes* (WMpi) konnte eine signifikante Interaktion gefunden werden. Die partielle Korrelation von WMpi und MP-Ertrag mit den Kontrollvariablen Temperatur im Mai (T05) und dem Interaktionsterm T05 x WMpi ergab einen signifikanten Korrelationskoeffizienten von -0,32. In Abbildung 9 wird der unterschiedliche Einfluss von WMpi auf den MP-Ertrag bei verschiedenen T05-Niveaus veranschaulicht. Nur bei T05 kleiner als 13°C zeigte sich ein negativer Effekt von WMpi auf den Ertrag.



**Abbildung 9: Streudiagramm vom Besatz der Erbsenwurzeln mit *M. pinodes* zum Zeitpunkt der Blüte und dem Messpunktertrag (MP-Ertrag) sowie Regressionsgeraden für die Fälle mit einer Temperatur im Mai von > und < 13°C**

Nach einer Vorauswahl möglicher Faktoren mit der partiellen Korrelation und der folgenden schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurde eine Kombination von 13 Parametern ausgewählt, mit der ein wesentlicher Teil der Varianz des MP-Ertrags erklärt werden konnte ( $R^2$  0,81). Die in Tabelle 25 aufgeführten Beta-Werte der einzelnen Faktoren geben Hinweise auf die relative Wichtigkeit bei der Varianzaufklärung (je größer die Abweichung von Null je größer ist der Einfluss). Die oben genannten Interaktionen mit WMpi erbrachte für das Regressionsmodell keine relevante Verbesserung und wurde deshalb nicht aufgenommen.

**Tabelle 25: Direkte Faktoren des Erbsenertrags: im Regressionsmodell für den Messpunkt- (MP) und den Schlagertag (Schlag) aufgenommene Regressoren (MP: R<sup>2</sup> 0,81), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor					MP		Schlag	
	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.	Beta	Sig.
Ø Temperatur 2 Wochen vor Saat [°C]	7,1	2,6	11,9	2,0			-0,18	0,06
Wasserbilanz 2 Wochen nach Saat [l/m <sup>2</sup> ]	-0,31	-2,11	1,36	0,93	0,25	0,00	0,16	0,10
Niederschlag Juni [l/m <sup>2</sup> ]	76	4	154	37	0,22	0,00	-0,18	0,02
Ton (>20 %)	20 % der Schläge				-0,35	0,00	-0,30	0,00
Eindringtiefe Bodensonde [cm]	66	30	80	14	0,26	0,00	0,30	0,00
Wasservorrat 0-90 cm Frühjahr [l/m <sup>2</sup> ]	202	77	365	51	0,19	0,03		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (> 10 mg/100g)	61 % der Schläge				0,33	0,00	0,25	0,01
N <sub>min</sub> 0-90 cm Frühjahr [kg/ha]	55	7	123	23	-0,29	0,00		
Anbaujahre Erbse (25 Jahre)	1	0	4	1,2	-0,25	0,00	-0,20	0,04
Saattiefe [cm]	4,3	1,7	6,0	1,1	0,18	0,01	0,22	0,02
Blattlausbefall / -schädigung Juni (Bonitur 0 – 4)	1,3	0,0	4,0	1,1	-0,15	0,03		
Länge Wurzelläsion [cm]	72	4	192	42	-0,16	0,04		
<i>F. oxysporum/avenaceum</i> an Wurzeln [%]	46	0	100	27	-0,17	0,02		
Unkrautdeckungsgrad Mai (>5%)	67% der Schläge				-0,26	0,00	-0,30	0,01

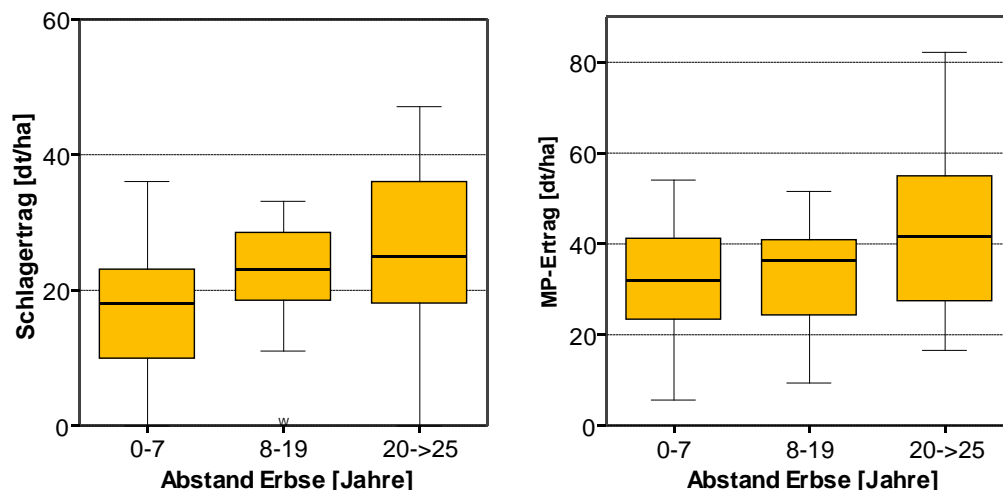
Die nicht durch die Bewirtschaftung beeinflussbaren Standortparameter Tongehalt > 20 %, Ø Eindringtiefe der Bodensonde, Wassermenge in 0 - 90 cm im Frühjahr, Wasserbilanz zwei Wochen nach der Saat und Niederschlagsmenge im Juni sind wesentlich an der MP-Ertragsvarianz beteiligt. Aus den Beta-Werten dieser Regressoren errechnen sich zusammen ca. 40 % der mit dem Regressionsmodell erklärten Varianz. Standorte mit tiefgründigen, leichten Böden mit hoher Wasserhaltefähigkeit sowie hohen Niederschlagsmengen nach der Saat und im Juni wiesen im Mittel somit höhere Erträge auf. Die große Streubreite vom Wasservorrat des Bodens im Frühjahr von 77 bis 365 l/m<sup>2</sup> und der Niederschlagsmenge im Juni von 4 bis 154 l/m<sup>2</sup> zeigen die extreme Spannweite in der Wasserversorgung der Erbsen.

Weitere wichtige Faktoren des MP-Ertrags waren die Bodennährstoffparameter P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> >10 mg/100g (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>10) und N<sub>min</sub> in 0-90 cm im Frühjahr (N<sub>min</sub>090). Im Gegensatz zu P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>10 hat N<sub>min</sub>090 eine negative Wirkung auf den Ertrag. Im Mittel lag N<sub>min</sub>090 bei 55 kg/ha, es wurden aber auch bis zu 123 kg/ha gemessen. Schläge mit mehr als 10 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g Boden wiesen im Mittel höhere Erträge auf. Nach VDLUFA sind dies Böden mit der Versorgungsstufe C.

Für die in Zusammenhang mit den Schädigungen der Wurzeln und der Stängelbasis von Erbsen stehenden Parameter Anbaujahre Erbse (AER), Länge der Wurzelläsionen (WLL) und Besatz der Wurzeln mit *F. oxysporum* & *F. avenaceum* (WFoa) errechnen sich aus den Beta-Werten zusammen ca. 20 % der mit dem Regressionsmodell erklärten Varianz. Bei einem Austausch von WLL durch andere Ergebnisse der Wurzelläsionsbonitur zeigte sich, dass mit der Länge der Läsion der höchste Anteil an Ertragsvarianz erklärt werden konnte. Der zusätzlich zum Fruchtfolgeparameter AER getestete Anbauabstand zur letzten vorherigen Erbse

(AbEr) erbrachte keine zusätzliche Erklärung der MP-Ertragsvarianz. Beim Schlagenertrag zeigte sich jedoch ein Unterschied zwischen den Gruppen zwei bis sieben und acht bis 19 Jahre Anbauabstand (Haupt- und Zwischenfrucht, Abbildung 10). Da AbEr mit AEr signifikant korreliert, ist eine sichere Trennung der kausalen Zusammenhänge zwischen Anbauhäufigkeit und Anbauabstand auf Basis der vorliegenden Daten nicht möglich.

Neben dem Fußkrankheitskomplex war auch der Befall bzw. die Schädigung der Erbsen durch Blattläuse (BLaus) ein signifikanter und plausibler Faktor des Erbsenertrags. Boniturergebnisse zu Sprosskrankheiten der Erbsen (Juni) wiesen keinen Zusammenhang mit dem Ertrag auf.



**Abbildung 10: Boxplots von Schlag- und Messpunktertrag (MP-Ertrag) nach zeitlichem Abstand zur vorherigen Erbsenkultur**

Mit dem Unkrautdeckungsgrad im Mai (UK05) und der Saattiefe wurden zwei direkt durch die Bewirtschaftung beeinflussbare Faktoren in das Regressionsmodell aufgenommen. Im Bereich der im abgesetzten Boden gemessenen Saattiefe von 1,7 bis 6,0 cm ( $\varnothing$  4,3 cm) ist ein deutlich positiver Zusammenhang von Saattiefe und MP-Ertrag zu verzeichnen. Die Faktoren des Unkrautdrucks werden in Kap. 4.1.1.4 detailliert aufgeschlüsselt.

Im Regressionsmodell für den Schlagenertrag sind einzelne Regressoren des MP-Ertrags nicht enthalten: WLL, WFOa,  $N_{\min,090}$  und BLaus. Ein Grund dafür kann die große Streuung dieser Parameter innerhalb eines Schlags sein. So wird das Auftreten von *F. oxysporum* & *F. avenaceum* häufig als nesterweise beschrieben. Weitere Ursachen können Ungenauigkeiten in der Schätzung des Schlagenertrags bzw. die Streuung der Ertragsverluste beim Mähdrusch sein. Interessant ist der zusätzlich aufgenommene Faktor Temperatur zwei Wochen vor der Saat. Der negative Zusammenhang zum Ertrag kann auf die Vorteilhaftigkeit einer frühen Saat deuten. Auch beim Schlagenertrag erbrachte die Einbeziehung des Anbauabstands keine zusätzliche Erklärung der Ertragsvarianz.

Eine Reihe von Parametern mit signifikanten Korrelationen zum Ertrag führte bei der multiplen Regression zu keiner zusätzlichen Erklärung der Ertragsvarianz. Ein direkter Zusammenhang zum Ertrag ist z. B. bei den negativ korrelierenden Parametern Organische Substanz (OS), C/N-Verhältnis, mikrobielle Biomasse ( $C_{\text{mik}}$ ) und verfügbares Kalium ( $K_2O$ ) wenig plausibel. Die Parameter OS,  $C_{\text{mik}}$  und C/N korrelieren positiv mit den Ertragsfaktoren  $N_{\min,090}$  und Tongehalt. Da diese wiederum negativ auf den Ertrag wirken (siehe oben) kann es sich bei den Ergebnissen für OS,  $C_{\text{mik}}$  und C/N um Scheinkorrelationen handeln, die kein direkter kausaler

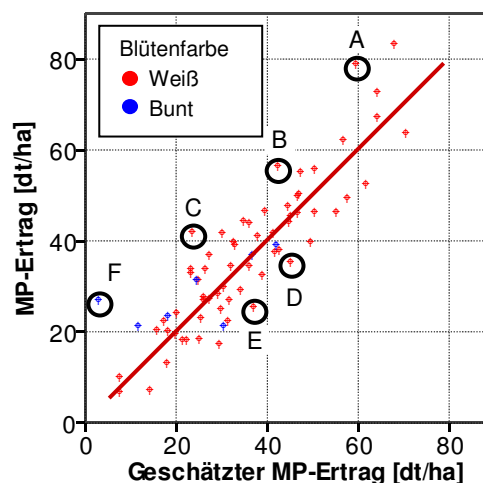


Zusammenhang zugrunde liegt. Ähnliches gilt auch für  $K_2O$ , das eng mit dem Tongehalt zusammenhängt.

Andere Parameter hängen kausal mit einem der Regressoren zusammen und wurden deshalb nicht in das Modell aufgenommen, sie sind jedoch indirekt über diesen Regressor enthalten. UK05 hängt z. B. von der Anzahl Striegelgänge ab (vgl. Kap. 4.1.1.4). Die Unkrautregulierung ist somit indirekt über UK05 im Modell enthalten. Einzelne Regressoren des Erbsenertrags wurden deshalb auf die sie beeinflussenden Faktoren geprüft um weitere Zusammenhänge zu klären (folgende Kapitel).

Insgesamt kann das beschriebene Regressionsmodell Hinweise auf wesentliche Faktoren des Ertrags und deren Gewichtung geben, jedoch nicht die kausalen Zusammenhänge exakt mathematisch beschreiben.

In Abbildung 11 werden die mit dem Regressionsmodell geschätzten Ertragswerte den gemessenen MP-Erträgen gegenübergestellt. Einzelne Schläge weisen deutliche Abweichungen auf. Mit einer Einzelfallanalyse wurde versucht die Ursachen der abweichenden MP-Erträge zu klären. Hierbei wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Informationen verwendet.



**Abbildung 11: Streudiagramm von dem mit dem Regressionsmodell geschätzten und vom gemessenen Messpunktertrag (MP-Ertrag) sowie die Regressionsgerade auf Basis der weiß blühenden Erbsen und Markierungen von Einzelfällen die im Text erläutert werden**

Schlag A war einer der wenigen Schläge, auf denen die Erbsen beregnet wurden. Wahrscheinlich konnten dadurch die negativen Effekte der starken Frühjahrstrockenheit 2011 auf den Ertrag gemindert werden.

Für Schlag B konnten keine Einzelursachen für den relativ hohen MP-Ertrag ermittelt werden. Insgesamt waren jedoch die Niederschlagsmengen und die -verteilung sowie die witterungsbedingten Bodenbedingungen zur Saat an diesem Standort im Vergleich zur Mehrzahl der Schläge deutlich günstiger.

Auf Schlag C konnten die unerwartet hohen MP-Erträge mit der großen Heterogenität des Erbsenbestandes erklärt werden. Die Messpunkte für den Ertrag lagen in einem besseren Bereich des Schlages. Dies wird auch durch den überdurchschnittlich großen Unterschied zwischen MP-Ertrag (41 dt/ha) und Schlagenertrag (21 dt/ha) deutlich.

Auf Schlag D wurde im Vergleich zum Durchschnitt ein mittlerer MP-Ertrag erzielt, der deutlich unter dem geschätzten Wert lag. Trotz guter Boden- und Witterungsbedingungen wurden beim

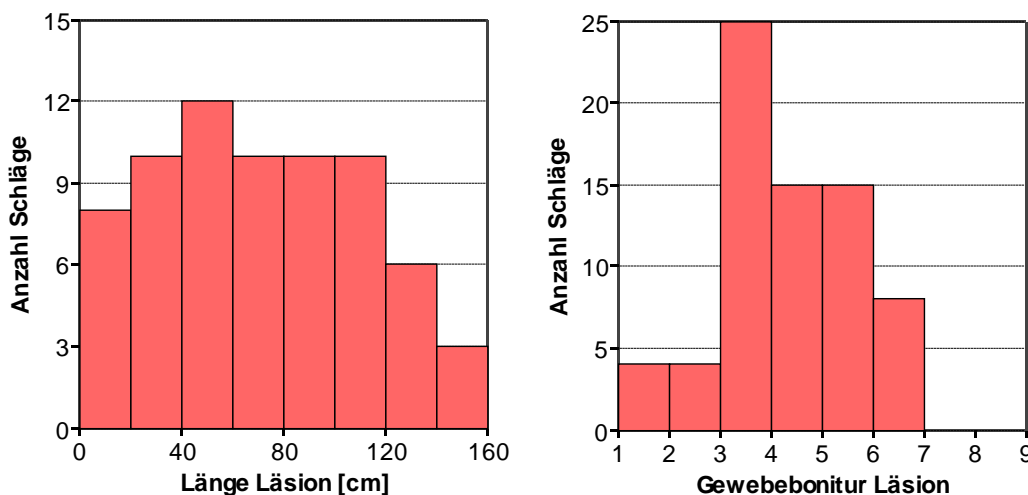
Mähdrusch nur 22 dt/ha geerntet. Bis zur Bonitur Ende Juni entwickelte sich der Bestand sehr positiv. Mögliche Ursachen für den geringen Ertrag sind eine überdurchschnittliche Schädigung durch den zur Blüte beginnenden Blattlausbefall und den hohen Besatz der Wurzeln mit *F. oxysporum* & *F. avenaceum*.

Der relativ niedrige MP-Ertrag auf Schlag E (Jahr 2009) ist wahrscheinlich vor allem auf den extrem leichten Boden (86 % Sand) zurückzuführen, der zu überproportional negativen Auswirkungen der Trockenperioden in 2009 führte.

Das vorgestellte Regressionsmodell für den MP-Ertrag wurde nur auf Basis der Schläge mit weiß blühenden Erbsen ermittelt. Aus Abbildung 11 wird deutlich, dass auch die Varianz der MP-Erträge der meisten Schläge mit bunt blühenden Erbsen durch diese Kombination von Faktoren erklärt werden kann. Nur Schlag F weist einen deutlich höheren MP-Ertrag als geschätzt auf. Auf dem schweren, flachgründigen Boden entwickelte sich trotz hohem Unkrautdrucks ein durchschnittlicher Bestand. Drei Jahre nach vorherigem Erbsenanbau wiesen die Pflanzen nur ein geringes Maß an Wurzelläsionen auf. Da jedoch die anderen Schläge mit bunt blühenden Erbsen sowohl im Ertrag als auch bei den Wurzelläsionen (vgl. Kap 4.1.1.2) keine deutlichen Unterschiede zu den weiß blühenden Erbsen aufwiesen, kann dies nicht als Beleg für eine höhere Widerstandskraft bunt blühender Erbsen gelten.

#### 4.1.1.2 Wurzelläsionen

An den zur Blüte entnommenen Erbsenwurzeln (inkl. 10 cm Stängel) wurde die Länge der Läsionen gemessen sowie deren äußere Intensität und die Ausprägung im Gewebe bonitiert. Die Schädigungen variierten in einem weiten Bereich (Abbildung 12). Da die Länge der Läsionen am deutlichsten mit dem Ertrag zusammenhing, wird im weiteren Verlauf nur dieser Parameter geprüft.



**Abbildung 12: Histogramme der Länge (links) und der Gewebebonitur (rechts) von Läsionen an Wurzel und Stängelbasis der Erbsen zum Zeitpunkt der Blüte (Mittelwerte von 30 Wurzeln je Schlag)**

Eine Korrelationsanalyse von Länge der Wurzelläsion zum Zeitpunkt der Erbsenblüte (WLL) mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab eine Reihe von signifikanten Korrelationen. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 26 aufgeführt. Vor allem in den Bereichen Temperaturverlauf, Bodenbiologie und Fruchtfolge

traten hohe Korrelationskoeffizienten auf. Der Einfluss des Leguminosenanbaus in der Schlaggeschichte konnte nur bei den Arten Erbse, Ackerbohne, Rotklee, Luzerne und Weißklee geprüft werden. Die Anbauhäufigkeit anderer Leguminosenarten reichte für eine statistische Auswertung nicht aus. Bei den Erbsensorten konnten nur die drei am häufigsten angebaute Sorten differenziert werden: 'Respect', 'Rocket' und 'Santana'.

**Tabelle 26: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit der Länge der Läsionen an Wurzel und Stängelgrund der Erbsen zum Zeitpunkt der Blüte**

Witterung		Pflanze	
Ø Temperatur Januar - Saat	-0,34**	Unkrautdeckungsgrad Mai (>5%)	0,34**
Ø Temperatur 4 Wochen nach Saat	-0,33**	Unkrautdeckungsgrad Juni	0,23
Ø Temperatur Juni	0,36**	Unspezifische Erreger an Wurzeln	0,27*
Temperatursumme extremer Wärmephasen	0,37**	Homogenität Erbsenbestand Juni	0,25*
Wasserbilanz April - Mitte Juli	-0,38**	<b>Bewirtschaftung</b>	
<b>Boden</b>		Jahre ökologisch bewirtschaftet	0,38**
K <sub>2</sub> O	0,34**	Anbauj. Leguminosenhauptfrüchte (25 J.)	0,48**
C <sub>mik</sub>	0,31*	Anbaujahre Erbse (25 Jahre)	0,38**
C <sub>mik</sub> /C <sub>org</sub>	0,45**	Anbaujahre Klee gras (25 Jahre)	0,35**
N <sub>mic</sub> /N <sub>t</sub>	0,34*	Anbaujahre Luzerne (25 Jahre)	0,31*
Proteaseaktivität/C <sub>mik</sub>	-0,30*	Anbaujahre Rotklee (25 Jahre)	0,37**
Ergosterol/C <sub>mik</sub>	-0,36*	Anteil Sommerfrüchte (15 Jahre)	-0,32**
		Erbsensorte 'Respect'	0,26*

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

Bei einigen Parametern, bei denen ein Zusammenhang zu WLL erwartet wurde, konnte keine signifikante Korrelationen gefunden werden, z. B. bei Parametern der Bodenstruktur, dem Saatgutbesatz mit Krankheitserregern, dem zeitlichen Abstand zu vorherigen Erbsen (AbEr) sowie dem Besatz der Wurzeln mit den Pilzen *F. solani* (WFso), *P. medicaginis* (WPme) und *M. pinodes* (WMpi). Wie schon beim Ertrag, ließ die geringe Häufigkeit von belastetem Saatgut eine Absicherung von Zusammenhängen mit der Korrelationsanalyse nicht erwarten. Die Prüfung von Interaktionen erbrachte nur bei dem Wurzelbesatz mit *M. pinodes* signifikante Ergebnisse. Die partielle Korrelation von WMpi und WLL mit den Kontrollvariablen Temperatur im Mai (T05) und dem Interaktionsterm T05 \* WMpi ergab einen signifikanten Korrelationskoeffizient von 0,37.

Die Prüfung möglicher Faktoren mit der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse ergab eine Kombination von sieben Parametern zuzüglich eines Interaktionsterms mit der ein wesentlicher Teil der Varianz von WLL erklärt werden konnte (R<sup>2</sup> 0,67). Die in Tabelle 27 aufgeführten Beta-Werte der einzelnen Regressoren geben Hinweise auf die relative Wichtigkeit bei der Varianzaufklärung. Für die mit der Interaktion beteiligten Parameter müssen die drei Beta-Werte gemeinsam bewertet werden.

**Tabelle 27: Direkte Faktoren der Länge der Läsionen an Wurzel und Stängelgrund der Erbsen zum Zeitpunkt der Blüte: im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren ( $R^2$  0,67), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) mit und ohne Interaktionsterm sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Mit Interaktion		Ohne Interaktion	
					Beta	Sig.	Beta	Sig.
Ø Temperatur 4 Wochen nach Saat (T4W) [°C]	9,68	5,98	13,06	1,97	-0,38	0,00	-0,34	0,00
Wasserbilanz April - Mitte Juli [l/m²]	-175	-342	31	93	-0,30	0,00	-0,33	0,00
Anbaujahre Erbse (25 Jahre)	4	1	0	1,2	0,45	0,00	0,38	0,00
Anbaujahre Rotklee (25 Jahre)	2	0	6	2	0,23	0,01	0,22	0,02
Anteil Sommerfrüchte (15 Jahre) [%]	39	0	73	15	-0,21	0,02	-0,18	0,04
Erbsensorte 'Respect'	23 % der Schläge				0,27	0,00	0,21	0,02
<i>M. pinodes</i> an Wurzeln (WMPi) [%]					0,12	0,12	0,02	0,83
Wechselwirkung T4W * WMPi					-0,23	0,01		

Wesentliche Einflussgrößen der WLL-Varianz lagen im Bereich der Witterung. Bei hohen Temperaturen vier Wochen nach der Saat (T4nS) und guter Wasserversorgung traten an den Wurzeln im Mittel weniger lange Läsionen auf. Die Interaktion von WMPi und T4nS weist darauf hin, dass WMPi nur in den Fällen kühler Temperaturen nach der Saat mit einer Schädigung der Erbsenwurzeln zusammenhängt.

Weiterhin haben die Fruchtfolgefaktoren Anbaujahre Erbsen (AER), Anbaujahre Rotklee (ARK) und der Anteil an Sommerfrüchten (ASo) einen deutlichen Einfluss auf WLL. AER hat dabei einen deutlich stärker schädigenden Einfluss als ARK. Ersetzt man ARK durch Anbaujahre Luzerne (ALu) verändert sich das Regressionsmodell kaum. Da Rotklee und Luzerne auf den meisten Schlägen zusammen in einer Kleeegrasmischung angebaut wurden, ist eine Differenzierung des Einflusses dieser beiden Arten hier nicht möglich. Der Anbau von Weißklee und Ackerbohnen hatte hingegen keinen Einfluss auf die Wurzelschädigung. Ein Vergleich der drei Erbsensorten 'Respect', 'Rocket' und 'Santana' zeigt, dass 'Respect' anscheinend häufiger längere Wurzelläsionen aufwies.

Die Einbeziehung der für die Schläge von 2009 bis 2011 vorliegenden bodenbiologischen Parameter erbrachte keine zusätzliche Erklärung der WLL-Varianz. Die teilweise deutlichen Korrelationen (Tabelle 26) hängen möglicherweise mit dem starken Einfluss des Klimas sowohl auf die Bodenbiologie als auch auf die Wurzelschädigung zusammen.

In Abbildung 13 werden die mit dem Regressionsmodell geschätzten WLL-Werte den gemessenen WLL-Werten gegenübergestellt. Das auf Basis der Schläge mit weiß blühenden Erbsen ermittelte Regressionsmodell scheint auch die Wurzelschädigung der Schläge mit bunt blühenden Erbsen zu erklären. Nur die Erbsen der Sorte 'Arvika' auf Schlag A wiesen deutlich stärkere Schädigungen auf als errechnet. In diesem Bestand war die Senf-Stützfrucht im Frühjahr erfroren, so dass die Erbsen frühzeitig ins Lager gingen und auch relativ früh abstarben. Dies führte wahrscheinlich auch zu einer frühen Schädigung der Wurzeln.

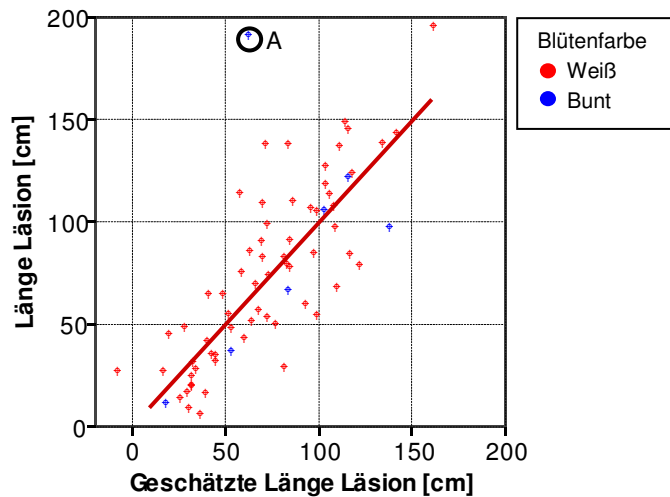


Abbildung 13: Streudiagramm von der mit dem Regressionsmodell geschätzten und von der gemessenen Länge der Läsion an Erbsenwurzel und Stängelgrund zum Zeitpunkt der Blüte sowie die Regressionsgerade auf Basis der weiß blühenden Erbsen

### 4.1.1.3 Pilzbesatz an Wurzeln

#### *F. oxysporum* & *F. avenaceum*

Der Besatz der Erbsenwurzeln mit *F. oxysporum* & *F. avenaceum* zum Zeitpunkt der Blüte (WFOa) variierte in einem weiten Bereich und wies deutliche Jahresunterschiede auf (Abbildung 14). Die beiden Fusarien wurden zusammengefasst, da eine sichere Unterscheidung bei der Isolation nicht immer möglich war.

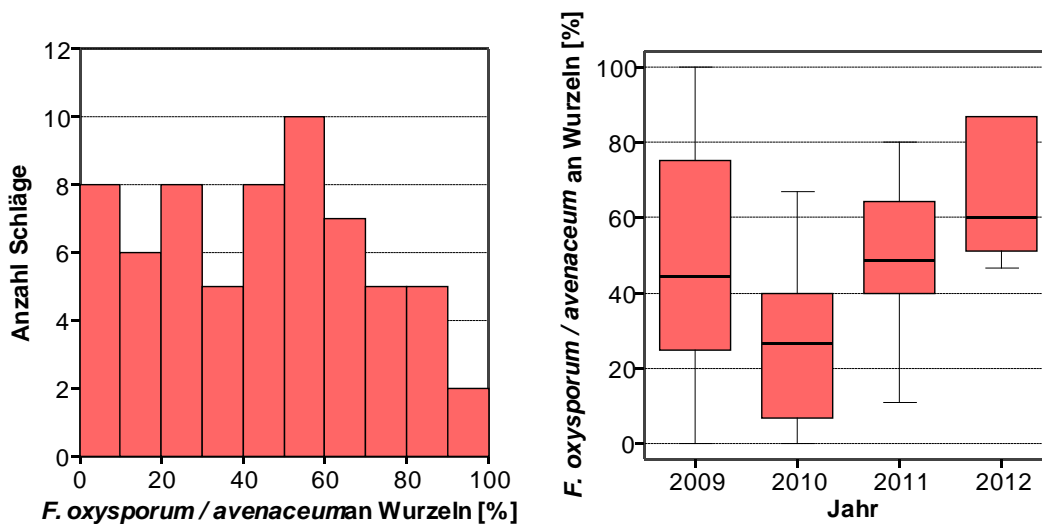


Abbildung 14: Besatz mit *F. oxysporum* & *F. avenaceum* an Erbsenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte (Mittelwerte von 30 Wurzeln je Schlag), links Histogramm, rechts Boxplots der einzelnen Jahre

Eine Korrelationsanalyse von WFOa mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab nur wenige signifikante, meist schwache Korrelationen (Tabelle 28).

**Tabelle 28: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Besatz mit *F. oxysporum* & *F. avenaceum* an Erbsenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte**

Witterung		Pflanze	
Frosttage März	-0,36**	Erbsendeckungsgrad Mai	0,29*
Ø Temperatur Juni	0,38**	<i>P. medicaginis</i> an Wurzeln	-0,29*
Niederschlag 2-6 Wochen nach Saat	-0,27*	<i>M. pinodes</i> an Wurzeln	-0,25*
Wasserbilanz 4 Wochen nach Saat - Probenahme	0,29*	Wurzelläsion Gewebebonitur	0,23
Boden		Bewirtschaftung	
K <sub>2</sub> O	0,24	Anteil Wurzel- & Knollenfrüchte (5 Jahre)	-0,23
		Saatgutherkunft ökologisch	0,26*
		Saattiefe	-0,23

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

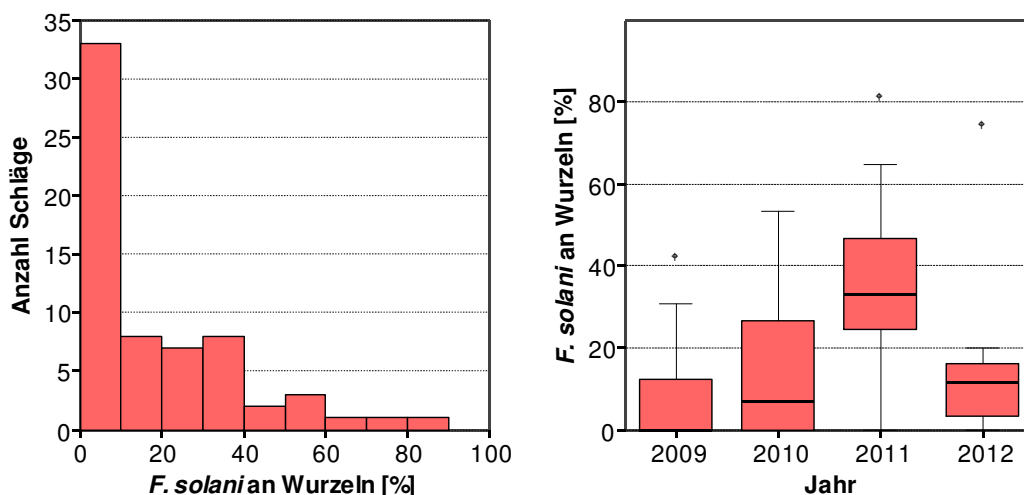
Einzelne Zusammenhänge von WFOa mit in Tabelle 28 aufgeführten Parametern erscheinen plausibel, so die ökologische Saatgutherkunft und die Fruchtfolgegröße Anbauanteil Wurzel- und Knollenfrüchte. Auch kausale Zusammenhänge mit einzelnen Witterungsparametern scheinen möglich. Die negative Korrelationen mit dem Auftreten von *P. medicaginis* und *M. pinodes* an den Wurzeln könnte sowohl auf eine Beeinflussung bei der Isolation oder bei der Besiedelung im Boden deuten als auch auf eine Beeinflussung durch die gleichen Faktoren hinweisen.

Der Versuch mehrere Faktoren in einem sinnvollen Regressionsmodell zu verknüpfen ist bei WFOa nicht gelungen. Auch die Überprüfung möglicher Interaktionen erbrachte keine weitere Klärung von WFOa-Faktoren. Die Zusammenfassung der beiden Pilze *F. oxysporum* und *F. avenaceum* im Parameter WFao kann mit dafür verantwortlich sein, dass keine Faktorkombination ermittelt werden konnte, da die beiden Pilze zum Teil unterschiedlich auf Einflussfaktoren reagieren können.

### ***F. solani***

Nur die Hälfte der Schläge wies zum Zeitpunkt der Blüte einen Besatz der Erbsenwurzeln mit *F. solani* (WFsol) über 10 % auf (Abbildung 15). Im Jahr 2011 lag der Besatz auf einem deutlich höheren Niveau als in den anderen Untersuchungsjahren.





**Abbildung 15: Besatz mit *F. solani* an Erbsenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte (Mittelwerte von 30 Wurzeln je Schlag), links Histogramm, rechts Boxplots der einzelnen Jahre**

Aufgrund der starken Abweichung der WFsol-Daten von der Normalverteilung wurde eine Rangkorrelationsanalyse nach Spearman durchgeführt. Mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab diese eine Reihe signifikanter Korrelationen, vor allem im Bereich der Witterungsdaten. Die Auswahl wesentlicher Parameter ist in Tabelle 29 aufgeführt. Der starke Zusammenhang mit der Wasserversorgung kann die großen Jahresunterschiede erklären. Das Untersuchungsjahr 2011 zeichnete sich an den meisten Standorten durch einen außergewöhnlich niederschlagsreichen Winter und eine extrem trockene Periode im Frühjahr aus.

Auch die negative Korrelation mit dem Porenvolumen im Bearbeitungshorizont könnte plausibel auf einen kausalen Zusammenhang schließen lassen. Ein negativer Zusammenhang zu den Anbaujahren Erbse ist jedoch unwahrscheinlich.

Wie bei WFox kann der Zusammenhang von WFsol mit dem Auftreten von *P. medicaginis* an den Wurzeln sowohl auf eine Beeinflussung bei der Isolation oder bei der Besiedelung im Boden deuten als auch auf die Beeinflussung durch die gleichen Faktoren hinweisen.

Da kein deutlicher Einfluss von WFsol auf den Ertrag der Erbsen gefunden wurde, wird auf eine weitere Prüfung von Faktoren mit der Regressionsanalyse verzichtet.

**Tabelle 29: Korrelationskoeffizienten (Spearman) verschiedener Faktoren mit dem Besatz mit *F. solani* an Erbsenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte**

Witterung		Pflanze	
Ø Temperatur Juni	0,33**	<i>P. medicaginis</i> an Wurzeln	0,40**
Niederschlag November - Mitte Januar	0,49**	Bewirtschaftung	
Wasserbilanz Mitte April - Mitte Mai	-0,48**	Anbaujahre Erbse (25 Jahre)	-0,25*
Boden			
Porenvolumen Bearbeitungshorizont	-0,39*		

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

## M. pinodes

Die Verteilung des Wurzelbesatzes mit *M. pinodes* zum Zeitpunkt der Blüte (WMpi) war sehr unregelmäßig. Vor allem die Häufung von sehr hohem und sehr niedrigem Besatz fallen auf (Abbildung 16). Die meisten Fälle mit hohem Besatz kamen im Jahr 2010 vor.

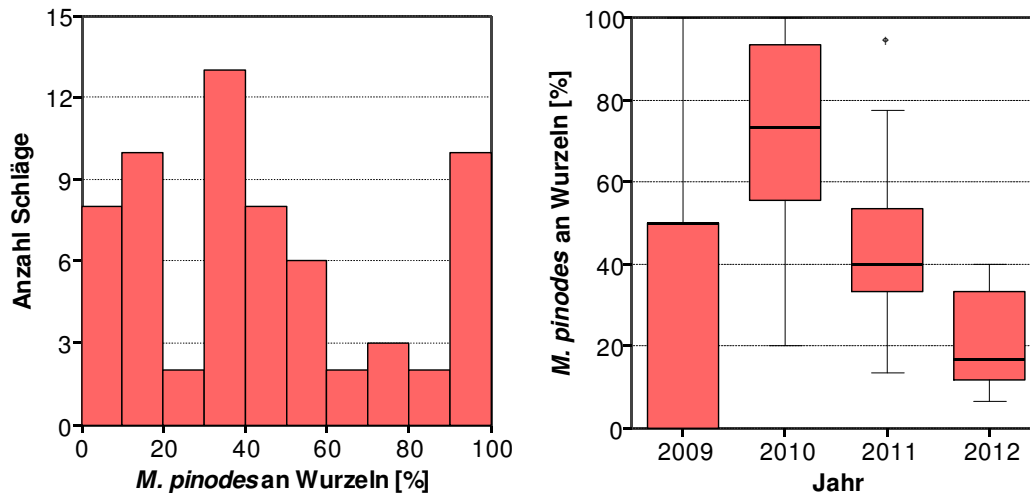


Abbildung 16: Besatz mit *M. pinodes* an Erbsenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte (Mittelwerte von 30 Wurzeln je Schlag), links Histogramm, rechts Boxplots der einzelnen Jahre

Eine Korrelationsanalyse von WMpi mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab viele signifikante Korrelationen. Eine Auswahl von Parameter mit den entsprechenden Korrelationskoeffizienten ist in Tabelle 30 aufgeführt.

Tabelle 30: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Besatz mit *M. pinodes* an Erbsenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte

Witterung		Pflanze	
Ø Temperatur November - März	-0,59**	Saatgutbesatz mit <i>M. pinodes</i>	0,27*
Ø Temperatur Juni	-0,49**	Saatgutbesatz mit <i>M. pinodes</i> ohne weitere Ascochyta-Erreger	0,36**
Niederschlag September - Saat	0,31*	Schädigung durch Blattrandkäfer Mai	0,35**
Niederschlag 2 - 6 Wochen nach Saat	0,40**	Erbsendeckungsgrad Mai	-0,40**
Wasserbilanz Mai	0,45**	Undifferenzierte Pilze an Wurzel	0,30*
Wasserbilanz Juni	-0,37**	<b>Bewirtschaftung</b>	
<b>Boden</b>		Anbauabstand Klee gras	-0,28*
Wasservorrat 0-30 cm Frühjahr	0,26*	Anbauabstand Rotklee	-0,27
Pneumatische Leitfähigkeit Krume	0,55**	Anteil Klee gras (15 Jahre)	0,25*
Mn	0,37**	Anteil Hackfrüchte (5 Jahre)	-0,29*
C <sub>mik</sub> /C <sub>org</sub>	0,39**	Pflugtiefe	-0,27*
C <sub>mik</sub> /N <sub>mik</sub>	0,30*		
Proteaseaktivität/C <sub>mik</sub>	-0,43**		

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

Bei der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurden nur drei Faktoren aufgenommen. Mit den Durchschnittstemperaturen im Winter und im Mai sowie der Schädigung durch den Blattrandkäfer wurde ein  $R^2$  von 0,52 erreicht (Tabelle 31). Signifikant korrelierende und plausible Faktoren aus dem Bereich Bewirtschaftung erbrachten keine weitere Erklärung der Varianz. Die großen Unterschiede im Temperaturverlauf zwischen den Jahren können jedoch andere Faktoren überlagert haben. Aber auch beim Test möglicher Interaktionen konnten keine weiteren Faktoren, wie z. B. Saatgutbesatz, Fruchtfolge und Bodenparameter, in das Regressionsmodell integriert werden.

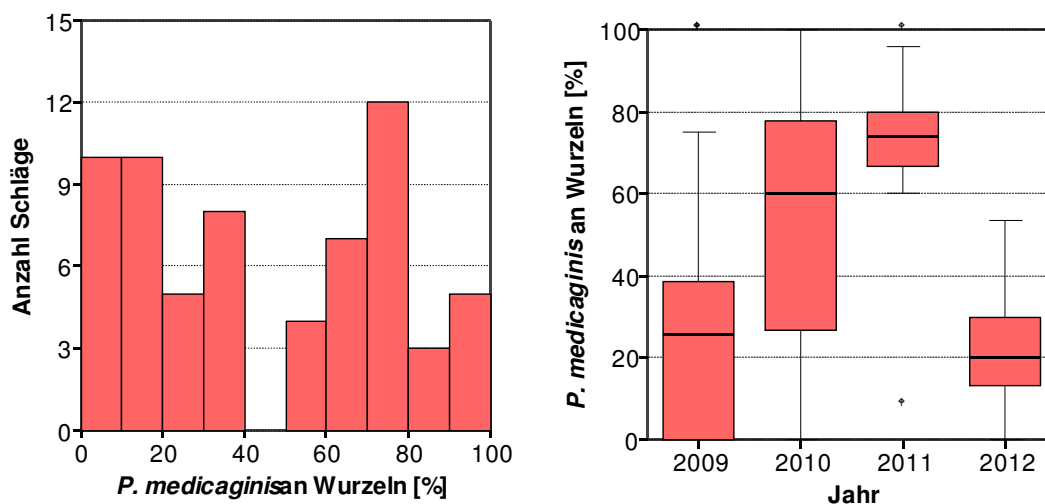
Bei der Einbeziehung der nicht für alle Schläge vorliegenden bodenbiologischen Parameter wurde zusätzlich zu den in Tabelle 31 aufgeführten Faktoren noch  $C_{mik}/C_{org}$  mit einem positiven Zusammenhang zu  $WM_{pi}$  aufgenommen.

**Tabelle 31: Direkte Faktoren des Besatzes mit *M. pinodes* an Erbsenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte: im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren ( $R^2$  0,52), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	$\emptyset$	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
$\emptyset$ Temperatur November - März [°C]	9,68	5,98	13,06	1,97	-0,43	0,00
$\emptyset$ Temperatur Mai [°C]	-175	-342	31	93	-0,41	0,00
Schädigung durch Blattrandkäfer Mai (Bonitur 1-4)	4	1	0	1,2	0,20	0,04

### *P. medicaginis*

An den Erbsenwurzeln war zum Zeitpunkt der Blüte in vielen Fällen *P. medicaginis* vorhanden (WPme) (Abbildung 17). Wie bei den anderen pilzlichen Schaderregern traten auch bei WPme große Jahresunterschiede auf. Ähnlich wie bei WFsol wurde der höchste Besatz im Jahr 2011 ermittelt.



**Abbildung 17: Besatz mit *P. medicaginis* an Erbsenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte (Mittelwerte von 30 Wurzeln je Schlag), links Histogramm, rechts Boxplots der einzelnen Jahre**

Eine Korrelationsanalyse von WPme mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab eine Reihe von signifikanten Korrelationen. Eine Auswahl ist in Tabelle 32 aufgeführt. Die WPme-Daten waren nicht normalverteilt, deshalb wurden hier

Korrelationen nach Spearman und nach Pearson verglichen. Da keine relevanten Unterschiede in der Ergebnissen auftraten, wurde die Korrelation nach Pearson gewählt. Signifikante Interaktionen wurden nicht gefunden.

Einzelne Faktoren erscheinen plausibel, z. B. der negative Zusammenhang zum Porenvolumen im Boden. Bei anderen ist ein kausaler Zusammenhang eher unwahrscheinlich, wie bei dem negativen Zusammenhang mit dem Anteil Leguminosen in der Fruchtfolge.

Wie bei WFsol erwähnt kann der Zusammenhang von WPme mit dem Besatz anderer Pilze sowohl auf eine Beeinflussung bei der Isolation oder bei der Besiedelung im Boden deuten als auch auf die Beeinflussung durch die gleichen Faktoren hinweisen.

Da kein deutlicher Einfluss von WPme auf den Erbsenertrag gefunden wurde, wird auf eine weitere Prüfung von Faktoren mit der Regressionsanalyse verzichtet.

**Tabelle 32: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Besatz mit *P. medicaginis* an Erbsenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte**

Witterung		Pflanze	
Ø Temperatur Juni	0,39**	<i>F. oxysporum</i> an Wurzeln	-0,31*
Niederschlag November - Mitte Januar	0,41**	<i>F. solani</i> an Wurzeln	0,32*
Niederschlag Saat - Beprobung	-0,42**	<i>F. avenaceum</i> an Wurzeln	-0,45*
<b>Boden</b>		Unkrautdeckungsgrad Juni	-0,38**
Porenvolumen Bearbeitungshorizont	-0,40*	<b>Bewirtschaftung</b>	
Porenvolumen Unterboden	-0,41*	Anteil Wurzel- & Knollenfrüchte (15 Jahre)	0,39**
Verdichtungspeak (>4 MPa)	0,26*	Anteil Leguminosen (15 Jahre)	-0,30*
		Anteil Getreide (15 Jahre)	-0,28*
		Abstand letzte Gülledüngung	0,30*

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

#### 4.1.1.4 Unkraut

Der Unkrautdruck auf den Untersuchungsschlägen variierte in einem weiten Bereich (Abbildung 18). Während im Mai die Hälfte der Schläge einen Unkrautdeckungsgrad unter 10 % aufwies (UK05), lag der Mittelwert im Juni bei 40 % (UK06).

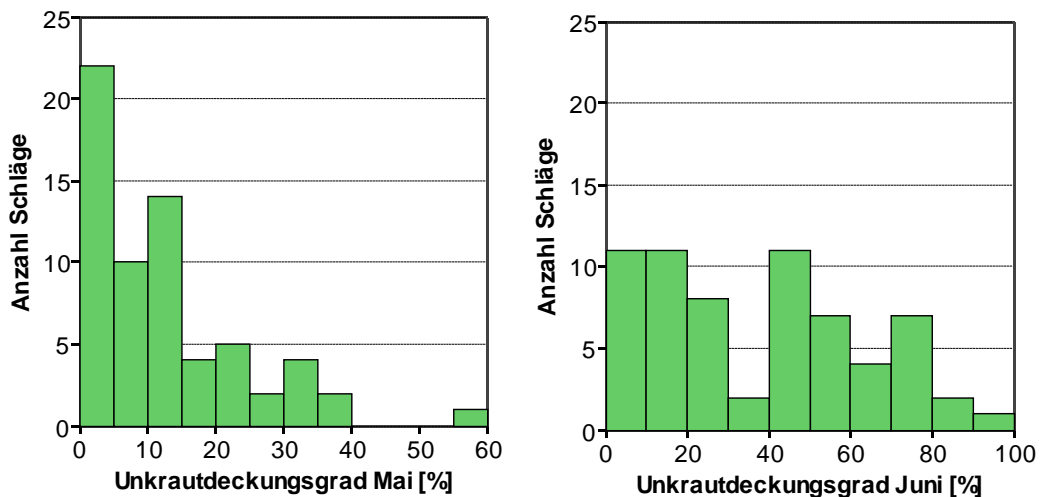


Abbildung 18: Histogramme des Unkrautdeckungsgrads in Erbsen, links Boniturtermin im Mai, rechts Boniturtermin im Juni

### Unkrautdeckungsgrad im Mai

Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung von UK05 wurden die Daten für die statistische Auswertung transformiert ( $X^{0,4}$ ). Die Korrelationsanalyse von UK05 mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab eine Reihe plausibler Korrelationen vor allem im Bereich Bewirtschaftung. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 33 aufgeführt.

Tabelle 33: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Unkrautdeckungsgrad im Mai in Erbsen (transformiert mit  $X^{0,4}$ )

Witterung		Bewirtschaftung	
Tage >5 °C 4 Wochen vor Saat	-0,28*	Wurzelfruchtanbau vor Umstellung	-0,41**
Niederschlag September - November	0,32*	GV/ha	0,42**
Niederschlag November - Saat	-0,22	Anteil Wurzel- & Knollenfrüchte (15 Jahre)	-0,49**
<b>Boden</b>		Anteil Leguminosenhauptfrüchte (5 Jahre)	0,26*
Ton (>12,8 %)	-0,24	Vorfrucht Wurzelfrucht	-0,34**
Pneumatische Leitfähigkeit Bearbeitungshorizont	0,38*	Abstand letzte Mistdüngung	-0,30*
Luftkapazität Unterboden	0,43*	Tiefe vorherige Stoppelbearbeitung	-0,51**
Feldkapazität Unterboden	-0,42*	Saatgutherkunft ökologisch	0,25*
S	0,27*	Anzahl Striegelgänge	-0,49**
N <sub>min</sub> 0-30 cm (Frühjahr)	0,29*		
Proteaseaktivität	0,32*		

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

In der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurde eine Kombination von zehn Parametern ausgewählt, mit der ein wesentlicher Teil der Varianz von UK05 erklärt werden konnte ( $R^2$  0,68). Relevante Interaktionen wurden nicht festgestellt. Nach den in Tabelle 34 aufgeführten Beta-Werten sind die direkten Bewirtschaftungsfaktoren Anzahl Striegelgänge und Tiefe vorheriger Stoppelbearbeitung die stärksten Einflussgrößen. Insgesamt erklären die Bewirtschaftungs- und Fruchtfolgefaktoren ca. 60 % der mit dem Regressionsmodell erklärten

UK05-Varianz. Daneben spielen auch noch die durch die Bewirtschaftung beeinflussbaren Faktoren  $N_{\min}$  in 0 - 30 cm im Frühjahr und Erbsentriebe/m<sup>2</sup> im Mai eine deutliche Rolle. Ein hoher Unkrautdruck im Mai ist vor allem in Systemen ohne Hackfruchtanbau, extensiver oder keiner Stoppelbearbeitung, vorheriger Grundbodenbearbeitung im Frühjahr, hoher N-Verfügbarkeit, extensiver Unkrautregulierung und dünnen Beständen zu erwarten. Im Mittel steigt UK05 mit größerer Saattiefe. Die Vorteile einer tiefen Saat für den Erfolg des Erbsenanbaus scheinen jedoch zu überwiegen, da die Saattiefe positiv mit dem Ertrag korreliert (vgl. Kap. 4.1.1.1). Von den Standortparametern haben die Niederschlagsmenge im Herbst und die Temperatur vor der Saat einen positiven sowie der Tongehalt einen negativen Einfluss auf UK05.

**Tabelle 34: Direkte Faktoren des Unkrautdeckungsgrads im Mai in Erbsen (transformiert mit  $X^{0,4}$ ): im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren ( $R^2$  0,68), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Tage >5 °C 4 Wochen vor Saat	17,1	4,0	28,0	6,0	-0,18	0,03
Niederschlag September – November [l/m <sup>2</sup> ]	116	63	178	28	0,16	0,07
Ton [%]	15,3	2,9	60,1	9,9	-0,29	0,00
$N_{\min}$ 0-30 cm Frühjahr [kg/ha]	28,7	3,9	54,4	12,6	0,26	0,01
Anteil Wurzel- & Knollenfrüchte (5 Jahre)	84 % ohne, 16 % mit 20 % Anteil				-0,27	0,01
Tiefe vorherige Stoppelbearbeitung [cm]	9,3	0,0	30,0	6,2	-0,36	0,00
Grundbodenbearbeitung im Herbst	41 % der Schläge				-0,24	0,03
Saattiefe [cm]	4,31	1,71	6,04	1,07	0,27	0,00
Anzahl Striegelgänge	2	0	6	1	-0,39	0,00
Erbsentriebe/m <sup>2</sup> Mai	72	29	120	19	-0,18	0,03

### Unkrautdeckungsgrad im Juni

Die Intensität der Verunkrautung im Juni ist sowohl ertragsrelevant als auch durch die Entwicklung des Erbsenbestandes beeinflusst. Sie gibt einen Ausblick auf die zu erwartende Spätverunkrautung, die Beerntbarkeit und die Spätwirkungen durch Aussamen.

Vor der statistischen Verrechnung wurden verschiedene Transformationen geprüft. Da sich dadurch keine relevanten Unterschiede in den Resultaten ergaben wurden die Originaldaten verwendet. Die Korrelationsanalyse vom Unkrautdeckungsgrad Ende Juni (UK06) mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab eine Vielzahl plausibler Korrelationen. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 35 aufgeführt. Im Unterschied zu UK05 wurden bei UK06 neben einigen Bewirtschaftungsfaktoren auch viele Witterungs- und Bodenfaktoren ermittelt.



**Tabelle 35: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Unkrautdeckungsgrad im Juni in Erbsen**

Witterung		Pflanze	
Ø Temperatur Januar - Saat	-0,28*	Saatgutkeimfähigkeit	-0,32*
Ø Temperatur 1 Woche vor Saat	0,31*	Erbsendeckungsgrad Mai	-0,41**
Ø Temperatur Tage unterdurchschnittlicher Temperatur Saat - Unkrautbonitur	-0,28*	Erbsentriebe/m <sup>2</sup> Mai	-0,30*
Niederschlag Januar - Saat	0,28*	Homogenität Erbsenbestand Mai	0,44**
Niederschlag Saat - Unkrautbonitur	0,45**	Unkrautdeckungsgrad Mai	0,27*
		Länge der Wurzelläsion	0,25*
Boden		Bewirtschaftung	
Porenanteil Bearbeitungshorizont	0,40*	Jahre mit Viehhaltung	0,25*
Wasservorrat 0-30 cm Frühjahr	0,34**	Anbaujahre Erbse (25 Jahre)	0,27*
Eindringtiefe Bodensonde	-0,33**	Anbaujahre Leguminosenhauptfr. (25 Jahre)	0,37**
Organische Substanz	0,35**	Anteil Wurzel- & Knollenfrüchte (15 Jahre)	-0,40**
Proteaseaktivität	0,42**	Anteil Getreide (15 Jahre)	0,30*
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (>9,5 mg/100g)	0,32**	Saatgutherkunft ökologisch	0,35**
Mg	0,25*	Saattiefe	-0,38**
S	0,37**	Anzahl Striegelgänge	-0,27*

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

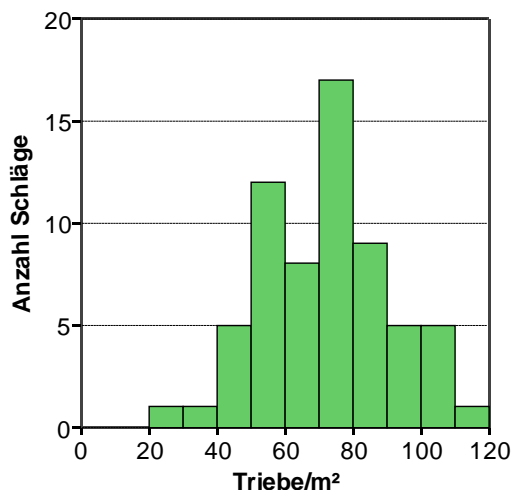
In der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurde eine Kombination von neun Parametern ausgewählt, mit der ein wesentlicher Teil der Varianz von UK06 erklärt werden konnte ( $R^2$  0,65). Relevante Interaktionen wurden nicht festgestellt. Im Vergleich zu UK05 wurden bei UK06 weniger Bewirtschaftungsfaktoren aufgenommen. Die Saattiefe weist jetzt einen negativen Zusammenhang zur Unkrautdeckung auf. Insgesamt erklären die Bewirtschaftungs- und Fruchtfolgefaktoren ca. 40 % der mit dem Regressionsmodell erklärten UK06-Varianz (abgeleitet aus den Beta-Werten in Tabelle 36). Wie bei UK05 spielen auch die, durch die Bewirtschaftung beeinflussbaren Faktoren  $N_{\min}$  im Frühjahr (hier  $N_{\min}$  in 0-90 cm) und Erbsentriebe/m<sup>2</sup> im Mai, eine deutliche Rolle, hinzu kommt noch die Homogenität des Bestandes im Mai. Ein hoher Unkrautdruck im Juni ist vor allem in Systemen mit hohem Erbsen- und Getreideanteil, vorheriger Grundbodenbearbeitung im Frühjahr, hoher N-Verfügbarkeit und flacher Erbsensaat sowie in dünnen, heterogenen Beständen zu erwarten. Von den Standortparametern haben die mittlere Temperatur von Januar bis zur Saat und die Niederschlagsmenge von der Saat bis zur Unkrautbonitur einen positiven Einfluss auf UK06.

**Tabelle 36: Direkte Faktoren des Unkrautdeckungsgrads im Juni in Erbsen: Im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren ( $R^2$  0,65), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Ø Temperatur Januar – Saat [°C]	125	74	198	31	0,26	0,01
Niederschlag Saat - Unkrautbonitur [l/m <sup>2</sup> ]	147	53	277	61	0,26	0,01
N <sub>min</sub> 0-90 cm Frühjahr [kg / ha]	55	7	123	23	0,26	0,01
Anbaujahre Erbse (25 Jahre)	1	0	4	1	0,34	0,00
Anteil Getreide (15 Jahre) [%]	61	27	80	11	0,25	0,01
Grundbodenbearbeitung im Herbst	41 % der Schläge				-0,16	0,09
Saattiefe [cm]	4,31	1,71	6,04	1,07	-0,20	0,03
Erbsentriebe/m <sup>2</sup> Mai	72	30	120	19	-0,26	0,00
Homogenität Erbsenbestand Mai (Bonitur 1-4)	2,66	1,80	3,53	0,39	0,22	0,03
Erbsentriebe/m <sup>2</sup> Mai	72	29	120	19	-0,18	0,03

#### 4.1.1.5 Bestandesdichte

Die im Mai bestimmte Anzahl von Erbsentrieben je Quadratmeter (Triebe/m<sup>2</sup>) variierte in dem weiten Bereich von 30 bis 120 und lag im Mittel bei 72 (Abbildung 19). Da sich die Erbsenpflanzen häufig schon im Boden verzweigten, wurde darauf verzichtet, die Anzahl Pflanzen je Quadratmeter zu ermitteln.



**Abbildung 19: Histogramm der Erbsentriebe je m<sup>2</sup> am Boniturtermin im Mai**

Die Korrelationsanalyse von Triebe/m<sup>2</sup> mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab nur wenige plausible Korrelationen (Tabelle 37). Dies kann darauf hindeuten, dass wichtige Bedingungen für die Triebe/m<sup>2</sup> nicht oder nur ungenau erfasst wurden. So muss die Angabe der Saatstärke durch die Praktiker aufgrund ihrer Gleichförmigkeit zwischen den Jahren als grob geschätzt bewertet werden. Auch die für den Erfolg einer Ansaat wichtigen Bodenbedingungen bei Saatbettbereitung und Saat sowie der Zustand und die Einstellung der verwendeten Geräte konnte nicht erfasst werden.

**Tabelle 37: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit der Anzahl Erbsentriebe / m<sup>2</sup> im Mai**

Witterung		Bewirtschaftung	
Ø Temperatur Saat - Zähltermin	0,31*	Abstand letzte Gülledüngung [Jahre]	-0,25*
Ø Temperatur Mai	0,50**	Aussaatstärke [Körner/m <sup>2</sup> ]	0,30*
Boden		Blindstriegeln	
S <sub>min</sub> 0-30 cm (Frühjahr)	0,24		

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

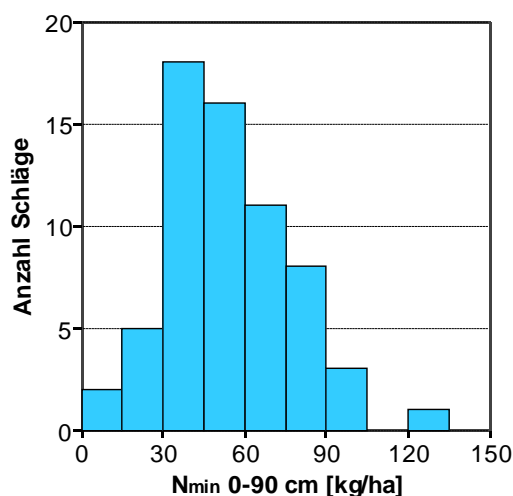
In der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurden nur die drei Parameter Aussaatstärke sowie Temperatur und Niederschlagsmenge nach der Saat ausgewählt (Tabelle 38). Mit diesen Faktoren konnte nur ein geringer Teil der Varianz von Triebe/m<sup>2</sup> erklärt werden (R<sup>2</sup> 0,34). Die Prüfung einiger möglicher Interaktionen veränderte dieses Ergebnis nicht.

**Tabelle 38: Direkte Faktoren der Anzahl Erbsentriebe / m<sup>2</sup> im Mai: im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren (R<sup>2</sup> 0,34), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Ø Temperatur Mai [°C]	13,01	9,46	15,22	1,56	0,55	0,00
∑ Niederschlag 2 - 6 Wochen nach Saat [l/m <sup>2</sup> ]	44,6	0,9	95,4	25,0	0,22	0,07
Aussaatstärke [Körner/m <sup>2</sup> ]	98	69	152	19	0,25	0,03

#### 4.1.1.6 N<sub>min</sub> im Frühjahr

Die N<sub>min</sub>-Menge im Frühjahr in 0 - 90 cm (N<sub>min</sub>090) reichte auf den Untersuchungsschlägen von 7 bis 123 kg/ha und lag im Mittel bei 55 kg/ha (Abbildung 20).



**Abbildung 20: Histogramm der N<sub>min</sub>-Menge (0-90 cm) im Frühjahr vor Erbsenanbau**

Die  $N_{\min}090$ -Daten waren deutlich rechtsschief verteilt und wurden deshalb transformiert ( $X^{0,7}$ ). Die Korrelationsanalyse vom  $N_{\min}090$  mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab vor allem für den Bereich Boden eine Reihe plausibler Korrelationen. Faktoren aus den Bereichen Witterung und Bewirtschaftung waren hingegen wider Erwarten selten. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 39 aufgeführt.

**Tabelle 39: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr vor Erbsen (0-90 cm, transformiert mit  $X^{0,7}$ )**

Witterung		Boden	
Ø Temperatur 4 Wochen vor Probenahme	0,34**	$C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$	0,28*
<b>Boden</b>		Proteaseaktivität/ $C_{\text{mik}}$	-0,29*
Schluff	0,32*	$K_2O$	0,31*
Sand	-0,34**	S	0,35**
Eindringwiderstand 30-39 cm	-0,28*	B	0,44**
Wasser 0-90 cm Frühjahr	0,38**	Zn	0,38**
Organische Substanz	0,51**	<b>Bewirtschaftung</b>	
$N_t$	0,50**	Abstand letzte Gülledüngung	-0,25
		Grundbodenbearbeitung im Herbst	0,38**

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

In der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurde eine Kombination von acht Parametern ausgewählt, mit der ein wesentlicher Teil der Varianz von  $N_{\min}090$  erklärt werden konnte ( $R^2$  0,66). Die beiden wichtigsten Faktoren von  $N_{\min}090$  waren der Gehalt an organischer Substanz in der Krume und der Abstand zur letzten Gülledüngung (Beta-Werte in Tabelle 40). Auch mit den Witterungsparametern Temperatur und Niederschlag von Januar bis zur Beprobung wurden zwei plausible Faktoren aufgenommen. Die mittlere Temperatur vier Wochen vor dem Beprobungstermin beschreibt dabei nicht nur Unterschiede im Witterungsverlauf an den einzelnen Standorten, sondern auch die organisatorisch bedingten Unterschiede im Beprobungstermin ( $r$  0,78). Die Aufnahme des nicht mit  $N_{\min}090$  korrelierenden Niederschlagsparameters veranschaulicht die Möglichkeit der multivariaten Regressionsanalyse, auch den Einfluss von Faktoren zu ermitteln, die durch andere Zusammenhänge verdeckt wurden.

Sowohl ein hoher Klee grasanteil in der Fruchtfolge als auch eine Wurzelfrucht vor den Erbsen und ein Grundbodenbearbeitungstermin im Herbst weisen im Regressionsmodell positive Zusammenhänge mit  $N_{\min}090$  auf. Der Einfluss der Düngung auf  $N_{\min}090$  wird durch den negativen Zusammenhang mit dem Abstand zur letzten Gülledüngung einbezogen.

**Tabelle 40: Direkte Faktoren der N<sub>min</sub>-Menge im Frühjahr vor Erbsen (0-90 cm, transformiert mit X<sup>0,7</sup>): im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren (R<sup>2</sup> 0,66), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Ø Temperatur Januar - 4 Wochen vor Beprobung [°C]	5,72	1,92	9,97	1,73	0,21	0,02
Ø Temperatur 4 Wochen vor Beprobung [°C]	0,09	-2,40	2,29	1,37	0,30	0,00
Niederschlag Januar - Beprobung [l/m <sup>2</sup> ]	97	33	189	39	-0,30	0,02
Organische Substanz [%]	2,28	0,93	3,97	0,679	0,58	0,00
Anteil Klee gras (5 Jahre) [%]	13	0	60	16	0,23	0,01
Abstand letzte Gülledüngung [Jahre]	16	1	25	11	-0,43	0,00
Vorfrucht Wurzelfrucht	8 % der Schläge				0,35	0,00
Grundbodenbearbeitung im Herbst	41 % der Schläge				0,21	0,02

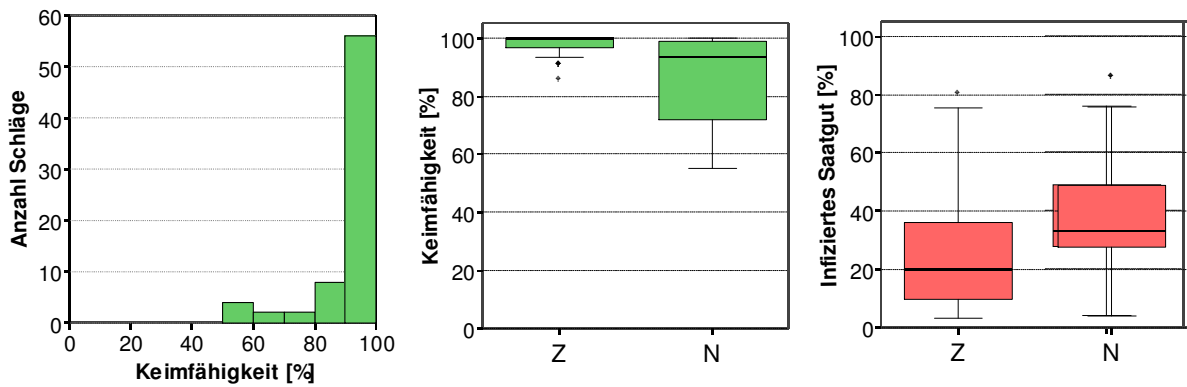
Die bekanntermaßen im Allgemeinen für die Höhe der N<sub>min</sub>-Menge im Frühjahr bedeutenden Faktoren Bodenart bzw. Wasserhaltefähigkeit erbrachten bei der multiplen Regression keine zusätzliche Erklärung der N<sub>min</sub>090-Varianz. Auch der plausible Parameter Proteaseaktivität wurde nicht aufgenommen. Eine Prüfung möglicher Interaktionen veränderte diese Ergebnisse nicht.

Die signifikanten Korrelationen von N<sub>min</sub>090 mit einzelnen verfügbaren Bodennährstoffen sind wahrscheinlich nicht auf einen kausalen Zusammenhang zurückzuführen sondern hängen damit zusammen, dass Böden mit hohen OS- und Schluffgehalten nicht nur oft hohe N<sub>min</sub>090-Werte aufweisen, sondern auch meist nährstoffreicher sind (vgl. Kap. 4.1.7).

#### 4.1.1.7 Saatgutqualität

Obwohl die statistische Auswertung keinen deutlichen Zusammenhang von Saatgutqualität und Erbsenertrag aufzeigte, soll an dieser Stelle ein kurzer Überblick über die Qualität des eingesetzten Saatgutes gegeben werden.

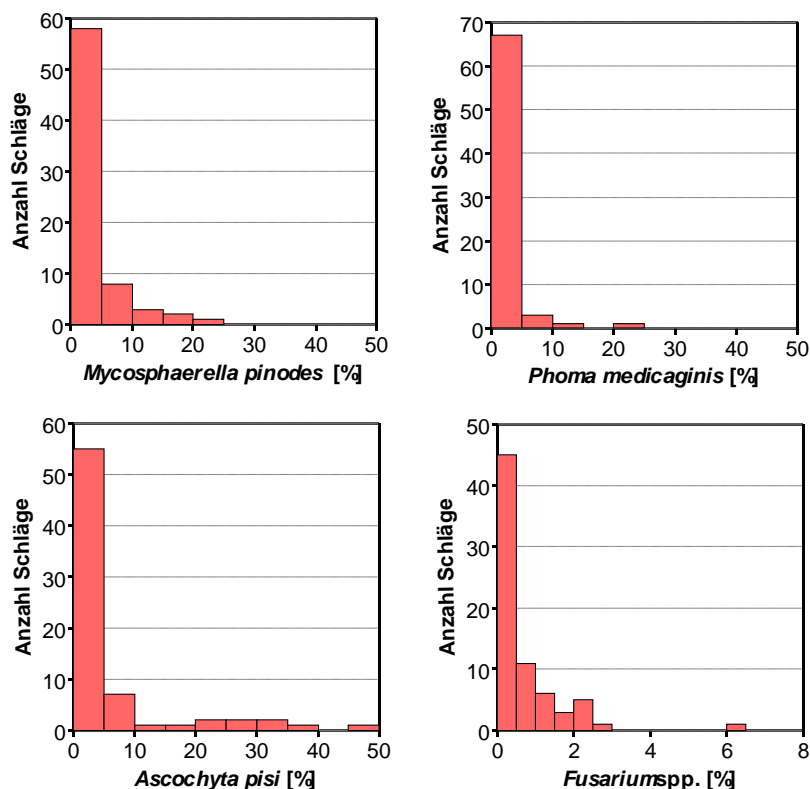
Die Keimfähigkeit lag bei 78 % der 72 untersuchten Saatgutchargen über 90 % (Abbildung 21). Nur einzelne Ausreißer aus Nachbaupartien blieben unter 80 %. Auch für den Besatz mit Schaderregern (undifferenziert) wurden beim Nachbausaatgut im Mittel höhere Werte gemessen als bei zertifiziertem oder Basissaatgut (Abbildung 21).



**Abbildung 21: Eingesetztes Erbsensaatgut; links Histogramm der Keimfähigkeit, Mitte Boxplots der Keimfähigkeit nach Saatgutherkunft (Z: zertifiziertes oder Basissaatgut, N: Nachbau), rechts Anteil mit Pathogenen belasteter Körner nach Saatgutherkunft**

Beim Besatz mit Pilzen des Ascochyta-Komplexes überschritten nur vier Saatgutproben den von der Arbeitsgemeinschaft der Anerkennungsstellen für landwirtschaftliches Saat- und Pflanzgut gesetzten Grenzwert von 30 % der Körner für Z-Saatgut. Allerdings wiesen 26 % der Saatgutproben einen Ascochytabesatz über 10 % auf und würden damit eine Beizauflage erhalten bzw. wären im Ökolandbau nicht als Z-Saatgut einsetzbar. Einen Besatz größer 10 % wiesen vor allem Nachbauchargen auf, aber auch einzelne Z- oder Basissaatgutchargen wiesen einen erhöhten Besatz auf.

Die einzelnen Erreger *M. pinodes*, *A. pisi* und *P. medicaginis* sowie *Fusarium* spp. traten nur selten und dann meist nur an wenigen Körnern auf (Abbildung 22).



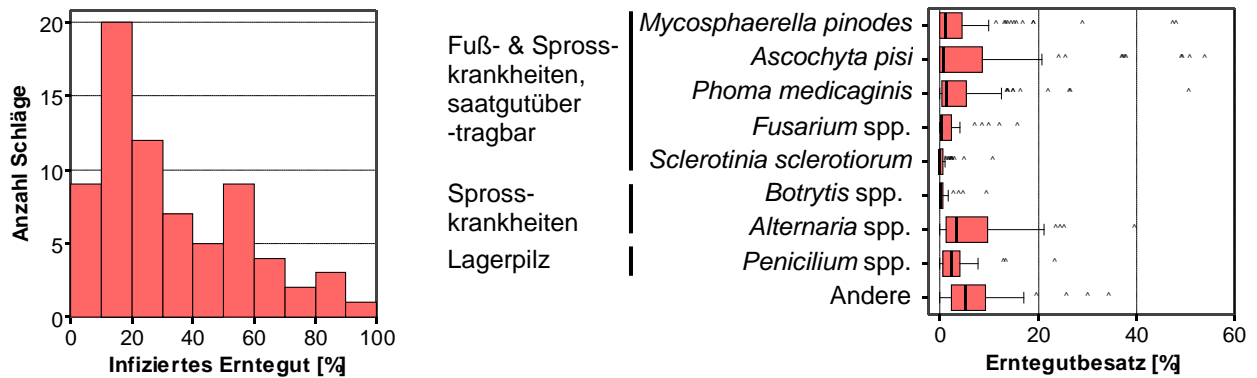
**Abbildung 22: Histogramme vom Besatz des eingesetzten Erbsensaatguts mit *M. pinodes*, *P. medicaginis*, *A. pisi* und *Fusarium* spp.**



#### 4.1.1.8 Erntegutbesatz

Der Besatz des Erntegutes mit Krankheitserregern wies bei der Erbse keinen Zusammenhang zur Ertragshöhe auf. Für die Verwendung als Saatgut spielt jedoch der Besatz mit Erregern, die mit dem Saatgut übertragen werden können, eine wichtige Rolle. Für den Einsatz als Futtermittel ist der Befall mit Schimmelpilzen von Bedeutung.

Sowohl der Gesamtbesatz mit Erregern als auch der Besatz mit den einzelnen Pilzen zeigt, dass auf den meisten Schlägen ein hoher Prozentsatz der geernteten Erbsen gesund war (Abbildung 23). Der Anteil von Erntegutchargen mit einem Besatz von Erregern des Ascochyta-Komplexes über 30 % lag bei 11 % (Abbildung 24). Der Anteil mit einem Erregerbesatz von über 10 %, d. h. im Ökolandbau nicht als Z-Saatgut einsetzbar, betrug allerdings 24 %.



**Abbildung 23: An den Messpunkten geerntete Erbsen; links Histogramm des Anteils infizierter Körner, rechts Boxplots des Besatzes mit einzelnen Erregern (Punkte: Ausreißer / Extremwerte)**

Vor allem im Hinblick auf die saatgutübertragbaren Krankheiten des Ascochyta-Komplexes und der *Fusarium*-Arten wurde versucht, Faktoren des Erntegutbesatzes zu ermitteln. Aufgrund des geringen Besatzes und der damit aus statistischer Sicht ungünstigen Datenverteilung sind die Ergebnisse jedoch mit Vorsicht zu interpretieren. Es wurden verschiedene Transformationen getestet, diese führten jedoch nicht zu einer günstigeren Datenverteilung.

In Tabelle 56 sind ausgewählte Ergebnisse der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman aufgeführt. Einige der ermittelten Parameter mit einer signifikanten Korrelation spiegeln erwartete Zusammenhänge wieder, wie z. B. Parameter der Saatgutqualität, die Fruchtfolgegeschichte und die Witterung vor der Ernte. Die starken Korrelationen mit der Proteaseaktivität im Boden sowie dem Erbsen- und Unkrautdeckungsgrad müssen hingegen weiter untersucht werden.

**Tabelle 41: Korrelationskoeffizienten (Spearman) verschiedener Parameter mit dem Besatz pilzlicher Erreger am Erntegut und dem Anteil insgesamt infizierter Erbsen**

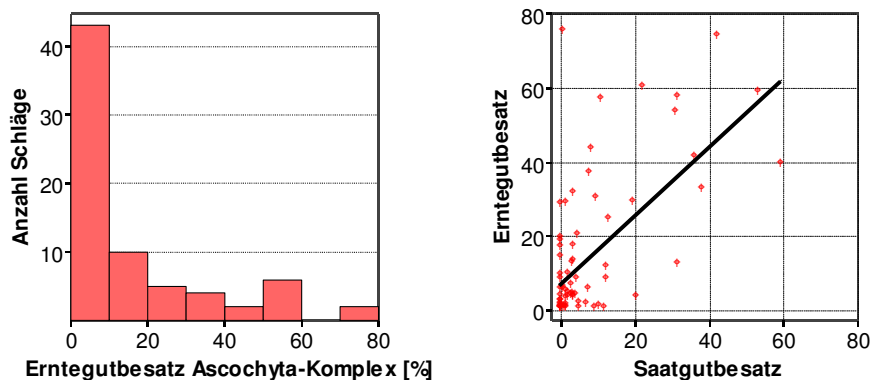
Witterung	M. p. <sup>1</sup>	A. p. <sup>2</sup>	P. m. <sup>3</sup>	Asco. <sup>4</sup>	F. spp. <sup>5</sup>	Infiziert
Ø Temperatur Saat – 4 Wochen vor Ernte	0,26*		0,33**	0,26*		0,29*
Ø Temperatur 4 Wochen vor Ernte			-0,32**		-0,24*	
Niederschlag Juni			0,37**		0,34**	
Niederschlag 4 Wochen vor Ernte	0,57**	0,35**	0,42**	0,48**	0,37**	0,28*
<b>Boden</b>						
Proteaseaktivität	0,48**	0,49**		0,44**	0,24	0,40**
<b>Pflanze</b>						
<i>M. pinodes</i> an Saatgut	0,44**	0,51**		0,41**	0,32*	0,37**
<i>A. pisi</i> an Saatgut	0,43**	0,59**		0,49**		0,36**
Infiziertes Saatgut	0,35**	0,32**		0,28*		0,37**
Keimfähigkeit Saatgut	-0,37**	-0,26*		-0,33**		-0,30**
Erbsendeckungsgrad Mai			0,31**		0,23*	0,24
Unkrautdeckungsgrad Mai	0,22		0,31**	0,21	0,23*	
<i>F. oxysporum</i> & <i>F. avenaceum</i> an Wurzeln		0,23	0,36**	0,32**	0,44**	0,22
<b>Bewirtschaftung</b>						
Abstand Leguminosenhauptfrucht	-0,25*	-0,33**		-0,26*		
Zwischenfruchtdauer (Saat – Umbruch)	0,22	0,31**		0,29**		0,27*
Pflugtiefe	-0,27*	-0,29*		-0,23		

<sup>1</sup> *M. pinodes*, <sup>2</sup> *A. pisi*, <sup>3</sup> *P. medicaginis*, <sup>4</sup> Ascochyta-Komplex, <sup>5</sup> *Fusarium* spp.

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

Um eine Untersuchung möglicher Faktorkombinationen zu ermöglichen, wurden die Erreger des Ascochyta-Komplexes zusammengefasst (Abbildung 24). Damit wurde eine größere Anzahl von Fällen mit einem deutlichen Besatz erreicht. Aus dem Streudiagramm in Abbildung 24 wird deutlich, dass ein hoher Erntegutbesatz mit Ascochyta-Pilzen oft bei Einsatz von stark belastetem Saatguts auftrat.

Auch die zusammengefassten Daten sind jedoch weiterhin rechtsschief verteilt. Die Prüfung verschiedener Transformationen erbrachte keine deutliche Verbesserung. Da somit die Voraussetzungen für die Durchführung einer Regressionsanalyse nicht vollständig erfüllt sind, können die damit ermittelten Ergebnisse nur als ein Hinweis für mögliche Zusammenhänge interpretiert werden. Mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse wurden die drei Parameter Saatgutbesatz, Niederschlagsmenge vor der Ernte und Häufigkeit des Erbsenanbaus in der Vorgeschichte als wesentliche Faktoren des Erntegutbesatzes ermittelt (Tabelle 42).



**Abbildung 24:** An den Messpunkten geerntete Erbsen; links Histogramm des Anteils mit Erregern des Ascochyta-Komplexes infizierter Körner, rechts Streudiagramm des Ascochyta-Besatzes am eingesetzten Saatgut und am Erntegut sowie die Regressionsgerade ( $R^2$  0,39)

**Tabelle 42:** Faktoren des Anteils mit Erregern des Ascochyta-Komplexes infizierter Erbsen im Erntegut: im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren ( $R^2$  0,49), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Niederschlag 4 Wochen vor Ernte [ $l/m^2$ ]	91	4	217	42	0,31	0,00
Anbaujahre Erbse (25 Jahre)	1,0	0	4	1,2	0,15	0,10
Ascochyta-Komplex an Saatgut [%]	8,0	0,0	59,4	13,0	0,53	0,00

## 4.1.2 Zusammenfassende Diskussion zum Erbseanbau

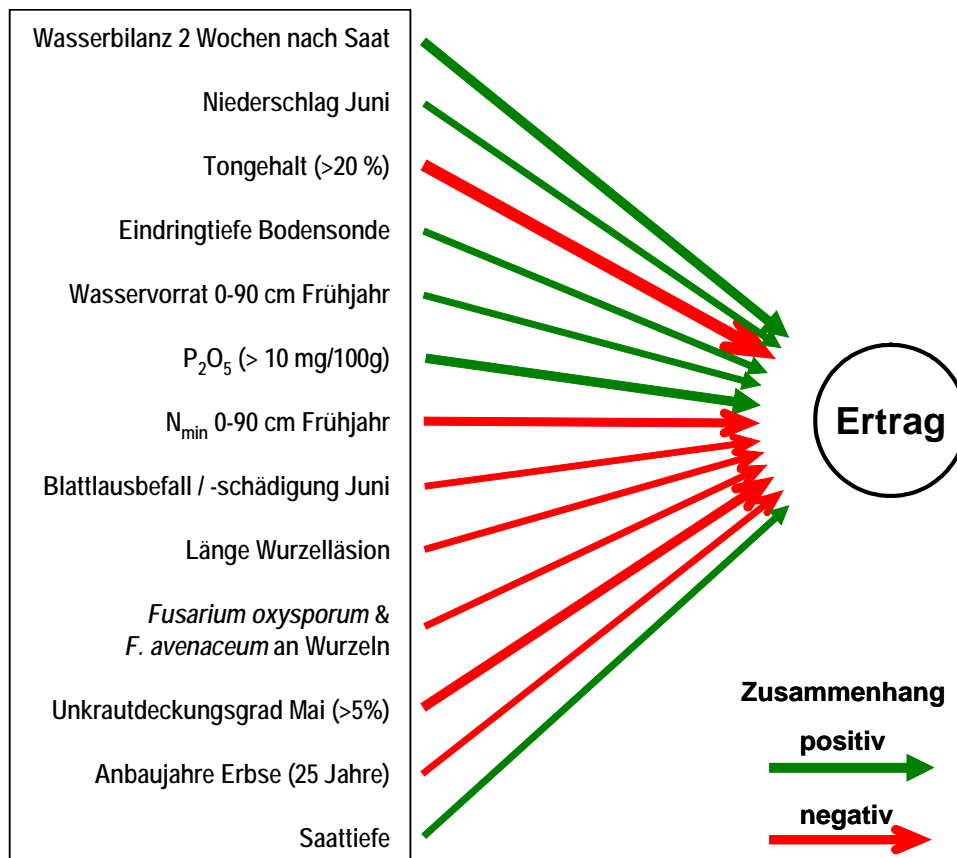
Ziel der Praxiserhebungen auf den Erbsenschlägen war die Ermittlung wesentlicher Ertragsfaktoren, die Klärung der Bedeutung dabei beteiligter Aspekte der Bodenfruchtbarkeit und die Identifizierung von Faktoren des Auftretens von Fußkrankheiten. Weiterhin sollten die ermittelten Ergebnisse anhand bestehender Erkenntnisse diskutiert werden. Auf Basis der ermittelten Faktoren des Erbsenertrags sollten Bewirtschaftungsmaßnahmen bzw. -systeme ermittelt werden, die - abhängig vom Standort - zur Erreichung bzw. Sicherung hoher Erbsenerträge besonders beitragen. Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Bereich Erbseanbau in Bezug auf die Ziele des Projektes diskutiert.

### 4.1.2.1 Bedeutende Faktoren des Ertrags

Die multiple Regressionsanalyse des Erbsenertrags mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab eine Reihe besonders wesentlicher Faktoren der Ertragsvarianz (Abbildung 25). Um in das Regressionsmodell aufgenommen zu werden müssen diese Parameter in ihrer Ausprägung auch deutlich streuen. Das bedeutet, dass mit den beeinflussbaren Faktoren Möglichkeiten zur Optimierung des Anbaus in der Ökolandbau-praxis aufgezeigt werden.

Besonders starken Einfluss auf die Ertragsvarianz hatten Standorteigenschaften, die P- und N-Verfügbarkeit, der Unkrautdruck sowie Schädigungen durch Schädlinge und Krankheiten bzw. damit in Zusammenhang stehende Fruchtfolgeparameter. Als direkter Einfluss der Bewirtschaftung wurde nur die Saattiefe ermittelt. Deshalb ist es wichtig, auch indirekte Faktoren, die z. B. über den Einfluss auf den Unkrautdruck oder die Fußkrankheiten den Erbsenertrag beeinflussen, zu berücksichtigen.

In den folgenden Kapiteln werden die ermittelten Faktoren getrennt nach den verschiedenen Bereichen Witterung, Boden, Unkraut, Schädlinge und Krankheiten sowie Bewirtschaftung diskutiert. Das Thema Fruchtfolge-Fußkrankheiten-Komplex wird aufgrund seiner großen Bedeutung im Erbseanbau gesondert behandelt.



**Abbildung 25: Direkte Faktoren des Erbsenertrags, d. h. im Regressionsmodell für den Messpunktertrag der Erbse aufgenommene Regressoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

#### 4.1.2.2 Witterung

Der Temperaturverlauf vor der Saat hat nach den durchgeführten multiplen Regressionsanalysen deutliche Effekte auf den Ertrag (Abbildung 26). Eine warme zweite Winterhälfte führt häufig zu höheren  $N_{\min}$ -Mengen im Frühjahr und kann sich somit negativ auf den Erbsenertrag auswirken. Hohe Temperaturen kurzfristig vor der Saat können jedoch positiv wirken, da dann meist ein geringerer Unkrautbesatz im Frühjahr auftritt. Dieser Effekt kann mit einer Steigerung der Auflafrate von Unkrautsamen durch höhere Temperaturen vor der Saatbettbereitung zusammenhängen (GARDARIN et al. 2010).

Die Ergebnisse einzelner Korrelationsanalysen weisen daraufhin, dass kalte Winter auch durch die Hemmung des Befalls mit *F. oxysporum* und *F. avenaceum* positiv auf den Ertrag wirken können. Weniger Schädigungen an den Erbsenwurzeln und ein geringerer Befall mit *M. pinodes* treten jedoch eher nach einer wärmeren zweiten Winterhälfte auf.

Relativ hohe Temperaturen nach der Saat können zu einer geringeren Schädigung der Erbsenwurzeln bis zur Blüte führen und haben damit einen positiven Effekt auf den Ertrag (Abbildung 26). Einzelne Korrelationen weisen jedoch darauf hin, dass durch hohe Temperaturen nach der Saat sowohl die Anzahl Erbsentriebe/m<sup>2</sup> als auch das Unkraut gefördert wird. Weiterhin geben Korrelationsanalysen Hinweise darauf, dass der Besatz mit Schadpilzen an den Wurzeln durch die fröhsommerlichen Temperaturen beeinflusst wird. Wie schon bei den Wintertemperaturen wirken sie jedoch bei einzelnen Pilzen gegensätzlich. Während hohe



Temperaturen im Juni den Besatz mit *F. oxysporum* und *F. avenaceum* fördern, wird *M. pinodes* eher gehemmt.

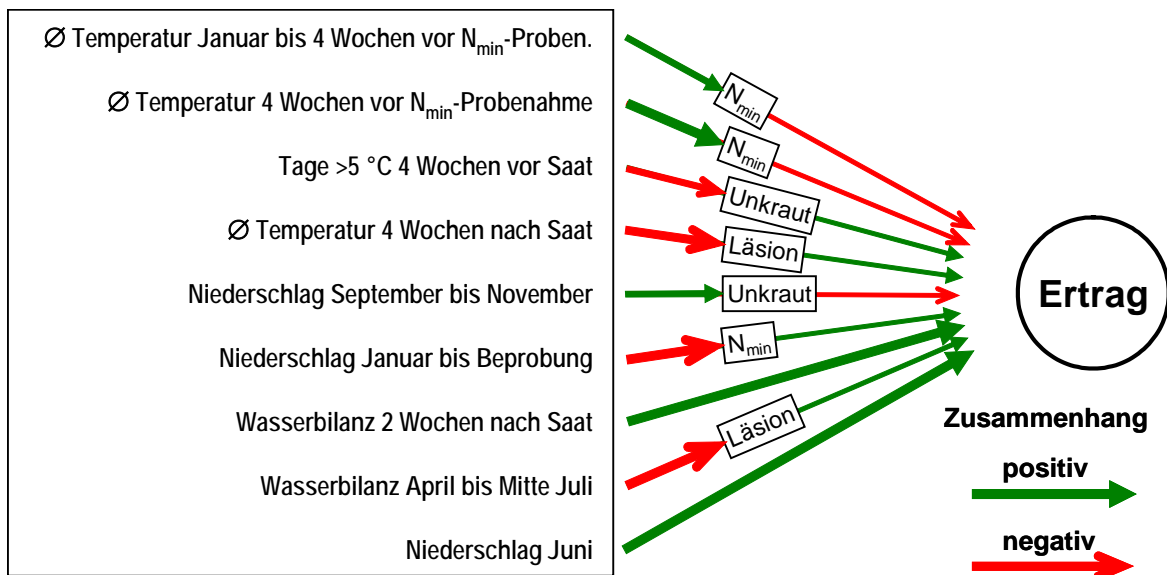
Die zum Teil gegenteiligen, indirekten Wirkungen von Temperaturverläufen können erklären, warum ein direkter Effekt von Temperaturparametern auf den Ertrag nicht nachgewiesen werden konnte. Die unterschiedlichen Auswirkungen verschiedener Temperaturen kurz vor oder nach der Saat, die eng mit dem Saattermin zusammenhängen, bestätigen Beobachtungen aus der Praxis, dass weder eine frühe noch eine späte Saat eindeutig zu besseren Ertragsresultaten führt. Die Auswirkungen des Saattermins werden stark im Zusammenhang mit Standort und Anbaubedingungen gesehen.

Schon die Niederschlagsmengen ab Herbst vor Anbau der Erbsen beeinflussen den Ertrag deutlich (Abbildung 26). Ein nasser Herbst kann häufig mit einem erhöhten Unkrautdruck im Folgejahr verbunden sein. Hohe Niederschläge in der zweiten Winterhälfte führen hingegen häufig zu geringeren  $N_{\min}$ -Mengen im Frühjahr und haben somit einen positiven Einfluss auf den Ertrag. Eine Reduzierung der  $N_{\min}$ -Menge durch verstärkte Auswaschung und durch Stickstoffverluste ist aus Sicht des gesamten ackerbaulichen Systems jedoch nicht positiv zu bewerten. Einzelne Korrelationen weisen darauf hin, dass höhere Niederschlagsmengen in den zwei Wochen vor der Saat negativ auf den Ertrag wirken können. Wahrscheinlich hängt dies mit den dann nasserem, d. h. ungünstigeren Bodenbedingungen zur Saatbettbereitung und zur Saat zusammen.

Eine hohe Wasserversorgung (Saldo aus Niederschlag und Verdunstung) direkt nach der Saat steht in direktem, positiven Zusammenhang zum Ertrag (Abbildung 26). Eine Korrelation weist darauf hin, dass die Bestandesdichte gefördert wird. Für den Zeitraum bis zur Blüte ist die positive Wirkung einer hohen Wasserversorgung vor allem durch weniger starke Schädigungen an den Wurzeln nachweisbar.

Eine Ursache dafür, dass ein direkter Zusammenhang von der Wasserversorgung in der Hauptwachstumsphase und dem Ertrag nicht erkennbar ist, können die unterschiedlichen indirekten Wirkungen sein. Einzelne Korrelationen deuten darauf hin, dass eine hohe Wasserversorgung nach der Saat die Bestandesdichte fördert und zu geringem Besatz mit *F. oxysporum* und *F. avenaceum* an den Wurzeln führt. Im weiteren Wachstumsverlauf werden jedoch diese Pilze und auch der Unkrautbewuchs durch eine hohe Wasserversorgung gefördert: Der Besatz mit *M. pinodes* scheint hingegen dadurch im Mai gefördert und im Juni gehemmt zu werden. Untersuchungen von ROGER et al. (1999) haben gezeigt, dass der Wechsel von nassen und trockenen Phasen eine Infektion verstärken können.

Der bekannte negative Einfluss von extremen Witterungsereignissen wie Hagelschlag oder starken Sturm- und Niederschlagsereignissen auf den Erbsenertrag war in der Praxiserhebung nur auf einem der 74 Untersuchungsschläge zu verzeichnen.



**Abbildung 26: Direkte und indirekte Faktoren des Erbsenertrags aus dem Bereich Witterung, d. h. in Regressionsmodellen für den Messpunktertrag der Erbse bzw. für die auf den Pfeilen gekennzeichneten Parameter Länge der Wurzelläsionen,  $N_{min}$ -Menge im Frühjahr (0-90 cm) und Unkrautdeckungsgrad aufgenommene Regressoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

#### 4.1.2.3 Boden

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zeigen deutlich, dass ein hoher Tongehalt (>20%), eine geringe Eindringtiefe der Bodensonde und damit flachgründige oder steinige Böden sowie ein geringer Wasservorrat im Frühjahr negative Effekte auf den Erbsenertrag haben (Abbildung 27). Dies bestätigt das Lehrbuchwissen über geeignete Standortbedingungen für den Erbsenanbau. Nach SPERBER et al. (1988) benötigen Erbsen tiefgründige, leichte bis mittelschwere Böden mit einer guten Wasserhaltefähigkeit. In der Praxis scheint dies zu wenig berücksichtigt zu werden. Dass bei hohen Tongehalten auch das Unkraut schlechter wächst, kann die nachteilige Wirkung auf den Erbsenertrag nicht aufwiegen.

Einzelne Korrelationsergebnisse geben zusätzlich Hinweise zum Einfluss bodenphysikalischer Eigenschaften auf den Erbsenertrag. Eine gute Wasserhaltefähigkeit kann sich indirekt auch negativ auf den Erbsenertrag auswirken, da solche Böden häufig höhere  $N_{min}$ -Mengen im Frühjahr, aber auch einen höheren Besatz mit *M. pinodes* aufweisen können.

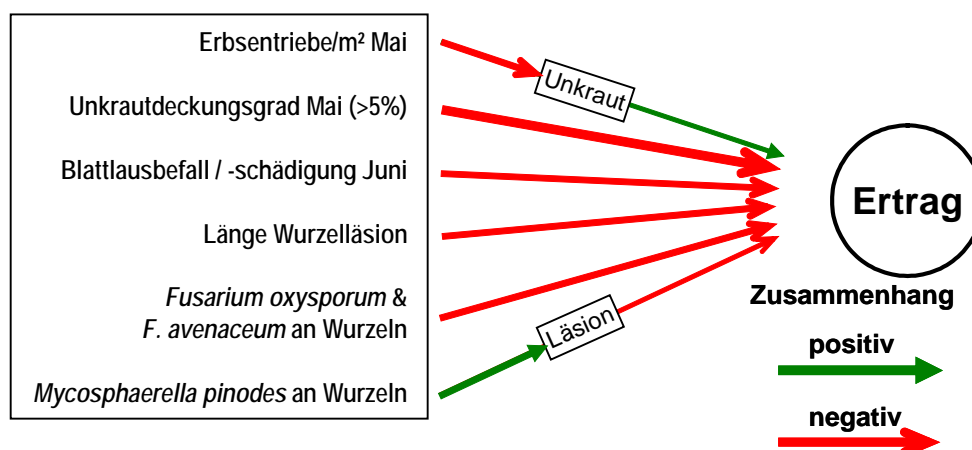
Zusammenhänge von Erbsenertrag und die Bodenstruktur beschreibender Parameter (z. B. Porenvolumen, Trockenrohdichte, Eindringwiderstand, Bodenbonitur) wurden bei Praxiserhebung nicht gefunden. Eigene Untersuchungen (vgl. Kap. 4.6.3.2) sowie Literaturquellen (VOCANSON & JEUFFROY 2008, SANSSENE et al. 1998) belegen deutlich negative Auswirkungen von Bodenverdichtungen auf den Erbsenertrag bzw. die Erbsengesundheit. Eine Ursache für diese Diskrepanz kann die Auswahl der Messparzellen auf den Untersuchungsschlägen sein. Die Untersuchungen wurden in möglichst ungestörten Bereichen des jeweiligen Schlages durchgeführt. Eine Prüfung von Arealen mit deutlichen Verdichtungen wie z. B. den Vorgewenden oder Kuppen und Senken erfolgte nicht. Weiterhin kann auch die kleinräumig sehr starke Streuung der Bodenstruktur bei der Auswertung gemittelter Daten dazu führen, dass kausale Zusammenhänge nicht erkannt wurden. Aus den Ergebnissen kann somit nicht gefolgert werden, dass Bodenverdichtungen in der Praxis wenig Einfluss auf den Erbsenertrag



im Frühjahr (Abbildung 27). Neben der höheren N-Nachlieferung von Böden mit hohen OS-Werten kann aber auch der enge positive Zusammenhang von Tongehalt und OS für die deutlich negative Korrelation von OS und Erbsenertrag verantwortlich sein. Ein direkter kausaler Zusammenhang ist hingegen auf Basis des derzeitigen Erkenntnisstandes nicht anzunehmen.

Bei der Untersuchung von Böden aus Praxisschlägen in den Niederlanden fanden OYARZUN et al. (1998) bodenbiologische Aspekte als wichtigste Faktoren für die Hemmung von Fußkrankheitspathogenen an Erbsen. Während in dieser Untersuchung Mikroorganismen in der Rhizosphäre von Erbsen geprüft wurden, erfolgte im vorliegenden Projekt die Untersuchung der mikrobiellen Biomasse und von Enzymaktivitäten im Jahr nach dem Erbsenanbau. Einzelne Ergebnisse von Korrelationsanalysen lassen darauf schließen, dass sowohl die Schädigung der Wurzeln als auch der Besatz mit *M. pinodes* in positivem Zusammenhang mit der Belebtheit der organischen Substanz ( $C_{mik}/C_{org}$ ) steht. Die Proteaseaktivität bezogen auf die mikrobielle Biomasse weist hingegen einen negativen Zusammenhang mit den beiden Parametern auf. Inwieweit diese Ergebnisse direkte kausale Zusammenhänge beschreiben, muss weiter geprüft werden, da die untersuchten bodenbiologischen Parameter z. B. stark mit dem Tongehalt und anderen die Erbse beeinflussenden Bodeneigenschaften korrelieren.

#### 4.1.2.4 Unkraut, Schädlinge und Krankheiten



**Abbildung 28: Direkte und indirekte Faktoren des Erbsenertrags aus dem Bereich Unkraut, Schädlinge und Krankheiten, d. h. in Regressionsmodellen für den Messpunktertrag der Erbse bzw. für die auf den Pfeilen gekennzeichneten Parameter Länge der Wurzelläsionen und Unkrautdeckungsgrad aufgenommene Regressoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

Bei einem hohen Unkrautdeckungsgrad im Mai ist auch mit einem hohen Unkrautdruck zur Erbsenblüte und mit geringeren Erbsenerträgen zu rechnen (Abbildung 28). Der große Einfluss des Unkrautdrucks auf den Ertrag bestätigt Untersuchungen, die den Besatz mit Unkraut in Erbsen als einen wesentlichen Faktor der Ertragsbildung beschreiben (FERNANDEZ et al. 2012; BÖHM 2009).

Ein direkter Einfluss von der Anzahl Erbsentriebe je Fläche im Mai auf den Ertrag ist aus den Ergebnissen nicht erkennbar, obwohl diese zwischen 30 und 120 Trieben/m<sup>2</sup> variierten. Auch ein Ertragsoptimum bei der empfohlenen Pflanzenzahl von 70 bis 90/m<sup>2</sup> (SPERBER et al. 1988, S. 60) zeigte sich nicht. Trotzdem ist eine hohe Bestandesdichte positiv zu bewerten, da sie meist mit einem geringeren Unkrautdeckungsgrad verbunden ist (Abbildung 28).

Einzelne Korrelationen weisen darauf hin, dass auch die Homogenität des Erbsenbestandes

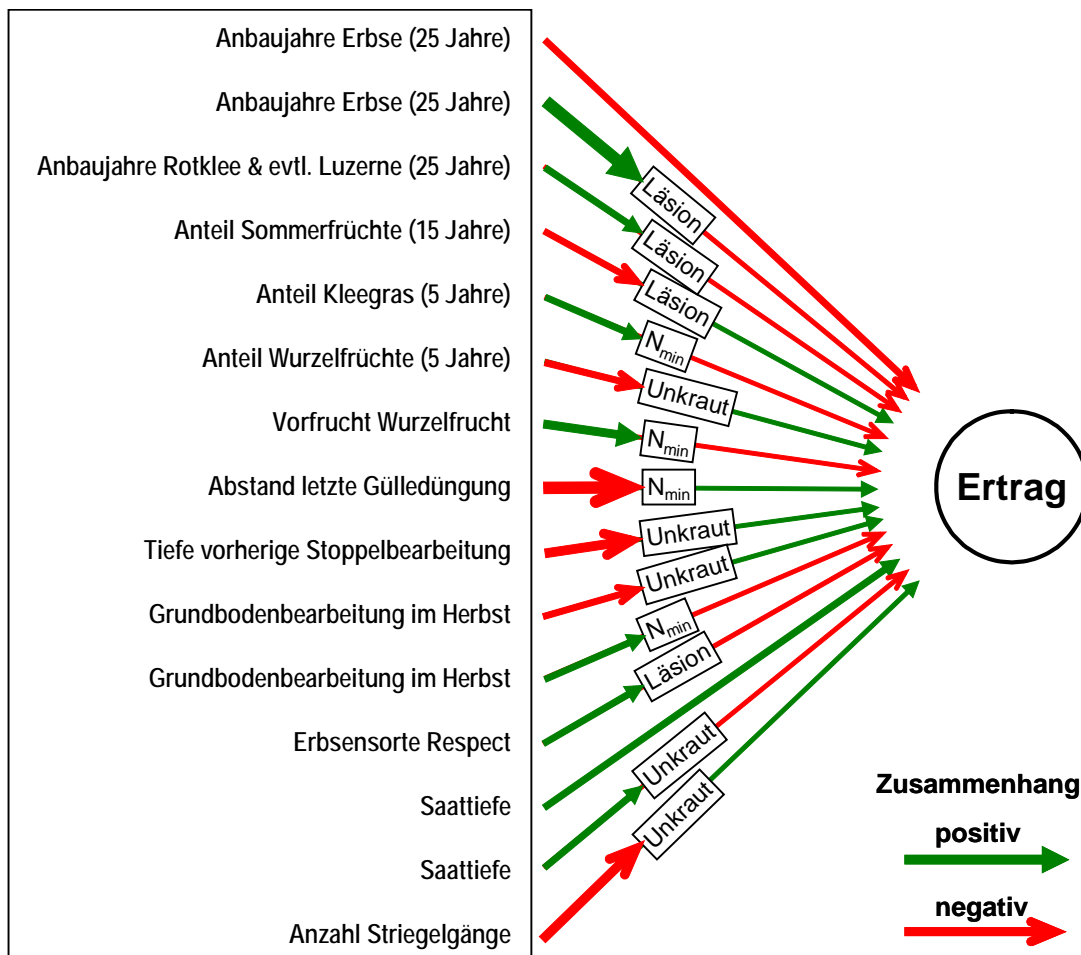
einen positiven Effekt auf den Ertrag hat. Allerdings ist die Homogenität eng mit der Bestandesdichte korreliert. Auch hier ist vor allem ein indirekter Zusammenhang über den Unkrautdruck zu erkennen, der in lückigen Beständen meist höher ist als auf Flächen mit homogen verteilten Erbsenpflanzen. Beobachtungen bei der Durchführung des Projekts ergaben, dass die unzureichende Saattechnik auf vielen Betrieben eine wesentliche Ursache heterogener Bestände war.

Schädigungen durch Blattläuse können bei Erbsen den Ertrag deutlich reduzieren. Im Rahmen des Projekts wurden der Befall bzw. die Schädigungen nur zur Blüte bonitiert; eine detaillierte Untersuchung der Auswirkungen und Faktoren dieses Schädlings war nicht möglich. Der Erbsenspross wies auf allen Untersuchungsschlägen zum Zeitpunkt der Blüte nur geringe Schädigungen durch Sprosskrankheiten auf. Ein Zusammenhang zum Ertrag zeigte sich nicht. Da im Rahmen des Projekts nur zur Blüte bonitiert werden konnte, ist jedoch ein relevanter Befall im Zeitraum bis zur Abreife nicht ausgeschlossen.

Einen deutlich negativen Effekt auf den Erbsenertrag haben Schädigungen an den Wurzeln und am Stängelgrund sowie der Besatz der Wurzeln mit *F. oxysporum* und *F. avenaceum* sowie mit *M. pinodes*. Eine negative Korrelation vom Besatz der Wurzeln mit *M. pinodes* mit der Bestandesdichte im Mai, bestätigt Aussagen von KOIKE et al. (2007), dass ein Befall die Erbse schon beim Auflaufen schädigen kann. Eine detaillierte Analyse des Fruchtfolge-Fußkrankheitkomplexes erfolgt gesondert im Kapitel 4.1.2.6.

#### 4.1.2.5 Bewirtschaftung

Die mit Hilfe der multiplen Regressionsanalysen ermittelten Bewirtschaftungsfaktoren des Erbsenertrags wirken meist indirekt über eine Beeinflussung der Schädigungen an den Wurzeln, des Unkrautdrucks oder über der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr (Abbildung 24). Faktoren die mit Leguminosen in der Fruchtfolgegeschichte oder mit den Fußkrankheiten der Erbsen zusammenhängen, werden im nächsten Kapitel diskutiert.



**Abbildung 29: Direkte und indirekte Faktoren des Erbsenertrags aus dem Bereich Bewirtschaftung, d. h. in Regressionsmodellen für den Messpunktertrag der Erbse bzw. für die auf den Pfeilen gekennzeichneten Parameter Länge der Wurzelläsionen,  $N_{min}$ -Menge im Frühjahr (0-90 cm) und Unkrautdeckungsgrad aufgenommene Regressoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz.**

Einen direkten Einfluss auf den Ertrag weist die Saattiefe der Erbsen auf. Im Bereich der auf den Untersuchungsschlägen gefundenen durchschnittlichen 1,7 bis 6,0 cm steigt die Ertrags- erwartung mit zunehmender Tiefe an. Von der empfohlenen Saattiefe von 4 bis 6 cm (SPERBER et al.1988) sollte somit eher der tiefere Bereich angestrebt werden. Die Bodenart hat in der vorliegenden Untersuchung keinen Einfluss auf den Effekt der Saattiefe. Während AUSKALNIS (2001) auf einem sandigen Lehm ab einer Saattiefe von 7 cm einen Ertragsrückgang feststellte, erreichten die Erbsenerträge bei HWANG et al. (2006) in 5 und 9 cm ein identisches Ertrags- niveau. Das Risiko einer zu tiefen Saat ist somit in der Praxis als gering einzuschätzen.

Einzelne Korrelationsanalysen geben den Hinweis, dass der Erbsenertrag mit zunehmender Dauer der ökologischen Bewirtschaftung sinkt. Dies ist wahrscheinlich auf den im Vergleich zum konventionellen Ackerbau intensiveren Anbau von Leguminosen im Ökolandbau zurückzuführen (siehe nächste Kapitel). Der Einsatz von Saatgut aus ökologischer Herkunft kann im Vergleich zu konventionell erzeugten Saaterbsen (Basis- oder Z-Saatgut) mit etwas geringeren Erträgen verbunden sein. Eine Zuordnung dieses Effekts zu dem Besatz mit einzelnen Pathogenen, der Keimfähigkeit oder zu optischen Mängeln war nicht möglich.

Eine positive Korrelation des Erbsenertrags mit der Tiefe des vorherigen Pflügens weist auf den positiven Effekt einer tiefen Lockerung des Bodens vor der Saat hin. Bei dem Vergleich der



Pflugtiefen 15 - 18 cm und 25 - 28 cm in Feldversuchen fand CIORLAUS (1976) eine deutliche Steigerung des Erbsenertrags bei tieferer Bearbeitung. Weizen reagierte in dieser Studie deutlich weniger und Mais zeigte keinen Effekt durch die unterschiedlichen Bearbeitungstiefen.

Die Ergebnisse der Praxiserhebung zeigen, dass der Unkrautdruck einer der wesentlichen Faktoren des Erbsenertrags auf Ökobetrieben ist (siehe vorheriges Kapitel). Mit multiplen Regressionsanalysen konnten eine Reihe von Bewirtschaftungsfaktoren ermittelt werden, durch die der Unkrautdruck beeinflusst wird (Abbildung 24). Es besteht somit die Möglichkeit durch eine Optimierung des Unkrautmanagements den Erfolg des Erbsenanbaus deutlich zu verbessern.

Auf Schlägen mit hohem Getreideanteil und geringem Anteil an Wurzel- und Knollenfrüchten (Kartoffeln, Zuckerrüben) in der Vorfruchtgeschichte ist mit einem erhöhten Unkrautdruck zu rechnen. Eine intensive Stoppelbearbeitung im Vorjahr und ein Pflugtermin im Herbst anstatt im Frühjahr können sich reduzierend auf den Unkrautdeckungsgrad in den folgenden Erbsen auswirken.

Während eine größere Saattiefe der Erbsen zu einem höheren Unkrautdeckungsgrad im Mai führen kann, besteht zum Unkrautdeckungsgrad im Juni ein negativer Zusammenhang zur Saattiefe. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass das Unkraut im Mai von einer tieferen Saat aufgrund des späteren Auflaufens der Erbsen profitiert, während die positiven Effekte einer tiefen Saat auf die weitere Entwicklung des Erbsenbestandes zu einem vergleichsweise geringeren Unkrautdeckungsgrad im Juni führen.

Die Ergebnisse aus den Untersuchungsschlägen zeigen, dass mit zunehmender Intensität der direkten Unkrautregulierung (Anzahl der Striegelgänge vor und nach Auflaufen der Erbsen) ein deutlich reduzierender Einfluss auf den Unkrautdeckungsgrad zu erwarten ist. Dieser Effekt konnte nachgewiesen werden, obwohl die für eine Wirksamkeit der Einzelmaßnahmen wichtigen Faktoren Einsatztermin und Wahl des Gerätes (VERSCHWELE 2011) sowie Qualität der Arbeitsausführung nicht berücksichtigt werden konnten.

Weiterhin haben alle Maßnahmen, die zur Etablierung eines homogenen und dichten Erbsenbestandes führen, einen deutlich negativen Effekt auf den Unkrautdruck. Umgekehrt bedeuten ungünstige Bedingungen für die Entwicklung des Erbsenbestandes (z. B. Boden, Fruchtfolge, Krankheitsdruck) die Gefahr einer hohen Verunkrautung.

Insgesamt sind die vorgestellten Zusammenhänge von Unkrautdruck und Bewirtschaftung im Ökolandbau bekannte Effekte. Die Tatsache, dass sie als Faktoren nachweisbar waren bedeutet, dass in vielen Fällen diese Bewirtschaftungsmaßnahmen nicht im Optimum vorlagen. Es besteht somit in der Praxis ein deutliches Verbesserungspotential.

Die negative Auswirkung hoher  $N_{\min}$ -Mengen im Frühjahr auf den Erbsenertrag ist wohl vor allem auf eine Förderung des Unkrauts zurückzuführen. HÄNSEL (2007) fand eine deutliche Abhängigkeit des Unkrautdeckungsgrades vor der Erbsenernte von der Menge an verfügbarem Stickstoff im Boden.

Als wesentliche Einflussgrößen hoher  $N_{\min}$ -Mengen ergibt die multiple Regression den Kleegrasanbauanteil in den vorherigen fünf Jahren, den Anbau einer Wurzelfrucht – meist Kartoffeln – als Vorfrucht, einen geringen zeitlichen Abstand zur letzten Gülledüngung und die Durchführung der Grundbodenbearbeitung im Herbst statt im Frühjahr. Ziel einer Anbauoptimierung sollte es sein, Erbsen nur auf Schlägen anzubauen bei denen in der Vegetationszeit keine hohen Mengen an verfügbarem Stickstoff zu erwarten sind.

Neben der Bestandesentwicklung spielt auch die Ernte eine wichtige Rolle für den Erfolg des Erbsenanbaus. Im Mittel übertrafen die Messpunkterträge die von den Betriebsleitern ermittelten Erträge der gesamten Schläge um 54 %. Dieser große Unterschied ist wahr-

scheinlich nicht nur auf die Wahl der Messpunkte in ungestörten Bereichen der Schläge zurückzuführen, sondern auch auf Verluste vor oder während der Ernte.

Nach FEIFFER (undatiert) ist der Hauptteil der Verluste bei der Erbsenernte auf die Schneidwerksarbeit zurückzuführen. Zur Minimierung dieser Verluste werden spezielle Geräteteile (z. B. Ährenheber) und eine sorgfältige Einstellung des Schneidwerks empfohlen. Ein ebenmäßiges Saatbett wird als Grundvoraussetzung einer störungsfreien Ernte genannt. Weiterhin muss die Dreschtrommeldrehzahl stark abgesenkt werden, bei großem Trommelumfang auf ca. 400 - 450 U/min. Diese unteren Drehzahlen sind oft nur mit Untersetzungsgetrieben zu erzielen. Nach HÄNSEL (2013, mündliche Mitteilung) werden Mähdrescher in der Praxis oft nicht richtig für die Erbsenernte eingestellt. Häufig fehlen die benötigten Getriebe für niedrige Trommeldrehzahlen oder der Zeitaufwand für eine Umrüstung und optimale Einstellung wird von Lohnunternehmern nicht aufgebracht.

Für die Steigerung des Erfolgs beim Erbsenanbau sind der richtige Erntetermin – um Verluste vor der Ernte zu minimieren – und eine optimale Erntetechnik wesentlich.

#### 4.1.2.6 Fruchtfolge-Fußkrankheiten-Komplex

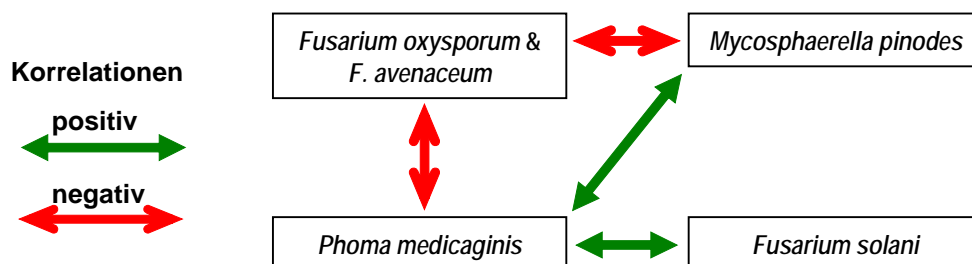
Fußkrankheiten sind bei Erbsen ein bedeutender Faktor des Ertrags (KÖHLER & SCHUMANN 2013; PFLUGHÖFT 2008; OYARZUN et al. 1993; HOFFMANN & SCHMUTTERER 1983). Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigen, dass bei zunehmender Länge der Schädigung an Wurzel und Stängelgrund mit niedrigeren Erträgen zu rechnen ist (Abbildung 30). Neben dem Einfluss der Läsionen wurden bei der multiplen Regressionsanalyse der Besatz an den Wurzeln mit *F. oxysporum* und *F. avenaceum* sowie die Anzahl Anbaujahre mit Erbsen in den vergangenen 25 Jahren als Faktoren des Ertrags identifiziert. Weitere Auswertungen weisen auch auf einen direkten Effekt des Anbauabstandes zur vorherigen Erbse hin, nach zwei bis sieben Jahren lagen die Erträge meist niedriger als nach acht bis 19 Jahren. Die Ergebnisse machen deutlich, dass nicht alle Effekte von Fruchtfolge und Pathogenbesatz durch das Ausmaß der Läsionen zum Zeitpunkt der Blüte abgebildet werden.

Die Schädigungen an den Erbsenwurzeln werden stark durch die Witterung beeinflusst. Die multiple Regressionsanalyse zeigt, dass hohe Temperaturen nach der Saat und eine hohe Wasserversorgung bis zur Blüte mit geringen Schädigungen verbunden sind. Plausible Zusammenhänge von Bodeneigenschaften mit dem Ausmaß der Läsionen traten kaum auf. Besonders für bodenphysikalische Parameter wurden Zusammenhänge erwartet, da das Auftreten von Fußkrankheiten an Erbsen bei verdichteten Böden meist höher ist (SANSSENE et al. 1998). Einzelne Korrelationen weisen auf einen positiven Zusammenhang von Läsionslänge und Unkrautdruck hin.

Die bei der multiplen Regressionsanalyse ausgewiesenen Zusammenhänge von Länge der Läsionen mit der Häufigkeit des Anbaus von Erbsen (stark) und Rotklee bzw. Luzerne (schwächer) zeigen den bekannten Fruchtfolgeeffekt auf die Fußkrankheiten der Erbse (OYARZUN 1993; HOFFMANN & SCHMUTTERER 1983). Deutliche Auswirkungen des Abstands zum vorherigen Erbsenanbau waren nicht ersichtlich. Da Rotklee und Luzerne auf den meisten Schlägen zusammen in einer Kleeegrasmischung angebaut wurden, ist eine Differenzierung zwischen den beiden Arten hier nicht möglich. Der Anbau von Weißklee und Ackerbohnen hat nach vorliegenden Ergebnissen hingegen keinen Einfluss auf die Wurzelschädigung. Der Vergleich der drei häufig angebauten Erbsensorten weist darauf hin, dass 'Respect' möglicherweise anfälliger auf Schädigungen der Wurzel ist.

Von den Pathogenen, die wesentlich für Läsionen an den Wurzeln verantwortlich sein können, wurden im Rahmen des Projektes der Wurzelbesatz zum Zeitpunkt der Blüte mit *M. pinodes*, *P. medicaginis*, *A. pisi*, *F. oxysporum*, *F. avenaceum*, *F. solani* und *A. euteiches* geprüft. Ein Befall mit *A. euteiches* wurde auf keinem Schlag ermittelt und auch *A. pisi* trat nur auf sehr wenigen Schlägen auf. Einen deutlichen Zusammenhang zur Schädigung der Wurzel wurde nur bei dem Besatz mit dem von OYARZUN et al. (1993) als weniger pathogen bezeichneten *M. pinodes* gefunden.

Zwischen dem Besatz mit einzelnen Pathogenen an den Wurzeln wurden zum Teil deutliche Korrelationen festgestellt (Abbildung 30). Dies kann auf eine gegenseitige Beeinflussung während der Infektion der Wurzeln und dem Befallsverlauf hindeuten, auf ähnliche oder gegenteilige Reaktionen auf gemeinsame Faktoren weisen oder auch mit Effekten bei der Isolation der Pathogene zusammenhängen.



**Abbildung 30: Korrelationen zwischen dem Wurzelbesatz verschiedener Pathogene an Erbsen zum Zeitpunkt der Blüte**

Der Einfluss von Witterung und Bodeneigenschaften auf den Besatz der Wurzeln mit *M. pinodes* entspricht im Wesentlichen dem Einfluss auf die Länge der Läsionen. Zusätzlich ergibt die multiple Regressionsanalyse, dass ein warmer Winter vor der Saat oft mit einem geringen Besatz verbunden ist. Weiterhin scheint bei einer hohen Wasserversorgung der Besatz mit *M. pinodes* im Mai gefördert und im Juni gehemmt zu werden. Untersuchungen von ROGER et al. (1999) haben gezeigt, dass der Wechsel von nassen und trockenen Phasen eine Infektion verstärken kann.

Der deutliche Zusammenhang vom Saatgutbesatz und dem Auftreten von *M. pinodes* an den Wurzeln entspricht dem allgemeinen Erkenntnisstand zu diesem Pathogen (KOIKE et al. 2007) und zeigt die große Bedeutung unbelasteten Saatgutes für den Erfolg des Erbsenanbaus. Bei der Prüfung von Effekten der Leguminosenanbaugeschichte wurde nur ein Hinweis (einzelne Korrelation) auf einen Zusammenhang mit dem Anbauabstand zu Rotklee bzw. Luzerne gefunden. Während Rotklee und Luzerne von CHILTON et al. (1943) als Wirtspflanze von *M. pinodes* beschrieben wurde, werden diese Arten in der neueren Literatur (HOFFMANN & SCHMUTTERER 1983; PUNITHALINGAM & HOLLIDAY 1972) nicht als Wirtspflanzen aufgeführt. Es konnte nicht geklärt werden, weshalb in den Ergebnissen der Praxiserhebung kein Zusammenhang vom Besatz mit *M. pinodes* mit der Häufigkeit des Erbsenanbaus und dem Abstand zur vorherigen Erbse nachweisbar war.

Zwar konnte kein Zusammenhang zwischen dem Besatz mit *F. oxysporum* und *F. avenaceum* und dem Ausmaß der Wurzelläsionen zum Zeitpunkt der Blüte gefunden werden, anders als bei PFLUGHÖFT (2008) zeigte sich jedoch ein deutlich negativer Effekt auf den Ertrag. Da die Schädigungen durch *F. oxysporum* verstärkt bei Temperaturen über 20° auftreten (KOIKE et al. 2007), waren die Schäden durch diesen Pathogen zum Zeitpunkt der Blüte evtl. noch nicht deutlich erkennbar. Diese Hypothese wird durch den Zusammenhang von hohen Temperaturen

im Juni mit einem hohen Besatz an *F. oxysporum* und *F. avenaceum* unterstützt. Die Ergebnisse einzelner Korrelationsanalysen weisen weiterhin daraufhin, dass ein kalter Winter vor der Saat den Befall mit *F. oxysporum* und *F. avenaceum* hemmen kann. Eine hohe Wasserversorgung nach der Saat kann zu geringem Besatz mit *F. oxysporum* und *F. avenaceum* an den Wurzeln führen, im weiteren Wachstumsverlauf werden jedoch diese Pilze durch eine hohe Wasserversorgung gefördert.

Die in der Literatur beschriebene Förderung dieser Fusarien durch vorherigen Erbsenanbau (HOFFMANN & SCHMUTTERER 1983) zeigte sich bei der vorliegenden Untersuchung nicht. Auch ein Einfluss andere Fruchtfolge- oder Bewirtschaftungsmaßnahmen war nicht erkennbar.

Während PFLUGHÖFT (2008) *P. medicaginis* als bedeutendsten Erreger von Fußkrankheiten an Erbsen in Deutschland einschätzt, ist ein Zusammenhang des Wurzelbesatzes mit dem Ausmaß der Läsionen oder dem Erbsenertrag in der vorliegenden Untersuchung nicht zu erkennen. Auch eine Beziehung zu der Anbaugeschichte bezüglich von anderen Autoren beschriebenen möglichen Wirtspflanzen, z. B. Erbse, Ackerbohne, Rotklee und Luzerne (BIDDLE & CATTILIN 2007; PUNITHALINGAM & GIBSON 1976) ist nicht ersichtlich.

*F. solani* wird als ein häufig vorkommender Erreger von Fußkrankheiten der Erbse beschrieben (PFLUGHÖFT 2008; KOIKE et al. 2007), der im Vergleich zu anderen Fußkrankheitserregern weniger erbsenspezifisch ist und große Schäden bewirken kann (OYARZUN 1993). Auf den Untersuchungsschlägen wurde *F. solani* im Vergleich zu den anderen untersuchten Pathogenen seltener gefundenen. Ein Zusammenhang vom Besatz an den Wurzeln und dem Ausmaß der Läsionen bzw. dem Erbsenertrag ist nicht nachweisbar. Ergebnisse der Korrelationsanalysen weisen darauf hin, dass ein Auftreten von *F. solani* durch hohe Niederschlagsmengen im vorherigen Winter und hohen Temperaturen im Juni gefördert wird. Eine gute Wasserversorgung in der Anfangsphase des Erbsenwachstums kann sich hingegen hemmend auswirken. Unter den Fußkrankheitsparametern zeichnet sich nur bei *F. solani* ein Zusammenhang des Befalls der Erbsenwurzeln mit der Bodenstruktur ab. Bei geringem Porenvolumen im Bearbeitungshorizont ist mit einem höheren Besatz zu rechnen. Auch VIGIER & RAGHAVAN (1980) fanden einen Einfluss von Bodenverdichtungen, diese förderten Schädigungen der Wurzel durch *F. solani*. Ein Einfluss der Fruchtfolageschichte ist aus den Untersuchungsergebnissen nicht ersichtlich.

Insgesamt zeigen sich deutliche Zusammenhänge zwischen der Fruchtfolageschichte und dem Erbsenertrag. Anbauhäufigkeit und –abstand der Erbsen sind dabei die wichtigsten negativen Faktoren. Aber auch der negative Einfluss von Rotklee und/oder Luzerne in der Fruchtfolge ist klar erkennbar.

Die auf Basis des Erkenntnisstandes erwarteten Beziehungen zwischen Fruchtfolageschichte, Pathogenbesatz, Wurzelschädigungen und Erbsenertrag konnten nur in einzelnen Fällen bestätigt werden (Abbildung 31). In dem komplexen System Boden-Pflanze ist eine Vielzahl von Faktoren wirksam, so dass die Betrachtung einer Momentaufnahme, wie sie durch eine einmalige Untersuchung der Wurzeln vorliegt, kein komplettes Bild der Zusammenhänge liefern kann. Weiterhin ist es nie möglich, alle relevanten Faktoren zu erfassen und angemessen in die Auswertung einzubeziehen. So weist die positive Korrelation vom Besatz mit nicht identifizierten Pathogenen mit der Länge der Wurzelläsionen darauf hin, dass nicht alle relevanten Pathogene geprüft wurden. Nach OYARZUN et al. (1993) können dies z. B. *T. basicola*, *R. solani* und *Pythium* spp. sein. Weiterhin weisen die zum Teil engen Korrelation zwischen dem Besatz mit verschiedenen Pathogen auf deutlich Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Erregern hin.

Der Pathogenbesatz des Saatgutes hatte eine geringere Bedeutung für die Gesundheit der Erbsenpflanzen und für den Ertrag als erwartet. Dies kann daran liegen, dass ein hoher Besatz





- › Böden mit schlechter Wasserhaltefähigkeit nur wenn Berechnung möglich ist (vor allem in Regionen mit häufig auftretenden Trockenphasen von Mai bis Juli). \*
- › Keine großen Bereiche im Schlag mit erheblichen Bodenverdichtungen. \*\*
- › Gute Phosphorversorgung (Versorgungsstufe C). Bei geeigneten pH-Werten kann eine Phosphordüngung sinnvoll sein. \*\*\*
- › Keine Schläge mit hoher N-Verfügbarkeit: \*\*
  - möglichst großer Abstand zur vorherigen Leguminose besonders zu Klee- bzw. Luzernegras;
  - nicht nach Kartoffeln, da danach oft höhere  $N_{\min}$ -Mengen auftreten;
  - möglichst großer Abstand zur letzten Düngung mit N-reichen Materialien (z. B. Gülle);
  - nicht auf Böden mit hoher natürlicher N-Nachlieferung, z. B. bei hohen Gehalten an organischer Substanz und einem engen C/N-Verhältnis;

sonst besteht ein hohes Unkrautrisiko. Wenn eine höhere N-Nachlieferung zu erwarten ist, dann die Erbse im Gemenge mit Getreide oder einer nichtlegumen Frucht anbauen.
- › Möglichst wenig Erbsenanbau in der Fruchtfolgegeschichte und ein möglichst großer Abstand zur vorherigen Erbse. Der meist empfohlene Abstand von 6 Jahren reicht nicht aus. Je häufiger Erbsen angebaut werden und je geringer der Abstand zur vorherigen Erbse ist, desto größer ist das Risiko von Mindererträgen durch Fußkrankheitsprobleme. Ein Test des Bodens vor Aussaat kann Aufschluss über das Risiko fruchtfolgebedingter Fußkrankheiten geben (Kap. 3.1.5). \*\*\*
- › Möglichst großer Abstand zum vorherigen Rotklee- oder Luzerneanbau. Beide Arten können Fußkrankheitsprobleme fördern, allerdings weniger stark als Erbsen. \*
- › Keine Schläge mit hohem Unkrautdruck, vor allem von sommerannuellen Arten wie dem weißen Gänsefuß. Schläge mit einem höheren Knollen- oder Wurzelfruchtanteil in der Fruchtfolge haben häufig einen geringeren Unkrautbesatz. \*

Insgesamt sollten auf ungeeigneten Standorten keine Erbsen-Reinsaaten angebaut werden, da nicht nur ein hohes Risiko für niedrige Erträge besteht, sondern schlechte Erbsenbestände auch häufig zu einer starken Verunkrautung neigen, die wiederum zu einer Erhöhung des Unkrautsamenpotentials führt.

### **Bewirtschaftung ab Vorfruchternte**

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass bei einer Reihe von Ökobetrieben durch Optimierung einzelner kurzfristiger Bewirtschaftungsmaßnahmen eine Steigerung der Erbsenerträge zu erwarten ist. Mit den folgenden Maßnahmen kann das Ertragspotential erhöht werden:

- › Tiefe Stoppelbearbeitung im Vorjahr. Im Bereich von ca. 5 bis 20 cm ist bei einer größeren Bearbeitungstiefe mit einem geringeren Unkrautdruck in den folgenden Erbsen zu rechnen. Vor allem auf Schlägen mit hohem Unkrautdruck ist eine intensive Stoppelbearbeitung zu empfehlen. \*\*
- › Pflugtermin im Herbst statt im Frühjahr. Obwohl nach Herbstfurche im Frühjahr meist mehr  $N_{\min}$  im Boden zu finden ist, wirkt sich das frühere Pflügen oft unkrautreduzierend aus. \*
- › Verwendung „sauberen“ Saatguts. Zwar wurde ein Zusammenhang von Pathogenbesatz und Schwere der Fußkrankheiten nur bei dem Pilz *M. pinodes* bestätigt, das Risiko der



Einschleppung von problematischen Krankheitserregern sollte jedoch in jedem Fall vermieden werden. \*\*

- › Saattiefe möglichst um 6 cm. Aussaatstärke im oberen Bereich der Empfehlungen von 80 bis 100 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup>. Beobachtungen haben gezeigt, dass die Saattechnik bzw. die Art der Ausführung auf vielen Betrieben nicht für eine gleichmäßige Verteilung und Tiefenablage des Saatgutes geeignet ist. Hier besteht ein großes Optimierungspotential mit dem Ziel einen dichten homogenen Erbsenbestand zu sichern. \*\*
- › Häufiger und sachgerechter Einsatz des Striegels vor und nach Auflaufen der Erbsen. Unerwartet deutlich hängt der Unkrautdeckungsgrad in Erbsenbeständen im Mai und auch im Juni von der Anzahl Striegelgänge ab. \*\*
- › Ernte am möglichst optimalen Termin und mit den richtigen Mähdreschereinstellungen. Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass Verluste vor oder bei der Ernte eine deutlich größere Rolle spielen als bei Getreide. \*\*

Da die Erbse insgesamt weitaus empfindlicher auf viele Einflussfaktoren reagiert als z. B. Getreide, ist für einen erfolgreichen Erbsenanbau eine größere Sorgfalt notwendig.

### **Anbaurisiken**

Neben der Witterung sind vor allem Schädigungen der Erbsen durch Blattlausbefall und durch Infektionen mit Fusarium-Arten an Wurzel und Stängelbasis schwer vorhersehbare Risiken. Der Blattlausbefall fällt regional sehr unterschiedlich aus, die Höhe des Risikos muss somit je nach Standort und Erfahrung eingeschätzt werden.

Bei nesterweisem Auftreten von vergilbenden bzw. absterbenden Pflanzen sollte die Ursache vom Pflanzenschutzdienst geprüft werden. Sind Fusarium-Pilze an diesen Schädigungen beteiligt ist von einem weiteren Erbsenanbau auf dieser Fläche abzuraten.

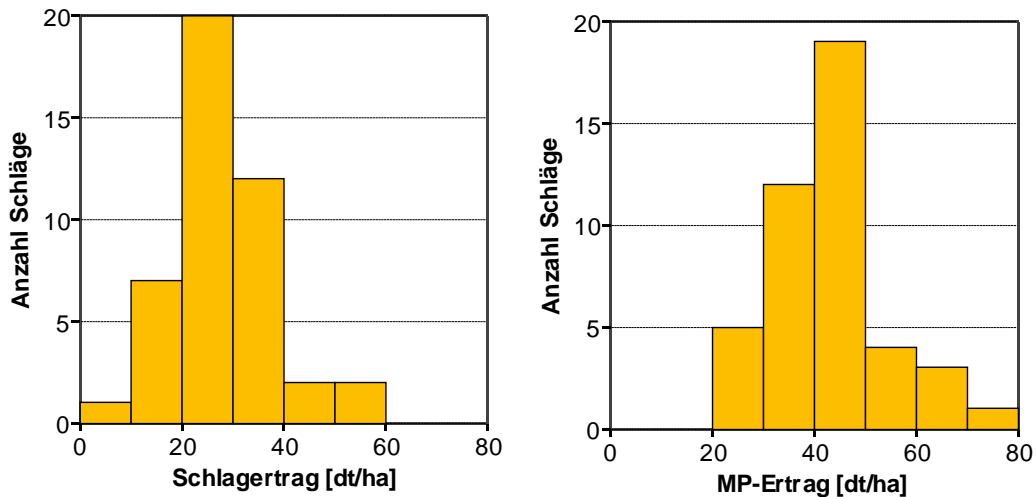
Ein weiteres Risiko besteht in den bisher nicht vollständig geklärten Unverträglichkeiten der Erbse mit anderen Leguminosenarten. Über die hier genannten Arten (Erbse, Rotklee, Luzerne) hinaus, ist eine Förderung von Fußkrankheiten durch weitere Leguminosenarten nicht ausgeschlossen.

### **4.1.3 Ergebnisse zum Ackerbohnenanbau**

Von den 48 im Zeitraum 2009 bis 2012 mit Ackerbohnen angesäten Untersuchungsschlägen wurden drei Schläge aufgrund starker Hagel- bzw. Sturmschäden und ein Schlag aufgrund eines frühen Umbruchs wegen starker Verunkrautung nicht in die Auswertung einbezogen.

#### **4.1.3.1 Ertrag**

Von den 44 untersuchten Ackerbohnen-schlägen wurde einer zwar beprobt, aber vom Landwirt nicht geerntet, sondern gemulcht. Als Grund wurde ein für den Mähdrusch zu hoher Unkrautbesatz genannt. Der höchste von den Betriebsleitern ermittelte Schlagsertrag lag bei 58 dt/ha, der Durchschnitt bei 28 dt/ha (Verteilung in Abbildung 32). In den Messparzellen wurden zwischen 20 und 72 dt/ha und im Mittel 43 dt/ha geerntet (MP-Ertrag, Abbildung 32). Auf dem betrieblich nicht geernteten Schlag konnten in den Messparzellen noch 33 dt/ha geerntet werden. Sowohl die Schlag- als auch die MP-Erträge streuten in einem weiten Bereich.



**Abbildung 32: Histogramme der Ackerbohnerträge (14 % Feuchte), links Schlag-ertrag (Betriebsleiterangaben), rechts Messparzellenertrag (MP-Ertrag, Hand-ernte)**

### Unterschied Schlag- und MP-Ertrag

Im Mittel übertrafen die MP-Erträge die Schlag-erträge um 52 % (nur beerntete Schläge). Da bei der Ermittlung der MP-Erträge keine Fahrspuren, Vorgewende, Senken, Kuppen und größere Lücken beprobt wurden, sind höhere MP-Erträge nachvollziehbar. Bei mit gleicher Methodik ermittelten Getreideerträgen übertraf der Messpunktertrag den Schlag-ertrag jedoch nur um 30 % (vgl. Kap. 4.1.5). Beobachtungen des Wachstumsverlaufs und bei der Ernte lassen darauf schließen, dass die Ackerbohnen – wie die Erbsen – deutlich stärker als Getreide auf ungünstige Verhältnisse innerhalb eines Schlages reagierten, d. h. die Ackerbohnenbestände waren meist heterogener und lückiger als die Getreidebestände im Folgejahr. Weiterhin können relevante Verluste bei der Verwendung des Standdreschers für die Ertragsproben aus den Messparzellen im Gegensatz zum Mähdrusch ausgeschlossen werden. Auch bei möglichen Ausfallverlusten vor der Ernte kann wohl von geringeren Werten bei der Hand-ernte ausgegangen werden, da die später erfolgte Betriebsernte in einigen Fällen witterungsbedingt nicht zum optimalen Termin stattfand. Auf einen weiteren Grund für die großen Unterschiede zwischen MP- und Schlag-ertrag weist die Beobachtung, dass beim Mähdrusch im Gegensatz zur Hand-ernte tief angesetzte Hülsen häufig nicht erfasst wurden.

Obwohl mit den drei Messparzellen nur ein kleiner Teil des jeweiligen Schlages abgedeckt wurde erreichte das  $R^2$  der Regressionsgeraden von MP- und Schlag-ertrag 0,72.

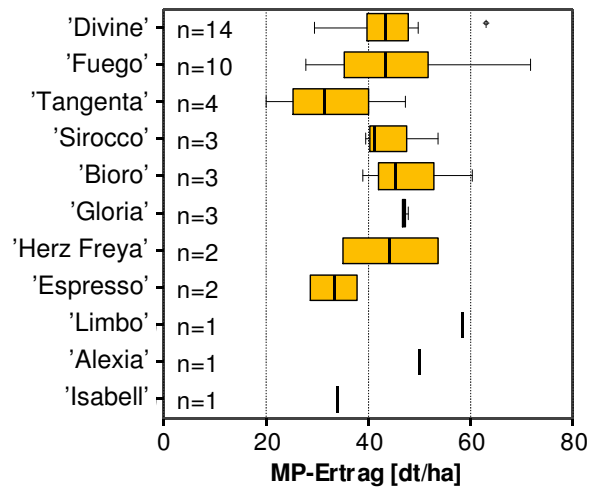
### Ertragskomponenten

Bei den Ackerbohnen wies von den Ertragskomponenten nur die Anzahl Hülsen pro Trieb (5,5 – 13,9  $\bar{\varnothing}$  9,5) eine signifikante Korrelation mit dem MP-Ertrag auf ( $r$  0,61). Die Anzahl Triebe pro  $m^2$  ( $\bar{\varnothing}$  39), die Tausendkornmasse ( $\bar{\varnothing}$  446 g), und die Anzahl Körner pro Hülsen ( $\bar{\varnothing}$  2,4) korrelierten hingegen nicht mit dem Ertrag.

### Sorten

Auf den Untersuchungsschlägen wurden insgesamt elf verschiedene Ackerbohnen-sorten angebaut, am häufigsten 'Divine' und 'Fuego'. Zwischen diesen beiden Sorten und zur Summe der restlichen Sorten waren keine Unterschiede im Ertrag absicherbar. Die Unterschiede im

Ertragsniveau zwischen den anderen Sorten (Abbildung 33) konnten aufgrund der geringen Anzahl an Fällen statistisch nicht geprüft werden.



**Abbildung 33: Boxplots des Messpunktertrags (MP-Ertrag) nach den auf den Untersuchungsschlägen angebauten Ackerbohnsorten**

### Faktoren der Ertragsvarianz

Eine Korrelationsanalyse vom MP- und Schlägertrag mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab nach Prüfung der Streudiagramme und Eliminierung der Fälle ohne Möglichkeit eines kausalen Zusammenhangs eine Reihe von signifikanten Korrelationen. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 43 aufgeführt. Korrelationen traten vor allem bei Boden- und Pflanzenparametern auf. Unter den Bodeneigenschaften weisen die Ergebnisse auf einen starken Zusammenhang mit der Bodenstruktur und dem Wasserhaushalt sowie mit dem Gehalt an organischer Substanz und der Mikrobiologie hin. Die Korrelationen bei den Pflanzenparametern reichten von der Saatgutqualität bis zur Wurzelschädigung, am stärksten korrelierte der Ertrag jedoch mit den Boniturdaten über die Homogenität des Bestandes. Bei dem Vergleich der einzelnen Jahre fiel 2011 durch ein deutlich niedrigeres Ertragsniveau auf. Über alle Standorte wies 2011 eine besonders starke Frühjahrstrockenheit und einen nassen Sommer auf. Signifikante Korrelationen wurden zu der Witterung vor der Ernte der Ackerbohnen gefunden. Die Korrelationen mit Anbauabstand und -häufigkeit waren neben der Saatgutherkunft die einzigen relevanten Zusammenhänge aus dem Bereich Bewirtschaftung, sie wurden jedoch nur zum MP-Ertrag gefunden. Fast alle anderen Korrelationen mit dem MP-Ertrag wurden auch mit dem Schlägertrag gefunden.

**Tabelle 43: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Messpunkt- (MP) und dem Schlägertrag (S) der Ackerbohnen**

Jahr / Witterung	MP	Schl.	Pflanze	MP	Schl.
<b>Jahr 2011</b>	-0,32*	-0,34*	<i>S. sclerotiorum</i> an Saatgut	-0,34*	
Ø Temperatur 4 Wochen vor Ernte	0,27	0,31*	Tausendkornmasse Saatgut	0,25	0,30
Niederschlag Januar - Saat	0,39**	0,29	Ackerbohnentriebe/m <sup>2</sup> Mai	0,25	0,35*
Wasserbilanz 4 Wochen vor Ernte	-0,29	-0,30	Ackerbohnendeckungsgrad Mai	0,35*	0,35*
<b>Boden</b>			Homogenität A.bohnen-Bestand Mai	0,42*	0,45**
Eindringwiderstand Verdicht.-Peak	-0,38*	-0,31*	Wurzelläsion Oberflächenbonitur	-0,29	
Trockenrohdichte Bearbeitungshor.	-0,59**	-0,47**	<i>F. solani</i> an Wurzeln	-0,28*	
Porenvolumen Bearbeitungshorizont	0,59**	0,47**	Homogenität A.bohnen-Bestand Juni	0,53**	0,59**
Feldkapazität Bearbeitungshorizont	0,50**	0,53**	Unkrautdeckungsgrad Juni	-0,33*	-0,27
Wasservorrat 0-90 cm Frühjahr	0,38*	0,41**	<b>Bewirtschaftung</b>		
N <sub>min</sub> 30-90 cm Frühjahr	0,38*	0,33*	Anteil Ackerbohne (15 Jahre)	-0,28	
S <sub>min</sub> 0-60 cm Frühjahr	0,27	0,40**	Anbauabstand vorherige A.bohne	0,27	
Organische Substanz	0,45**	0,45**	Saatgutherkunft zertifiziert	0,29	0,27
Proteaseaktivität	0,49**	0,37*			
Metabolischer Quotient	-0,43*	-0,25			

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

Bei einer Reihe von Parametern, bei denen ein Zusammenhang zum Ertrag erwartet wurde, konnten keine signifikanten Korrelationen gefunden werden, z. B. bei Parametern der Bewirtschaftung, wie Saattiefe und Saatzeitpunkt sowie dem Besatz der Wurzeln mit *A. fabae*. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass der erwartete kausale Zusammenhang bei den zugrunde liegenden Schlägen nicht bzw. nur in wenigen Fällen auftrat. Weiterhin können Interaktionen mit anderen Parametern den Einfluss von Faktoren überdecken. Bei einer Reihe von Parametern wurden verschiedene Interaktionen geprüft, es konnten jedoch keine signifikanten gefunden werden. So wurden z. B. bei der Saattiefe, die bei einer Vielzahl der Fälle unter 4 cm lag, Interaktionen mit der Bodenart und der Witterung nach der Saat geprüft.

Nach einer Vorauswahl möglicher Faktoren mit der partiellen Korrelationsanalyse und der folgenden schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurde eine Kombination von neun Parametern ausgewählt, mit der ein wesentlicher Teil der Varianz des MP-Ertrags erklärt werden konnte ( $R^2$  0,81). Im Laufe des Prozesses wurden zwei Schläge aufgrund ihres extremen Einflusses auf das Regressionsmodell ausgeschlossen. Ein Schlag war stark durch eine deutlich zu geringe Aussaatstärke und einen sehr hohen Unkrautdruck geprägt, der andere erbrachte den höchsten Ertrag im gesamten Untersuchungszeitraum. Die in Tabelle 44 aufgeführten Beta-Werte der einzelnen Faktoren geben Hinweise auf die relative Wichtigkeit bei der Varianzaufklärung (je größer die Abweichung von Null je größer ist der Einfluss).

**Tabelle 44: Direkte Faktoren des Ackerbohnertrags: im Regressionsmodell für den Messpunkt (MP, R<sup>2</sup> 0,81) und den Schlägertrag (Schlag, R<sup>2</sup> 0,60) aufgenommene Regressoren, Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor					MP		Schlag	
	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.	Beta	Sig.
Niederschlag Januar – Saat [l/m <sup>2</sup> ]	110	43	189	32	0,34	0,00	0,27	0,03
Wasserbilanz Mai – Mitte Juli [l/m <sup>2</sup> ]	-120	-298	34	82	0,26	0,01	0,21	0,10
Tongehalt (>23,5 %)	33 % der Schläge				-0,39	0,00	-0,35	0,01
Unterbodenstruktur (Bonitur 1 – 5)	2,7	1,5	3,5	0,5	0,30	0,00		
Wasservorrat 0-90 cm Frühjahr [l/m <sup>2</sup> ]	230	165	326	32	0,63	0,00	0,59	0,00
Homogenität A.bohnenbestand Mai (Bonitur 1 – 4)	2,5	1,6	3,5	0,5	0,32	0,00	0,40	0,00
Pilzkrankheiten am Spross (Bonitur 0 – 4)	0,5	0,0	2,0	0,6	-0,18	0,05	-0,22	0,07
Wurzelläsion Oberflächenbonitur (Bonitur 1 – 9)	4,2	1,2	7,9	1,2	-0,32	0,00	-0,28	0,02
<i>F. solani</i> an Wurzeln [%]	18	0	80	20	-0,27	0,00		

Die nicht durch die Bewirtschaftung beeinflussbaren Standortparameter Wasservorrat in 0 - 90 cm im Frühjahr, Tongehalt > 20 %, Niederschlag von Januar bis zur Saat und Wasserbilanz von Mai bis Mitte Juli sind wesentlich an der MP-Ertragsvarianz beteiligt. Aus den Beta-Werten dieser Regressoren errechnen sich zusammen ca. 64 % der mit dem Regressionsmodell erklärten Varianz. Standorte mit hoher Wasserhaltefähigkeit und mit mittleren bis geringen Tongehalten sowie hohen Niederschlagsmengen im Winter vor der Saat und in der Vegetationszeit wiesen im Mittel somit höhere Erträge auf.

Ein wesentlicher Faktor des Ertrags, der durch die Bewirtschaftung beeinflussbar ist, war die Homogenität des Ackerbohnenbestandes im Mai. Wahrscheinlich vor allem aufgrund der Saattechnik und –durchführung waren viele Untersuchungsschläge durch lückige Bestände gekennzeichnet (Beispiel in Abbildung 34). Die enge Korrelation von Homogenität mit den Parametern Triebe/m<sup>2</sup>, Ackerbohrendeckungsgrad und Unkrautdeckungsgrad im Mai sind vermutlich dafür verantwortlich, dass diese nicht als Faktoren im Regressionsmodell aufgenommen wurden.

Die von Pilzkrankheiten geschädigte Sprossfläche Mitte bis Ende Juni (SPilz) hatte einen signifikanten aber im Vergleich zu den anderen Faktoren geringen Einfluss auf den MP-Ertrag.

Für die in Zusammenhang mit den Schädigungen der Wurzeln und der Stängelbasis von Ackerbohnen stehenden Parameter Wurzelläsion Oberflächenbonitur (WLO) und Besatz der Wurzeln mit *F. solani* (WFso) errechnen sich aus den Beta-Werten zusammen ca. 20 % der mit dem Regressionsmodell erklärten Varianz. Der Einfluss des Faktors WLO ist zwar plausibel, muss jedoch mit Einschränkungen bewertet werden, da 66 % bei Boniturnoten in dem engen Bereich von 3,5 bis 4,5 lagen und Korrelation bzw. Regression von den wenigen extremen Werten mit wenig oder mit starker Schädigung beeinflusst wurden. Ein Regressionsmodell, bei dem WLO durch eine Dummy-Variable mit den Quantilen von WLO ersetzt wurde, ergab sehr ähnliche Signifikanzen und Beta-Werte, es war allerdings nur die höchste Quantile signifikant. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass nur deutlich geschädigte Wurzeln einen negativen Effekt auf den Ertrag hatten.



Fruchtfolgeparameter wurden nicht in das Modell aufgenommen. In den folgenden Kapiteln werden mögliche Zusammenhänge von Wurzelschädigung bzw. Erregerbesatz und der Fruchtfolge untersucht.



**Abbildung 34: Unterschiedliche Verteilung der Ackerbohnenpflanzen auf zwei Praxis schlägen, Homogenitätsbonitur: links hohe Homogenität, rechts geringe Homogenität**

Im Regressionsmodell für den Schlägertrag sind die Regressoren des MP-Ertrags Unterbodenstruktur und WF<sub>so</sub> nicht enthalten. Ein Grund dafür kann die große Streuung dieser Parameter innerhalb eines Schläges sein. So wird das Auftreten von *F. solani* häufig als nesterweise beschrieben und die Unterbodenstruktur variiert oft sehr stark in der Fläche.

In einem gesonderten Schritt wurden die nicht auf allen Schlägen erfassten bodenphysikalischen und –biologischen Parameter im bestehenden Regressionsmodell geprüft. In dem neuen Modell blieben der Einfluss der in Tabelle 44 aufgeführten Faktoren signifikant und es wurden zudem die Trockenrohdichte im Bearbeitungshorizont (negativ) und der metabolische Quotient (negativ) als signifikante Faktoren in das Modell aufgenommen. Mit 28 Fällen erreichte dieses Modell ein Bestimmtheitsmaß  $R^2$  von 0,94 (nicht dargestellt).

Eine Reihe von Parametern mit signifikanten Korrelationen zum Ertrag führte bei der multiplen Regressionsanalyse zu keiner zusätzlichen Erklärung der Ertragsvarianz. Da nur Faktoren mit einem großen Varianzerklärungsanteil ausgewählt wurden, kann es sein, dass nicht aufgenommene Faktoren zwar einen Einfluss auf den Ertrag haben, dieser jedoch schwächer ist als die der ausgewählten Faktoren.

Weiterhin können Korrelationen zwischen einzelnen Parametern dazu führen, dass nicht alle Parameter aufgenommen werden. Die starke Korrelation des Wasservorrats im Boden im Frühjahr mit dem Gehalt an organischer Substanz,  $N_{\min}$  im Boden und Proteaseaktivität (nicht dargestellt) zeigt z. B., dass miteinander in Zusammenhang stehende oder von ähnlichen Faktoren abhängige Parameter in ihrem Einfluss auf die Zielvariable Ertrag schwer voneinander zu trennen sind. Der Wasservorrat erbrachte den größten Anteil an Varianzerklärung und wurde deshalb in das Regressionsmodell integriert. Der hohe Wasserbedarf der Ackerbohne spricht jedoch auch für einen kausalen Zusammenhang.

Weitere Parameter, die mit Faktoren des Regressionsmodells korrelierten, waren Anbauanteil und Anbauabstand von Ackerbohnen in der Fruchtfolge, maximaler Eindringwiderstand am Verdichtungspeak,  $S_{\min}$  in 0 - 60 cm im Frühjahr und der Besatz mit *S. sclerotiorum* am Saatgut.



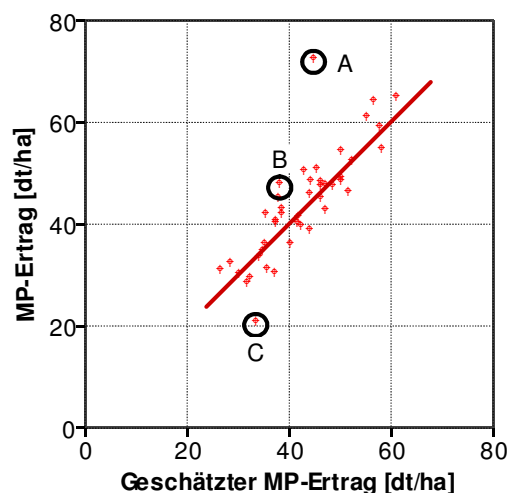
Ein Einfluss dieser Parameter kann nicht ausgeschlossen werden, war jedoch gering oder wurde bei der Regression von stärkeren Faktoren überdeckt.

Die Boniturergebnisse für die Homogenität des Ackerbohnenbestandes im Mai hingen eng mit der Anzahl Ackerbohnentriebe/m<sup>2</sup>, dem Ackerbohnendeckungsgrad und dem Unkrautdeckungsgrad im Mai sowie mit dem Unkrautdeckungsgrad im Juni zusammen. Es wurde im Regressionsmodell zwar die Homogenität als Faktor ausgewählt, es ist jedoch wahrscheinlich, dass Pflanzendichte, Unkrautdruck und Homogenität einen Einfluss auf den Ertrag hatten.

Einzelne Faktoren des Ackerbohnenenertrags wurden auf die sie beeinflussenden Faktoren geprüft, um weitere Zusammenhänge zu klären (folgende Kapitel).

Insgesamt kann das beschriebene Regressionsmodell Hinweise auf wesentliche Faktoren des Ertrags und auf deren Gewichtung geben, jedoch nicht die kausalen Zusammenhänge exakt mathematisch beschreiben.

In Abbildung 35 werden die mit dem Regressionsmodell geschätzten Ertragswerte den gemessenen MP-Erträgen gegenübergestellt. Einzelne Schläge weisen deutliche Abweichungen auf. Mit einer Einzelfallanalyse wurde versucht, die Ursachen der abweichenden MP-Erträge zu klären. Hierbei wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Informationen verwendet.



**Abbildung 35: Streudiagramm von dem mit dem Regressionsmodell geschätzten und vom gemessenen Messpunktertrag (MP-Ertrag) sowie die Regressionsgerade und Markierungen von Einzelfällen die im Text erläutert werden.**

Auf Schlag A wurde der höchste Ertrag der im Rahmen des Projekts untersuchten Ackerbohnenschläge ermittelt. Der sechs Jahre vor Anbau umgestellte Schlag wies eine sehr gute Nährstoffversorgung und einen überdurchschnittlich hohen Wasservorrat im Frühjahr auf. Nach intensiver Stoppelbearbeitung wurde im Herbst gepflügt und Mitte März bei guten Bodenbedingungen mit einem Einzelkornsäugerät auf einen Reihenabstand von 50 cm und eine Tiefe von 7 cm gesät. Der Bestand wurde dreimal gestriegelt und einmal gehackt und blieb unkrautarm. Die Wasserbilanz in der Hauptvegetationszeit lag deutlich über dem Durchschnitt. Es konnte kein einzelner Effekt identifiziert werden, der für den sehr hohen Ertrag verantwortlich war. Wahrscheinlich war die Kombination der insgesamt positiven Anbaubedingungen für das hohe Ertragsniveau verantwortlich.

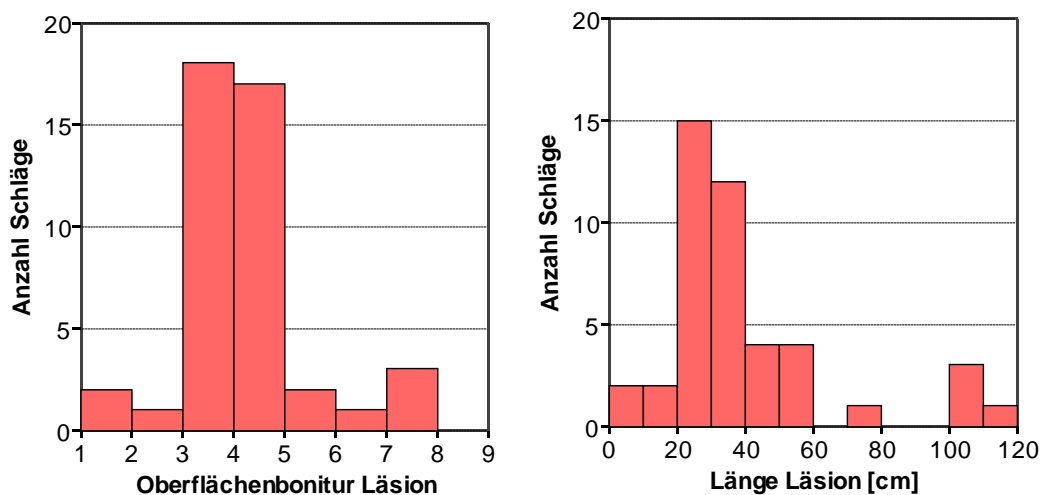
Der unerwartet hohe MP-Ertrag auf Schlag B lag mit 47 dt/ha deutlich über der Ertragschätzung des Landwirts von 25 dt/ha. Die meisten ertragswirksamen Faktoren lagen unter

dem Durchschnitt, nur die Wasserbilanz war deutlich höher. Die Bodenverhältnisse variierten auf diesem Schlag sehr stark. Auch die Homogenität des Bestandes wies kleinräumig große Unterschiede auf. Es ist davon auszugehen, dass bei der kleinflächigen Probenernte zufällig Bereiche mit einem deutlich überdurchschnittlichen Ertrag beerntet wurden.

Auf Schlag C wurde im Vorjahr zur Zwischenfrucht mehrmals Gülle ausgebracht. Daraufhin wurden im Frühjahr mit 131 kg/ha die für den Projektzeitraum höchsten  $N_{\min}$ -Werte in 0 - 90 cm vor Ackerbohnen gefunden. Nach flachem Pflügen im Frühjahr (15 cm) und Frühjahrs-trockenheit nach der Saat, entwickelte sich ein kleinräumig sehr heterogener Bestand mit im Mittel nur 26 Ackerbohnentrieben/m<sup>2</sup>. Zur Unkrautbekämpfung wurde nur ein Striegelgang durchgeführt. Unter diesen Bedingungen entwickelte sich ein dünner Bestand mit sehr hohem Unkrautdruck (sehr stark: Windenknöterich, Ackerhellerkraut, Klettenlabkraut und Distel). Die durch die Unkrautkonkurrenz verbunden mit der in der Hauptvegetationszeit unterdurchschnittlichen Wasserbilanz gestressten Pflanzen wiesen im Juni einen hohen Besatz mit der schwarzen Bohnenlaus auf. Insgesamt ist der geringe Ertrag somit vor allem auf Bewirtschaftungsfehler zurückzuführen.

#### 4.1.3.2 Wurzelläsionen

An den zur Blüte entnommenen Ackerbohnenwurzeln (inkl. 10 cm Stängel) wurde die Länge der Läsionen gemessen sowie deren äußere Intensität und Ausprägung im Gewebe bonitiert. Die Schädigungen variierten in einem weiten Bereich (Abbildung 36). Da die Ergebnisse der Oberflächenbonitur den engsten Zusammenhang mit dem Ertrag aufwiesen wird im weiteren Verlauf nur dieser Parameter geprüft. Bei den meisten Proben wurde eine mittlere Schädigung ermittelt; nur wenige Wurzeln waren gesund oder stark geschädigt.



**Abbildung 36: Histogramme der Oberflächenbonitur (links) und der Länge (rechts) von Läsionen an Wurzel und Stängelbasis der Ackerbohnen zum Zeitpunkt der Blüte (Mittelwerte von 30 Wurzeln je Schlag).**

Aufgrund der Verteilung der Daten wurde eine Rangkorrelationsanalyse nach SPEARMAN durchgeführt. Die Ergebnisse sind jedoch auch hierbei nur eingeschränkt aussagefähig, da sie von den wenigen extremen Fällen stark beeinflusst wurden. Signifikante Korrelationen zwischen der Oberflächenbonitur der Wurzelläsion (WLO) und den erfassten Witterungs-, Boden-,

Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern waren selten und meist nur schwach ausgeprägt (Tabelle 45).

**Tabelle 45: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit der Oberflächenbonitur der Läsionen an Wurzel und Stängelgrund der Ackerbohnen zum Zeitpunkt der Blüte**

Witterung		Pflanze	
Niederschlag 4 Wochen vor Saat	-0,25	Bonitur Schädigung Blattrandkäfer Mai	0,41*
Tage > 5°C 4 Wochen nach Saat	-0,28	<b>Bewirtschaftung</b>	
Temperaturabweichung vom Mittel, Summe extremer Wärmephasen	0,38*	Anteil Körnerleguminosen (15 Jahre)	0,38*
Wasserbilanz extremer Trockenperioden	-0,33**	Anbauabstand Körnerleguminosen	-0,33*
<b>Boden</b>		Anbaujahre Erbse (25 Jahre)	0,30*
Schluffgehalt	0,38*	Anbaujahre Ackerbohne (25 Jahre)	0,22
Sandgehalt	-0,36*	Anbauabstand Ackerbohne	-0,24
Porenvolumen Krume	0,30		
Bonitur Verdichtungssohle	0,32*		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (> 10 mg/100g)	-0,40*		

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

Bei der multiplen linearen Regressionsanalyse konnten nur drei plausible Faktoren in das Modell einbezogen (Tabelle 46) und damit ein relativ geringer Teil der Varianz von WLO erklärt werden (R<sup>2</sup> 0,45). Da die Verteilung der WLO-Daten, nicht den Voraussetzungen für eine lineare Regressionsanalyse entsprachen, wurde zusätzlich eine binäre logistische Regression berechnet, bei der die WLO-Daten der Größe nach in zwei gleich große Gruppen geteilt wurden (nicht dargestellt). Die drei Faktoren (Tabelle 46) wurden dabei bestätigt, allerdings nur in einem Signifikanzbereich von 0,05 - 0,1.

**Tabelle 46: Direkte Faktoren der Oberflächenbonitur der Läsionen an Wurzel und Stängelgrund der Ackerbohnen zum Zeitpunkt der Blüte: im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren (R<sup>2</sup> 0,45), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) mit und ohne Interaktionsterm sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Temperaturabweichung vom Mittel, Summe Tageswerte extremer Wärmephasen [°C]	72	0	203	53	0,41	0,00
Bonitur Verdichtungssohle (1-3)	0,6	0,0	2,8	0,7	0,32	0,01
Anteil Körnerleguminosen (15 Jahre) [%]	10	0	27	7	0,30	0,02

Viele der bei der Korrelationsanalyse ermittelten Faktoren korrelieren untereinander. Sandgehalt und Temperatursumme extremer Wärmephasen korrelieren z. B. ohne kausalen Zusammenhang. Andere korrelierende Parameter wurden von den gleichen Ausgangsdaten abgeleitet, wie z. B. die Fruchtfolgeparameter, oder hängen kausal zusammen, wie z. B. Sandgehalt und Porenvolumen. Diese Korrelationen zwischen den Parametern sind ein Grund für die geringe Anzahl in das Regressionsmodell aufgenommener Regressoren.

Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Läsionen vor allem auf Böden mit geringem Porenvolumen, geringer Phosphorversorgung und mit Verdichtungssohlen sowie bei hohen

Temperaturen bzw. Wassermangel auftreten. Ein starker Befall mit Blattrandkäfern scheint die Schädigungen der Wurzeln zu fördern. Deutlich wird, dass die Fruchtfolge einen wesentlichen Einfluss auf die Ausprägung der Läsionen hat, wobei der Anbau von Körnerleguminosen allgemein bzw. von Erbsen anscheinend einen stärkeren Einfluss hat als der Anbau von Ackerbohnen. Der Einfluss anderer Körnerleguminosen, z. B. Wicke und Lupine, konnte nicht differenziert werden, da sie nur auf wenigen Schlägen angebaut wurden.

#### 4.1.3.3 *F. solani* an Wurzeln

Nur auf etwas mehr als der Hälfte der Schläge waren zum Zeitpunkt der Blüte über 10 % der Ackerbohnenwurzeln mit *F. solani* (WFsol) befallen (Abbildung 37). Wie bei den Erbsen lag der Besatz im Jahr 2011 auf einem höheren Niveau als in den anderen Untersuchungs Jahren. Im Jahr 2009 wurden keine Wurzeln mit Besatz gefunden.

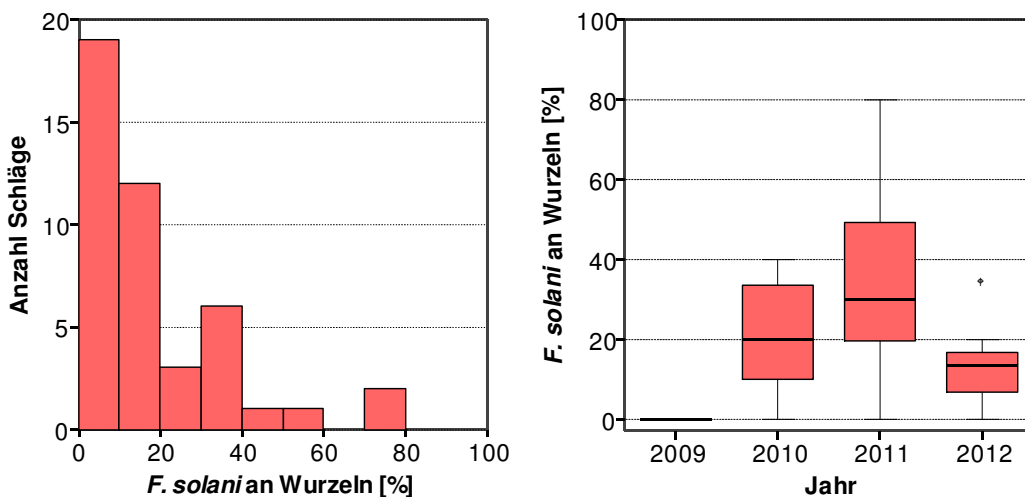


Abbildung 37: Besatz mit *F. solani* an Ackerbohnenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte (Mittelwerte von 30 Wurzeln je Schlag), links Histogramm, rechts Boxplots der einzelnen Jahre.

Aufgrund der starken Abweichung der WFsol-Daten von der Normalverteilung wurde eine Rangkorrelationsanalyse nach SPEARMAN durchgeführt. Mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab diese eine Reihe signifikanter Korrelationen, vor allem im Bereich der Witterungs- und Bodendaten. Die Auswahl wesentlicher Parameter ist in Tabelle 47 aufgeführt. Ein starker Zusammenhang mit Temperaturverlauf und Wasserversorgung kann die großen Jahresunterschiede erklären. Das Untersuchungsjahr 2009 zeichnete sich an den meisten Standorten durch einen außergewöhnlich trockenen Winter aus, während das Untersuchungsjahr 2011 einen außergewöhnlich niederschlagsreichen Winter und eine extrem trockene Periode im Frühjahr aufwies.

Auf eine Förderung des Befalls durch Bodenverdichtungen weist die positive Korrelation mit dem Eindringwiderstand in 0 - 19 cm,  $N_{\min}$  in 0 - 90 cm, Proteaseaktivität und S aus dem CAT-Extrakt weisen negative Korrelationen auf,  $C_{\text{mic}}/N_{\text{mic}}$  eine positive. Nach der Korrelationsanalyse wiesen Schläge, bei denen Saatgut mit einer hohen Keimfähigkeit und einem geringen *S. sclerotiorum*-Besatz eingesetzt wurde, geringere WFsol-Werte auf.

Die Korrelation von WFsol mit dem Auftreten von *A. fabae* an den Wurzeln kann sowohl auf einen Zusammenhang bei der Isolation oder bei der Besiedelung im Boden deuten, als auch auf eine Beeinflussung durch die gleichen Faktoren hinweisen.

Mit Bewirtschaftungsparametern ergaben sich keine signifikanten Korrelationen, d. h. auch ein Einfluss der Anbaugeschichte auf den Schlägen zeigte keine deutliche Wirkung auf WFsol.

Ohne das Extremjahr 2009, in dem kein Befall mit *F. solani* auftrat, verloren eine Reihe von Parametern ihre Signifikanz (Tabelle 47). Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass nicht erfasste Jahreseffekte einen Teil der Korrelationen bewirkten. Auch bei Berücksichtigung der Jahreseffekte in der partiellen Korrelationsanalyse zeigten sich jedoch keine signifikanten Korrelationen zu Bewirtschaftungsparametern.

**Tabelle 47: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Besatz mit *F. solani* an Ackerbohnenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte (schattiert: nicht signifikant ohne das Jahr 2009)**

Witterung		Boden	
Jahr 2009	-0,66**	Eindringwiderstand 0-19 cm	0,38*
Jahr 2011	0,47**	S	-0,41**
Niederschlag November – Mitte Januar	0,61**	N <sub>min</sub> 0-90 cm Frühjahr	-0,33
Niederschlag 4 Wochen vor Saat	-0,42**	Proteaseaktivität	-0,38*
Ø Temperatur 2 - 6 Wochen nach Saat	-0,33*	C <sub>mic</sub> /N <sub>mic</sub>	0,49**
Ø Temperatur Juni	0,32*	<b>Pflanze</b>	
		Keimfähigkeit Saatgut	-0,36*
		<i>Sclerotinia</i> spp. an Saatgut	0,46**
		<i>A. fabae</i> an Wurzeln	-0,47**

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

Aufgrund der Datenverteilung wurde neben der linearen auch die logistische Regressionsanalyse verwendet um eine Kombination wesentlicher Faktoren zu identifizieren. Die Ergebnisse der beiden Methoden wichen jedoch stark voneinander ab und die resultierenden Regressionsmodelle waren oft wesentlich von einzelnen Fällen beeinflusst. Es wird daher auf Auswertung der Regressionsanalysen verzichtet.

#### 4.1.3.4 Bestandeshomogenität

Die Homogenität des Ackerbohnenbestandes wurde im Mai bonitiert (HOM05). Je lückiger bzw. ungleichmäßiger die Ackerbohnenpflanzen im Bereich der Messparzelle verteilt waren, umso geringer war die Boniturnote. Die Homogenität variierte in einem weiten Bereich mit einem deutlichen Maximum im mittleren Boniturbereich (Abbildung 38).

Die Korrelationsanalyse von HOM05 mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab einige signifikante Korrelationen. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 48 aufgeführt. Nur bei einzelnen Parametern scheinen direkte kausale Zusammenhänge möglich. Der Anbauanteil und -abstand von Ackerbohnen kann über im Boden überdauernde Krankheitserreger das Auflaufen der Bohnen beeinflusst haben. Eine bessere Homogenität bei größeren Reihenabständen kann zum einen damit zusammenhängen, dass bei weitem Reihenabstand mehr Körner pro Reihe ausgebracht wurden und somit die

Wahrscheinlichkeit von Lücken geringer war. Zum anderen wurde bei weitem Reihenabstand in einigen Fällen Einzelkornsäugeräte verwendet, die das Saatgut in der Reihe gleichmäßig ablegen und zudem eine exakte Einhaltung der Saattiefe gewährleisten.

Bei den Korrelationen zu den Bodenparametern sind kausale Zusammenhänge nicht offensichtlich.

Neben möglichen Faktoren von HOM05 sind in Tabelle 48 auch Parameter aus dem Bereich Pflanze aufgeführt, die erst im Juni erfasst wurden und wahrscheinlich vom Grad der Homogenität im Mai beeinflusst wurden oder mit HOM05 z. B. über den eng korrelierenden Unkrautdeckungsgrad zusammenhängen.

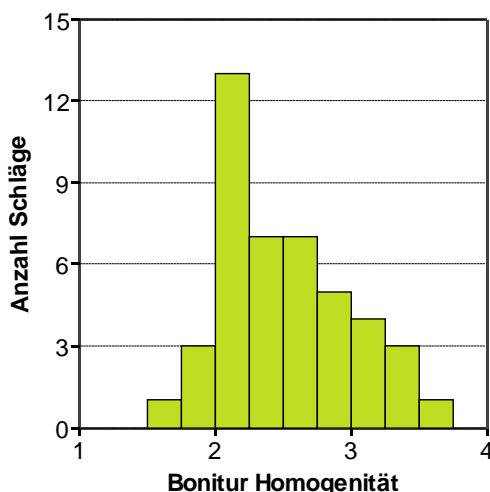


Abbildung 38: Histogramm der Homogenitätsbonitur der Ackerbohnenbestände im Mai

Tabelle 48: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit der Homogenitätsbonitur der Ackerbohnenbestände im Mai

Boden		Pflanze	
Tongehalt	0,34*	Ackerbohnentriebe/m <sup>2</sup> Mai	0,37*
Luftkapazität Bearbeitungshorizont	-0,35*	Ackerbohrendeckungsgrad Mai	0,48**
K <sub>2</sub> O	0,52**	Unkrautdeckungsgrad Mai	-0,54**
Mn	0,35*	Unkrautdeckungsgrad Juni	-0,52**
Bewirtschaftung		Ackerbohnen Homogenität Juni	-0,41**
Anteil Ackerbohne (15 Jahre)	-0,45**	Ackerbohnenhöhe Juni	0,51**
Anbauabstand Ackerbohne	0,31*	Anzahl Hülsen/Trieb	0,41**
Anteil Zwischenfrüchte (5 Jahre)	0,39**		
Reihenabstand Ackerbohne	0,61**		

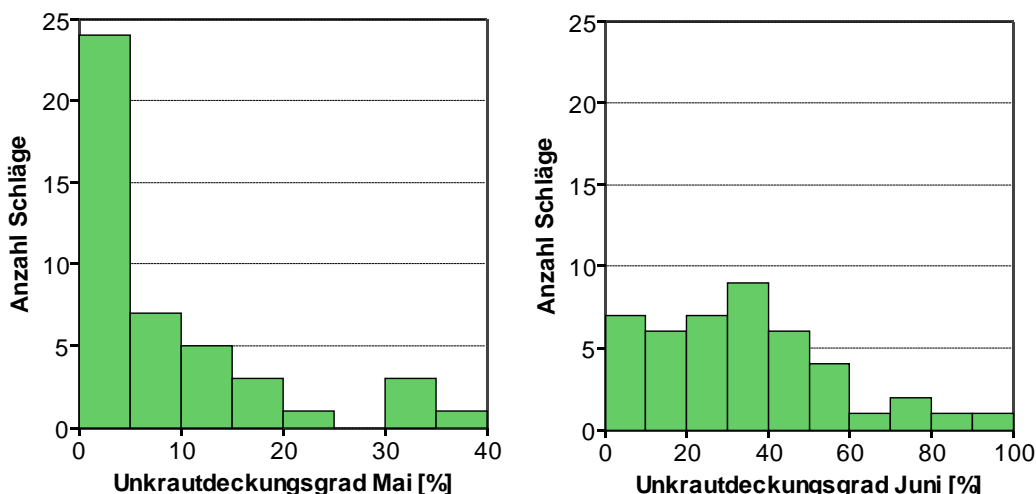
\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

Eine multiple lineare Regressionsanalyse wurde für HOM05 nicht durchgeführt. In den folgenden Kapiteln werden jedoch die eng mit diesem Boniturwert korrelierenden Parameter Unkrautdeckungsgrad und Ackerbohnentriebe/m<sup>2</sup> im Mai statistisch analysiert.



### 4.1.3.5 Unkraut

Der Unkrautdruck auf den Untersuchungsschlägen variierte in einem weiten Bereich (Abbildung 39). Während im Mai die Hälfte der Schläge einen Unkrautdeckungsgrad unter 5 % aufwies (UK05), lag dieser Wert im Juni bei 32 % (UK06).



**Abbildung 39: Histogramme des Unkrautdeckungsgrads in Ackerbohnen, links Boniturtermin im Mai, rechts Boniturtermin im Juni**

Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung von UK05 wurden die Daten für die statistische Auswertung transformiert ( $x^{0,1}$ ). Die Korrelationsanalyse von UK05 mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab eine Reihe plausibler Korrelationen. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 49 aufgeführt.

**Tabelle 49: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Unkrautdeckungsgrad im Mai in Ackerbohnen (transformiert mit  $X^{0,1}$ )**

Witterung		Pflanze	
Frosttage Januar – März	-0,49**	Homogenität Ackerbohnenbestand Mai	-0,41**
Ø Temperatur Mai	0,34*	Unkrautdeckungsgrad Juni	0,67**
Niederschlag Mai	-0,45*	Hülsen/Trieb	-0,45**
Boden		Bewirtschaftung	
Unverrottetes organisches Material	0,67**	Anteil Zwischenfrüchte (15 Jahre)	-0,36*
S	0,69**	Anteil Hackfrüchte (5 Jahre)	-0,27
Mn	0,38*	Anteil Bewuchs über Winter (3 Jahre)	-0,34*
N <sub>min</sub> 0-60 cm Frühjahr	0,35*	Vorfrucht Hackfrucht	-0,29
		Reihenabstand Ackerbohne	-0,47**
		Arbeitsgänge Unkrautregulierung	-0,48**

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

Auch die UK06-Daten wurden aufgrund der rechtsschiefen Verteilung für die statistische Auswertung transformiert ( $x^{0,7}$ ). Bei der Korrelationsanalyse mit den erfassten Witterungs-,

Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergaben sich eine Reihe von Korrelationen mit ähnlichen Parametern wie bei UK05 (Tabelle 50). So fanden sich Korrelationen mit der Anzahl an Frosttagen im vorherigen Winter sowie mit Temperatur- und Niederschlagsparametern. Während mit UK05 im Bereich Boden verschiedene Nährstoffgehalte korrelierten waren es bei UK06 vor allem die Bodenart und die Feldkapazität.

Die Korrelationen im Bereich Bewirtschaftung deuten daraufhin, dass Betriebe mit Tierhaltung oder Hackfruchtanbau einen geringeren Unkrautdruck aufwiesen. Auf Schlägen mit großem Reihenabstand bei den Ackerbohnen, oft verbunden mit überdurchschnittlich vielen Arbeitsgängen zur Unkrautregulierung, wurde meist ein geringer Unkrautdruck festgestellt.

**Tabelle 50: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Unkrautdeckungsgrad im Juni in Ackerbohnen (transformiert mit  $X^{0,7}$ )**

Witterung		Pflanze	
Frosttage Januar – März	-0,44**	Homogenität Ackerbohnenbestand Mai	-0,50**
Ø Temperatur Juni	0,40**	Ackerbohnenhöhe Juni	-0,34*
Wasserbilanz Juni	0,34*	Blattlausbefall / Schädigung Juni	0,34*
Wasserbilanz Trockenperioden	0,45**	Hülsen/Trieb	-0,51**
<b>Boden</b>		Körner/Hülsen	0,39*
Tongehalt	-0,30*	<b>Bewirtschaftung</b>	
Schluffgehalt	-0,42**	GV/ha	-0,38*
Sandgehalt	0,47**	Jahre mit Tierhaltung (25 Jahre)	-0,49**
Feldkapazität Beareitungs-horizont	-0,41*	Anteil Getreide (15 Jahre)	0,46**
Feldkapazität Unterboden	-0,37*	Anteil Hackfrucht (15 Jahre)	-0,37*
Luftkapazität Unterboden	0,37*	Jahre Strohdüngung (10 Jahre)	0,54**
Wasservorrat 0-90 cm Frühjahr	-0,38*	Vorfrucht Hackfrucht	-0,31*
		Saatstärke	-0,35*
		Reihenabstand Ackerbohne	-0,33*
		Arbeitsgänge Unkrautregulierung	-0,44**

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

In der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurden für UK05 und UK06 zum Teil identische Faktoren ausgewählt (UK05  $R^2$  0,75; UK06  $R^2$  0,71). Nach den in Tabelle 51 aufgeführten Beta-Werten hatten im Mai die Bodenparameter Sandgehalt, unverrottetes organisches Material und  $N_{\min}$  in 0 - 60 cm im Frühjahr ( $N_{\min}060$ ) den größten Einfluss. Wesentlich waren auch Unkrautregulierung und Stoppelbearbeitung im Vorjahr und der Bewuchs über Winter, die Witterung spielte nur eine geringe Rolle.

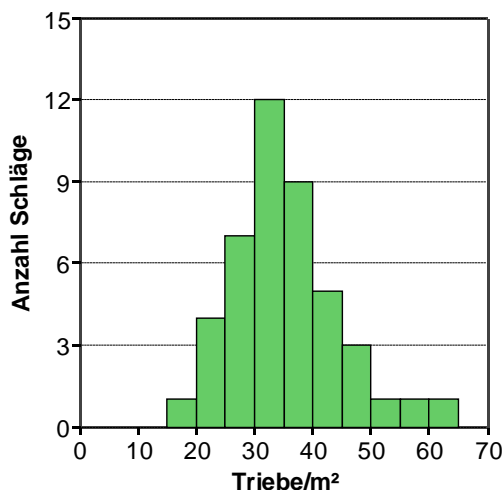
Für UK06 war der Einfluss der Witterung größer, von den Bodenparametern wurde nur noch  $N_{\min}060$  aufgenommen. Nur im Juni machte sich der Einfluss der Saatstärke bemerkbar, die Anzahl Unkrautregulierungsmaßnahmen blieb signifikant. Der große Einfluss von Anzahl Jahre mit Strohdüngung könnte mit der unterschiedlichen Wirkung der Stoppelbearbeitung mit oder ohne Stroheinarbeitung auf das Auflaufen von Unkraut zusammenhängen. Es ist aber auch möglich, dass der Parameter Strohdüngung nur den Einfluss anderer Bewirtschaftungseigenschaften wie z. B. Tierhaltung oder Getreideanteil in der Fruchtfolge abbildet.

**Tabelle 51: Direkte Faktoren des Unkrautdeckungsgrads im Mai und im Juni in Ackerbohnen (transformiert mit  $X^{0,1}$  bzw.  $X^{0,7}$ ): im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren (Mai:  $R^2$  0,75 Juni: 0,71), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Mai		Juni	
					Beta	Sig.	Beta	Sig.
Frosttage Januar – März	28	11	40	8	-0,20	0,06	-0,41	0,00
Wasserbilanz Juni [l/m <sup>2</sup> ]	-46	-165	45	50			-0,19	0,10
Sandgehalt [%]	29,5	1,8	77,9	24,3	0,39	0,00		
Unverrottetes organisches Material (Bonitur 0-3)	0,9	0	2	0,6	0,33	0,00		
N <sub>min</sub> 0-60 cm Frühjahr [kg/ha]	49	21	109	49	0,42	0,00	0,23	0,05
Jahre Strohdüngung (10 Jahre)	4	8	0	3			0,70	0,00
Anteil Bewuchs über Winter (3 Jahre) [%]	2	0	3	1	-0,28	0,01	-0,24	0,03
Tiefe vorherige Stopplebearbeitung [cm]	10	0	40	8	-0,20	0,06		
Grundbodenbearbeitung im Herbst	66 % der Schläge				-0,27	0,01		
Saatstärke [Körner/m <sup>2</sup> ]	47	31	97	15			-0,35	0,00
Arbeitsgänge Unkrautregulierung	2,5	0,0	5,0	1,4	-0,31	0,00	-0,18	0,08

#### 4.1.3.6 Bestandesdichte

Die im Mai bestimmte Anzahl von Ackerbohnentrieben pro Quadratmeter (Triebe/m<sup>2</sup>) variierte in dem weiten Bereich von 20 bis 62 und lag im Mittel bei 36 (Abbildung 40). Da sich die Ackerbohnenpflanzen in einigen Fällen schon im Boden verzweigten, wurde darauf verzichtet die Anzahl Pflanzen je Quadratmeter zu ermitteln.



**Abbildung 40: Histogramm der Ackerbohnentriebe je m<sup>2</sup> am Boniturtermin im Mai**

Die Korrelationsanalyse von Triebe/m<sup>2</sup> mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab einige plausible Korrelationen (Tabelle 52).

**Tabelle 52: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit der Anzahl Ackerbohnentriebe / m<sup>2</sup> im Mai**

Witterung		Pflanze	
Niederschlag 2 Wochen vor Saat	0,43**	Homogenität Ackerbohnenbestand Mai	0,37*
Ø Temperatur Saat – Zähltermin	0,37*	Ackerbohrendeckungsgrad Mai	0,54**
Boden		Bewirtschaftung	
Schluffgehalt	0,30*	Anteil Getreide (15 Jahre)	-0,40**
Nutzbare Feldkapazität Krume	0,32*	Anteil Wurzelfrüchte (15Jahre)	0,37*
B	0,32*	Vorfrucht Hackfrucht	0,36*
S <sub>min</sub> 0-30 cm Frühjahr	0,33*	Strohdüngung nach Vorfrucht	-0,38*
C <sub>mic</sub> /N <sub>mic</sub>	-0,35*	Saatdichte	0,50**
		Saattiefe	-0,27

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

In der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurden nur die vier Parameter Aussaatstärke, Niederschlagsmenge vor der Saat, S<sub>min</sub> in 0-30 cm im Frühjahr und Strohdüngung im Vorjahr ausgewählt (Tabelle 53). Mit diesen Faktoren konnte die Hälfte der Varianz von Triebe/m<sup>2</sup> erklärt werden (R<sup>2</sup> 0,51). Die Prüfung möglicher Interaktionen veränderte dieses Ergebnis nicht.

**Tabelle 53: Direkte Faktoren der Anzahl Ackerbohnentriebe / m<sup>2</sup> im Mai: im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren (R<sup>2</sup> 0,51), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Niederschlag 2 Wochen vor Saat [l/m <sup>2</sup> ]	13,7	0,0	40,6	11,7	0,42	0,00
S <sub>min</sub> 0-30 cm Frühjahr	3,4	0,5	11,4	2,4	0,21	0,10
Strohdüngung nach Vorfrucht	43% der Schläge				-0,20	0,11
Saatstärke [Körner/m <sup>2</sup> ]	47	31	97	15	0,36	0,00

#### 4.1.3.7 N<sub>min</sub> im Frühjahr

Die als Faktoren des Ertrags und des Unkrautdrucks bisher erwähnten Parameter N<sub>min</sub> in 30 - 90 cm und in 0 - 60 cm im Frühjahr korrelieren sehr eng mit N<sub>min</sub> in 0 - 90 cm (N<sub>min090</sub>, r 0,97 bzw. 0,93). Um die Vergleichbarkeit zu den Ergebnissen bei der Erbse zu wahren werden deshalb an dieser Stelle mögliche Faktoren auf N<sub>min0-90</sub> geprüft. N<sub>min090</sub> variierte auf den Untersuchungsschlägen zwischen 28 und 131 kg/ha und lag im Mittel bei 66 kg/ha (Abbildung 41).

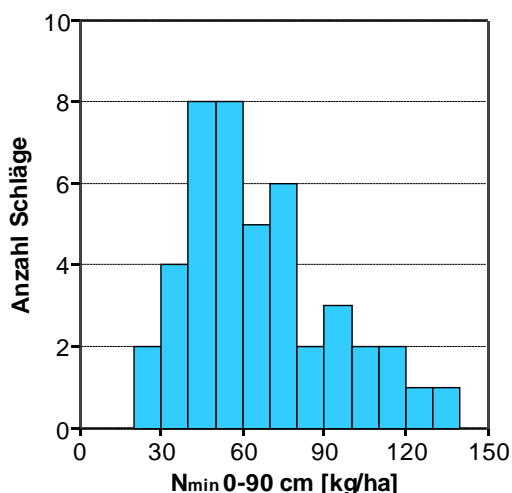


Abbildung 41: Histogramm der N<sub>min</sub>-Menge (0-90 cm) im Frühjahr vor Ackerbohnenanbau

Die N<sub>min</sub>090-Daten waren deutlich rechtsschief verteilt und wurden deshalb transformiert ( $X^{0,7}$ ). Die Korrelationsanalyse vom N<sub>min</sub>090 mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab vor allem für den Bereich Boden eine Reihe plausibler Korrelationen. Aber auch einige Parameter aus den Bereichen Witterung und Bewirtschaftung wiesen signifikante Korrelationen auf. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 54 aufgeführt.

Tabelle 54: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit der N<sub>min</sub>-Menge im Frühjahr vor Ackerbohnen (0-90 cm, transformiert mit  $X^{0,7}$ )

Witterung		Boden	
Niederschlag November – Januar	-0,40**	Organische Substanz	0,59**
Ø Temperatur 4 Wochen vor Beprobung	0,30*	N <sub>mic</sub>	0,53**
		Proteaseaktivität	0,61**
<b>Boden</b>		FDA/C <sub>mic</sub>	-0,37*
Tongehalt	0,34*		
Schluffgehalt	0,33*	<b>Bewirtschaftung</b>	
Sandgehalt	-0,40**	GV/ha	0,37*
Maximale Eindringtiefe	0,32*	Jahre Strohdüngung (10 Jahre)	-0,44**
Eindringwiderstand 0-19 cm	-0,39*	Summe Mistdüngung (10 Jahre)	0,41**
Eindringwiderstand 20-29 cm	-0,36*	Anteil Winterfrucht (5 Jahre)	0,33*
Eindringwiderstand 30-39 cm	-0,30*	Anteil Leguminosenhauptfrucht (5 Jahre)	0,36**
Trockenrohdichte Krume	-0,50**	Vorfrucht Hackfrucht	-0,36*
Trockenrohdichte Bearbeitungshorizont	-0,59**	Anbautage vorherige Zwischenfrucht	0,32*
Trockenrohdichte Unterboden	-0,44**	Grundbodenbearbeitung im Herbst	0,30*
Wasservorrat 0-90 cm Frühjahr	0,41**		

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

In der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurde eine Kombination von vier Parametern ausgewählt, mit der etwas mehr als die Hälfte der Varianz von N<sub>min</sub>090 erklärt werden konnte ( $R^2 = 0,56$ ). Wie bei N<sub>min</sub>090 auf den Erbsenschlägen war auch hier der wichtigste Faktor der Gehalt an organischer Substanz in der Krume (Tabelle 55). Auch ein

winterlicher Niederschlagsparameter – hier für den Zeitraum November bis Januar – wurde bei beiden Leguminosen in das Modell aufgenommen. Ob eine Hackfrucht Vorfrucht der Leguminosen war, hatte bei den Erbsenschlägen eine positive und bei den Ackerbohenschlägen eine negative Wirkung auf  $N_{\min}090$ . Während bei den Erbsen noch weitere Witterungs- und Bewirtschaftungsparameter von Bedeutung waren, wurde bei den Ackerbohenschlägen nur noch der Schluffgehalt des Bodens in das Modell integriert. Der im Allgemeinen positive Zusammenhang von Schluffgehalt und Wasserhaltefähigkeit weist auf einen plausiblen kausalen Zusammenhang hin.

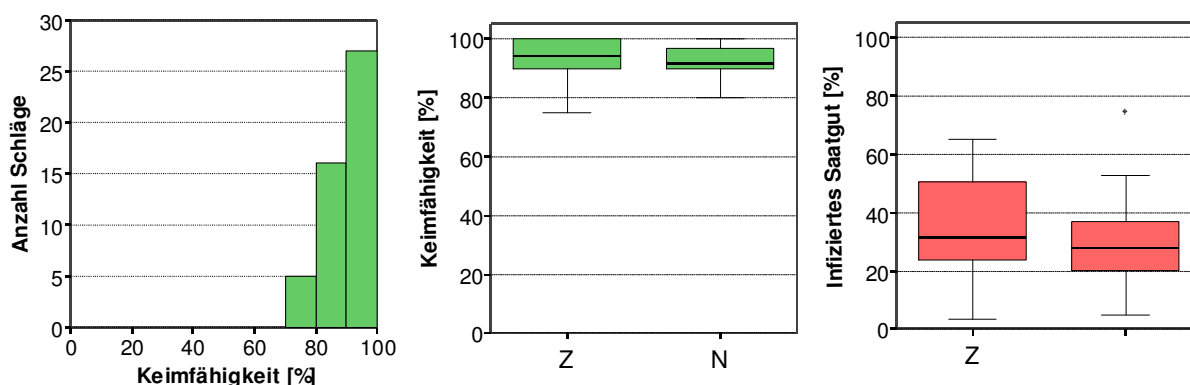
**Tabelle 55: Direkte Faktoren der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr vor Ackerbohnen (0-90 cm, transformiert mit  $X^{0,7}$ ): im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren ( $R^2$  0,56), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	$\emptyset$	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Niederschlag November - Januar [ $l/m^2$ ]	151	59	249	55	-0,21	0,08
Schluffgehalt [%]	52	12	84	22	0,32	0,01
Organische Substanz [%]	2,37	1,34	4,99	0,66	0,45	0,00
Vorfrucht Hackfrucht	25% der Schläge				-0,28	0,02

#### 4.1.3.8 Saatgutqualität

Obwohl die statistische Auswertung kaum deutliche Zusammenhänge von Saatgutqualität und Ackerbohnertrag ergab, soll an dieser Stelle ein kurzer Überblick über die Qualität des eingesetzten Saatgutes gegeben werden.

Die Keimfähigkeit lag bei 56 % der 48 untersuchten Saatgutchargen über 90 %, einzelne Ausreißer blieben unter 80 % (Abbildung 42). Ein Unterschied zwischen den Saatgutherkünften in der Keimfähigkeit und im Pathogenbesatz (undifferenziert) war nicht zu erkennen (Abbildung 42).



**Abbildung 42: Eingesetztes Ackerbohrensaatgut; links Histogramm der Keimfähigkeit, Mitte Boxplots der Keimfähigkeit nach Saatgutherkunft (Z: zertifiziertes oder Basissaatgut, N: Nachbau), rechts Anteil mit Pathogenen belasteter Körner nach Saatgutherkunft**

Bei dem Besatz mit *S. sclerotiorum* konnte ein Zusammenhang mit dem Wurzelbesatz des Schadpilzes *F. solani* festgestellt werden (siehe Kap. 4.1.3.3). Der Saatgutbesatz war jedoch sehr gering und nur auf wenige Fälle beschränkt (Abbildung 43). *A. fabae* trat etwas häufiger auf, ein Zusammenhang mit der Sprossgesundheit konnte jedoch nicht festgestellt werden.



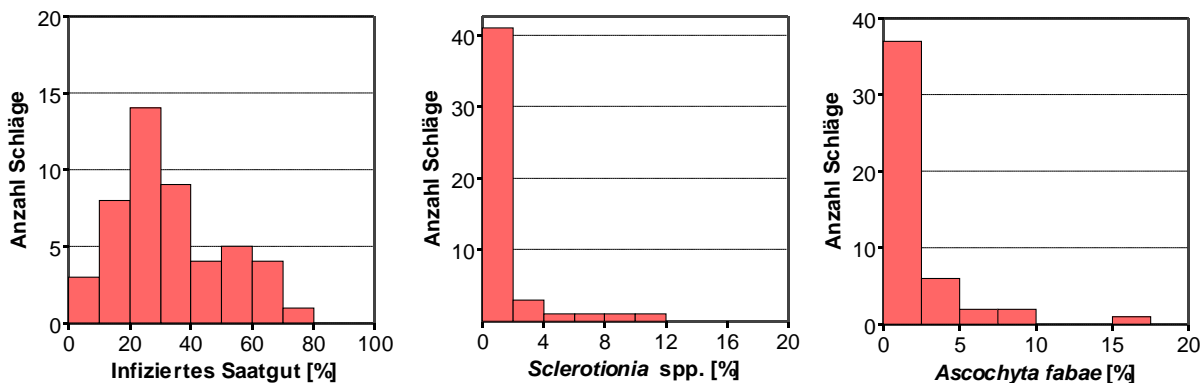


Abbildung 43: Histogramme vom Besatz des eingesetzten Ackerbohnen Saatguts mit den bestimmten Pathogenen (undifferenziert) sowie mit *Sclerotinia* spp. und *A. fabae*

### 4.1.3.9 Erntegutbesatz

Für die Verwendung als Saatgut spielt der Besatz mit Erregern, die mit dem Saatgut übertragen werden können eine wichtige Rolle, während für den Einsatz als Futtermittel vor allem der Befall mit Schimmelpilzen von Bedeutung ist. Bei der Ackerbohne war in einzelnen Fällen ein Zusammenhang zwischen Besatz des Erntegutes mit Krankheitserregern und dem Ertrag zu erkennen. Vor allem bei einem erhöhten Vorkommen von *S. sclerotiorum* und von *Alternaria* spp. wurden geringere Erträge gemessen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass diese Krankheitserreger deutliche Schäden am Spross verursacht haben, obwohl zum Zeitpunkt der Sprossbonitur zur Blüte noch keine Symptome zu erkennen waren. Insgesamt lag der Besatz des Erntegutes mit Krankheitserregern bei der Ackerbohne auf einem höheren Niveau als bei der Erbse, im Mittel waren 30 bis 50 % der Körner mit pilzlichen Erregern infiziert (Abbildung 44). Am stärksten waren *Alternaria* spp., *Penicillium* spp. und *Fusarium* spp. vertreten. Der Erreger der zum Zeitpunkt der Blüte am häufigsten aufgetretenen Sprosskrankheit, der Schokoladenfleckenkrankheit (*B. fabae*), kam an den Körnern nur selten vor. Der mit dem Saatgut übertragbare Pilz *A. fabae* spielte weder zur Blüte am Spross noch im Erntegut eine wesentliche Rolle (Abbildung 44).

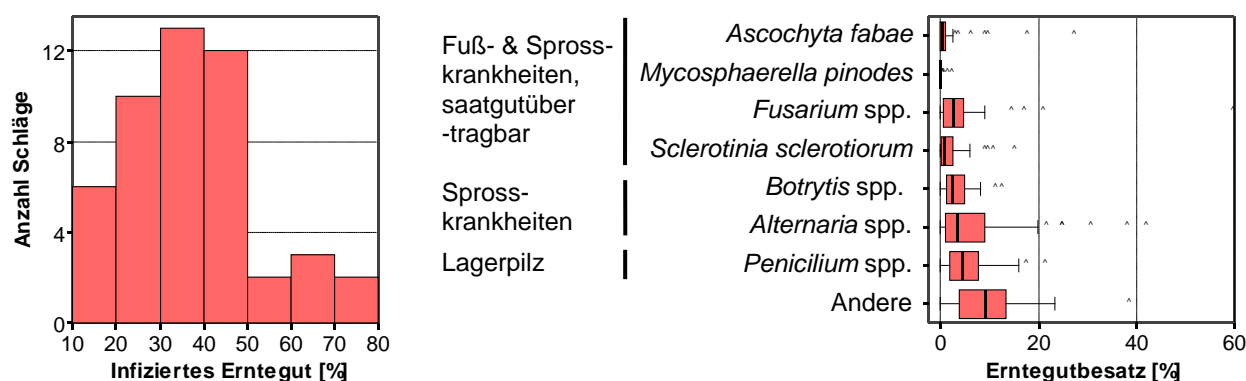


Abbildung 44: An den Messpunkten geerntete Ackerbohnen; links Histogramm des Anteils infizierter Körner, rechts Boxplots des Besatzes mit einzelnen Erregern (Punkte: Ausreißer / Extremwerte)

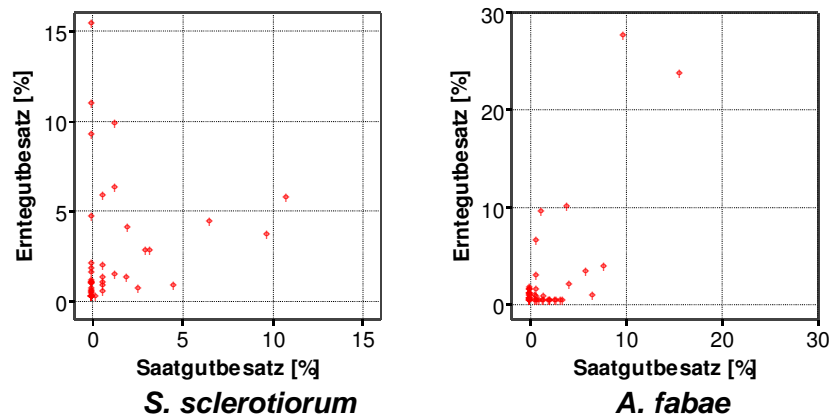
Mit Hilfe der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman wurde versucht, Faktoren des Erntegutbesatzes zu ermitteln. Aufgrund des relativ geringen Besatzes und der aus statistischer Sicht ungünstigen Datenverteilung sind die Ergebnisse jedoch mit Vorsicht zu interpretieren. Die verschiedenen getesteten Transformationen führten zu keiner Verbesserung der Verteilung. In Tabelle 56 sind ausgewählte Korrelationskoeffizienten aufgeführt. Zu Parametern aus den Bereichen Boden und Bewirtschaftung wurden keine deutlichen Zusammenhänge gefunden. Wie schon bei der Erbse hatte auch bei der Ackerbohne der Witterungsverlauf vor allem in den Wochen vor der Ernte einen großen Einfluss auf den Besatz mit einzelnen Erregern. Es wurden auch Zusammenhänge zwischen Parametern der Saatgutqualität und dem Erntegutbesatz gefunden. Besonders der Saatgutbesatz mit *S. sclerotiorum* hatte einen deutlichen Einfluss auf das Erntegut. Die Korrelationen mit dem Ackerbohrendeckungsgrad im Mai sowie dem Auftreten von *P. medicaginis* an den Ackerbohnenwurzeln zum Zeitpunkt der Blüte müssen weiter untersucht werden.

**Tabelle 56: Korrelationskoeffizienten (Spearman) verschiedener Parameter mit dem Besatz pilzlicher Erreger am Erntegut und dem Anteil insgesamt infizierter Ackerbohnen**

Witterung	A. f. <sup>1</sup>	F. spp. <sup>2</sup>	S. s. <sup>3</sup>	B. spp. <sup>4</sup>	A. spp. <sup>5</sup>	Infiziert
Ø Temperatur Mai			-0,38**		-0,44**	-0,39**
Ø Temperatur Juli				0,33*		
Ø Temperatur 2 Wochen vor Ernte			-0,47**		-0,29*	
Niederschlag Juni		0,26			-0,48**	-0,32*
Niederschlag Juli	0,25	0,33			-0,28	
Niederschlag 4 Wochen vor Ernte			0,46**		0,35*	0,27
<b>Pflanze</b>						
<i>S. sclerotiorum</i> an Saatgut			0,45**		0,45**	
Nicht identifizierte Erreger an Saatgut		0,26	0,39**			0,30*
Infiziertes Saatgut		0,37*	0,25			
Keimfähigkeit Saatgut		-0,44**				-0,36*
Ackerbohrendeckungsgrad Mai	-0,26		-0,24		0,26*	
<i>P. medicaginis</i> an Wurzeln		0,36*	0,43**			
Messpunktertrag			-0,31*		-0,34*	

<sup>1</sup> *A. fabae*, <sup>2</sup> *Fusarium* spp., <sup>3</sup> *S. sclerotiorum*, <sup>4</sup> *Botrytis* spp., <sup>5</sup> *Alternaria* spp.,  
 \*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

Die Betrachtung der Streudiagramme von Saat- und Erntegutbesatz zeigen den überwiegend geringen Besatz mit *S. sclerotiorum* und *A. fabae* (Abbildung 45). Bei *S. sclerotiorum* zeigen sich einige Fälle, in denen ein hoher Erntegut- mit einem hohen Saatgutbesatz zusammenhängt. Eine hohe Befallsrate bei geringem Saatgutbesatz lässt auf bodenbürtige Infektionen mit *S. sclerotiorum* schließen. Ein starker Befall mit *A. fabae* hängt in einzelnen Fällen mit einem hohen Saatgutbesatz zusammen, insgesamt sind die Fälle mit nennenswertem Besatz jedoch zu gering für eine eindeutige Aussage. Bei den *Fusarium* spp. war kein Zusammenhang von Saat- und Erntegut erkennbar (nicht dargestellt).



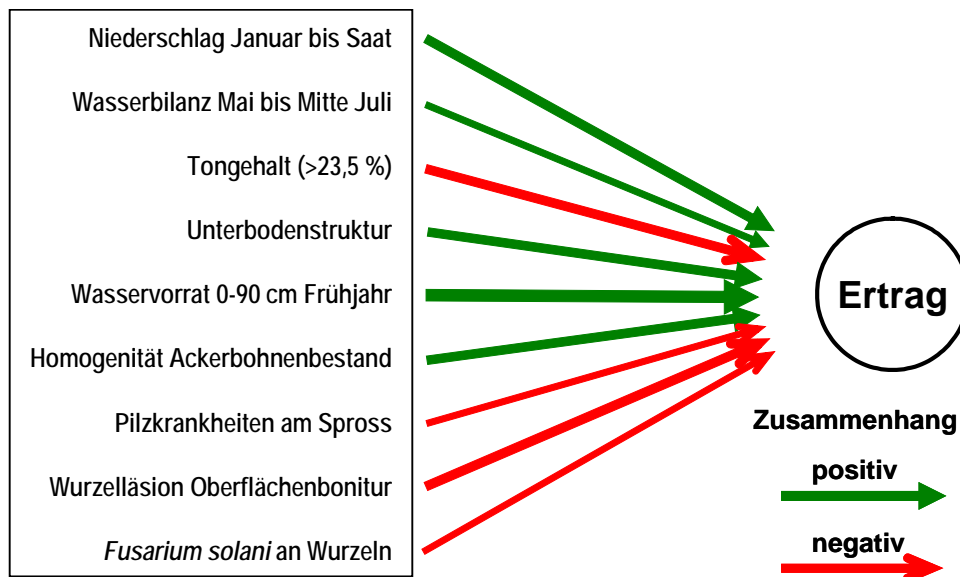
**Abbildung 45: Streudiagramme vom Saatgut und den an den Messpunkten geernteten Ackerbohnen; links der Besatz mit *S. sclerotiorum*, rechts der Besatz mit *A. fabae***

#### 4.1.4 Zusammenfassende Diskussion zum Ackerbohnenanbau

Ziel der Praxiserhebungen auf den Ackerbohnen-schlägen war die Ermittlung wesentlicher Ertragsfaktoren, die Klärung der Bedeutung dabei beteiligter Aspekte der Bodenfruchtbarkeit und die Identifizierung von Faktoren des Auftretens von Fußkrankheiten. Weiterhin sollten die ermittelten Ergebnisse anhand bestehender Erkenntnisse diskutiert werden. Auf Basis der ermittelten Faktoren des Ackerbohnen-ertrags sollten Bewirtschaftungsmaßnahmen bzw. -systeme ermittelt werden, die - abhängig vom Standort - zur Erreichung bzw. Sicherung hoher Ackerbohnen-erträge besonders beitragen. Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Bereich Ackerbohne in Bezug auf die Ziele des Projektes diskutiert.

##### 4.1.4.1 Bedeutende Faktoren des Ertrags

Die multiple Regression des Ackerbohnen-ertrags mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab eine Reihe besonders wesentlicher Faktoren der Ertragsvarianz (Abbildung 46). Die Aufnahme dieser Parameter in das Regressionsmodell weist zudem darauf hin, dass deren Ausprägung auf den Praxis-schlägen deutlich streute. Die ermittelten Faktoren weisen somit auf Möglichkeiten zur Optimierung des Anbaus in der Ökolandbaupraxis hin.



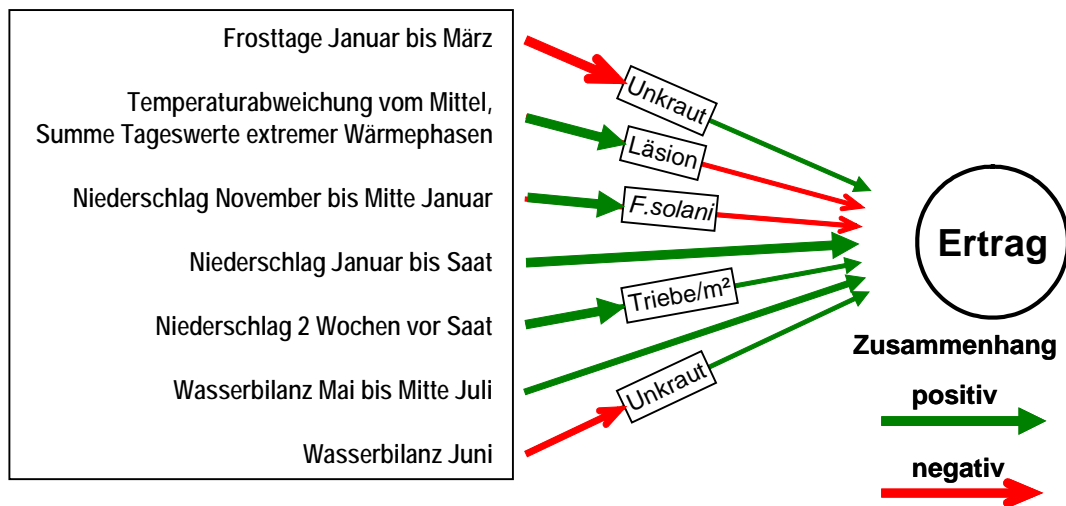
**Abbildung 46: Direkte Faktoren des Ackerbohnertrags: im Regressionsmodell für den Messpunktertrag der Ackerbohne aufgenommene Regressoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

Besonders starken Einfluss auf die Ertragsvarianz hatten einige Standorteigenschaften, die Bodenstruktur, die Homogenität des Ackerbohnenbestandes sowie Schädigungen durch Fuß- und Sprosskrankheiten. Die bonitierte Homogenität, d. h. die Verteilung der Ackerbohnenpflanzen bzw. das Auftreten von Lücken, hängt eng mit dem Unkrautdruck und der Bestandesdichte zusammen, die Einflüsse auf den Ertrag durch diese drei Parameter sind deshalb nicht klar zu trennen. Der bei weniger homogenen und weniger dichten Beständen oft höhere Unkrautdruck hat einen deutlich negativen Einfluss auf den Ackerbohnertrag. Im Regressionsmodell sind die Faktoren Homogenität und Unkrautdruck fast gleichwertig austauschbar. Ein direkter Einfluss eines Faktors aus dem Bereich der Bewirtschaftung wurde nicht ermittelt. Deshalb ist es wichtig, auch indirekte Faktoren, die z. B. über den Einfluss auf den Unkrautdruck oder die Fußkrankheiten den Ackerbohnertrag beeinflussen, zu berücksichtigen.

In den folgenden Kapiteln werden die ermittelten Faktoren getrennt nach den verschiedenen Bereichen Witterung, Boden, Unkraut, Schädlinge und Krankheiten sowie Bewirtschaftung diskutiert. Der Fruchtfolge-Fußkrankheiten-Komplex wird aufgrund seiner großen Bedeutung im Ackerbohnenanbau gesondert behandelt.

#### 4.1.4.2 Witterung

Ein kalter Winter, gemessen in Anzahl Frosttage von Januar bis März, scheint nach den durchgeführten multiplen Regressionsanalysen einen deutlich negativen Effekt auf den Unkrautdruck und damit eine positive Auswirkung auf den Ertrag zu haben (Abbildung 47). Die Ergebnisse der Erbsenschläge haben gezeigt, dass eine warme zweite Winterhälfte häufig zu höheren  $N_{\min}$ -Mengen im Frühjahr führt und dadurch der Unkrautdruck verstärkt werden kann (vgl. Kap. 4.1.1).



**Abbildung 47: Direkte und indirekte Faktoren des Ackerbohnenenertrags aus dem Bereich Witterung: in Regressionsmodellen für den Messpunktertrag der Ackerbohne bzw. für die auf den Pfeilen gekennzeichneten Parameter Länge der Wurzelläsionen, Besatz der Wurzeln mit *F. solani*, Unkrautdeckungsgrad im Juni und Ackerbohnentriebe/m<sup>2</sup> aufgenommene Regressoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

Phasen extrem hoher Temperaturen im Vegetationsverlauf zeigen einen positiven Effekt auf die Wurzelschädigungen der Ackerbohne und können somit negativ auf den Ertrag wirken. Die schädigenden Pathogene konnten nicht bestimmt werden und auch Parallelen zu Ergebnissen aus der Literatur wurden nicht gefunden. Nach GEISLER (1980) bevorzugt die Ackerbohne kühle und feuchte Klimate. MCDONALD & PAULSEN (1997) zeigen jedoch, dass hohe Temperaturen bei ausreichender Wasserversorgung positiv auf das Wachstum der Ackerbohnen wirken.

Einzelne Korrelationen bestätigen den positiven Effekt hoher Temperaturen auf die Ackerbohne für den Zeitraum nach der Saat. Nach diesen Ergebnissen treten dann weniger Läsionen und weniger Befall mit *F. solani* auf und die Anzahl Triebe/m<sup>2</sup> ist höher. Allerdings weisen die Korrelationen auch auf ein geförderttes Unkrautwachstum bei höheren Temperaturen hin.

Die Ackerbohne benötigt eine gleichmäßige, hohe Wasserversorgung und reagiert empfindlich auf Trockenperioden (SPERBER et al. 1988). Mit den Ergebnissen der Regressionsanalysen zeigen sich diese Standortansprüche auch für die Praxiserhebung (Abbildung 47). Die positiven Effekte hoher Niederschlagsmengen bzw. einer hohen Wasserbilanz (Differenz von Niederschlag und Evapotranspiration) zeigen sich für den Zeitraum von Januar bis Juli. Höhere Niederschlagsmengen vor der Saat scheinen sich zudem, trotz möglicher ungünstiger Effekte auf die Bodenstruktur, positiv auf die Bestandesdichte und nach einzelnen Korrelationen auch positiv auf den Ackerbohnenenertrag auszuwirken. Sowohl das Ausmaß der Läsionen an den Wurzeln als auch der Besatz mit *F. solani* ist bei feuchter Witterung vor der Saat geringer. Zur deutlichen Förderung von *F. solani* durch einen nassen Herbst im Vorjahr konnten keine entsprechenden Ergebnisse in der Literatur gefunden werden.

Der geringe Unkrautdruck bei einer hohen Wasserbilanz im Juni ist wahrscheinlich auf die dann höhere Konkurrenzkraft der Ackerbohnen zurückzuführen.

Die Ergebnisse der Praxiserhebung zeigen auch den bekannten negativen Einfluss von extremen Witterungsereignissen wie Hagelschlag oder starken Sturm- und Niederschlagsereignisse auf den Ackerbohnenenertrag. Ca. 6 % der untersuchten Schläge wurden aufgrund starker Schädigungen – vor allem durch Hagelschlag – nicht mit in die Auswertung einbezogen.

### 4.1.4.3 Boden

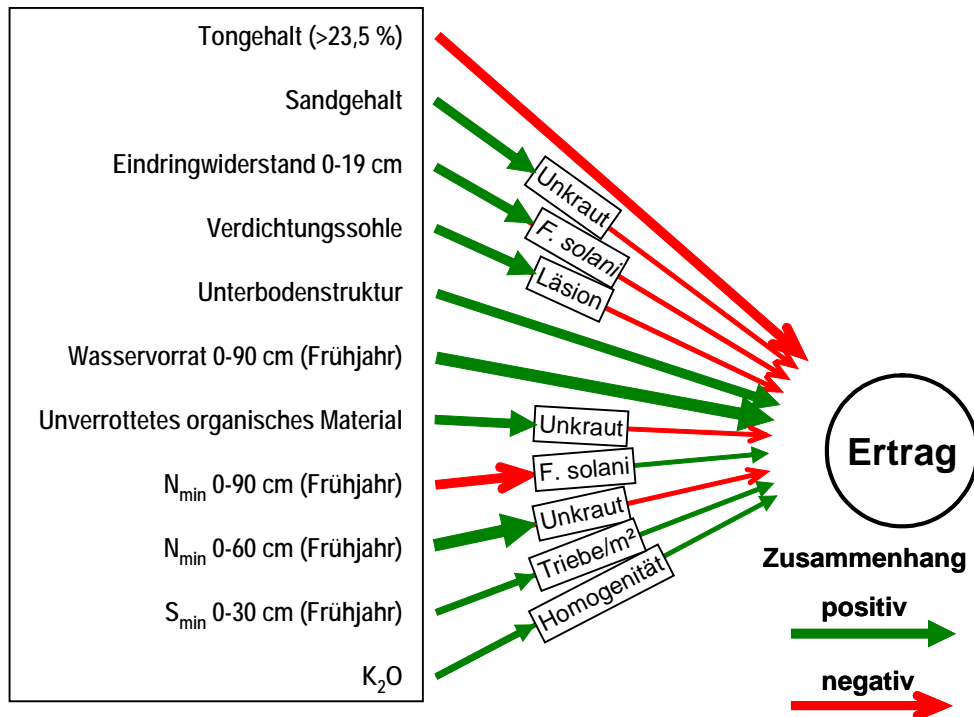
Während SPERBER et al. (1988) für Ackerbohnen auch schwere Böden empfehlen, zeigen die Ergebnisse der Regressionsanalyse, dass bei Böden ab einem Tongehalt über 24 % mit abnehmenden Erträgen gerechnet werden muss (Abbildung 48). Dieser Effekt kann damit zusammenhängen, dass diese Böden häufiger Bodenverdichtungen aufweisen können und Ackerbohnen empfindlich auf Verdichtungen der Krume reagieren (BRERETON et al. 1986, KAHNT et al. 1986).

Auch eine gute Unterbodenstruktur ist ein wichtiger Faktor für hohe Ackerbohnenenerträge. Dieses Ergebnis der Praxiserhebung wird durch Berichte in der Literatur über den negativen Einfluss von Unterbodenverdichtungen auf den Ackerbohnenenertrag bestätigt (STONE 1988). Verdichtungen der Bearbeitungssohle und ein hoher Eindringwiderstand in die Krume förderten die Schädigungen an den Wurzeln bzw. den Besatz mit *F. solani*. Damit werden die von KOIKE et al. (2007) beschriebenen indirekten, negativen Ertragseffekte von Bodenverdichtungen über die Förderung von Fußkrankheiten bestätigt.

Der große positive Einfluss einer hohen Wasserhaltefähigkeit des Bodens auf den Ackerbohnenenertrag in der Praxisuntersuchung stimmt mit dem Lehrbuchwissen über die Bodenansprüche der Ackerbohne überein (SPERBER et al. 1988).

Ein höherer Unkrautdruck auf sandigen Böden und auf Böden mit großen Mengen an kaum verrottetem organischen Material (v. a. Stroh) wurde nur auf den Ackerbohnen- und nicht auf den Erbsenschlägen festgestellt. Plausible Erklärungen für diese möglichen Zusammenhänge liegen bisher nicht vor. Die Förderung von Unkräutern durch hohe Mengen verfügbaren Stickstoffs ist hingegen unstrittig.





**Abbildung 48: Direkte und indirekte Faktoren des Ackerbohnertrags aus dem Bereich Boden: in Regressionsmodellen für den Messpunktertrag der Ackerbohne bzw. für die auf den Pfeilen gekennzeichneten Parameter Länge der Wurzelläsionen, Besatz der Wurzeln mit *F. solani*, Unkrautdeckungsgrad im Juni, Ackerbohnenriebe / m<sup>2</sup> und Homogenität des Ackerbohnenbestandes im Mai aufgenommene Regressoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

Einzelne Korrelationsergebnisse geben zusätzlich Hinweise auf den Einfluss bodenphysikalischer Eigenschaften auf den Ackerbohnertrag. So scheint ein hoher Schluffgehalt im Gegensatz zum hohen Sandgehalt Schädigungen an den Wurzeln zu fördern. Der große Wasserbedarf der Bohne bei der Keimung zeigt sich im positiven Zusammenhang von nutzbarer Feldkapazität und Ackerbohnenriebe/m<sup>2</sup>. Die negative Korrelation von hoher Wasserhaltefähigkeit des Bodens im Frühjahr und dem Unkrautdeckungsgrad im Juni weist auf die höhere Konkurrenzkraft der Ackerbohne bei guter Wasserversorgung hin.

Die unterschiedlichen Gehalte der untersuchten Makro- und Mikronährstoffe haben keinen deutlichen Effekt auf den Ackerbohnertrag (Abbildung 48). Die Ergebnisse weisen jedoch auf leichte indirekte Zusammenhänge mit der N<sub>min</sub>- und S<sub>min</sub>-Menge im Frühjahr sowie den Gehalten an verfügbarem Kalium und Phosphor hin.

Wie auf den Erbsenschlägen förderten hohe N<sub>min</sub>-Mengen das Unkrautwachstum, allerdings waren bei hohen N<sub>min</sub>-Mengen auch weniger Wurzeln mit *F. solani* befallen. Auf den Ertrag können hohe N<sub>min</sub>-Mengen somit sowohl positiv als auch negativ auswirken.

Hohe S<sub>min</sub>-Mengen und hohe Gehalte an verfügbarem Kalium hatten nach den Regressionsanalysen einen positiven Effekt auf die Bestandesdichte und –homogenität. Die von ZIOLEK (1976) beschriebene verbesserte Keimrate und Keimenergie von Ackerbohnen bei höherer Kalidüngung kann hierfür eine Erklärung sein. Für Effekte des Schwefels lieferte die Literaturauswertung keine vergleichbaren Ergebnisse. Auch die negative Korrelation vom Gehalt an verfügbarem Phosphor mit den Schädigungen an Wurzel und Stängelbasis zur Blüte wurde bisher nicht beschrieben.

Insgesamt haben nach den vorliegenden Ergebnissen die Nährstoffgehalte im Boden in der Ökolandbaupraxis keinen wesentlichen Einfluss auf den Ackerbohnenenertrag.

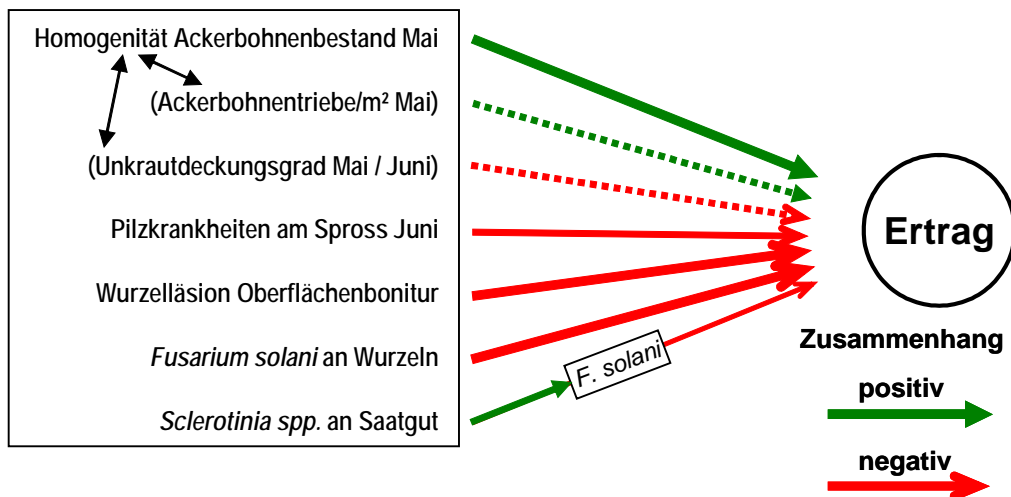
Zusammenhänge zwischen Ackerbohnenenertrag und Gehalt an organischer Substanz im Boden (OS) und bodenbiologischen Parametern zeigen sich nur in einzelnen Ergebnissen der Korrelationsanalysen. Diese Korrelationen weisen darauf hin, dass entgegen der Resultate bei der Erbse OS bei der Ackerbohne positiv mit dem Ertrag zusammenhängt. Da die Ackerbohne kaum durch hohe  $N_{\min}$ -Gehalte beeinträchtigt wird, kommen hier wahrscheinlich die positiven Effekte von OS auf die Bodenstruktur und die Wasserhaltefähigkeit zum Tragen.

#### 4.1.4.4 Unkraut, Schädlinge und Krankheiten

Die Homogenität des Ackerbohnenbestandes, d. h. die Verteilung der Ackerbohnenpflanzen bzw. das Auftreten von Lücken, hat einen großen Einfluss auf den Ertrag (Abbildung 49). Dieser Faktor muss jedoch in Zusammenhang mit dem Unkrautdruck und der Bestandesdichte betrachtet werden, da diese Parameter eng miteinander korrelieren. Lückige und lockere Bestände sind häufig stärker verunkrautet als gleichmäßig dicht stehende Bestände. Im Regressionsmodell sind die Faktoren Homogenität und Unkrautdruck fast gleichwertig austauschbar. Beobachtungen bei der Durchführung des Projekts ergaben, dass eine unzureichende Saattechnik auf vielen Betrieben mit für die heterogenen Bestände verantwortlich war. BULSON et al. (1997) fanden in ökologisch angebauten Ackerbohnen bei erhöhter Bestandesdichte einen geringeren Unkrautbesatz, es wurden dadurch jedoch auch die Infektionsraten mit Schokoladenfleckenkrankheit und echtem Mehltau gefördert. Obwohl die Regressionsanalyse auf eine negative Beeinflussung des Ackerbohnenenertrags durch Sprosskrankheiten hinweist, war der Ertragseffekt einer hohen Bestandesdichte auf den untersuchten Ökobetrieben insgesamt positiv.

Sprosskrankheiten traten bei den Ackerbohnen relativ selten und zum Boniturzeitpunkt Ende Juni meist nur mit geringem Befall auf. Am häufigsten trat die Schokoladenfleckenkrankheit auf, in Einzelfällen auch echter und falscher Mehltau, Brennfleckenkrankheit und Ackerbohnenrost. In wenigen Fällen wurden auch Virusschäden beobachtet. Anders als bei der Erbse konnte bei der Ackerbohne ein negativer Effekt der zum Zeitpunkt der Blüte bonitierten durch Krankheiten hervorgerufenen Sprossschäden auf den Ertrag nachgewiesen werden.

Die schwarze Bohnenlaus kann in Ackerbohnen starke Schäden hervorrufen (HANSEN et al. 2008). Obwohl in der Praxiserhebung zum Zeitpunkte der Blüte häufig ein Besatz mit der schwarzen Bohnenlaus festgestellt wurde, war ein Effekt auf den Ertrag nicht nachweisbar. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass der Befall häufig nur auf einzelne wenige Pflanzen beschränkt war. Weiterhin trat ein stärkerer Befall meist nur in Beständen auf, die schon durch ungünstige Bodenbedingungen oder Wassermangel unter Stress standen. Diese auch von KENNEDY et al. (1958) erwähnte Beobachtung wurde in gezielten Studien jedoch nicht belegt. Sowohl KENNEDY et al. (1958) als auch BALDE & RICHTER (1993) fanden, dass der Blattlausbefall an Ackerbohnen von günstigen Bedingungen für die Ackerbohne, z. B. einer guten Wasserversorgung, gefördert und bei ungünstigen Bedingungen negativ beeinflusst wurde.



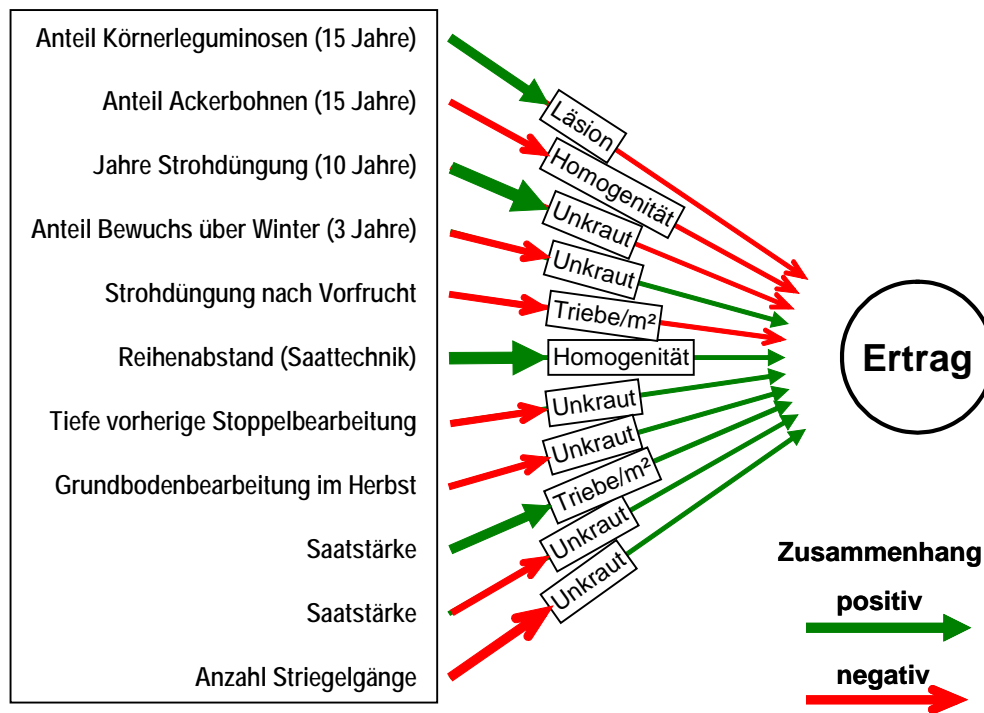
**Abbildung 49: Direkte und indirekte Faktoren des Ackerbohnertrags aus dem Bereich Unkraut, Schädlinge und Krankheiten: in Regressionsmodellen für den Messpunktertrag der Ackerbohne bzw. für den auf dem Pfeil gekennzeichneten Parameter Besatz der Wurzeln mit *F. solani*, aufgenommene Regressoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz (gestrichelte Pfeile: signifikant wenn Homogenität ausgeschlossen)**

Ergebnisse von Korrelationsanalysen weisen darauf hin, dass Ackerbohnenbestände aus Saatgut mit einer hohen Tausendkornmasse (TKM) häufiger höhere Erträge erreichen. Die durchschnittlichen Ertragsergebnisse aus ökologischen Sortenversuchen von 2010 bis 2012 (SEIDEL & MEYERCORDT 2013) zeigen jedoch keinen Zusammenhang von sortentypischer TKM und Ertrag.

Einen deutlich negativen Effekt auf den Ackerbohnertrag haben Schädigungen an Wurzeln und Stängelgrund sowie der Besatz der Wurzeln mit *F. solania*. Eine detaillierte Analyse des Fruchtfolge-Fußkrankheitenkomplexes erfolgt gesondert in Kap. 4.1.4.6.

#### 4.1.4.5 Bewirtschaftung

Die mit Hilfe der multiplen Regressionsanalysen ermittelten Bewirtschaftungsfaktoren des Ackerbohnertrags wirken nur indirekt vor allem über eine Beeinflussung des Unkrautdrucks, der Bestandeshomogenität oder der Bestandesdichte, in einem Fall auch über die Schädigungen an den Wurzeln (Abbildung 50). Faktoren die mit dem Leguminosenanbau in der Fruchtfolgegeschichte oder mit den Fußkrankheiten der Ackerbohne zusammenhängen werden im nächsten Kapitel diskutiert.



**Abbildung 50: Direkte und indirekte Faktoren des Ackerbohnenenertrags aus dem Bereich Bewirtschaftung: in Regressionsmodellen für den Messpunktertrag der Ackerbohne bzw. für die auf den Pfeilen gekennzeichneten Parameter Länge der Wurzelläsionen, Unkrautdeckungsgrad im Juni, Ackerbohnentriebe/m<sup>2</sup> und Homogenität des Ackerbohnenbestandes im Mai aufgenommene Regressoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

Die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalysen zeigen einen deutlichen Einfluss der Bewirtschaftungsgeschichte auf den Ackerbohnenenertrag (Abbildung 50). So wurden auf Schlägen mit häufiger Strohdüngung und bei hohem Anteil von Schwarzbrache über Winter höhere Unkrautdeckungsgrade in den Ackerbohnenbeständen ermittelt. Auf den Erbsenschlägen wurden diese Effekte jedoch nicht gefunden. Der Faktor Strohdüngung ist eng mit dem Getreideanteil korreliert und könnte deshalb dessen Einfluss auf den Unkrautdeckungsgrad widerspiegeln. Korrelationsanalysen weisen sowohl bei den Erbsen- als auch bei den Ackerbohenschlägen auf eine Förderung der Unkräuter durch hohe Getreideanteile in der Fruchtfolge hin. Der ungünstige Einfluss einer Strohdüngung im Vorjahr auf die Anzahl Ackerbohnentriebe kann mit einer ungünstigeren Wasserführung im Boden zusammenhängen oder auch auf späte Effekte eine Keimhemmung durch Strohinhaltsstoffe (KHALIQ et al. 2011, KALBURTZI et al. 1989) hinweisen.

In der Praxiserhebung konnten eine Reihe von Bewirtschaftungsfaktoren ermittelt werden, durch die der Unkrautdruck reduziert und damit der Ackerbohnenenertrag positiv beeinflusst werden kann. Wie schon die Ergebnisse der Erbsenschläge gezeigt haben, können sich eine intensive Stoppelbearbeitung im Vorjahr und ein Pflugtermin im Herbst anstatt im Frühjahr reduzierend auf den Unkrautdeckungsgrad in den folgenden Ackerbohnen auswirken. Auch eine hohe Aussaatstärke und eine hohe Intensität der direkten Unkrautregulierung (Anzahl der Hack- bzw. Striegelgänge vor und nach Auflaufen der Ackerbohne) haben einen deutlich reduzierenden Einfluss auf den Unkrautdeckungsgrad. Der Effekt der Unkrautregulierung konnte nachgewiesen werden obwohl die, für eine Wirksamkeit der Einzelmaßnahmen, wichtigen Faktoren: Einsatztermin und Wahl des Gerätes (VERSCHWELE 2011) sowie Qualität der Arbeitsausführung nicht berücksichtigt werden konnten.

Es ist davon auszugehen, dass alle Maßnahmen, die zur Etablierung eines homogenen und dichten Ackerbohnenbestandes führen, einen negativen Effekt auf den Unkrautdruck und einen positiven Einfluss auf den Ackerbohnenenertrag haben. Die in der Praxiserhebung bei weitem Reihenabstand festgestellte deutlich bessere Homogenität und damit auch die höheren Ackerbohnenenerträge können unterschiedliche Ursachen haben. Die Bestände mit Reihenweiten über 25 cm wurden zum Teil mit Einzelkornsäegeräten gesät. Mit diesen Geräten wird eine deutlich gleichmäßigere Tiefenablage und Verteilung in der Reihe des Saatgutes erreicht. Auch die verbesserten Möglichkeiten der Unkrautregulierung durch den Einsatz von Hackgeräten sowie ein günstigeres Kleinklima im Bestand durch die weiten Reihenabstände können den Ertrag positiv beeinflusst haben. Der Ertragseffekt ist somit nicht unbedingt direkt auf die Reihenweite zurückzuführen. Ergebnisse aus der Literatur ergeben kein einheitliches Bild. Während PILBEAM et al. (1989) keinen Einfluss unterschiedlicher Reihenweiten (12 bis 48 cm) auf den Ackerbohnenenertrag feststellen konnten, erreichten BARRY & STOREY (1977) bei 30 und 45 cm höhere Erträge als bei 15 cm Reihenabstand.

Ergebnisse von Korrelationsanalysen weisen darauf hin, dass auf Betrieben mit Viehhaltung oder auf Schlägen mit hohem Hackfruchtanteil in der Anbaugeschichte aufgrund geringerer Unkrautdeckungsgrade mit höheren Ackerbohnenenerträgen gerechnet werden kann. Insgesamt sind viele der vorgestellten Zusammenhänge von Unkrautdruck und Bewirtschaftung im Ökolandbau bekannte Effekte. Die Tatsache, dass sie als Faktoren nachweisbar waren bedeutet, dass in vielen Fällen diese Bewirtschaftungsmaßnahmen nicht im Optimum vorlagen. Es besteht somit in der Praxis ein deutliches Verbesserungspotential.

Die Ernte von Ackerbohnen wird im Vergleich zu Körnererbsen von SPIESS (1989) als deutlich weniger problematisch bewertet. Auch für das Ausmaß an Ernteverlusten wurden von SCHANS & BERG (1991) für Ackerbohnen deutlich geringere Werte als für Erbsen ermittelt. Der Unterschied zwischen dem Handernteertrag an den Messpunkten und dem von den Betriebsleitern ermittelten Schlagertrag lag in der Praxiserhebung jedoch mit 52 % auf einem ähnlichen Niveau wie bei den Erbsen. Dieser große Unterschied ist wahrscheinlich nicht nur auf die Wahl der Messpunkte in ungestörten Bereichen der Schläge zurückzuführen sondern auch auf Verluste vor oder bei der Ernte. Von beteiligten Betriebsleitern wurden Ertragsverluste auf einigen Schlägen mit einem sehr tiefen Ansatz der ersten Hülsen begründet. Dieser lag häufig unter der Schnitthöhe des Mähdreschers.

Weiterhin kann auch die Mähdreschereinstellung bei der Ackerbohne Verluste verursachen. Wie bei der Erbse muss die Dreschtrommeldrehzahl stark abgesenkt werden, bei großem Trommelumfang auf ca. 400 - 450 U/min (GUDDAT et al. 2007). Diese unteren Drehzahlen sind oft nur mit Untersetzungsgetrieben zu erzielen, die nicht immer vorhanden sind oder deren Einsatz aufgrund des höheren Aufwands unterlassen wird.

#### 4.1.4.6 Fruchtfolge-Fußkrankheiten-Komplex

Die Fußkrankheiten können bei der Ackerbohne ein bedeutender Faktor für den Ertrags sein (KOIKE et al. 2007). Nach LfL (2011) ist die Ackerbohne im Vergleich zur Erbse jedoch deutlich weniger empfindlich gegen Fußkrankheiten. Als Bestätigung dieser Aussage können Ergebnisse aus der Praxiserhebung gelten, nach denen nur 12 % der Ackerbohnenwurzeln Läsionen mit einer Länge über 4 cm aufwiesen, bei Erbsen waren es hingegen 70 %. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Regressionsanalysen, dass die Faktoren aus dem Komplex Fruchtfolge-Fußkrankheiten bei beiden Kulturen einen identischen Anteil der mit dem Modell erklärten Ertragsvarianz abdecken (ca. 20 %). Bei der Erbse waren die direkt wirksamen Faktoren aus diesem Bereich die Läsionslänge, der Wurzelbesatz mit *F. oxysporum* und



*F. avenaceum* sowie die Anbaujahre Erbse. Bei der Ackerbohne wurden bei der multiplen Regressionsanalyse neben dem Einfluss der Läsionen (Oberflächenbonitur) der Besatz an den Wurzeln mit *F. solani* als Faktor des Ertrags identifiziert (Abbildung 46). Ein hoher Wurzelbesatz mit relevanten Fusarien war bei der Ackerbohne seltener als bei der Erbse. Insgesamt ist bei der Ackerbohne somit in weniger Fällen als bei der Erbse mit einem Einfluss von Faktoren aus dem Fruchtfolge-Fußkrankheiten-Komplex zu rechnen. Wenn solche Faktoren wirksam werden, sind jedoch starke negative Effekte auf den Ertrag zu erwarten.

Ergebnisse von Korrelationsanalysen weisen darauf hin, dass das Ausmaß von Wurzelschäden an Ackerbohnen durch höhere Temperaturen vor und nach der Saat verringert wird. Im Gegensatz zu den Empfehlungen für eine möglichst frühe Saat der Ackerbohnen (GEISLER 1980) ist im Hinblick auf die Wurzelschäden somit ein späterer Saatzeitpunkt positiv zu bewerten. Nach der multiplen Regressionsanalyse können Phasen extrem hoher Temperatur im Laufe der Vegetationszeit hingegen das Auftreten von Läsionen fördern. Einzelne Korrelationen weisen auf ein geringeres Ausmaß der Läsionen an den Wurzeln bei höheren Niederschlagsmengen vor der Saat hin. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass bei Bedingungen, die eine schnelle Keimung ermöglichen – hohe Temperaturen und eine gute Wasserversorgung – sowie moderaten Temperaturen im Vegetationsverlauf, mit geringeren Schädigungen an den Wurzeln zu rechnen ist.

Neben der Witterung beeinflussen auch die Bodenbedingungen das Ausmaß der Wurzelschäden an der Ackerbohne. Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zeigen, dass Verdichtungen der Bearbeitungssohle zu stärkeren Schädigungen der Wurzeln führen können. Nach KOIKE et al. (2007) führt vor allem die Nässe in schlecht dränierenden und verdichteten Böden zu vermehrten Schäden. Hierzu passen auch die Ergebnisse von Korrelationsanalysen über geringere Schäden auf leichten Böden, d. h. Böden mit höherem Sandgehalt und damit schnellerem Wasserabzug.

Zu der negativen Korrelation vom Gehalt an verfügbarem Phosphat im Boden und der Wurzelschädigung konnten keine bestätigenden Ergebnisse in der Literatur gefunden werden. Inwieweit eine gute Phosphorversorgung die Empfindlichkeit der Ackerbohnen für Fußkrankheiten mindern kann, muss weiter untersucht werden.

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigen einen deutlichen Einfluss der Anbaugeschichte auf das Auftreten von Wurzelschädigungen an Ackerbohnen. Je häufiger in der Vergangenheit Erbse oder Ackerbohne angebaut wurden, desto größer ist das Risiko. Dies bestätigen auch Ergebnisse von HUISKAMP & LAMERS (1992), die bei Ackerbohnen-Monokultur im Vergleich zu sechsjährigem Anbauabstand eine deutliche Ertragsdepression aufgrund von Wurzelschädigungen feststellten.

In der Praxiserhebung zeigt sich auch der Einfluss des Anbauabstands. Die größten Schäden an Wurzeln wurden auf Schlägen ermittelt, bei denen der Abstand zur vorherigen Erbsen- oder Ackerbohnenkultur kleiner als sechs Jahre war. Für eine Minimierung des Risikos sollte daher der Mindestabstand zur vorherigen Ackerbohne deutlich höher sein, als die von KÜHNE et al. (2006) empfohlenen drei Jahre. Und auch die bisher nicht beschriebene Empfindlichkeit gegen die Erbse sollte dabei berücksichtigt werden. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass Effekte auf die Wurzelschädigungen durch den Anbau von Rot- und Weißklee sowie von Luzerne nicht zu erwarten sind. Es besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf um die Auswirkungen der verschiedenen im Ackerbau eingesetzten Leguminosenarten auf die Fußkrankheiten der Ackerbohne zu klären.

Nach Ergebnissen einer Korrelationsanalyse ist bei einer großen Schädigung der Blätter durch Blattrandkäfer auch mit vermehrten Wurzelschäden zu rechnen. Die Larven der Blattrandkäfer fressen an Wurzeln und Knöllchen der Ackerbohne (KÜHNE et al. 2006) und können somit die

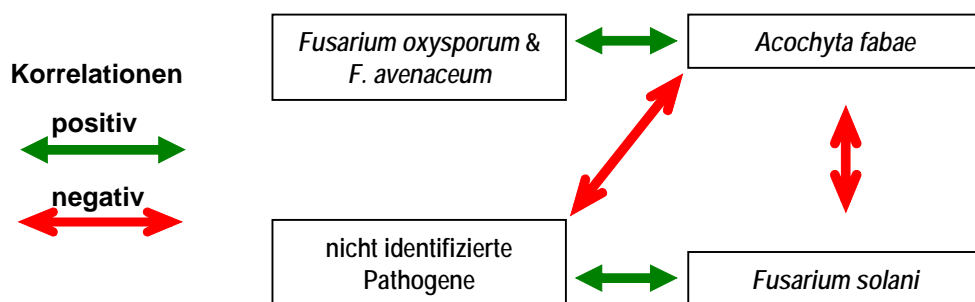


Wurzeln direkt schädigen oder Eintrittspforten für andere Pathogene schaffen. NIELSEN (1990) konnte zwar einen negativen Zusammenhang zwischen Käferbesatz des Ackerbohnen-sprosses und dem Ertrag feststellen, der unterschiedliche Käferbesatz hatte jedoch keinen Einfluss auf das relativ konstante Ausmaß des Larvenfraßes.

Fußkrankheiten können bei Ackerbohnen von einer Vielzahl von Pathogenen ausgelöst werden (KOIKE et al. 2007): Unter den Fusarien wird dabei besonders *F. solani* hervorgehoben. In der vorliegenden Untersuchung wurde aus der Gruppe möglicher Pathogene der Besatz mit *F. solani* sowie *F. oxysporum* und *F. avenaceum* geprüft. Zwar wurde ein deutlicher Effekt des Besatzes mit *F. solani* auf den Ackerbohnenenertrag nachgewiesen, ein Zusammenhang mit dem Ausmaß der Läsionen an Wurzel und Stengelbasis zum Zeitpunkt der Blüte war jedoch nicht erkennbar. Es ist somit davon auszugehen, dass auf den untersuchten Praxisschlägen weitere Pathogene an den Fußkrankheitssymptomen beteiligt waren.

Weiterhin wurde auch der Wurzelbesatz mit *A. fabae* ermittelt. Die Symptome dieses Schad-erregers (Brennflecken) treten jedoch an Stängel, Blättern und Hülsen auf. Sie wurden in der Praxiserhebung nur selten gefunden und zeigten auch keinen Effekt auf den Ertrag.

Zwischen dem Besatz mit einzelnen Pathogenen an den Wurzeln wurden, wie bei der Erbse, zum Teil deutliche Korrelationen festgestellt (Abbildung 51). Dies kann mit einer gegenseitigen Beeinflussung während der Infektion der Wurzeln und dem Befallsverlauf zusammenhängen, auf ähnliche oder gegenteilige Reaktionen auf gemeinsame Faktoren hinweisen oder auch mit Effekten bei der Isolation der Pathogene zusammenhängen.



**Abbildung 51: Korrelationen zwischen dem Wurzelbesatz verschiedener Pathogene an Ackerbohnen zum Zeitpunkt der Blüte**

Der Besatz der Wurzeln mit *F. solani* wird anscheinend, wie die Wurzelschädigungen, durch gute Keimbedingungen, d. h. hohe Temperaturen und eine hohe Wasserversorgung im Zeitraum der Saat, gehemmt. Zur deutlichen Förderung von *F. solani* durch einen nassen Herbst im Vorjahr konnten keine entsprechenden Ergebnisse in der Literatur gefunden werden. Da der Besatz mit *F. solani* sehr jahresabhängig war, ist eine genaue Zuordnung zu einzelnen Witterungsparametern jedoch problematisch.

Die von KOIKE et al. (2007) beschriebene Förderung von *F. solani* durch Bodenverdichtungen wird durch die positive Korrelation vom Wurzelbesatz mit dem Eindringwiderstand (0 - 19 cm) bestätigt. Weitere Ergebnisse der Korrelationsanalysen weisen auf eine Hemmung des Besatzes bei höheren Bodengehalten an CAT-löslichem Schwefel und  $N_{\min}$  (0 - 90 cm) hin. Auch eine hohe Proteaseaktivität im Boden weist eine negative Korrelation zum Besatz mit *F. solani* auf, während der Quotient  $C_{\text{mic}}/N_{\text{mic}}$  positiv korreliert. Diese Ergebnisse können nur ein Hinweis auf weitere mögliche Zusammenhänge des *F. solani*-Besatzes mit bodenchemischen und –biologischen Eigenschaften sein, die weiter erforscht werden sollten.

Die negative Korrelation des *F. solani*-Besatzes mit der Keimfähigkeit des eingesetzten Saatgutes und der positiven Korrelation mit dem *S. sclerotiorum*-Besatz am Saatgut weist auf die große Bedeutung der Saatgutqualität für den Anbauerfolg hin. An den Ackerbohnenpflanzen wurden bis zur Blüte keine deutlichen Symptome eines *S. sclerotiorum*-Befalls festgestellt. Der Zusammenhang zum *F. solani*-Besatz kann jedoch bedeuten, dass Schädigungen durch *S. sclerotiorum* Eintrittspforten für *F. solani* schaffen.

Zusammenhänge zwischen dem Anbauabstand zur vorherigen Ackerbohne bzw. zur Häufigkeit des Ackerbohnenanbaus und dem Besatz der Wurzeln mit *F. solani* wie sie von MAJCHRZAK et al. (1996) und KOIKE et al. (2007) beschrieben werden, waren nicht nachweisbar. Auch ein Einfluss anderer Kulturarten in der Anbaugeschichte war nicht ersichtlich.

#### 4.1.4.7 Maßnahmen für den erfolgreichen Ackerbohnenanbau

##### Schlagauswahl

Die Ergebnisse der Praxiserhebungen haben gezeigt, dass auf Ökobetrieben die Standortbedingungen und die langfristige Bewirtschaftungsgeschichte von Ackerbohnen-schlägen häufig nicht für ein hohes Ertragsniveau geeignet sind. Die richtige Schlagauswahl bietet somit ein großes Optimierungspotential. Für einen erfolgreichen Ackerbohnenanbau sollte der ausgewählte Schlag folgende Kriterien erfüllen (Bedeutung des Faktors: \* mäßig, \*\* stark, \*\*\* essentiell):

- Böden mit schlechter Wasserhaltefähigkeit nur wenn Beregnung möglich (vor allem in Regionen mit häufig auftretenden Trockenphasen von Mai bis Juli). Die Ackerbohne reagiert sehr empfindlich auf Defizite in der Wasserversorgung. \*\*\*
- Keine Schläge mit dicht lagernder Bodenkrume oder mit Unterbodenverdichtungen. Humose gut dränierende Böden sind gut geeignet. \*\*\*
- Ab Tongehalten von 25-30% muss mit negativen Effekten auf den Ertrag gerechnet werden. \*
- Keine Schläge mit hoher N-Verfügbarkeit, d. h. abtragende Stellung in der Fruchtfolge. Viel verfügbarer N erhöht die Unkrautgefahr und mindert die N-Fixierleistung der Ackerbohne. \*
- Möglichst wenig Erbsen- oder Ackerbohnenanbau in der Fruchtfolgegeschichte und ein möglichst großer Abstand zur vorherigen Erbse oder Ackerbohne. Ein Abstand von 6 Jahren sollte eingehalten werden. Das Risiko des Auftretens von fruchtfolgebedingten Fußkrankheiten ist zwar geringer als bei der Erbse kann aber auch bei der Ackerbohne zu deutlichen Mindererträgen führen. Ein Test des Bodens vor Aussaat kann Aufschluss über das Risiko fruchtfolgebedingter Fußkrankheiten geben (siehe Kap. 3.1.5). \*\*
- Keine Schläge mit hohem Unkrautdruck - vor allem sommerannuelle Arten wie der Weiße Gänsefuß sind problematisch. Schläge mit einem hohen Getreideanteil in der Fruchtfolge haben häufig einen höheren Unkrautbesatz. \*

Insgesamt sollten auf ungeeigneten Standorten keine Ackerbohnen angebaut werden, da nicht nur ein hohes Risiko für niedrige Erträge besteht, sondern schlechte Bestände auch häufig zu einer starken Verunkrautung neigen, die wiederum zu einer Erhöhung des Unkrautsamenspotential führt.

## Bewirtschaftung ab Vorfruchternte

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass bei einer Reihe von Ökobetrieben durch Optimierung einzelner kurzfristiger Bewirtschaftungsmaßnahmen eine Steigerung der Ackerbohnerträge zu erwarten ist. Mit den folgenden Maßnahmen kann das Ertragspotential erhöht werden:

- Tiefe Stoppelbearbeitung im Vorjahr. Im Bereich von ca. 5 bis 20 cm ist bei einer größeren Bearbeitungstiefe mit einem geringeren Unkrautdruck in den folgenden Ackerbohnen zu rechnen. Vor allem auf Schlägen mit hohem Unkrautdruck ist eine intensive Stoppelbearbeitung zu empfehlen. \*
- Pflugtermin im Herbst statt im Frühjahr. Obwohl nach Herbstfurche im Frühjahr meist mehr  $N_{\min}$  im Boden zu finden ist, wirkt sich das frühere Pflügen unkrautreduzierend aus. \*
- Verwendung „sauberen“ Saatguts. Zwar wurde ein negativer Einfluss auf den Ertrag nur über eine Förderung des Schadpilzes *F. solani* durch den Saatgutbesatz mit Arten des Pilzes *Sclerotinia* festgestellt, das Risiko der Einschleppung von problematischen Krankheitserregern sollte jedoch in jedem Fall vermieden werden. Für das wichtige Ziel eines homogenen lückenfreien Bestandes kann auch ein hoher Anteil vom Ackerbohnenkäfer angebohrter Körner ein Risiko bedeuten. \*\*
- Aussaatstärke mindestens bei 40 bis 45 keimfähiger Körnern/m<sup>2</sup> und angepasste Saattechnik. Bei Bestandesdichten unter 35 bis 40 Trieben/m<sup>2</sup> wurden häufig eine hohe Verunkrautung und niedrige Erträge ermittelt. Auch eine gleichmäßige Verteilung der Pflanzen ist wesentlich für einen geringen Unkrautdruck und hohe Erträge. Beobachtungen haben gezeigt, dass die Saattechnik bzw. die Art der Ausführung auf vielen Betrieben nicht für eine gleichmäßige Verteilung und Tiefenablage des Saatgutes geeignet ist. Den besten Erfolg zur Etablierung homogener Ackerbohnenbestände haben Betriebe mit Einzelkornsaatverfahren. \*\*
- Häufiger sachgerechter Einsatz des Striegels und/oder der Maschinenhacke vor und nach Auflaufen der Ackerbohne. Unerwartet deutlich hängt der Unkrautdeckungsgrad in Ackerbohnenbeständen von der Anzahl der Unkrautregulierungsmaßnahmen ab. \*\*
- Ernte am möglichst optimalen Termin und mit den richtigen Mähdreschereinstellungen. Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass Verluste vor oder bei der Ernte eine deutlich größere Rolle spielen als bei Getreide. \*

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass besonders das Gelingen der Etablierung eines homogenen, dichten Bestandes ohne Lücken Voraussetzung für einen geringen Unkrautdruck und hohe Ackerbohnerträge ist. Alle Maßnahmen von der Bodenbearbeitung im Vorjahr bis hin zur Saatbettbereitung sowie der Aussaat und Pflege erfordern deshalb eine große Sorgfalt.

## Anbaurisiken

Ein großes nicht vorhersehbares Risiko beim Anbau von Ackerbohnen ist die Niederschlagsverteilung in der Vegetationszeit. Auch während der Untersuchungen konnten deutliche Schäden und Ertragseinbußen durch Trockenphasen beobachtet werden. Weiterhin kann die Infektion der Ackerbohnen mit *F. solani* an Wurzel und Stängelbasis den Ertrag beeinträchtigen. Je nach Jahr ist dieser Befall sehr unterschiedlich, wobei die Ursachen für ein Auftreten noch nicht vollständig geklärt sind. Eine gute Bodenstruktur kann dieses Risiko jedoch mindern. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass ein Blattlausbefall meist auf Einzelpflanzen beschränkt ist. Auf den Untersuchungsschlägen waren relevante Schädigungen im Bestand nur selten festzustellen. Zum Zeitpunkt der Blüte traten die höchsten Befallswerte im norddeutschen Raum auf. Eine Einschätzung der Höhe des Risikos muss je nach Standort und Erfahrung erfolgen.

Ein weiteres Risiko besteht in den bisher nicht vollständig geklärten Unverträglichkeiten der Ackerbohne mit anderen Leguminosenarten. Über die hier genannten Arten (Ackerbohne & Erbse) hinaus ist eine Förderung von Fußkrankheiten durch weitere Leguminosenarten nicht ausgeschlossen.

#### 4.1.5 Ergebnisse zu Getreide

Von den 128 Schlägen bei denen im Zeitraum 2009 bis 2012 eine Untersuchung von Wintergetreide geplant war, wurde auf fünf Schlägen aus betrieblichen Gründen kurzfristig kein Getreide angebaut. Auf einem weiteren Schlag wurde der Roggenbestand durch Hagelschlag komplett zerstört. Insgesamt wurden somit 122 Schläge mit verschiedenen Getreidearten untersucht. Bei den im Folgenden aufgeführten Ertragsdaten werden die Erträge für Dinkel jeweils ohne Spelz angegeben.

##### 4.1.5.1 Ertrag

Drei der 122 Getreideschläge wurden zwar beprobt aber von den Landwirten nicht geerntet, sondern gemulcht. Als Gründe wurden starke Nässe nach der Saat bzw. Trockenheit im Frühjahr gefolgt von starker Verunkrautung sowie Starkregen und Hagel in der Erntezeit genannt. Der höchste von den Betriebsleitern ermittelte Schlagenertrag lag bei 56 dt/ha (Winterweizen), der Durchschnitt bei 32 dt/ha (Verteilung in Abbildung 52). In den Messparzellen wurden zwischen 11 und 75 dt/ha und im Mittel 42 dt/ha geerntet (MP-Ertrag). Auf den betrieblich nicht geernteten Schlägen konnten in den Messparzellen noch 11, 28 bzw. 30 dt/ha geerntet werden. Sowohl die Schlag- als auch die MP-Erträge streuten in einem weiten Bereich.

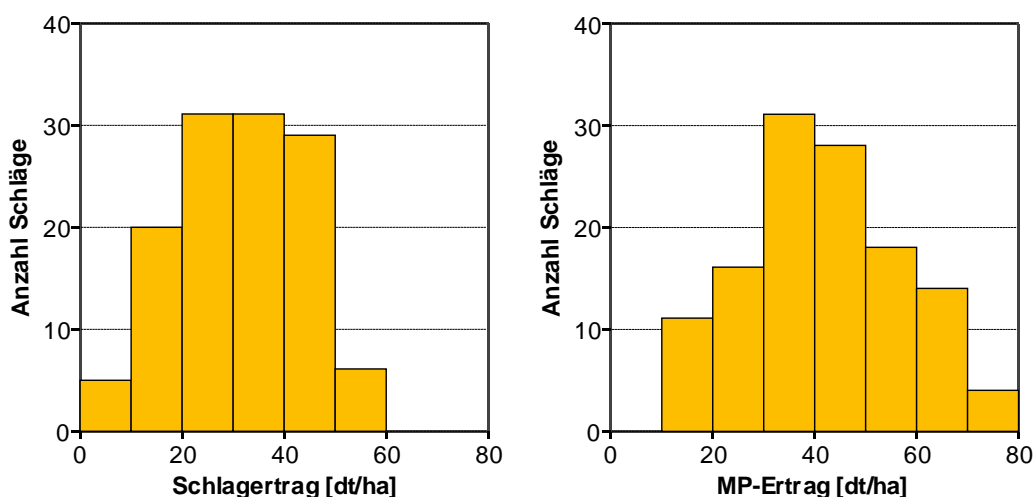


Abbildung 52: Histogramme der Getreideerträge (14 % Feuchte), links Schlagenertrag (Betriebsleiterangaben), rechts Messparzellenertrag (MP-Ertrag, Handernte)

## Arten

Ein Ziel des Projektes war es, möglichst viele verschiedene Standorte und Bewirtschaftungssysteme zu untersuchen. Die anfängliche Vorgabe, nach den Körnerleguminosen Winterweizen anzubauen, musste deshalb zurückgestellt werden. Insgesamt wurde auf 42 % der Schläge Winterweizen angebaut, auf 29 % Dinkel, auf 14 % Winterroggen und auf 9 % Triticale. Auf dem Rest der Schläge wurde Wintergerste und aus betrieblichen Gründen auch Sommergetreide angebaut. Die Ertragsunterschiede zwischen den vier häufigsten Arten entsprechen qualitativ den Unterschieden aus den Sortenversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft von 2009 bis 2011 (LfL, 2012, über alle Sorten und Standorte; Abbildung 53). Es muss somit zwischen den Schlägen nicht nur mit Unterschieden im Ertrag durch Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren sondern auch durch die Getreideart gerechnet werden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass trotz der Niveauunterschiede zwischen den Arten viele Faktoren ähnlich auf den Ertrag wirken. Um bei den statistischen Analysen möglichst viele Fälle (Schläge) einbeziehen zu können wurden die verschiedenen Getreidearten gemeinsam ausgewertet und die Art als Faktor berücksichtigt.

Über alle Getreidearten wurden insgesamt 55 verschiedene Sorten angebaut. Eine Berücksichtigung bzw. Untersuchung von Sortenunterschieden war nicht möglich, da für keine Sorte eine ausreichende Anzahl Schläge vorhanden war.

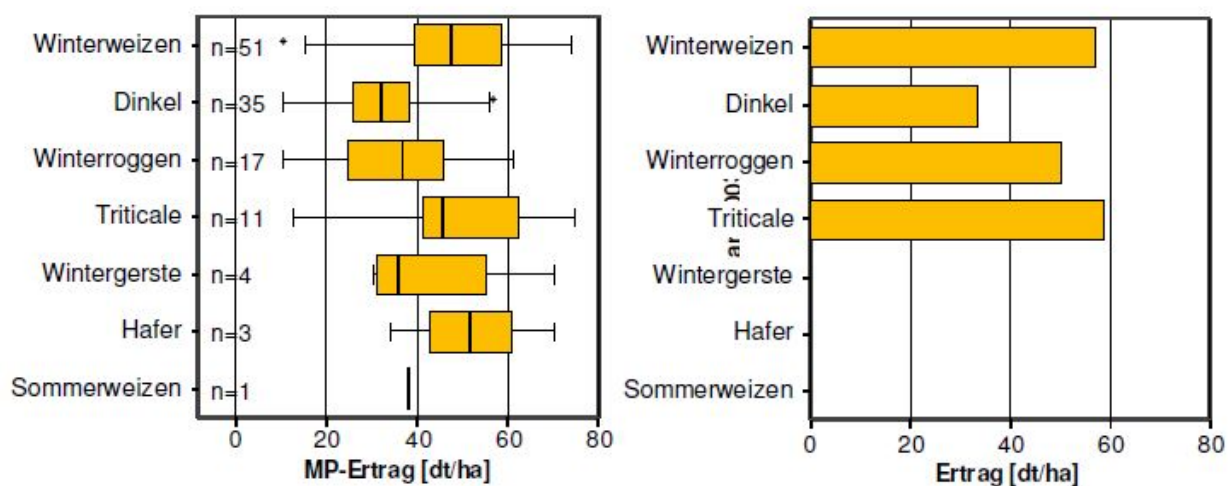


Abbildung 53: links, Boxplots des Messpunktertrags (MP-Ertrag) gruppiert nach den angebauten Getreidearten; rechts Ertragsergebnisse aus Sortenversuchen 2009 bis 2011 (LfL, 2012)

## Unterschied Schlag- und MP-Ertrag

Im Mittel übertrafen die MP-Erträge die Schlagenerträge um 30 % (nur beerntete Schläge). Da bei der Ermittlung der MP-Erträge keine Fahrspuren, Vorgewende, Senken, Kuppen und größere Lücken beprobt wurden, sind höhere MP-Erträge nachvollziehbar. Auch können relevante Verluste bei der Verwendung des Standdreschers für die Ertragsproben aus den Messparzellen im Gegensatz zum Mähdrusch ausgeschlossen werden.

Obwohl mit den drei Messparzellen nur ein kleiner Teil des jeweiligen Schlages abgedeckt wurde erreichte das  $R^2$  der Regressionsgeraden von MP- und Schlagenertrag 0,60.



## Schlagauswahl für statistische Analysen

Für die weitere statistische Auswertung wurden nur die Schläge mit den Kulturen Winterweizen, Dinkel, Winterroggen und Triticale ausgewählt. Ausgeschlossen wurden auch Getreidebestände die nicht nach Erbsen oder Ackerbohnen angebaut wurden sowie stark geschädigte Bestände, z. B. durch Wildschaden, Hagel oder Sturm. Insgesamt verblieben 94 Schläge für weitere statistische Analysen. Die vier Getreidearten wurden gemeinsam ausgewertet. Bei der partiellen Korrelationsanalyse und der multiplen Regressionsanalyse wurden die einzelnen Arten als Dummy-Variablen berücksichtigt.

## Ertragskomponenten

Zur Abschätzung des Einflusses der einzelnen Ertragskomponenten auf den Getreideertrag wurde eine partielle Korrelationsanalyse mit den Getreidearten als Kontrollvariablen durchgeführt. Als wichtigste Ertragskomponente wurde die Zahl Ähren pro Quadratmeter ermittelt ( $r$  0,48). Auch Körner pro Ähren ( $r$  0,44) und Tausendkornmasse ( $r$  0,33) wiesen signifikante Korrelationen auf.

## Faktoren der Ertragsvarianz

Die partielle Korrelationsanalyse vom MP- und Schlägertrag mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab auch nach Prüfung der Streudiagramme und Eliminierung der Fälle ohne Möglichkeit eines kausalen Zusammenhangs eine Vielzahl von signifikanten Korrelationen. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 57 aufgeführt. Die meisten Korrelationen traten bei Bodenparametern auf. Dabei wurden bei Bodenpunkte, Wasservorrat und  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr (0 - 90 cm) die höchsten Koeffizienten ermittelt. Aber auch eine Reihe anderer bodenphysikalischer und bodenbiologischer Messgrößen sowie viele Nährstoffgehalte wiesen deutliche Korrelationen zum Ertrag auf. In den Bereichen Witterung und Bewirtschaftung wurden hingegen nur wenige und meist schwache Korrelationen gefunden. Bei der Bewirtschaftung erbrachte die Anbaugeschichte mit den Korrelationen zu Anbaujahre Leguminosen bzw. Weißklee die engsten Korrelationen zum Ertrag. Deutliche Zusammenhänge zeigten sich mit den Größen, die den Getreidebestand beschreiben. Der Getreidedeckungsgrad im Frühjahr und die Homogenität des Getreidebestandes hatten danach einen positiven und der Unkrautdeckungsgrad im Juni einen negativen Einfluss auf den Ertrag. Auch mit der Höhe des Leguminosenbestandes im Juni des Vorjahres wurde ein positiver Zusammenhang ermittelt. Die meisten Korrelationen wurden sowohl mit dem MP- als auch mit dem Schlägertrag gefunden.



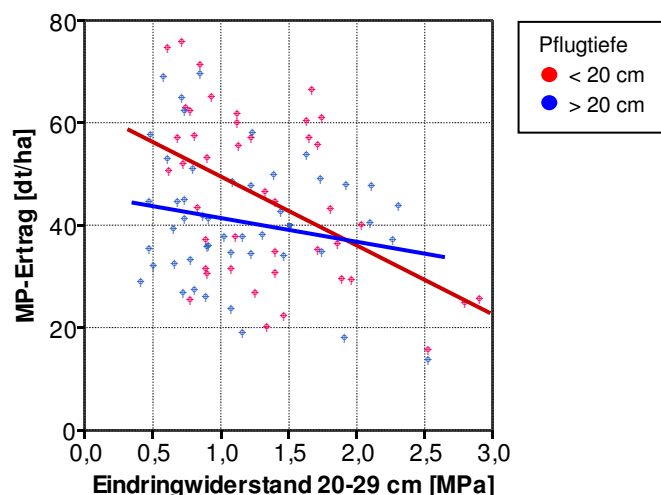
**Tabelle 57: Koeffizienten der partiellen Korrelation verschiedener Faktoren mit dem Messpunkt- (MP) und dem Schlagertag (S) des Getreides mit den Getreidearten als Kontrollvariablen**

Jahr / Witterung	MP	S	Boden	MP	S
Ø Temperatur 2 Wochen vor Saat	0,22*	0,32**	B	0,34**	0,34**
Ø Temperatur Juni	0,26*	0,18	S	0,37**	0,27*
Niederschlag Juni	0,20	0,25*	S <sub>min</sub> 0-60 cm Frühjahr	0,32**	
<b>Boden</b>			<b>Proteaseaktivität</b>	<b>0,28**</b>	<b>0,21*</b>
Bodenpunkte	0,40**	0,56**	Phosphataseaktivität	0,35**	0,29**
Schluffgehalt	0,31**	0,38**	Phosphataseaktivität/C <sub>mic</sub>	0,22*	0,32**
Sandgehalt	-0,31**	-0,35**	<b>Pflanze</b>		
Eindringtiefe	0,41**	0,46**	Höhe Leguminose Vorjahr Juni	0,27*	
Eindringwiderstand 30-39 cm	-0,49**	-0,45**	Getreidedeckungsgrad Frühjahr	0,24*	0,30**
Bearbeitungssohle (Bonitur)	0,21	0,18	Unkrautdeckungsgrad Juni	-0,30**	-0,22*
Trockenrohdichte Bearbeitungshor.	-0,32**	-0,36**	Homogenität Getreidebestand Juni	0,39**	0,41**
Wasservorrat 0-90 cm Frühjahr	0,59**	0,52**	<b>Bewirtschaftung</b>		
Organische Substanz	0,31**	0,21*	Anbaujahre Leguminosen (25 Jahre)	0,24*	0,22*
C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	-0,22	-0,26*	Anbaujahre Weißklee (25 Jahre)	0,26*	
N <sub>min</sub> 0-90 cm Frühjahr	0,44**	0,31**	Anteil Leguminosenhauptfr. (15 J.)	0,21*	0,18
K <sub>2</sub> O	0,22*	0,18	Summe Gülledüngung (3 Jahre)	0,20	
Mg	0,37**	0,27*	Pflugtiefe	-0,24*	
Kationenaustauschkapazität Mg/K	0,26*	0,18*	Verfügbare N in organischer Düngung seit Vorfrüchternte	0,21*	

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

Mit der schrittweisen multiplen linearen Regression wurde eine Kombination von zehn Parametern und einer Interaktion ausgewählt, mit der ein wesentlicher Teil der Varianz des MP-Ertrags erklärt werden konnte (R<sup>2</sup> 0,80). Die in Tabelle 44 aufgeführten Beta-Werte der einzelnen Regressoren geben Hinweise auf die relative Wichtigkeit bei der Varianzaufklärung (je größer die Abweichung von Null, je größer ist der Einfluss). Im Zuge der Analyse wurden vier Schläge ausgeschlossen, da sie das Modell mit Extremwerten stark beeinflussten. Auf zwei dieser Schläge wurden im Frühjahr in 0 - 90 cm über 200 kg N<sub>min</sub>/ha gemessen. Die anderen beiden Schläge waren durch sehr flachgründige Kalkverwitterungsböden geprägt. Die Einbeziehung der Getreidearten als Dummy-Variablen ergab nur beim Dinkel einen signifikanten Zusammenhang zum MP-Ertrag. Das deutlich niedrigere Ertragsniveau dieser Art zeigt sich im in der großen Bedeutung im Regressionsmodell.

Insgesamt hatten die Bodenparameter Bodenpunkte, Eindringwiderstand in 20-29 cm sowie Wasservorrat und N<sub>min</sub>-Menge in 0 - 90 cm im Frühjahr (N<sub>min</sub>090) den größten Einfluss auf den MP-Ertrag. Auch die Bewirtschaftungsgrößen Anbaujahre Weißklee, Pflugtiefe und verfügbare N-Menge in den seit der Vorfrüchternte ausgebrachten organischen Düngemitteln hatten einen deutlichen Einfluss. Die Interaktion zwischen Pflugtiefe und Eindringwiderstand weist darauf hin, dass der negative Einfluss eines erhöhten Eindringwiderstands bei flacher Bodenbearbeitung stärker ausgeprägt war als bei tiefer Bearbeitung (Abbildung 54). Trotzdem lagen die Erträge auf den Schlägen mit flacher Bodenbearbeitung im Mittel etwas höher. Ein hoher Deckungsgrad des Getreides im Frühjahr hatte einen positiven und ein hoher Unkrautdruck im Juni einen deutlich negativen Effekt auf den MP-Ertrag.



**Abbildung 54: Streudiagramm vom Eindringwiderstand der Bodenschicht 20-29 cm und dem Messpunktertrag (MP-Ertrag) sowie Regressionsgeraden für die Fälle mit < und > 20 cm Pflugtiefe**

Bei der multiplen Regressionsanalyse mit dem Schlägertrag wurden einige Faktoren des MP-Ertrags nicht aufgenommen. Die Parameter Bodenpunkte und Getreideart Dinkel gewannen deutlich an Bedeutung (Tabelle 58).

**Tabelle 58: Direkte Faktoren des Getreideertrags: im Regressionsmodell für den Messpunkt- (MP) und den Schlägertrag (Schlag) aufgenommene Regressoren (MP: R<sup>2</sup> 0,80), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	MP		Schlag	
					Beta	Sig.	Beta	Sig.
Bodenpunkte	48	20	75	13	0,16	0,03	0,31	0,00
Eindringwiderstand 20-29 cm (EW2029) [MPa]	1,22	0,41	2,91	0,68	-0,18	0,00		
Wasservorrat 0-90 cm Frühjahr [l/m <sup>2</sup> ]	218	83	321	45	0,22	0,00	0,22	0,00
N <sub>min</sub> 0-90 cm Frühjahr [kg/ha]	48	8	125	27	0,23	0,00	0,17	0,02
Anbaujahre Weißklee (25 Jahre)	2	0	6	2	0,19	0,00		
Pflugtiefe [cm]	21,8	10,0	30,0	4,7	-0,17	0,01		
Verfügbarer N in org. Düngung seit Vorfruchternte [kg/ha]	6,0	0,0	35,2	7,8	0,19	0,00	0,08	0,23
Getreideart Dinkel	37 % der Schläge				-0,32	0,00	-0,48	0,00
Getreidedeckungsgrad Frühjahr [%]	20	2	64	12	0,19	0,01	0,19	0,01
Unkrautdeckungsgrad Juni [%]	19	1	80	16	-0,22	0,00	-0,10	0,11
Pflugtiefe x EW2029					0,19	0,00		

Um neben dem Kornertrag auch die unterschiedlichen Proteingehalte der verschiedenen Getreideproben zu berücksichtigen, wurde auch der N-Ertrag im Korn (KornN) geprüft. Die Parameter die mit KornN korrelierten entsprachen in den meisten Fällen denen vom MP-Ertrag, allerdings variierten z. T. die Korrelationskoeffizienten (Ergebnisse nicht dargestellt). Auch die multiple Regressionsanalyse ergab ein Modell, dass dem vom MP-Ertrag ähnlich war (Tabelle 59). Wesentliche Unterschiede waren, dass der Parameter Bodenpunkte nicht aufgenommen wurde und dass sich hier die Getreideart Winterroggen und nicht Dinkel

signifikant von den anderen Arten unterschied. Die Interaktion von Pflugtiefe und Eindringwiderstand war stärker ausgeprägt, so dass im Mittel die Pflugtiefe nicht signifikant war. Der Einfluss von  $N_{\min}090$  war deutlich stärker als beim MP-Ertrag.

**Tabelle 59: Direkte Faktoren des N-Ertrags mit dem Getreide: im Regressionsmodell für den Messpunktertrag aufgenommene Regressoren ( $R^2$  0,77), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.)**

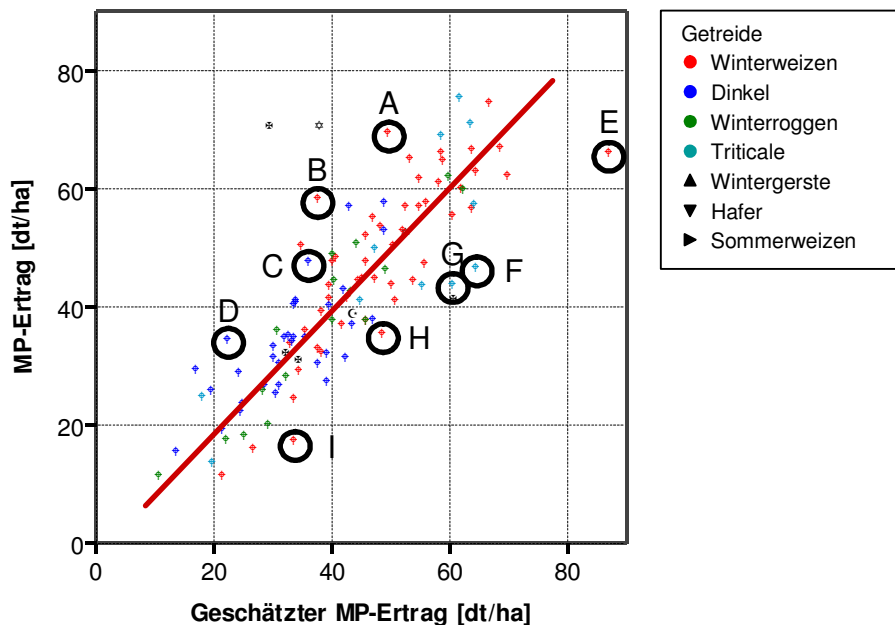
Faktor	Beta	Sig.	Faktor	Beta	Sig.
Eindringwiderstand 20-29 cm (EW2029) [MPa]	-0,20	0,00	Anbauanteil Getreide (15 Jahre)	-0,15	0,02
Wasservorrat 0-90 cm Frühjahr [l/m <sup>2</sup> ]	0,17	0,01	Getreideart Winterroggen	-0,22	0,00
$N_{\min}$ 0-90 cm Frühjahr [kg/ha]	0,54	0,00	Getreidedeckungsgrad Frühjahr [%]	0,26	0,00
Anbaujahre Weißklee	0,19	0,00	Unkrautdeckungsgrad Juni [%]	-0,16	0,01
Pflugtiefe [cm]	0,01	0,87	Pflugtiefe x EW2029	0,21	0,00
Verfügbare N in org. Düngung seit Vorfruchternte	0,15	0,01			

Eine Reihe von Parametern mit signifikanten Korrelationen zum Ertrag führte bei der multiplen Regression zu keiner zusätzlichen Erklärung der Ertragsvarianz. Da nur Faktoren mit einem großen Varianzerklärungsanteil ausgewählt wurden ist es wahrscheinlich, dass der Einfluss von nicht aufgenommenen Faktoren oft zu gering war. Weiterhin können Korrelationen zwischen einzelnen Parametern dazu führen, dass nicht alle Parameter aufgenommen werden. Die starke Korrelation vom Wasservorrat des Bodens im Frühjahr mit dem Gehalt an organischer Substanz,  $N_{\min}$ -Menge im Boden und Proteaseaktivität zeigt z. B., dass miteinander in Zusammenhang stehende oder von ähnlichen Faktoren abhängige Parameter in ihrem Einfluss auf die Zielvariable Ertrag schwer von einander zu trennen sind. Der Wasservorrat und  $N_{\min}090$  erbrachten den größten Anteil an Varianzerklärung und wurde deshalb in das Regressionsmodell integriert.

Obwohl eine Vielzahl möglicher Interaktionen geprüft wurde, gelang es nicht, Witterungsparameter in die Regressionsmodelle von Ertragsparametern aufzunehmen. Da ein Einfluss der Witterung auf die Ertragsbildung unstrittig ist, muss davon ausgegangen werden, dass diese Zusammenhänge, z. B. aufgrund der oft kurzfristigen Witterungsunterschiede und möglicher nicht linearer Beziehungen, mit dem hier ausgeführten Ansatz kaum zu erfassen sind.

Insgesamt kann das beschriebene Regressions-Modell Hinweise auf wesentliche Faktoren des Ertrags und deren Gewichtung geben, jedoch nicht die kausalen Zusammenhänge exakt mathematisch beschreiben.

In Abbildung 55 werden die mit dem Regressionsmodell geschätzten Ertragswerte den gemessenen MP-Erträgen gegenübergestellt. Einzelne Schläge weisen deutliche Abweichungen auf. Mit einer Einzelfallanalyse wurde versucht die Ursachen der abweichenden MP-Erträge zu klären. Hierbei wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Informationen verwendet.



**Abbildung 55: Streudiagramm von dem mit dem Regressionsmodell geschätzten und vom gemessenen Messpunktertrag (MP-Ertrag) sowie die Regressionsgerade (nur Winterweizen, Dinkel, Winterroggen und Triticale) und Markierungen von Einzelfällen die im Text erläutert werden**

Der relativ hohe Weizenertrag auf Schlag A kann mit dem hohen Nährstoffniveau und dem geringen Unkrautdruck auf dem guten Boden zusammenhängen. Auch der Schlag B wies ein überdurchschnittliches Nährstoffniveau im Boden auf, zusätzlich macht das enge C/N-Verhältnis (9,7) eine hohe N-Mineralisation möglich. Der unerwartet hohe Dinkelertrag auf Schlag C lässt darauf schließen, dass die eingesetzte Biogasgülle deutlich mehr N enthielt bzw. mehr N verfügbar wurde als für die Kalkulation angenommen wurde. Weiterhin kann das Hacken des Bestandes zu einer Förderung der N-Mineralisation geführt haben. Zu Schlag D liegen keine Informationen vor die den erhöhten Ertrag erklären können.

Der hohe Weizenertrag auf Schlag E lag deutlich niedriger als geschätzt. Die hohen  $N_{\min 090}$ -Werte von über 200 kg/ha konnten wahrscheinlich aufgrund des sehr starken Unkrautdrucks und des frühen Lagerns des Weizens nicht vollständig in Ertrag umgesetzt werden. Bei den Schlägen F, G und I wurden die Bestände durch starke Auswinterung geschwächt. Auf den Schlägen F und G war zudem ein sehr hoher Unkrautdruck zu verzeichnen. Die geringeren Erträge auf Schlag H können mit dem hohen Besatz mit Quecke und Ampfer sowie mit den relativ geringen S-Gehalten im Boden zusammenhängen.

### Ertrag pro Bodenpunkt

In der Praxis wird für den Vergleich des Getreideertragsniveaus häufig der Quotient aus Ertrag und Bodenpunkten verwendet. Für den MP-Ertrag betrug dieser Wert (dt/(ha\*Bodenpunkt)) bei Winterweizen 0,94, bei Winterroggen 0,99 und bei Dinkel 0,76. Für den Schlagertrag lag dieser Wert bei Weizen und Dinkel um ca. 0,23 und bei Roggen und Triticale um ca. 0,17 niedriger als beim MP-Ertrag (Abbildung 56). Die Ergebnisse der multiplen Regression vom Quotienten MP-Ertrag pro Bodenpunkt (nicht dargestellt) ergaben keine gravierenden Unterschiede zu den oben dargestellten Ergebnissen zum MP-Ertrag.

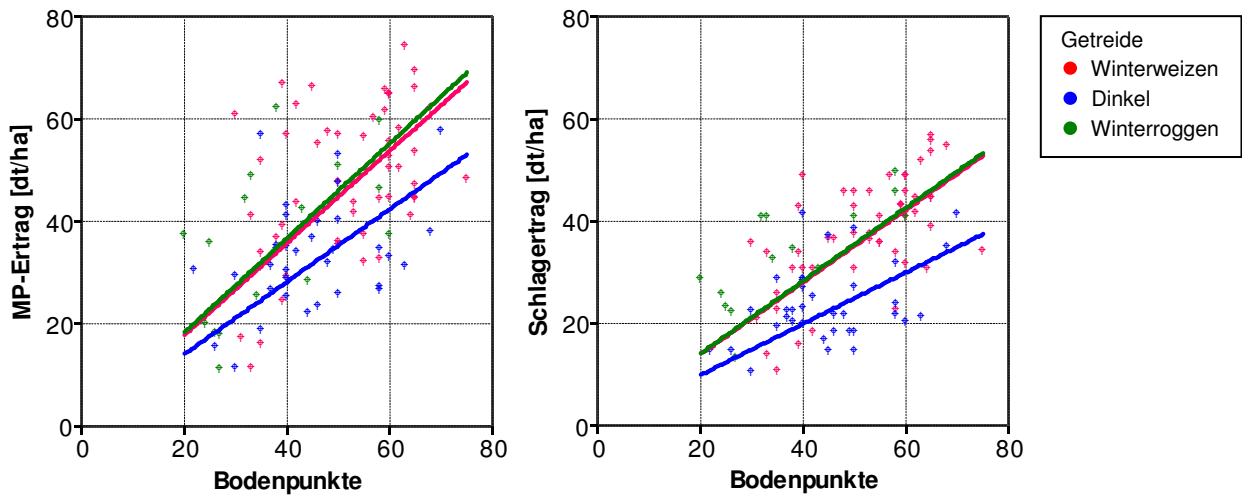


Abbildung 56: links, Streudiagramm vom gemessenen Messpunktertrag (MP-Ertrag) und den Bodenpunkten; rechts, Streudiagramm vom Schlägertrag und den Bodenpunkten sowie die Regressionsgeraden ohne Konstante (für Winterweizen, Dinkel und Winterroggen)

#### 4.1.5.2 Unkrautdeckungsgrad

Der Unkrautdruck auf den Untersuchungsschlägen variierte in einem weiten Bereich (Abbildung 57). Während im Frühjahr (Ende März bis Anfang April) zwei Drittel der Schläge einen Unkrautdeckungsgrad unter 2,5 % aufwiesen, lag der Deckungsgrad im Juni bei zwei Dritteln der Schläge über 10 % (UK06). Da nur UK06 einen signifikanten Zusammenhang mit MP-Ertrag aufwies beschränkt sich die weitere Auswertung auf diesen Parameter.

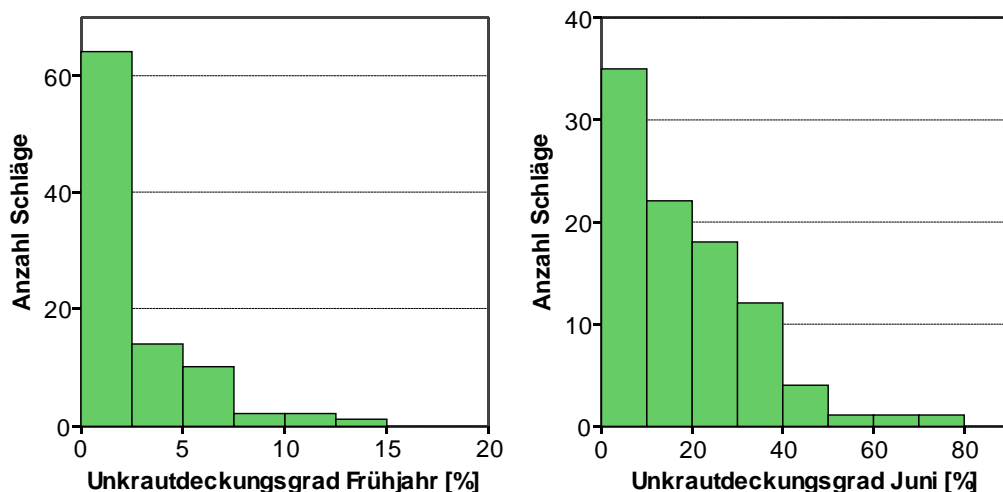


Abbildung 57: Histogramme des Unkrautdeckungsgrads in Getreide, links Boniturtermin im Frühjahr, rechts Boniturtermin im Juni

Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung von UK06 wurden die Daten für die statistische Auswertung transformiert ( $x^{0,3}$ ). Die Korrelationsanalyse von UK06 mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab eine Reihe plausibler Korrelationen. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 60 aufgeführt. Die meisten Korrelationen traten mit Boden- und Bewirtschaftungsparametern auf. Die engsten

Korrelationen wurden mit der durchschnittlichen Temperatur im Juni, dem Schluffgehalt des Bodens und dem Anteil Wurzelfrüchte in der Fruchtfolge gefunden.

Der Unkrautdeckungsgrad im Juni ist mit den Boniturergebnissen aus dem Frühjahr positiv korreliert. Dieser Deckungsgrad zu Vegetationsbeginn hängt wiederum mit dem Unkrautdruck in den vorherigen Körnerleguminosen zusammen (r 0,23 mit Unkrautdeckungsgrad in Leguminosen im Juni).

**Tabelle 60: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit dem Unkrautdeckungsgrad im Juni in Getreide (transformiert mit  $X^{0,3}$ )**

Witterung		Pflanze	
Verdunstung Januar – März	-0,24*	Unkrautdeckungsgrad Frühjahr	0,36**
Wasserbilanz April – Boniturtermin	0,23*	<b>Bewirtschaftung</b>	
Ø Temperatur Juni	-0,37**	Jahre ohne Tierhaltung (25 Jahre)	-0,27*
<b>Boden</b>		Anteil Wurzelfrüchte (15 Jahre)	-0,33**
Bodenpunkte	-0,25*	Jahre Strohdüngung (10 Jahre)	0,27**
Schluffgehalt	-0,32**	Anteil Getreide (5 Jahre)	0,30**
Sandgehalt	0,22*	Anbauabstand letztes Klee gras	-0,22*
Eindringtiefe	-0,19	Abstand letzte Mistdüngung	-0,26*
Bearbeitungssohle (Bonitur)	-0,21*	Tiefe vorheriger Stoppelbearbeitung	-0,20
Wasservorrat 0-60 cm Frühjahr	-0,21*	Getreideart Winterroggen	0,18
C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	0,23*		
Metabolischer Quotient	0,29**		

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

In der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurden zehn Faktoren ausgewählt mit denen ca. die Hälfte der Varianz von UK06 erklärt werden konnte (R<sup>2</sup> 0,53). Da für UK06 nur wenige starke Faktoren vorlagen, wurden Parameter bis zu einer Signifikanzgrenze von 0,15 aufgenommen. Aus den in Tabelle 61 aufgeführten Beta-Werten abgeleitet, erklären die Regressoren aus den Bereichen Witterung und Boden zusammen ca. 60 % der mit dem Regressionsmodell erklärten Varianz. Die Interaktion von Wasservorrat in 0 - 60 cm im Frühjahr und Wasserbilanz im Zeitraum April bis Mai weist darauf hin, dass auf Schlägen mit hohem Wasservorrat eine niedrige Wasserbilanz einen geringeren Effekt auf den Unkrautdruck hatte, während bei geringem Wasservorrat eine niedrige Wasserbilanz zu deutliche weniger Unkrautdruck führte (Details nicht dargestellt).

Die Anbaugeschichte hatte mit den drei Parametern Anteil Wurzelfrüchte, Anteil Zwischenfrüchte und Jahre mit Strohdüngung einen deutlichen Effekt auf den Unkrautdeckungsgrad. Die Größe Jahre mit Strohdüngung beschreibt neben der Verwendung des Stroh auch den Anbauanteil an Getreide der Stroh düngenden, meist vieharmen oder viehlosen Betriebe. Während eine größere Pflugtiefe mit niedrigem Unkrautdruck verbunden war hatte der Einsatz N-haltiger organischer Düngemittel eine fördernde Wirkung.

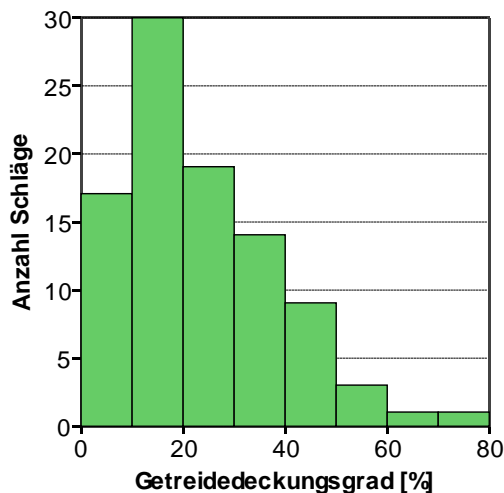


**Tabelle 61: Direkte Faktoren des Unkrautdeckungsgrads im Juni in Getreide (transformiert mit  $X^{0,3}$ ): im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren ( $R^2$  0,53), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Wasserbilanz April – Mai (WB0405) [l/m <sup>2</sup> ]	-81	-236	65	70	0,19	0,02
Ø Temperatur Juni [°C]	15,9	13,9	18,0	1,0	-0,40	0,00
Tongehalt [%]	19,1	2,9	61,1	11,8	0,16	0,15
Wasservorrat 0-60 cm Frühjahr (WV060) [l/m <sup>2</sup> ]	142	62	203	28	-0,20	0,06
C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	9,4	7,5	13,5	0,9	0,20	0,02
Anteil Wurzelfrüchte (10 Jahre) [%]	5	0	25	8	-0,26	0,00
Jahre Strohdüngung (10 Jahre)	4	0	8	2	0,22	0,01
Anteil Zwischenfrucht (5 Jahre) [%]	28	0	80	21	0,13	0,11
Pflugtiefe [cm]	21,5	8,0	30,0	4,7	-0,28	0,00
Verfügbare N in org. Düngung seit Vorfruchternte [kg/ha]	5,8	0,0	35,2	7,7	0,14	0,08
WB0405 x WV060					-0,19	0,02

#### 4.1.5.3 Getreidedeckungsgrad

Der Mitte März bis Anfang April bestimmte Deckungsgrad an Getreide (GDF) variierte in dem weiten Bereich von 2 bis 80 % und lag im Mittel bei 24 % (Abbildung 58).



**Abbildung 58: Histogramm des Getreidedeckungsgrades am Boniturtermin im Frühjahr**

Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung von UK06 wurden die Daten für die statistische Auswertung transformiert ( $x^{0,5}$ ). Die partielle Korrelationsanalyse (Getreidearten als Kontrollvariablen) von GDF mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab eine Reihe plausibler Korrelationen (Tabelle 62). Die Temperaturparameter aus dem Ansaatjahr beinhalten sowohl Informationen über den Temperaturverlauf als auch über den Saattermin, da diese bei früheren Saatterminen meist höher lagen. Die Korrelationen der Bodengrößen Eindringwiderstand in 20 - 29 cm und verfügbares Mangan

können auf kausale Zusammenhänge deuten. Der negative Zusammenhang mit der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr ist wahrscheinlich auf den Entzug durch die Getreidepflanzen bis zur Beprobung zurückzuführen.

Die starke positive Korrelation mit dem Unkrautdeckungsgrad deutet darauf hin, dass auf das Getreide und die Unkräuter ähnliche Einflüsse wirksam wurden. Eine Konkurrenz war zu diesem Zeitpunkt noch nicht erkennbar. Im Frühjahr gut entwickelte Bestände wiesen zur Ernte meist eine hohe Ährenzahl, jedoch geringere Tausendkornmassen und N-Gehalte auf.

Auch einige Parameter aus den Bereichen Anbaugeschichte und direkter Bewirtschaftung erbrachten signifikante Korrelationen mit dem Getreidedeckungsgrad, am stärksten der Saattermin.

**Tabelle 62: Koeffizienten der partiellen Korrelation (Getreidearten als Kontrollvariablen) verschiedener Faktoren mit dem Getreidedeckungsgrad im Frühjahr**

Witterung		Pflanze	
Ø Temperatur September – Saat	0,35**	Unkrautdeckungsgrad Frühjahr	0,50**
Ø Temperatur 2 Wochen vor Saat	0,38**	Ähren/m <sup>2</sup>	0,37**
Ø Temperatur 2 Wochen nach Saat	0,40**	<b>Bewirtschaftung</b>	
Tage >5 °C Saat - Dezember	0,32**	Jahre Leguminosenhauptfrüchte (25 Jahre)	0,26*
Niederschlag November – Dezember	-0,28**	Anteil Klee gras (5Jahre)	0,20
∑ Tages-Ø Temperatur November – Bonitur	0,33**	Tage Zwischenfrucht vor Saat	-0,25*
Verdunstung November – Bonitur	0,37**	Güllemenge vor Bonitur	0,27**
<b>Boden</b>		Pflugtermin (Tage ab 01.01.)	-0,30**
Eindringwiderstand 20-29 cm	-0,23*	Saattermin (Tage ab 01.01.)	-0,43**
Mn	0,21*		
$N_{\min}$ 0-30 cm Frühjahr	-0,31**		

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

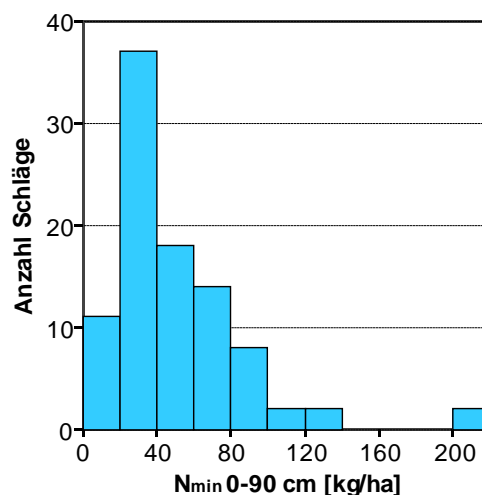
In der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurden zehn Parameter ausgewählt mit der ein Teil der Varianz von GDF erklärt werden konnte ( $R^2$  0,62). Aus den Beta-Werten (Tabelle 63) abgeleitet, waren die Faktorgruppen Saattermin und Getreideart sowie Witterung und Bodenart jeweils für ca. 40 % der Varianz, die mit dem Modell erklärt wurde, verantwortlich. Aus den Streudiagrammen von Saattermin und MP-Ertrag für die einzelnen Getreidearten geht hervor, dass sich ein früher Saattermin vor allem positiv auf die Erträge von Winterroggen und Triticale auswirkte und bei Winterweizen und Dinkel keinen Einfluss hatte. Mit Tiefe der Stoppelbearbeitung, Güllemenge der letzten vier Jahre und Anzahl Striegel- oder Hackgänge wurden auch Parameter der kurzfristigen Bewirtschaftung aufgenommen. Signifikante Interaktionen wurden nicht gefunden.

**Tabelle 63: Direkte Faktoren des Getreidedeckungsgrades im Frühjahr: im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren ( $R^2$  0,62), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Tage > 5°C Januar - Bonitur [Tage]	23	5	42	8	0,30	0,00
Niederschlag November – Dezember [l/m²]	128	41	233	50	-0,17	0,02
Tongehalt [%]	19	3	61	12	-0,30	0,01
Sandgehalt [%]	36	2	86	27	-0,29	0,01
Summe Gülledüngung (4 Jahre) [m³/ha]	12	0	78	20	0,13	0,09
Tiefe Stoppelbearbeitung [cm]	10	0	25	5	-0,18	0,02
Saattermin (Tage ab 01.01.) [TT.MM.]	09.10.	09.09.	20.11.	13 T.	-0,42	0,00
Getreideart Winterweizen	40% der Schläge				-0,29	0,01
Getreideart Dinkel	36% der Schläge				-0,27	0,01
Anzahl Striegel- oder Hackgänge	1	0	4	1	-0,14	0,06

#### 4.1.5.4 $N_{min}$ im Frühjahr

Die  $N_{min}$ -Menge in 0-90 cm im Frühjahr ( $N_{min090}$ ) variierte auf den Untersuchungsschlägen zwischen 8 und 207 kg/ha und lag im Mittel bei 51 kg/ha (Abbildung 59). Die beiden Schläge mit  $N_{min090}$  über 200 kg/ha wurden in den weiteren Analyseschritten nicht mitberücksichtigt. Auf diesen beiden Schlägen wurde jeweils die Vorrfrucht Ackerbohne aufgrund hohen Unkrautdrucks gemulcht.



**Abbildung 59: Histogramm der  $N_{min}$ -Menge (0-90 cm) im Frühjahr unter Wintergetreide**

Die  $N_{min090}$ -Daten waren deutlich rechtsschief verteilt und wurden deshalb transformiert ( $X^{0,3}$ ). Die Korrelationsanalyse vom  $N_{min090}$  mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab vor allem für den Bereich Boden eine Vielzahl plausibler Korrelationen. Aber auch eine Reihe von Parametern aus den Bereichen Witterung und Bewirtschaftung wiesen signifikante Korrelationen auf. Die Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 64 aufgeführt.

**Tabelle 64: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener Faktoren mit der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr unter Wintergetreide (0-90 cm, transformiert mit  $X^{0,3}$ )**

Witterung		Boden	
Tage >5°C Saat – Dezember	-0,43**	FDA/ $C_{mic}$	-0,37**
Tage >5°C Januar – Beprobung	-0,18	Proteaseaktivität/ $C_{mic}$	-0,27**
Niederschlag November – Beprobung	-0,25*	<b>Pflanze</b>	
<b>Boden</b>		Vorfrucht Leguminose Bestandeshöhe Juni	0,26*
Bodenpunkte	0,28*	Unkrautdeckungsgrad Beprobung	-0,28**
Tongehalt	0,34**	Getreidedeckungsgrad Beprobung	-0,42**
Schluffgehalt	0,28**	<b>Bewirtschaftung</b>	
Sandgehalt	-0,37**	Jahre Strohdüngung (10 Jahre)	-0,17
Wasservorrat 0-90 cm Frühjahr	0,36**	Summe Gölledüngung (10 Jahre)	0,17**
Trockenrohdichte 0-20 cm	-0,30**	Anteil Bewuchs über Winter (3 Jahre)	0,21*
pH	0,38**	Leguminosenzwischenfrucht vorher	0,29*
Organische Substanz	0,44**	Pflugtiefe	-0,38**
$C_{org}/N_t$	-0,18	Pflugtermin (Tage ab 01.01.)	0,18
Unverrottetes organisches Material	0,26*	Saattermin (Tage ab 01.01.)	0,35**
$C_{mic}/C_{org}$	0,31**	Getreideart Winterweizen	0,40**
$N_{mic}/N_t$	0,35**	Getreideart Winterroggen	-0,26*
Phosphaataseaktivität/ $C_{mic}$	0,32**	Getreideart Triticale	-0,26*

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

In der schrittweisen multiplen linearen Regression wurde eine Kombination von neun Parametern ausgewählt, mit der zwei Drittel der Varianz von  $N_{\min 090}$  erklärt werden konnte ( $R^2$  0,66). Wie bei  $N_{\min 090}$  auf den Leguminosenschlägen war auch hier der Gehalt an organischer Substanz in der Krume ein wesentlicher Faktor (Tabelle 65). Er wurde jedoch in seiner Bedeutung durch den Getreidedeckungsgrad zum Beprobungstermin deutlich übertroffen. Nach einer einfaktoriellen Regressionsanalyse nahm  $N_{\min 090}$  pro 10 % Deckungsgrad im Mittel um ca. 6 kg/ha ab. Unter Einbeziehung der weiteren wesentlichen Faktoren im multiplen Regressionsmodell betrug die Abnahme 1,7 kg/ha. Auch ein winterlicher Niederschlagsparameter – hier für den Zeitraum November bis Dezember – wurde wie schon bei den Leguminosen (siehe Kap. 4.1.3.7) auch beim Getreide in das Modell aufgenommen. Die Faktoren Sandgehalt und Eindringtiefe weisen darauf hin, dass niedrige  $N_{\min 090}$  vor allem auf leichten, flachgründigen Böden auftraten. Langjährige Düngung mit Gülle und häufiger Bewuchs über Winter in der Schlaggeschichte hatten hingegen einen positiven Effekt. Eine Leguminosenzwischenfrucht vor der Getreidesaat wies einen positiven Zusammenhang mit  $N_{\min 090}$  auf, eine hohe Pflugtiefe hingegen einen negativen. Relevante Interaktionen zwischen einzelnen Faktoren wurden nicht gefunden.

**Tabelle 65: Direkte Faktoren der N<sub>min</sub>-Menge im Frühjahr unter Wintergetreide (0-90 cm, transformiert mit X<sup>0,3</sup>): im Regressionsmodell aufgenommene Regressoren (R<sup>2</sup> 0,66), Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Niederschlag November – Dezember [l/m <sup>2</sup> ]	129	41	233	50	-0,26	0,00
Sandgehalt [%]	37	2	86	27	-0,20	0,01
Eindringtiefe [cm]	70	23	80	14	0,16	0,04
Organische Substanz [%]	2,29	0,93	4,65	0,65	0,28	0,00
Summe Gülledüngung (10 Jahre) [m <sup>3</sup> /ha]	28	0	191	45	0,18	0,02
Anteil Bewuchs über Winter (3 Jahre) [%]	2	0	3	1	0,16	0,02
Leguminosenzwischenfrucht vorher	10 % der Schläge				0,13	0,07
Pflugtiefe [cm]	22	10	30	5	-0,24	0,00
Getreidedeckungsgrad bei Probenahme [%]	24	2	82	16	-0,50	0,00

#### 4.1.5.5 Bodenbearbeitung

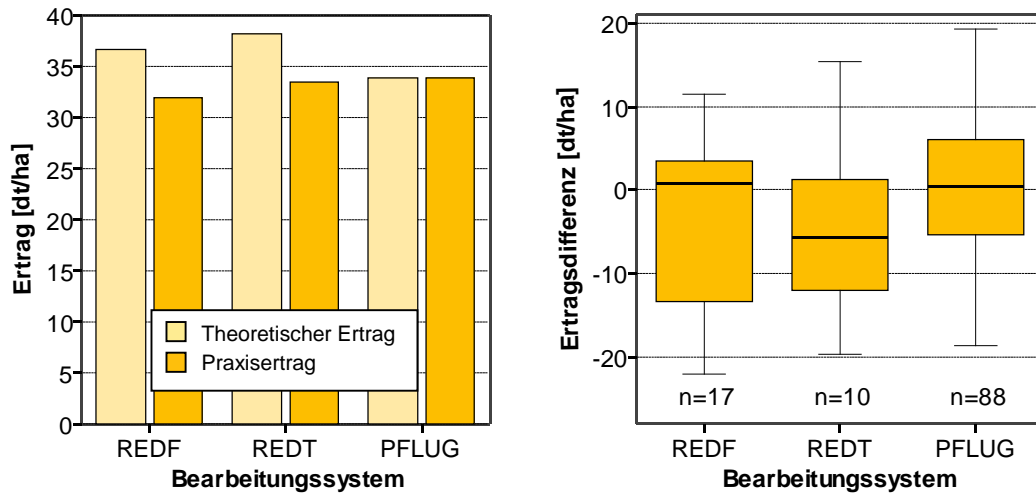
Die Grundbodenbearbeitung wurde auf allen Betrieben die am Projekt beteiligt waren mit dem Pflug durchgeführt, in der Regel in einer Tiefe von 15 bis 30 cm. Zwei Betriebe reduzierten während der Projektphase die Pflugtiefe auf ca. 10 cm. Ergebnisse zu langfristig etablierten Systemen reduzierter Bearbeitung wurden somit nicht ermittelt. Um Vergleiche des Getreidebaus verschiedener Bodenbearbeitungssysteme zu ermöglichen, wurden deshalb Daten aus dem Projekt 06OE107 verwendet. Auf den dabei untersuchten 15 Betrieben mit Systemen reduzierter Bodenbearbeitung erfolgte über zwei Jahre auch die Untersuchung von Getreideschlägen (näheres zu Methodik und Ergebnissen: SCHMIDT 2010). Die Bodenbearbeitungssysteme wurden in drei Gruppen aufgeteilt: Systeme mit deutlich reduzierter Bearbeitungstiefe (REDF, max. 15 cm, z. B. Stoppelhobel- oder Gänsefußschargrubbersysteme); Systeme mit nicht wendender Bearbeitung aber krumentiefer Lockerung (REDT, z. B. Dammkultur- oder Schichtengrubbersysteme) und die im vorliegenden Projekt untersuchten Pflugsysteme (PFLUG).

#### Ertrag

Für den Vergleich der Erträge wurden die von den Betriebsleitern geschätzten Schlägerträge der Kulturen Winterweizen, Dinkel, Winterroggen und Triticale ausgewählt. Um die unterschiedlichen Getreidearten und Standorte zu berücksichtigen wurde in einem ersten Schritt ein Regressionsmodell für den Schlägertrag im Pflugsystem mit den Faktoren Getreideart und Bodenpunkte berechnet. Mit diesem Modell wurden für alle Schläge die je nach angebaute Art und Bodenqualität im Pflugsystem theoretisch erwartbaren Erträge errechnet.

Während die Schlägerträge bei den Systemen reduzierter Bodenbearbeitung im Mittel nur geringfügig niedriger lagen als bei PFLUG, war der Unterschied zum theoretisch erwartbaren Ertrag deutlich (Abbildung 60). Die Schlägerträge von REDF und REDT lagen durchschnittlich um 4,9 dt/ha signifikant niedriger als nach Art und Bodenpunkten für ein Pflugsystem zu erwarten wäre. Dies entspricht einem ca. 13 % niedrigeren Ertrag als bei PFLUG. Zwischen REDF und REDT war im Durchschnitt kein Unterschied erkennbar. Die Boxplots in Abbildung 60 zeigen, dass jedoch auch einige Erträge von Schlägen mit reduzierter Bodenbearbeitung die mittleren PFLUG-Erträge erreichten oder übertrafen.

Der hier vorgenommene Vergleich kann nur als Hinweis auf mögliche Unterschiede zwischen unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen dienen, da Unterschiede in den Jahreseffekten (z. B. Witterung) und der weiteren Bewirtschaftung nicht berücksichtigt werden konnten. Allerdings lag die Größenordnung von 13 % geringerem Ertrag bei reduzierter Bodenbearbeitung in dem Bereich, der auch von vergleichenden Feldversuchen ermittelt wurde (SCHMIDT 2010).

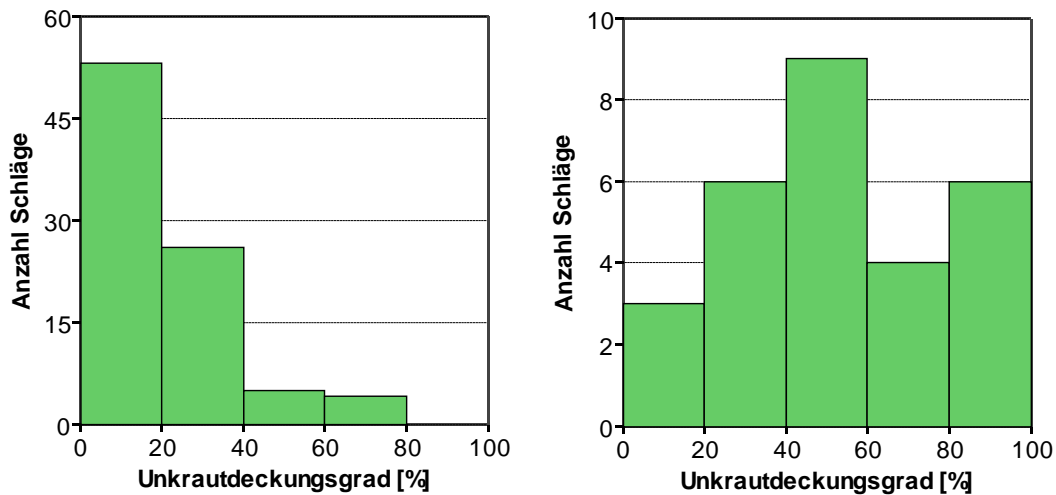


**Abbildung 60:** links, Praxisertrag und für Bodenpunkte und Getreideart berechneter theoretischer Ertrag bei Pflugbewirtschaftung in den verschiedenen Bearbeitungssystemen (REDF: reduzierter Bearbeitungstiefe, REDT: nicht wendende, krumentiefe Lockerung, PFLUG: Pflugsystem); rechts, Boxplots der Differenz von Praxis- und theoretischem Ertrag gruppiert nach den einzelnen Bearbeitungssystemen

## Unkraut

Der Unkrautdeckungsgrad im Juni (UK06) unterschied sich deutlich zwischen PFLUG und den beiden reduzierten Bodenbearbeitungssystemen (Abbildung 61). Im Mittel lag UK06 mit 20 % bei PFLUG signifikant niedriger als bei REDF mit 57 % und REDT mit 47 %. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen reduzierter Bearbeitung war nicht signifikant. Da UK06 im Pflugsystem als wichtiger Ertragsfaktor identifiziert wurde (vgl. Kap. 4.1.5.1), ist davon auszugehen, dass der höhere Unkrautdruck eine wesentliche Ursache für geringere Erträge in REDF und REDT war. Nach dem Regressionsmodell für den MP-Ertrag nahm der Ertrag pro 10 % Unkrautdeckungsgrad um ca. 2 dt/ha ab. Ein mittlerer Unterschied von 40 % Unkrautdeckungsgrad kann somit ca. 8 dt/ha Ertragsunterschied erklären.





**Abbildung 61: Histogramme des Unkrautdeckungsgrads im Juni in Getreide, links Pflugbewirtschaftung, rechts reduzierte Bodenbearbeitungssysteme**

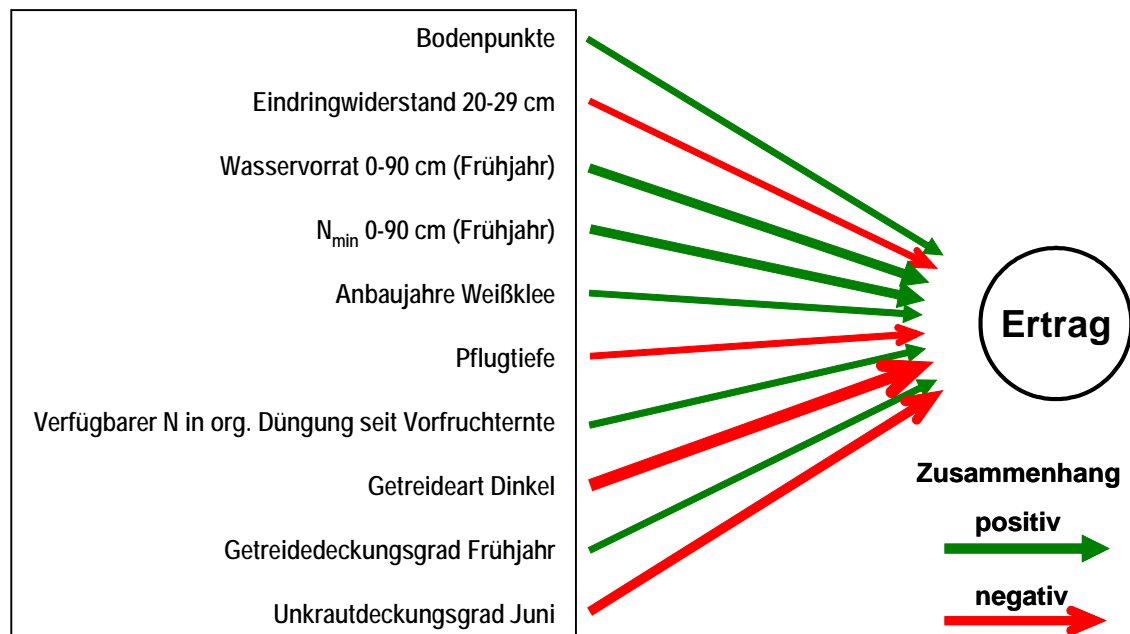
#### 4.1.6 Zusammenfassende Diskussion zu Getreide

Ziel der Praxiserhebungen auf den Getreideschlägen war die Ermittlung wesentlicher Ertragsfaktoren und die Klärung der Bedeutung dabei beteiligter Aspekte der Bodenfruchtbarkeit. Weiterhin sollten die ermittelten Ergebnisse anhand bestehender Erkenntnisse diskutiert werden.

Auf Basis der ermittelten Faktoren des Getreideertrags sollten Bewirtschaftungsmaßnahmen bzw. -systeme ermittelt werden, die - abhängig vom Standort - zur Erreichung bzw. Sicherung hoher Getreideerträge besonders beitragen. Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Bereich Getreide in Bezug auf die Ziele des Projektes diskutiert.

##### 4.1.6.1 Bedeutende Faktoren des Ertrags

Die multiple Regression des Ertrags der Getreidearten Winterweizen, Dinkel, Winterroggen und Triticale mit den erfassten Witterungs-, Boden-, Pflanzen- und Bewirtschaftungsparametern ergab eine Reihe besonders wesentlicher Faktoren der Ertragsvarianz (Abbildung 62). Diese Parameter wiesen auf den Praxisschlägen meist eine große Spannweite auf und können auf Bereiche hinweisen in denen eine Optimierung des Anbaus in der Ökolandbaupraxis möglich ist.



**Abbildung 62: Direkte Faktoren des Getreideertrags: im Regressionsmodell für den Messpunktertrag des Getreides aufgenommene Faktoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

Wie erwartet, hat die Getreideart den Ertrag wesentlich beeinflusst. Die Abstufungen der mittleren Erträge in der Praxiserhebung entsprechen den Abstufungen der Erträge der vier Getreidearten in den LfL-Sortenversuchen von 2009 bis 2011. Dort erreichte Dinkel (Spelzenanteil von 30 % abgezogen) im Mittel mit ca. 34 dt/ha den niedrigsten Ertrag, gefolgt von Winterroggen mit ca. 50 dt/ha, Winterweizen mit 56 dt/ha und Triticale mit 59 dt/ha (LfL, 2012). Bis auf die Ertragsunterschiede zwischen Weizen und Triticale waren alle Unterschiede signifikant (Tukey,  $p \geq 0,05$ ). Die Erträge in der Praxiserhebung lagen jedoch auf niedrigerem Niveau. Mit der Handernte wurden an den Messpunkten im Mittel ca. 90 % des in den LfL-Versuchen ermittelten Niveaus erreicht, die Betriebsleiterangaben über die Schlagserträge lagen bei knapp 70 %.

Als wesentlicher Faktor des Getreideertrags wurde bei der multiplen Regressionsanalyse nur der große Unterschied von Dinkel zu den anderen drei Getreidearten aufgenommen. Aber auch im Faktor Getreidedeckungsgrad im Frühjahr sind arttypische Unterschiede bzw. artbedingte Bewirtschaftungsunterschiede (z. B. früherer Saattermin bei Winterroggen) enthalten. Bei der Regressionsanalyse mit der Zielvariablen Getreidedeckungsgrad wurden die beiden Arten Dinkel und Weizen als Faktoren aufgenommen. Der Getreidedeckungsgrad dieser beiden Arten lag im Frühjahr im Mittel mit 17 % deutlich niedriger als der Wert bei Winterroggen und Triticale mit 27 %.

Der Unkrautdeckungsgrad im Frühjahr korrelierte positiv mit dem Getreidedeckungsgrad. Dieser Zusammenhang ist wahrscheinlich vor allem auf den gemeinsamen Faktor „verfügbare Vegetationszeit bis zur Bonitur“ und damit auf den Saattermin zurückzuführen.

Bei der Prüfung des Einflusses vom Unkrautdruck auf den Getreideertrag, zeigt sich, dass der Unkrautdeckungsgrad im Juni den negativen Effekt deutlich stärker abbildet als die Ergebnisse der Frühjahrsbonitur. Allerdings ist ein hoher Unkrautdruck im Frühjahr oft auch mit einer hohen Unkrautdeckung im Juni verbunden.

Ein deutlicher Einfluss der Ende Juni bonitierten Krankheiten und Schädlinge auf den Getreideertrag war bei der Praxiserhebung nicht zu erkennen.

Die Faktoren aus den Bereichen Witterung, Boden und Bewirtschaftung die direkt oder indirekt, z. B. über den Unkrautdruck oder die  $N_{\min}$ -Menge im Boden, auf den Ertrag wirken, werden in den folgenden Kapiteln diskutiert.

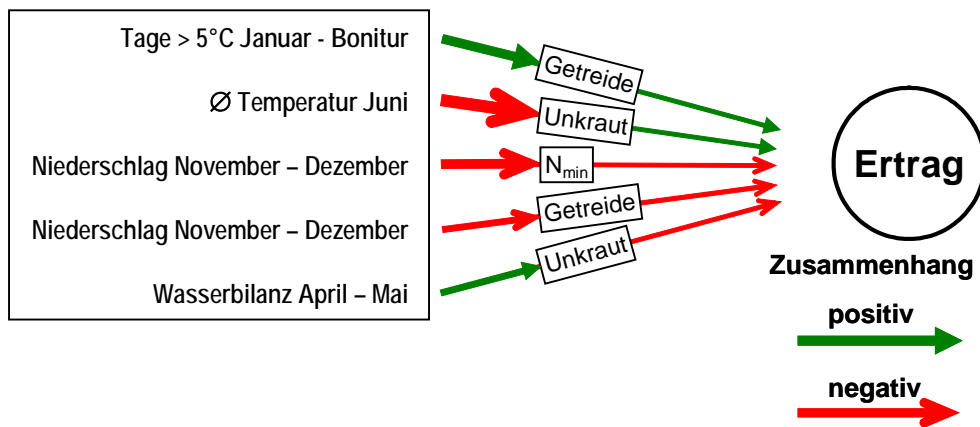
#### 4.1.6.2 Witterung

Der in der Praxiserhebung ermittelte Einfluss der Witterung auf den Getreideertrag war unerwartet gering. Direkte Effekte von Niederschlagshöhen, Temperaturverläufen oder Wasserbilanzen waren aus den Ergebnissen der multiplen Regressionsanalyse nicht ersichtlich obwohl eine Vielzahl von Witterungsparametern und diverse unterschiedliche Zeitabschnitte in die Auswertung einbezogen wurden. Die positive Korrelation von Niederschlagsmenge im Juni und Ertrag weist jedoch auf einen im Mittel leichten Effekt der Witterung hin. In der Literatur wird ein mit ähnlicher Methodik ermittelter Witterungseinfluss auf den Weizenertrag vor allem für die Niederschlagshöhe in ariden oder semiariden Regionen beschrieben (LIMON-ORTEGA & SAYRE 2012, LEILAH & AL-KHATEEB 2005, CAMPBELL, et al. 2004, SEIF & PEDERSON 1978). Untersuchungen in Schweden ergaben hingegen nur einen leicht positiven direkten Einfluss der Niederschlagsmenge im Juni auf den Weizenertrag (WIJK & EWALDZ 2009). In dieser Untersuchung werden jedoch stärkere indirekte Effekte von Niederschlagsverteilung und Temperaturverlauf auf den Ertrag über die Beeinflussung der Pilzkrankheiten beschrieben. In der vorliegenden Praxiserhebung war unter Anbaubedingungen des ökologischen Landbaus kein deutlicher Einfluss von Sprosskrankheiten auf den Ertrag zu erkennen und somit auch kein indirekter Einfluss der Witterung.

Die Ergebnisse der Praxiserhebung zeigen auch den bekannten negativen Einfluss, den extreme Witterungsereignisse wie Kahlfröste, Hagelschlag oder starke Sturm- und Niederschlagsereignisse auf den Getreideertrag haben können. Sieben der 122 Untersuchungsschläge winternten aufgrund von starkem Frost zu einem hohen Anteil aus, vor allem im Winter 2011/2012. Weitere drei Schläge wurden durch Hagelschlag stark geschädigt. Diese elf Schläge konnten nicht in die Auswertung mit einbezogen werden.

Indirekte Effekte der Witterung zeigten die Ergebnisse der Regressionsanalysen jedoch über die Beeinflussung des Getreide- und Unkrautdeckungsgrades sowie der  $N_{\min}$ -Menge im Boden (Abbildung 63).

Die Anzahl von Tagen mit einer Temperatur über 5°C vom Winter bis zur Frühjahrsbonitur hatte wie erwartet einen positiven Einfluss auf den Getreidedeckungsgrad im Frühjahr und damit indirekt auf den Ertrag. Ein Einfluss des Temperaturverlaufs in der Hauptvegetationsphase war nur auf das Unkraut nachweisbar. So wirkten sich hohe Temperaturen im Juni oft negativ auf den Unkrautdeckungsgrad in dem Monat aus. Dieser Effekt kann mit der Wasserkonkurrenz zwischen Getreide und Unkraut zusammenhängen.



**Abbildung 63: Indirekte Faktoren des Getreideertrags aus dem Bereich Witterung: in Regressionsmodellen für den Messpunktertrag des Getreides bzw. für die auf den Pfeilen gekennzeichneten Parameter Getreidedeckungsgrad im Frühjahr, Unkrautdeckungsgrad im Juni und  $N_{min}$ -Menge in 0-90 cm im Frühjahr aufgenommene Faktoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

Bekanntermaßen können hohe Niederschlagsmengen über Winter zu einer deutlichen Verlagerung mineralischen Ns im Boden führen. Der negative Zusammenhang von Niederschlagsmenge im Zeitraum November bis Dezember und der  $N_{min}$ -Menge im Frühjahr ist somit plausibel. Auch der damit zusammenhängende geringere Getreidedeckungsgrad im Frühjahr kann mit der geringeren N-Versorgung erklärt werden.

Während ein direkter Einfluss der Wasserbilanz (Differenz von Niederschlagsmenge und Evapotranspiration) in der Vegetationszeit auf den Getreideertrag nicht nachweisbar ist, zeigt sich jedoch ein positiver Effekt eines hohen Saldos auf das Unkraut.

Dass die Wasserversorgung für die Ertragsbildung eine wichtige Rolle spielt zeigt sich im Zusammenhang mit dem Wasservorrat im Boden im Frühjahr der die Wasserhaltefähigkeit des Bodens widerspiegelt (siehe nächstes Kapitel). Die Niederschlagsmenge ab Frühjahr hat, auch bei Betrachtung einzelner Monate, jedoch keine deutliche, durch die multiple Regressionsanalysen belegte Wirkung. Nur die Ergebnisse einer Korrelationsanalyse weisen auf einen leichten, positiven Effekt von hohen Niederschlagsmengen im Juni auf den Ertrag hin. Dieses Ergebnis passt zu dem von WIIK & EWALDZ (2009) beschriebenen Zusammenhang von Weizenertrag und Niederschlagsmenge im Juni in Südschweden. Eine Ursache für den unerwartet geringen Einfluss der Witterung auf den Getreideertrag kann die Überlagerung mit anderen, besonders im Ökolandbau limitierend wirkenden Faktoren, wie z. B. der N-Verfügbarkeit, sein.

#### 4.1.6.3 Boden

Die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse zeigen den großen Einfluss standortbedingter Bodeneigenschaften auf den Getreideertrag. Wesentliche Faktoren sind dabei die Bodenart, die Wasserhaltefähigkeit und die Tiefgründigkeit des Bodens (Abbildung 64). Als direkt auf den Ertrag wirkend wurden dabei die Anzahl Bodenpunkte und die Wasserhaltefähigkeit (Wasservorrat im Frühjahr) ermittelt. Obwohl eine Vielzahl von Bodenparametern in die Auswertung einbezogen wurde, konnte diese auch in Kombination den Faktor Bodenpunkte nicht ersetzen. Für den Ökolandbau scheint somit diese Bodenbewertung in Kombination mit der Wasserhaltefähigkeit des Bodens eine gute Grundlage für die Abschätzung

des Ertragspotentials eines Standortes zu sein. Während BECKMANN et al. (2001) bei Winterweizen von einem durchschnittlichen Ertragsanstieg von 0,5 dt/ha je Bodenpunkt ausgehen, wurde in den Praxiserhebungen ein mittlerer Weizenertrag je Bodenpunkt von 0,7 dt/ha ermittelt (vom Betriebsleiter angegebener Schlägertrag). Der von einzelnen Praktikern und Beratern im Ökolandbau angestrebte Wert von 1 dt/ha je Bodenpunkt wurde bei den Arten Winterweizen, Winterroggen und Triticale nur von 12 % der Schläge erreicht.

Der Eindringwiderstand in der Schicht 20 bis 29 cm beschreibt die Bodenstruktur im Bereich des Bodenbearbeitungshorizontes. Hohe Widerstände können somit auf verdichtete Bearbeitungssohlen hinweisen. Starke Bodenverdichtungen beeinflussen den Getreideertrag negativ (BAKKEN et al. 1987, RID & WEIGELT 1980). Die Praxiserhebungen zeigen, dass die Bodenstruktur in der Schicht 20 bis 29 cm einen deutlichen Einfluss auf den Getreideertrag hat. Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass auch im Ökolandbau Bodenverdichtungen ein wesentlicher negativer Faktor der Getreideerträge ist. Die Interaktion mit der Pflugtiefe ergibt, dass besonders bei flacher Bearbeitung, d. h. kleiner als 20 cm, ein höherer Eindringwiderstand negativ auf den Ertrag wirkt.

Die negativen Korrelationen zwischen Trockenrohdichte in 0 - 20 cm und dem Getreideertrag sowie der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr weisen zusätzlich auf einen negativen Effekt von Bodenverdichtungen in der Krume hin. Da jedoch die Trockenrohdichte eng mit dem Schluff- und dem Sandgehalt korreliert ist, kann der Zusammenhang zum Ertrag auch durch die Unterschiede in der Bodenart begründet sein. Zusammenhänge zwischen Ertrag und den Ergebnissen der Bodenstrukturbonitur von Krume und Unterboden wurden nicht gefunden.

Der negative Effekt hoher Ton- und Sandgehalte auf den Getreidedeckungsgrad im Frühjahr zeigt im Umkehrschluss den schon früh erkennbaren Vorteil schluffiger und damit meist hoch bewerteter Böden auf das Wachstum des Getreides (Abbildung 64). Der höhere Unkrautdeckungsgrad auf tonigen Böden kann mit der geringeren Konkurrenzskraft des Getreides auf solchen Standorten zusammenhängen.

Die im Mittel geringeren  $N_{\min}$ -Mengen im Frühjahr auf sandigen Böden, können mit dem höheren Verlagerungsrisiko über Winter (BEAUDOIN et al. 2005, SOGBEDJI et al. 2000, SIMMELSGAARD 1998) und den oft geringeren Gehalten an organischer Substanz leichter Böden zusammenhängen (siehe Kap. 4.1.7). Eine Vielzahl von  $N_{\min}$ -Untersuchungen auf Ackerflächen belegt, dass im Frühjahr auf leichten Böden im Mittel geringere  $N_{\min}$ -Mengen gefunden werden als auf schwereren Böden (z. B. Leiterer, 2010).

Anbausysteme im Ökolandbau sind weitgehend stickstofflimitiert. Der deutliche Effekt der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr auf den Getreideertrag (Abbildung 64) war deshalb zu erwarten. Positive Effekte hoher  $N_{\min}$ -Mengen im Frühjahr auf den Getreideertrag wurden auch bei SCHMIDT (1997) ermittelt. Obwohl davon auszugehen ist, dass die N-Versorgung des Getreides neben der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr und der direkten Düngung (siehe nächstes Kapitel) auch von der Mineralisation organischer gebundenen Boden-Ns in der Vegetationsphase abhängt, ist ein Zusammenhang vom Gehalt an organischer Substanz (OS) und dem Ertrag nur indirekt über die positive Beeinflussung der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr erkennbar. Da jedoch der Wasservorrat im Frühjahr eng mit OS korreliert, kann ein weiterer Einfluss von OS auf den Ertrag durch diesen Faktor überdeckt worden sein.

Zwischen der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr und dem zum gleichen Zeitpunkt ermittelten Getreidedeckungsgrad besteht ein enger Zusammenhang. Ein hoher Deckungsgrad ist meist mit geringeren  $N_{\min}$ -Mengen verbunden. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein dichter bzw. schon weiter entwickelter Getreidebestand mehr N aus dem Boden aufgenommen hat, als ein dünner oder noch in einem sehr frühen Stadium befindlicher Bestand. Im Mittel der untersuchten Schläge verringerte sich die  $N_{\min}$ -Menge in 0 - 90 cm um ca. 0,7 kg/ha je



Prozentpunkt Getreidedeckungsgrad. Ergebnisse der Korrelationsanalyse weisen darauf hin, dass aufgrund der arttypischen früheren Saat und vorwinterlichen Bestockung bei Winterroggen und Triticale ein höherer Getreidedeckungsgrad und geringere  $N_{\min}$ -Mengen im Frühjahr vorliegen als bei Winterweizen und Dinkel. Bei der Beurteilung von  $N_{\min}$ -Daten, die im Frühjahr unter Wintergetreide ermittelt werden, muss somit der Getreidedeckungsgrad bzw. die bis zum Beprobungstermin erfolgte N-Aufnahme berücksichtigt werden.

Mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse wurden neben N keine weiteren Bodennährstoffe als wesentliche Faktoren des Getreideertrags ermittelt. Einzelne Korrelationsergebnisse weisen darauf hin, dass höhere Gehalte an verfügbarem  $K_2O$ , Mg, B und S einen positiven Einfluss auf den Ertrag haben können. Diese Nährstoffgehalte hängen jedoch häufig eng mit der Bodenart zusammen, so dass eine eindeutige Zuordnung von Effekten problematisch ist. Auch waren die Korrelationen meist nicht sehr eng.

Da die Kationenaustauschkapazität (KAK) nicht in allen Jahren untersucht wurde, konnte sie nicht in die multiplen Regressionsanalysen einbezogen werden. Die Korrelationsanalyse war hierbei die einzige Methode zur Prüfung von Zusammenhängen. Eine positive Korrelation zum Ertrag wurde bei dem Verhältnis von Mg-KAK zu K-KAK gefunden. Die Auswertung des Streudiagramms zeigt, dass vor allem bei einem Verhältnis unter 1:1 häufig niedrigere Erträge auftreten. In der derzeit kontrovers diskutierten Methode zur Bodenanalyse und Düngeempfehlung nach Albrecht und Kinsey wird ein Verhältnis von 2:1 bis 6:1 angestrebt (KAMPHUIS, 2009, MACHÉ, undatiert). Ein Verhältnis von 2:1 oder größer wurde jedoch nur auf 10 % der untersuchten Schläge gefunden. Die Ergebnisse geben keinen Hinweis auf eine positive Wirkung von Verhältniswerten über 1:1. Einen Effekt der Verhältnisse von Mg-KAK und K-KAK zu Ca-KAK auf den Getreideertrag wurde nicht gefunden.

Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass auf vielen Standorten in der Ökolandbaupraxis neben Stickstoff andere Bodennährstoffe (gemessen als verfügbare Nährstoffe nach VDLUFA) nicht limitierend auf den Getreideertrag wirken.

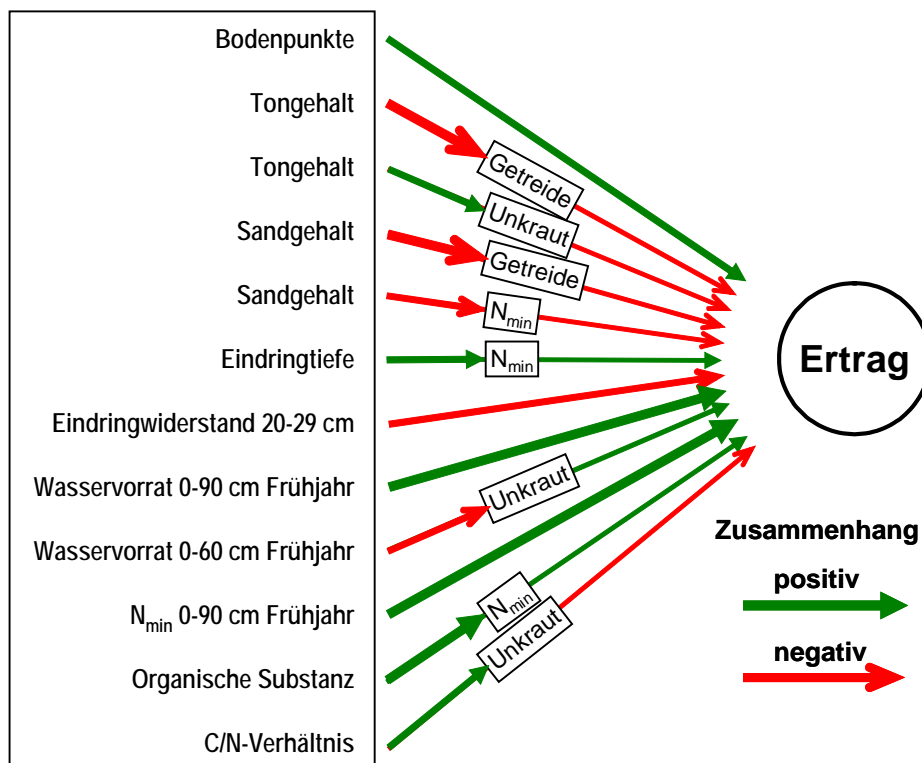
Für die organische Substanz im Boden wurden nur indirekte deutliche Einflüsse auf den Getreideertrag ermittelt (multiple Regressionsanalyse). Zum einen über die oben diskutierte positive Beziehung von OS und  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr und zum anderen über einen Zusammenhang vom C/N-Verhältnis mit dem Unkrautdeckungsgrad. Die Praxiserhebungen zeigen, dass Böden mit einem weiten C/N-Verhältnis häufiger einen höheren Unkrautdeckungsgrad aufweisen. Nach Ergebnissen von ALBRECHT & AUERSWALD (2003) kann dies mit der höheren Anzahl an Unkrautsamen im Boden auf weniger fruchtbaren Böden, d. h. unter anderem Böden mit weitem C/N-Verhältnis, begründet werden. Ergebnisse von Korrelationsanalysen weisen auch auf einen negativen Einfluss weiter C/N-Verhältnisse auf die  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr und den Ertrag hin. Neben der Unkrautwirkung kann hier auch die geringere N-Mineralisation bei weiten C/N-Verhältnissen der organischen Substanz im Boden eine Rolle spielen (MÜLLER-THOMSEN 1998, XU et al. 1996).

Ergebnisse der Korrelationsanalysen weisen auf einen positiven Zusammenhang vom Verhältnis der alkalischen Phosphataseaktivität zu  $C_{\text{mik}}$  mit dem Ertrag hin. Diese Korrelation kann mit der besseren Phosphorversorgung bei einer höheren Phosphataseaktivität im Boden zusammenhängen (TARAFDAR & CLAASSEN 1988).

Die ermittelten Korrelationen zwischen  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr und bodenbiologischen Quotienten sind hier nicht interpretierbar, da diese Quotienten (z. B.  $C_{\text{mic}}/C_{\text{org}}$ , Proteaseaktivität/ $C_{\text{mic}}$ ) eng mit OS korrelieren.



Insgesamt ist die Einschätzung möglicher Einflüsse von Menge und Qualität der organischen Substanz im Boden auf den Getreideertrag nicht eindeutig möglich, da alle Parameter eng mit der Bodenart zusammenhängen.



**Abbildung 64: Direkte und indirekte Faktoren des Getreideertrags aus dem Bereich Boden: in Regressionsmodellen für den Messpunktertrag des Getreides bzw. für die auf den Pfeilen gekennzeichneten Parameter Getreidedeckungsgrad im Frühjahr, Unkrautdeckungsgrad im Juni und  $N_{min}$ -Menge in 0-90 cm im Frühjahr aufgenommene Faktoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

#### 4.1.6.4 Bewirtschaftung

Mit Hilfe der multiplen Regressionsanalysen wurde eine Reihe direkt oder indirekt wirksamer Bewirtschaftungsfaktoren des Getreideertrags ermittelt (Abbildung 65). Die Effekte der unterschiedlichen Getreidearten wurden schon in Kap. 4.1.6.1 diskutiert.

Die langjährige Bewirtschaftungsgeschichte hat einen wesentlichen Einfluss auf den Getreideertrag. Bei dem mit der multiplen Regressionsanalyse ermittelten positiven Einfluss von Anbaujahren mit Weißklee im Zeitraum von 25 Jahren vor der Untersuchung wird davon ausgegangen, dass nicht die Kleeart Weißklee für den positiven Effekt verantwortlich ist. Ursprünglich wurde der Parameter Anbaujahre Weißklee für die Untersuchung der Fruchtfolgeproblematik in Bezug auf Erbse und Ackerbohne verwendet. Da Weißklee jedoch sowohl in den meisten Klee gras- und Luzernegrasmengen enthalten ist, als auch in Untersaaten Verwendung findet, ist er anscheinend ein guter Indikator für die Häufigkeit des Anbaus von feinsamigen Leguminosen. Versuchsergebnisse von SCHNEIDER et al. (2012) und SCHULZ (2012) belegen den positiven Effekt auf die Markfruchterträge durch Fruchtfolgen mit Klee gras im Vergleich zu Körnerleguminosen. Da bei den meisten Untersuchungsschlägen der Zeitraum ökologischer Bewirtschaftung deutlich unter 25 Jahren lag, beinhaltet der Parameter

Anbaujahre Weißklee (nur bei ökologischer Bewirtschaftung angebaut) auch den möglichen Effekt der Dauer seit Umstellung.

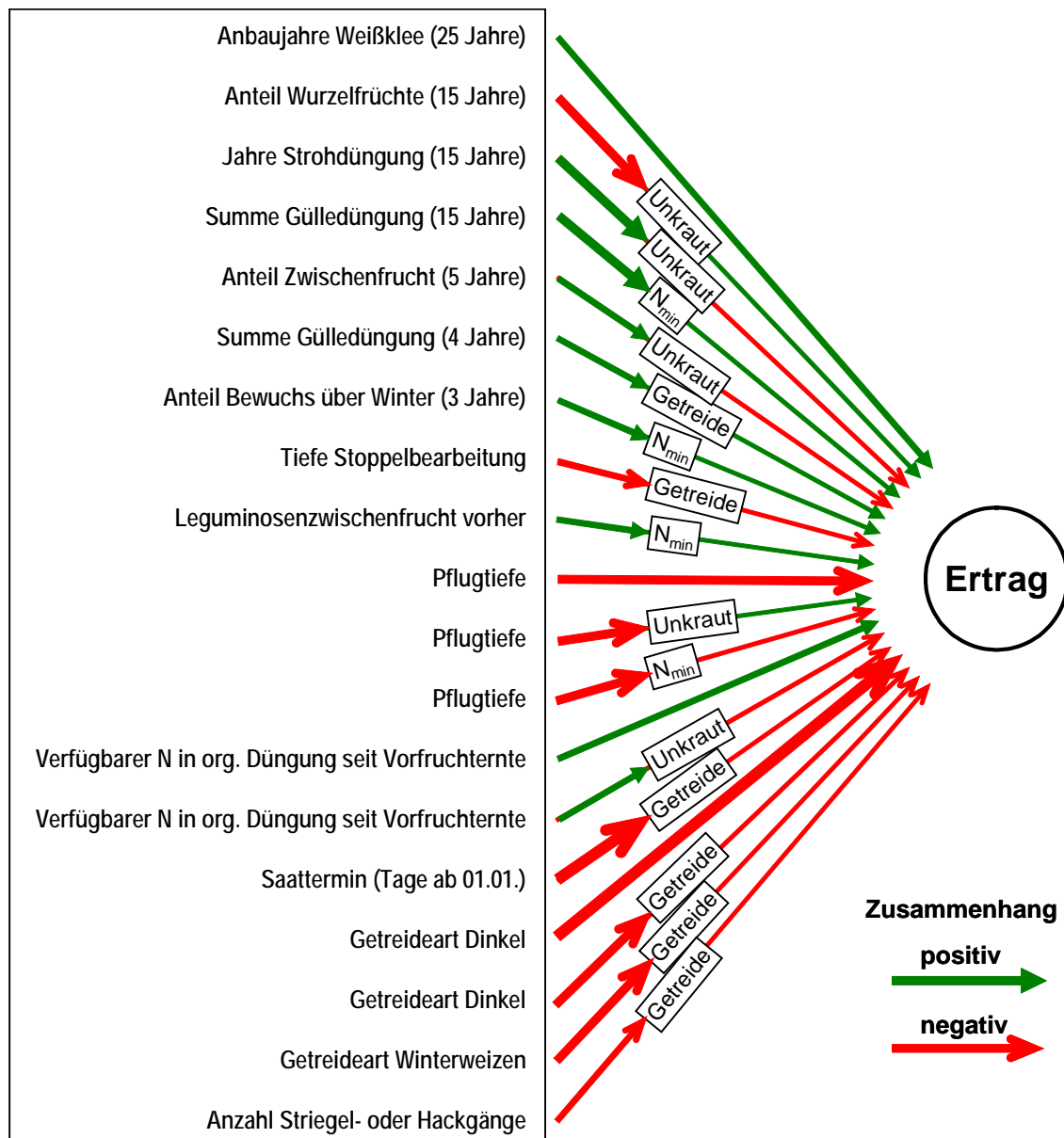
Auch über den Unkrautdruck wirken Faktoren der Bewirtschaftungsgeschichte auf den Getreideertrag. So ist bei einem großen Anbauanteil an Wurzel- und Knollenfrüchten mit einem geringeren Unkrautdeckungsgrad im Getreide zu rechnen. Andererseits ist bei häufiger Strohdüngung, d. h. auch einem hohen Getreideanteil in der Fruchtfolge, ein höherer Unkrautdruck zu erwarten. Dieser Effekt zeigte sich auch schon in Ackerbohnen (siehe Kap. 4.1.3.5). Auch bei häufigem Zwischenfruchtanbau in fünf Jahren vor der Untersuchung trat ein höherer Unkrautdruck auf. Dies kann mit der dann geringeren Stoppelbearbeitungsintensität zusammenhängen.

Ergebnisse der Korrelationsanalysen weisen darauf hin, dass der Unkrautdeckungsgrad mit zunehmendem Abstand zum vorherigen Klee- oder Luzernegras geringer wird. Dies ist erstaunlich, da im Ökolandbau davon ausgegangen wird, dass der Klee-Grasanbau Unkräuter sehr wirksam unterdrückt (KOLBE et al. 2006). Der hier gefundene Effekt kann zum Teil dadurch erklärt werden, dass auf Schlägen mit hohem Kartoffelanteil häufig wenig oder kein Klee-Gras angebaut wird und somit der unkrautunterdrückende Effekt der Hackfrucht Kartoffel mit zum Tragen kommt. Eine deutliche Reduzierung des Unkrautdrucks in Wintergetreide ist jedoch weder bei geringem Abstand zum letzten Klee-Gras noch bei häufigem Klee-Grasanbau zu erkennen.

Auch die Entwicklung der Vorfrucht (Erbse oder Ackerbohne) kann einen Effekt auf den Unkrautdruck haben. So weisen Ergebnisse der Korrelationsanalysen auf einen positiven Zusammenhang vom Unkrautdeckungsgrad in den Leguminosen mit dem Unkrautdeckungsgrad im Frühjahr des folgenden Wintergetreides hin.

Ein häufiger Bewuchs über Winter (Winterhauptfrucht oder nicht umgebrochene Zwischenfrucht) und langfristig hohe Mengen an Gülle wirken vor allem über höhere  $N_{\min}$ -Mengen im Frühjahr positiv auf den Getreideertrag (Abbildung 65). Eine Güllendüngung, durchschnittlich mit 1 bis 20 m<sup>3</sup>/ha Gülle pro Jahr, erfolgte jedoch nur auf 40 % der Untersuchungsschläge. Das langfristige Güllendüngungsniveau machte sich schon im Getreidedeckungsgrad im Frühjahr bemerkbar.

Ein positiver Ertragseffekt einer langfristigen Mistdüngung (auf 60 % der Schläge,  $\varnothing$  0,5 – 10 t/(ha\*Jahr)) war hingegen nicht erkennbar. In Feldversuchen wurden von ZALLER & KÖPKE (2004) bei einer jährlichen Düngung von 30 t/ha Rindermist jedoch eine mittlere Ertragssteigerung der nichtlegum. Marktfrüchte von 13 % ermittelt. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Ertragseffekte in der Praxiserhebung aufgrund des relativ geringen Düngenniveaus nicht nachweisbar waren.



**Abbildung 65: Direkte und indirekte Faktoren des Getreideertrags aus dem Bereich Bewirtschaftung: in Regressionsmodellen für den Messpunktertrag des Getreides bzw. für die auf den Pfeilen gekennzeichneten Parameter Getreidedeckungsgrad im Frühjahr, Unkrautdeckungsgrad im Juni und  $N_{min}$ -Menge in 0-90 cm im Frühjahr aufgenommene Regressoren, die Pfeildicke beschreibt den Anteil an der erklärten Varianz**

Die Tiefe der vorherigen Stoppelbearbeitung hat, anders als bei den untersuchten Körnerleguminosen, keinen deutlichen Effekt auf den Unkrautdeckungsgrad im Getreide. Nur eine leichte negative Korrelation weist auf eine geringe Unkrautwirkung hin. In der multiplen Regressionsanalyse zeigt sich jedoch ein negativer Effekt einer intensiveren Stoppelbearbeitung auf den Ertrag über geringere Getreidedeckungsgrade im Frühjahr (Abbildung 50). Dieser Effekt kann damit zusammenhängen, dass auf Betrieben mit intensiver Stoppelbearbeitung auch häufiger tiefer gepflügt wird. Der insgesamt lockerere Boden kann zu einem schlechteren Feldaufgang und höheren Auswinterungsverlusten führen (GEISLER 1980).

Die Art der Leguminosenvorfrucht hatte in den Praxiserhebungen keinen deutlichen direkten Effekt auf das nachfolgende Getreide. In der Literatur werden unterschiedliche Effekte beschrieben. Während STRYDHORST et al. (2008) nach Erbsen höhere Getreideerträge als nach

Ackerbohnen fanden, lagen diese bei ELWARAKY & HAUNOLD (1990) auf gleichem Niveau. Auch ein Zusammenhang von Vorfrucht- und Getreideertrag zeigt sich in der Praxiserhebung nicht. Allerdings weist die positive Korrelation von Getreideertrag und Bestandeshöhe der Körnerleguminose Ende Juni auf einen positiven Effekt einer hohen Leguminosenbiomasse hin. Auch eine Leguminosenzwischenfrucht nach der Vorfrucht hatte in der Praxiserhebung eine deutlich positive Wirkung auf die  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr und damit auf den Getreideertrag. Da eine Zwischenfrucht nur nach der früher erntbaren Erbse angebaut wurde ist damit ein indirekter Einfluss der Leguminosenart vorhanden.

Mit zunehmender Pflugtiefe ist wie bei den Körnerleguminosen auch im Wintergetreide mit einem geringeren Unkrautdruck zu rechnen. Allerdings ist diese auch mit geringeren  $N_{\min}$ -Mengen im Frühjahr verbunden. Insgesamt ist der Effekt einer größeren Pflugtiefe auf den Getreideertrag innerhalb der Spanne von 10 bis 30 cm negativ (Abbildung 65). Auch BAKKEN et al. (2009) fanden bei 25 cm Pflugtiefe im Vergleich zu 15 cm einen geringeren Unkrautdruck, jedoch verbunden mit höheren Getreideerträgen. Die Versuche wurden mit Sommergetreide durchgeführt. Die Interaktion von Pflugtiefe und Eindringwiderstand in 20 - 29 cm weist darauf hin, dass der positive Effekt einer geringeren Pflugtiefe nur auftritt wenn unterhalb 20 cm keine Schadverdichtungen vorhanden sind.

Interessant sind diese Ergebnisse vor allem vor dem Hintergrund einer Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität im Ökolandbau. Im Gegensatz zu einer Verringerung des Getreideertragsniveaus bei vielen Systemen reduzierter Bodenbearbeitung (siehe nächstes Kapitel), kann bei einer Verringerung der Pflugtiefe von stabilen Erträgen ausgegangen werden.

Ein früher Saattermin hatte bei allen geprüften Wintergetreidearten eine positive Wirkung auf den Getreidedeckungsgrad im Frühjahr und damit indirekt auf den Ertrag. Die Saattermine variierten bei Winterroggen vom 09. September bis zum 23. Oktober bei Triticale vom 20. September bis zum 13. Oktober, bei Dinkel vom 23. September bis zum 15. November und Winterweizen vom 27. September bis zum 20. November. Bei der Prüfung von Streudiagrammen war ein direkter positiver Einfluss auf den Ertrag vor allem bei Winterroggen und Triticale zu erkennen. Während der Unkrautdeckungsgrad im Frühjahr bei früher Saat oft etwas höher lag, zeigte sich kein Einfluss auf den Unkrautdeckungsgrad im Juni.

Neben den langfristigen positiven Effekten der Düngung mit Gülle auf den Ertrag hatte auch die kurzfristige Zufuhr organischer Düngemittel einen positiven Effekt. Die seit Vorfruchternte mit organischen Düngemitteln zugeführte N-Menge, die innerhalb der Vegetationsperiode verfügbare wird (Schätzung), hatte einen deutlich positiven Einfluss auf die Getreideerträge der Untersuchungsschläge. Dieses Ergebnis zeigt noch einmal die große Bedeutung der N-Ernährung bei der Ertragsleistung nichtlegumer Marktfrüchte im Ökolandbau. Durch eine hohe Zufuhr an verfügbarem N wird jedoch auch das Unkraut gefördert.

Nach BECKMANN et al. (2001) kann durch Striegeln von Getreide eine Reduzierung der Unkräuter je nach Bodenart und Pflanzenart bei 20 bis 60 % liegen. Allerdings wird für Wintergetreide die Verfügbarkeit idealer Einsatztermine problematisch gesehen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen bei Erbse und Ackerbohne konnte in der Praxiserhebung ein Einfluss der Anzahl direkter Unkrautregulierungsmaßnahmen – Striegel und in wenigen Fällen Hacke – auf den Unkrautdeckungsgrad im Juni nicht festgestellt werden. Es wurde sogar ein negativer Effekt auf den Getreidedeckungsgrad im Frühjahr ermittelt. Auch bei LEBLANC & CLOUTIER (2004) reduzierten Striegelmaßnahmen die Bestandesdichte von Weizen deutlich. Das Striegeln hatte dort keinen oder einen leicht negativen Effekt auf den Ertrag.

#### 4.1.6.5 Bodenbearbeitung

Für einen Vergleich der Getreideerträge von den Untersuchungsschlägen der Praxiserhebung mit Ergebnissen aus einem Forschungsprojekt zu reduzierter Bodenbearbeitung im Ökolandbau (SCHMIDT 2010) wurde der Einfluss unterschiedlicher Bodenqualität der Schläge und der verschiedenen Getreidearten mit Hilfe der multiplen Regression ausgeglichen. Gegenüber dem Pflugsystem ist nach diesen Ergebnissen bei reduzierter Bodenbearbeitung im Ökolandbau durchschnittlich mit einem um 13 % geringeren Getreideertrag zu rechnen. Ein Unterschied zwischen reduzierten Systemen mit krumentiefer Lockerung und mit ausschließlich flacher Bearbeitung (bis max. 15 cm) ist dabei nicht zu erkennen. Die Ertragsreduktion ist vergleichbar mit Werten, die aus Feldversuchen für nicht wendende Bearbeitungsverfahren im Ökolandbau ermittelt wurden (SCHMIDT 2010; 8 Versuche: 6 – 24 %, Ø 13 %). Auf einigen Schlägen konnten jedoch auch mit reduzierter Bodenbearbeitung Erträge erzielt werden, die über dem Durchschnitt des Pflugsystems lagen. Es scheint somit möglich durch Optimierung des Anbaus die Ertragsdifferenz zwischen Systemen reduzierter Bodenbearbeitung und dem Pflugsystem zu verringern.

Der Vergleich des Unkrautdeckungsgrads von den Untersuchungsschlägen mit Ergebnissen aus dem Forschungsprojekt zu reduzierter Bodenbearbeitung (SCHMIDT 2010) ergeben eine mittlere Erhöhung des Unkrautdeckungsgrad auf mehr als das Doppelte bei reduzierter Bodenbearbeitung. Zwar wurden zum Teil unterschiedliche Jahre verglichen und auch die Anzahl Schläge mit reduzierter Bodenbearbeitung war deutlich geringer als die mit Pflugsystem, die sehr deutlichen Unterschiede lassen jedoch auf starke Bodenbearbeitungseffekte auf den Unkrautdruck schließen. Auch in vielen anderen Untersuchungen wurde ein höherer Unkrautdruck bei reduzierter Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflug ermittelt (SCHMIDT & CHRISTEN 2010). So fanden DITTMANN & ZIMMER (2010) eine Steigerung des Unkrautdeckungsgrads in Getreide vom Pflug-System zu einem Grubber-System um den Faktor 1,3 bis 1,8 und bei Körnerleguminosen sogar bei bis zu 4,8. Die Ergebnisse der vorliegenden Praxiserhebung zeigen den deutlichen Einfluss des Unkrautdeckungsgrades im Juni auf den Ertrag. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass eine wesentliche Ursache der oft geringeren Getreideerträge bei reduzierter Bodenbearbeitung im Ökolandbau der höhere Unkrautdruck ist.

Für eine umfassendere vergleichende Bewertung von Bodenbearbeitungssystemen müssen jedoch auch die Vorteile einer reduzierten Bodenbearbeitungsintensität berücksichtigt werden (SCHMIDT 2010). So kann z. B. der Energieverbrauch und die Erosionsgefahr deutlich gesenkt und das Bodenleben gefördert werden. Weiterhin muss beachtet werden, dass viele der Bearbeitungssysteme mit reduzierter Intensität relativ jung sind und noch ständig weiter entwickelt werden. Für die Zukunft können somit optimierte Systeme erwartet werden, vor allem wenn diese Entwicklung durch Forschung und Beratung intensiv unterstützt wird.

#### 4.1.6.6 Erfolgreicher Getreideanbau nach Körnerleguminosen

Die Ergebnisse der Praxiserhebungen haben gezeigt, dass auf Ökobetrieben die Getreideerträge nach Körnerleguminosen hauptsächlich durch die Standortbedingungen, die Stickstoffversorgung und den Unkrautdruck beeinflusst werden. Im Folgenden sind die wesentlichen Einflussgrößen und wichtige Steuerungsmöglichkeiten durch die Bewirtschaftung zusammengefasst aufgeführt:



### > Bodenqualität:

- Der Getreideertrag hängt wesentlich von den Bodenbedingungen des Standortes ab. Die Anzahl Bodenpunkte ist dafür ein wichtiges Kriterium. Erhebungen auf Ökobetrieben haben gezeigt, dass bei einer Differenz von 10 Bodenpunkten mit einem durchschnittlichen Ertragsunterschied von 7 dt/ha zu rechnen ist.
- Einen positiven Effekt auf den Ertrag hat eine große Wassermenge, die nach dem Winter im Boden gespeichert ist. Diese Größe hängt stark von der Bodenart und der Tiefgründigkeit des Bodens ab. Auf Praxisschlägen wurden Werte von 80 bis 320 l/m<sup>2</sup> in 0 bis 90 cm Tiefe gemessen.
- Böden mit hohen Ton- oder Sandgehalten zeigen oft schon im Frühjahr eine schlechtere Pflanzenentwicklung als schluffreiche Böden.
- Verdichtungen im Bearbeitungshorizont (zwischen 20 und 30 cm) wirken sich negativ auf den Ertrag aus. Maßnahmen zur Verhinderung von Verdichtungen wie z. B. leichte Maschinen, breite Bereifung, niedriger Reifeninnendruck und keine Bearbeitung bei zu feuchten Bodenbedingungen können positiv auf den Ertrag wirken.

### > Stickstoffversorgung:

- Die Höhe des Getreideertrags hängt wesentlich von der N<sub>min</sub>-Menge im Frühjahr ab. Auf tiefgründigen Böden mit geringem Sandanteil und hohem Humusgehalt mit einem engen C/N-Verhältnis sind hohe N<sub>min</sub>-Mengen zu erwarten. Bei einem großen Anteil an Wintern mit Pflanzenbestand (Winterfrüchte, Klee gras, Zwischenfrüchte) sind die N<sub>min</sub>-Mengen meist höher als bei häufiger Schwarzbrache über Winter. Mit zunehmender Pflugtiefe sind die N<sub>min</sub>-Mengen im Frühjahr eher geringer.
- Langfristig wirkt sich ein hoher Anteil an feinsamigen Leguminosen (Klee- oder Luzernegrass, Kleeuntersaaten) in der Fruchtfolge positiv auf den Ertrag aus. Ein wesentlicher Grund dafür ist wohl die hohe N-Fixierleistung dieser Leguminosen.
- Auch die Anwendung organischer N-Düngemitteln kann den Ertrag steigern. In der Praxiserhebung konnte ein positiver Effekt sowohl der langjährig als auch der zum Getreide ausgebrachten Gülledüngung ermittelt werden. Einen deutlichen Einfluss moderater Mistdüngung auf den Ertrag war hingegen nicht nachzuweisen.
- Eine große Bestandeshöhe – und nicht ein hoher Ertrag – der vorherigen Körnerleguminose sowie der Anbau einer Leguminosenzwischenfrucht nach deren Ernte führen oft zu einer höheren N-Versorgung des folgenden Getreides. Auf den untersuchten Schlägen wurde als Zwischenfrucht meist eine Körnerleguminose gesät und der Aufwuchs der Auflaufkörner genutzt. Zwischenfrüchte wurden aufgrund des späteren Erntetermins bei Ackerbohnen nur nach Erbsen angebaut.



### >Unkrautdruck:

- Die Verunkrautung hat einen starken negativen Effekt auf den Getreideertrag. In der Praxiserhebung wurde bei einem um 10 % höheren Unkrautdeckungsgrad im Juni im Mittel 2 dt/ha weniger Ertrag ermittelt.
- Ein hoher Unkrautdruck ist vor allem auf weniger fruchtbaren Böden zu finden, d. h. bei einem weiten C/N-Verhältnis des Humus und / oder bei hohen Ton- oder Sandanteilen.
- Die langfristige Bewirtschaftungsgeschichte hat einen großen Einfluss auf den Unkrautbesatz. Ein hoher Unkrautdeckungsgrad im Juni trat vor allem auf Schlägen mit einem geringen Anteil an Wurzel- und Knollenfrüchten, einem hohen Anteil an Getreide bzw. Jahren mit Strohdüngung und häufigem Zwischenfruchtanbau auf. Der Zusammenhang zum Zwischenfruchtanbau kann mit der dann weniger intensiven Stoppelbearbeitung zusammenhängen.
- Der Unkrautdruck im Getreide nimmt mit zunehmender Tiefe des vorherigen Pflügens ab (zwischen 15 und 30 cm).
- Der mit organischen Düngemitteln zum Getreide ausgebrachte verfügbare N fördert neben dem Getreide auch das Unkraut.
- Die Intensität der direkten Unkrautregulierung hat keinen deutlichen Effekt auf den Unkrautdruck. Auf Schlägen mit häufigem Striegeleinsatz (selten auch Hacke) trat im Mittel der Praxiserhebung nicht weniger Unkraut auf, als auf wenig oder nicht gestriegelten Flächen. Der häufig geringere Getreidedeckungsgrad lässt sogar auf eine Schädigung des Bestandes durch die Maßnahmen schließen.

>Bei der Bodenbearbeitung vor der Saat hat eine geringere Pflugtiefe im Bereich von 10 bis 30 cm keinen negativen Effekt auf den Getreideertrag. In der Praxiserhebung wurde sogar ein positiver Effekt flacheren Pflügens ermittelt wenn unterhalb des Bearbeitungshorizonts keine Schadverdichtungen vorlagen. Ein für die jeweilige Getreideart früher Saattermin war meist mit höheren Erträgen verbunden.

>Keinen großen Einfluss auf den Getreideertrag hatten die Mineralnährstoffgehalte im Boden und der Befall mit Krankheiten.

- In der Ökopaxis ist bei mittlerem Ertragsniveau kein Effekt der Gehalte an verfügbaren Makro- und Mikronährstoffen auf den Getreideertrag zu erwarten wenn diese mindestens in der Versorgungsstufe B liegen.
- Bis auf zwei Getreidebestände mit Braunrost an Roggen bzw. Weizen wurde bei der Untersuchung von 115 Schlägen kein nennenswerter Befall mit Pilzkrankheiten festgestellt.

Insgesamt ergaben die Praxiserhebungen mit den durch die Bewirtschaftung beeinflussbaren Faktoren N-Versorgung und Unkrautdruck keine neuen wesentlichen Faktoren des Getreideertrags. Es wird jedoch deutlich, dass in der Ökolandbaupraxis oft Optimierungsmöglichkeiten bestehen, um die N-Versorgung zu verbessern und den Unkrautdruck zu senken. Wichtig erscheint es vor allem an einer Steigerung der Effektivität der direkten Unkrautregulierung zu arbeiten.

## 4.1.7 Ergebnisse zu Bodeneigenschaften

Viele Bodeneigenschaften haben einen großen Einfluss auf die Ertragsbildung der Kulturpflanzen und auf die bodenökologischen Funktionen. In den Kapiteln 4.1.1 4.1.3 und 4.1.5 wurden Zusammenhänge der untersuchten Erbsen-, Ackerbohnen- und Getreideerträge mit bodenphysikalischen, -chemischen und -biologischen Parametern aufgezeigt. Im Folgenden wird der Einfluss der Bewirtschaftung auf ausgewählte Bodenparameter geprüft. Dabei muss berücksichtigt werden, dass viele Bodeneigenschaften sehr stark durch die Standortvoraussetzungen, z. B. das Ausgangsgestein, die Grundwasserentfernung, die Bodenart und das Klima geprägt sind. Auch die mehr als 25 Jahre zurückliegende langfristige Bewirtschaftungsgeschichte, die im Rahmen des Projektes nicht erfasst wurde, wie z. B. die Dauer und Intensität der Ackernutzung, können dabei eine große Rolle spielen.

### 4.1.7.1 Bodenstruktur

Im Rahmen der Bodenuntersuchungen wurden eine Reihe bodenphysikalischer Parameter ermittelt. In Tabelle 66 ist eine Auswahl von Messgrößen, die die Bodenstruktur beschreiben aufgeführt. Für die weitere statistische Analyse wurden Schläge mit über 40 % Ton und andere Extremwerte ausgeschlossen, so dass von den insgesamt 156 Schlägen maximal 144 Schläge einbezogen wurden. Bei einzelnen Parametern reduziert sich die Anzahl noch, da diese nicht auf allen Schlägen ermittelt wurden.

**Tabelle 66: Kenngrößen ausgewählter Bodenstrukturparameter (SD: Standardabweichung)**

Parameter	Ø	Min.	Max.	SD
Bonitur Krumenstruktur (1 gut, 5 schlecht)	2,3	1,5	3,7	0,4
Bonitur Unterbodenstruktur (1 gut, 5 schlecht)	3,3	2,3	4,5	0,4
Eindringwiderstand 20-29 cm [MPa]	1,13	0,30	2,60	0,50
Eindringwiderstand 30-39 cm [MPa]	1,95	0,75	4,67	0,79
Luftkapazität (Körnerleguminosen Bearbeitungshorizont) [Vol.%]	10,3	3,9	24,4	4,4
Nutzbare Feldkapazität (Körnerleg. Bearbeitungshorizont) [Vol.%]	20,0	10,0	28,7	4,0
Luftkapazität (Körnerleguminosen Unterboden) [Vol.%]	11,1	4,3	26,6	5,4
Nutzbare Feldkapazität (Körnerleguminosen Unterboden) [Vol.%]	19,1	9,2	30,5	5,1
Trockenrohdichte 0-20 cm (Getreide) [g/cm <sup>3</sup> ]	1,40	1,14	1,60	0,10

Die auf den Untersuchungsschlägen erfassten Bodenstrukturparameter standen in engem Zusammenhang mit der standortabhängigen Korngrößenverteilung, d. h. der Bodenart. Die Parameter aus dem Bereich der Krume wurden zusätzlich oft vom Gehalt an OS und in einigen Fällen von der Witterung oder dem Klima beeinflusst. Der Einfluss der im Projekt erfassten Bewirtschaftung war im Vergleich dazu gering. Da nur in wenigen Fällen plausible Regressionsmodelle mit Standort- und Bewirtschaftungsparametern ermittelt werden konnten, wurde in einem ersten Schritt auf die Einbeziehung von Bewirtschaftungsparametern verzichtet (Tabelle 67).

Die relativ hohen R<sup>2</sup>-Werte bei der Regressionsanalyse von Trockenrohdichte und anderen Porenvolumenparametern zeigen in Verbindung mit den Beta-Werten den großen Einfluss der Bodenart und von OS. Beim Eindringwiderstand ergab sich nur ein deutlicher Einfluss der

Korngrößenverteilung, allerdings bei niedrigeren R<sup>2</sup>-Werten. Die Varianz der Strukturboniturwerte von Krume und Unterboden wurde hingegen nur zu einem geringen Teil durch Bodenart und OS erklärt.

Zur Prüfung von Bewirtschaftungsfaktoren wurden in einem zweiten Schritt die ermittelten Regressoren (Tabelle 67) in einer partiellen Korrelationsanalyse als Kontrollvariablen verwendet.

**Tabelle 67: Ergebnisse multipler Regressionsanalysen von Bodenstrukturparametern mit Standortparametern: R<sup>2</sup>, Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.)**

Zielparameter/Faktor	Beta	Sig.	Zielparameter/Faktor	Beta	Sig.
<b>Bonitur Krumenstruktur R<sup>2</sup> 0,15</b>			<b>Körnerleguminosen Bearbeitungshorizont</b>		
Ø Temperatur Januar – März	-0,17	0,07	Luftkapazität R <sup>2</sup> 0,59		
Tongehalt	-0,46	0,00	Tongehalt	-0,50	0,00
Organische Substanz	0,22	0,05	Schluffgehalt	-0,42	0,00
<b>Bonitur Unterbodenstruktur R<sup>2</sup> 0,23</b>			<b>Nutzbare Feldkapazität R<sup>2</sup> 0,57</b>		
Tage < -10°C November – März	0,20	0,03	Tongehalt	-0,77	0,00
Niederschlag Januar – März	-0,25	0,01	Schluffgehalt	0,75	0,00
Tongehalt	-0,18	0,06	Organische Substanz	0,54	0,00
Grobschluffgehalt	0,33	0,00	Körnerleguminosen Unterboden		
<b>Eindringwiderstand 20-29 cm R<sup>2</sup> 0,21</b>			<b>Luftkapazität R<sup>2</sup> 0,60</b>		
Niederschlag Dezember - Februar (Ø 25 Jahre)	0,17	0,03	Tongehalt	-0,51	0,00
Tongehalt	-0,23	0,05	Schluffgehalt	-0,47	0,00
Feinsandgehalt	-0,32	0,00	<b>Nutzbare Feldkapazität R<sup>2</sup> 0,50</b>		
Mittelsandgehalt	0,35	0,00	Tongehalt	-0,62	0,00
<b>Eindringwiderstand 30-39 cm R<sup>2</sup> 0,41</b>			<b>Schluffgehalt</b>		
Tongehalt	-0,37	0,00		<b>0,66</b>	<b>0,00</b>
Mittelsandgehalt	0,32	0,00	Organische Substanz	0,32	0,00
			<b>Getreide Krume</b>		
			<b>Trockenrohdichte 0-20 cm Getreide R<sup>2</sup> 0,59</b>		
			Ø Temperatur Januar – März	0,27	0,00
			Schluffgehalt	-0,70	0,00
			Mittelsandgehalt	-0,40	0,01
			Organische Substanz	-0,51	0,00

Auf Basis der erfassten bodenphysikalischen Parameter wird ein positiv zu bewertender Boden wie folgt definiert:

- › Eine hohe Luftkapazität im Bodenbearbeitungshorizont und Unterboden – hoher Grobporenanteil, geringe Schadverdichtungen.
- › Geringe Differenz der Luftkapazität zwischen Bodenbearbeitungshorizont und Unterboden – keine bzw. kaum verdichtete Bearbeitungssohle.
- › Geringe Trockenrohdichte der Krume – hohes Porenvolumen.
- › Geringer Eindringwiderstand im Bereich von 20 bis 39 cm – keine bzw. geringe Verdichtungen im Bearbeitungshorizont.

Die partiellen Korrelationskoeffizienten von Bewirtschaftungsfaktoren mit bodenphysikalischen Parametern (Tabelle 68) weisen auf wesentliche Faktoren des Bodenzustandes hin (- negativer Einfluss, + positiver Einfluss):

- › Reifenbreite (+)
- › Hoher Anbauanteil an Leguminosen allgemein (+), Luzerne (+) und Körnerleguminosen (+)
- › Vorfrucht Ackerbohnen (+), Vorfrucht Erbse (-)
- › Hoher Anbauanteil Wurzelfrüchte (-), Mais (-), Zwischenfrüchte (-)
- › Gülledüngung (-), Mistdüngung (+)

Zum Faktor Häufigkeit von Strohdüngung gab es widersprüchliche Ergebnisse, sowohl einen negativen Zusammenhang zur Luftkapazität als auch zum Eindringwiderstand. Auch der Einfluss der Schlepper-PS-Stärke und des Innendrucks der Schlepperbereifung auf die Bodenstruktur war nicht eindeutig.

Eine hohe nutzbare Feldkapazität kann aus Sicht des Wasserhaushalts prinzipiell positiv bewertet werden. Zusammenhänge mit den Bewirtschaftungsfaktoren Jahre Luzerne, Anteil Zwischenfruchtanbau und Summe Gülledüngung zeigen jedoch, dass die höhere nutzbare Feldkapazität z. T. mit niedrigerer Luftkapazität verbunden war. Es kann daraus geschlossen werden, dass bei Verdichtungseffekten die Porendurchmesser verringert werden und dadurch die nutzbare Feldkapazität auf Kosten der Luftkapazität gesteigert wird. Eine Bewertung hinsichtlich der resultierenden Bodengüte ist nur bei Betrachtung der Einzelfälle sinnvoll.

**Tabelle 68: Koeffizienten signifikanter partieller Korrelationen von Bodenstrukturparametern mit Bewirtschaftungsgrößen (Regressoren aus Tabelle 67 als Kontrollvariablen)**

Faktor	LA	LB	LD	NA	NB	ND	TD	KS	US	EA	EB
PS Ackerschlepper			0,29							-0,16	-0,15
Reifeninnendruck A.-Schlepper			-0,26								0,17
Reifenbreite Ackerschlepper	0,27						-0,27				-0,21
Pflugtiefe						-0,28		0,22			
Abstand Klee gras					0,22	-0,31					
Anteil Leguminosen (5 Jahre)		0,22					-0,16	0,21			
Jahre Luzerne (25 Jahre)	0,34	0,30		-0,23							
Abstand Körnerleguminosen				-0,29	-0,24						
Jahre Körnerleg. (25 Jahre)									0,22	-0,18	
Anteil Körnerleg. (15 Jahre)								0,20	0,24		
Vorfrucht Ackerbohne									0,20	-0,20	
Anteil Wurzelfrüchte (15 Jahre)					0,24	-0,29					
Anteil Wurzelfrüchte (5 Jahre)							0,23				
Anteil Mais (15 Jahre)	-0,20	-0,23	0,24								
Anteil Zwischenfr. (15 Jahre)	-0,34	-0,24	0,24	0,32							
Jahre Strohdüngung (10 Jahre)	-0,25	-0,22					-0,23			-0,20	-0,22
Summe Mistdüngung (10 Jahre)	0,25	0,19									
Summe Gülledüngung (10 J.)	-0,21		-0,19	0,27	0,23						
Summe Gülledüngung (3 Jahre)							0,33				

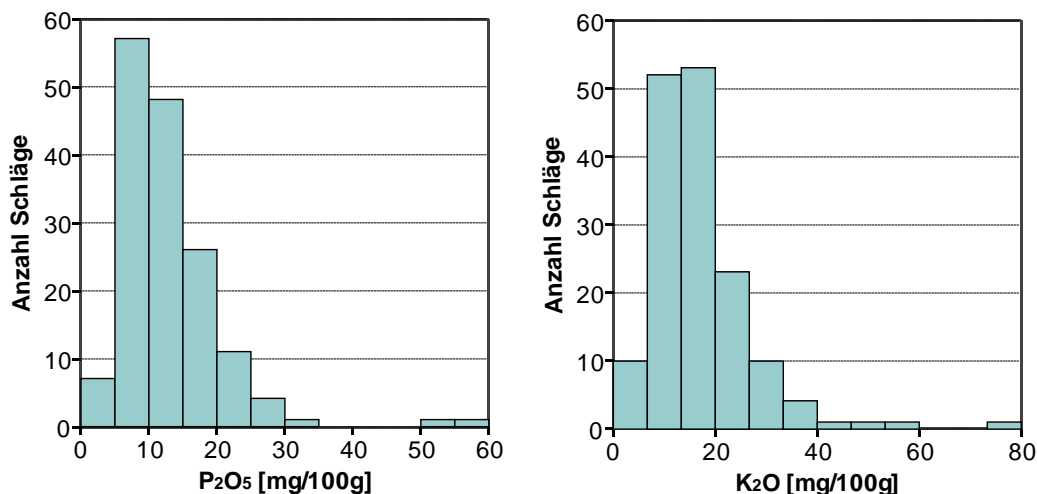
LA: Luftkapazität Körnerleguminosen Bearbeitungshorizont  
 LB: Luftkapazität Körnerleguminosen Unterboden  
 LD: Differenz Luftkapazität Bearbeitungshorizont – Unterboden  
 NA: Nutzbare Feldkapazität Körnerleguminosen Bearbeitungshorizont  
 NB: Nutzbare Feldkapazität Körnerleguminosen Unterboden  
 ND: Differenz Nutzbare Feldkapazität Bearbeitungshorizont – Unterboden  
 TD: Trockenrohddichte Getreide 0-20 cm  
 KS: Bonitur Krümmenstruktur  
 US: Bonitur Unterbodenstruktur  
 EA: Eindringwiderstand 20-29 cm  
 EB: Eindringwiderstand 30-39 cm

#### 4.1.7.2 Bodennährstoffgehalte, pH-Wert, Kationenaustauschkapazität

Die Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden, der pH-Wert und die Kationenaustauschkapazität hängen im Wesentlichen von Standortbedingungen sowie langfristig vom Entzug und der Zufuhr von Nährstoffen bzw. Kalk ab. Im Folgenden werden die Spannweite der untersuchten Parameter sowie Zusammenhänge zum Standort, zur Dauer der ökologischen Bewirtschaftung und zum Tierbesatz dargestellt. In die Auswertung wurden alle 156 Schläge einbezogen. Verfügbarer Stickstoff wurde in der Praxiserhebung als  $N_{\min}$  im Frühjahr gemessen. Die Faktoren der  $N_{\min}$ -Menge wurden in den Kapiteln zu den einzelnen Kulturen vorgestellt und analysiert, Ergebnisse zum verfügbaren Stickstoff werden deshalb im Folgenden nicht erwähnt.

Beispielhaft für die Spannweite und Verteilung von Nährstoffgehalten werden Phosphat- ( $P_2O_5$ ) und Kaligehalte ( $K_2O$ ) in Abbildung 66 dargestellt. Einen Überblick über alle Parameter gibt

Tabelle 69. Aus dieser Tabelle ist zu erkennen, dass fast alle untersuchten Schläge ausreichend bis gut mit Nährstoffen versorgt waren.  $P_2O_5$  wies mit 7,6 % den höchsten Anteil an Schlägen in der Versorgungsstufe A auf und hatte auch mit 50,8 % den geringsten Anteil in der Versorgungsstufe C oder höher.



**Abbildung 66:** Histogramme der Gehalte an verfügbarem Phosphor ( $P_2O_5$ ) und Kalium ( $K_2O$ ) in der Bodenschicht 0-20 cm

**Tabelle 69:** Kenngrößen chemischer Bodenparameter in der Bodenschicht 0 - 20 cm (SD: Standardabweichung, Versorgungsstufe: nach VDLUFA)

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Versorgungsstufe		
					A [%]	B [%]	> B [%]
pH	6,18	4,77	7,40	0,55	2,5	40,5	57,0
$P_2O_5$ [mg/100 g]	13,1	3,3	56,3	7,3	7,6	41,6	50,8
$K_2O$ [mg/100 g]	17,2	3,3	78,5	10,0	1,9	26,2	71,9
Mg [mg/100 g]	10,8	2,7	43,5	5,9	0,0	8,9	91,1
S [mg/kg]	4,2	1,0	21,3	2,5			
Mn [mg/kg]	148	7	455	86	5,8		94,2
Cu [mg/kg]	2,72	0,65	6,27	1,09	1,9		98,1
B [mg/kg]	0,44	0,10	1,96	0,27	1,3		98,7
Zn [mg/kg]	3,89	0,94	15,23	2,47	2,6		97,4
KAKCa [mmol/kg]	45,8	9,6	145,0	26,9			
KAKK [mmol/kg]	5,0	0,8	18,0	2,8			
KAKMg [mmol/kg]	5,9	0,5	35,0	4,5			
KAKNa [mmol/kg]	1,2	0,5	9,6	1,5			
KAK [mmol/kg]	57,9	12,0	164,5	57,9			

Eine Korrelationsanalyse mit der Anzahl Bodenpunkte ergab bei einigen Nährstoffgehalten und beim pH-Wert signifikant positive Korrelationen (Tabelle 70). Bei den Makronährstoffen Phosphat und Kali zeigte sich jedoch kein Zusammenhang.



Da die Bodennährstoffgehalte stark von der Bodenart abhängen, wurde die Prüfung von Zusammenhängen von Nährstoffgehalten und Bewirtschaftungsparametern mit der partiellen Korrelationsanalyse durchgeführt. Als Kontrollvariablen wurden Ton- und Sandanteil verwendet. Die Dauer ökologischer Bewirtschaftung (DÖKO) weist bei den Parametern pH-Wert und Mangengehalt einen leicht positiven Zusammenhang auf. Bei keinem Parameter wurde eine Abnahme mit zunehmender Dauer ökologischer Bewirtschaftung festgestellt (Tabelle 70). Im Mittel betrug DÖKO bei den Untersuchungsschlägen 13 Jahre.

Ein Einfluss der Viehhaltung zeigte sich vor allem im Zinkgehalt, der im Mittel auf Schlägen mit viehloser Bewirtschaftung deutlich niedriger lag, als auf Schlägen von Betrieben mit langjähriger Viehhaltung (Tabelle 70). Der Gehalt an verfügbarem Kalium weist einen leicht positiven Zusammenhang zum Viehbesatz auf. Aufgrund der höheren Kupfergehalte auf Schlägen mit viehloser Bewirtschaftung wurde zusätzlich der Einfluss einzelner Fruchtfolgeelemente geprüft. Dabei zeigte sich ein positiver Zusammenhang zum Anteil an Wurzel- und Knollenfrüchten, d. h. vor allem an Kartoffeln, in der Fruchtfolge.

Die Intensität der organischen Düngung macht sich nur beim K<sub>2</sub>O-Gehalt deutlich positiv bemerkbar. Ein leichter positiver Zusammenhang zeigt sich noch bei Gülledüngung und Zinkgehalt. Auf Schlägen mit regelmäßiger Kalkung wurde im Mittel eine geringere B-Verfügbarkeit festgestellt.

In einzelnen Fällen wurden signifikante Korrelationen von regelmäßiger P- und K-Düngung und verfügbaren Bodennährstoffen ermittelt (Tabelle 70). Diese waren meist negativ. Nur bei Cu war ein deutlich positiver Zusammenhang zu erkennen. Dabei muss beachtet werden, dass vor allem auf Betrieben mit hohem Wurzel- oder Knollenfruchtanteil regelmäßig P und K gedüngt wird.

**Tabelle 70: Koeffizienten der Korrelationsanalyse von bodenchemischen Parametern mit Bewirtschaftungsgrößen (partiell, Ton- und Sandgehalt als Kontrollvariablen) und mit den Bodenpunkten (Pearson)**

	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	S	Mn	Cu	B	Zn
Bodenpunkte	0,36**			0,28**		0,27**	0,23*	0,32**	
Jahre seit Umstellung	0,19*					0,22**			
GV/ha			0,16*						0,24**
Jahre Viehhaltung			0,17*						0,36**
Jahre Viehlos							0,22*		-0,33**
Jahre <0,2 GV/ha							0,17*		-0,33**
Anteil Wurzel- & Knollenfrüchte						-0,23**	0,39**		
Düngung:									
Summe Mist (10 J.)			0,32**						
Summe Gülle (10 J.)			0,28**						0,14
Regelmäßig Kalk								-0,25*	
Regelmäßig P							0,32**		-0,26**
Regelmäßig K			-0,18**			-0,20**	0,27**		-0,29**

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

Während die Kationenaustauschkapazität (KAK) sowohl für einzelne Elemente als auch in Summe – mit Ausnahme der Kalium-KAK – deutlich positive Korrelationen zur Anzahl

Bodenpunkte aufwies, waren mit dem Faktor Viehhaltung keine Zusammenhänge zu erkennen (Ergebnisse nicht dargestellt).

### 4.1.7.3 Organische Substanz im Boden

#### Gehalt an organischer Substanz

Der Gehalt an organischer Substanz (OS) in den oberen 20 cm des Bodens varierte in einem weiten Bereich von 0,9 bis 5,0 % und lag im Mittel der 156 Untersuchungsschläge bei 2,4 % (Abbildung 67). Der eng mit OS verbundene Gesamtstickstoffgehalt (N<sub>t</sub>) mit einem Mittelwert von 0,14 % schwankte zwischen 0,05 und 0,29 %. Bei der weiteren Auswertung wurden Böden mit einem Tongehalt von über 40 % sowie stark grundwasserbeeinflusste und anmoorige Böden nicht mit berücksichtigt, da bei diesen Böden Extremwerte häufig die Korrelationen und Regressionen überproportional stark beeinflussten. Insgesamt wurden 144 Schläge in die statistischen Analysen einbezogen.

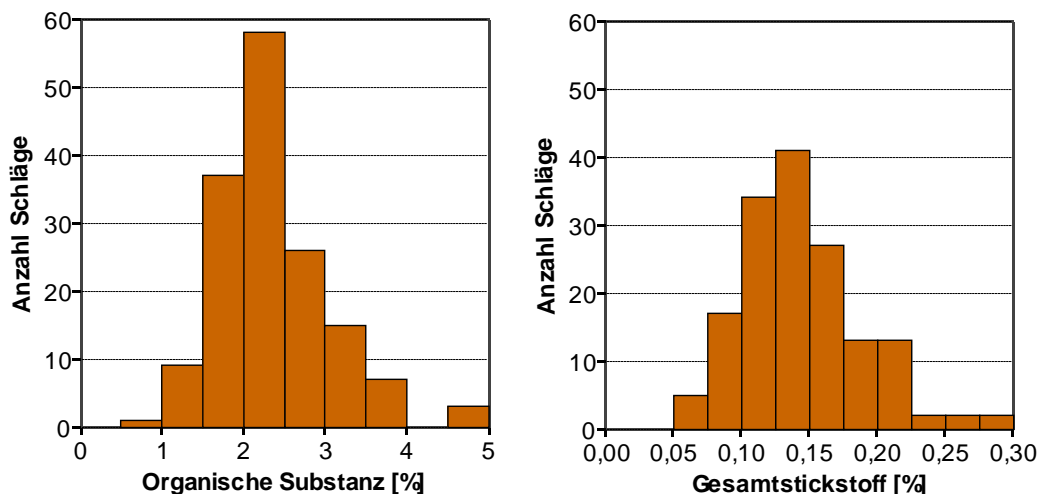


Abbildung 67: Histogramme der Gehalte an organischer Substanz und an Gesamtstickstoff in der Bodenschicht 0-20 cm

Eine Korrelationsanalyse von OS mit den erfassten Klima-, Boden- und Bewirtschaftungsparametern ergab auch nach Prüfung der Streudiagramme und Eliminierung der Fälle ohne Möglichkeit eines kausalen Zusammenhangs eine Vielzahl signifikanter Korrelationen. Die engste Korrelation mit einem Einzelfaktor wies die Summe aus Ton- und Feinschluffgehalt (Ton&Fs) auf ( $r$  0,69). In einem zweiten Schritt wurden deshalb alle Parameter in einer partiellen Korrelationsanalyse mit der Kontrollvariablen Ton&Fs geprüft. Die Ergebnisse beider Analysen für eine Auswahl der wesentlichen Parameter ist in Tabelle 71 aufgeführt. Während sich für die Boden- und die meisten Klimafaktoren bei der partiellen Korrelationsanalyse keine signifikanten Zusammenhänge mehr ergaben, waren viele Bewirtschaftungsparameter weiter signifikant. In diesem Bereich wurden auch neue signifikante Korrelationen deutlich, die bei der bivariaten Korrelation nicht auftraten. Im weiteren Verlauf werden die Ergebnisse der partiellen Korrelation behandelt.

Bei der Bewirtschaftung wiesen Faktoren, die die Viehhaltung der Betriebe beschreiben, die engsten Korrelationen auf. So erreichte die Korrelation von OS mit dem Viehbesatz (GV/ha) ein  $r$  von 0,36. Auch Fruchtfolgeparameter wie z. B. Anbaujahre Klee gras und 2-jähriges Klee gras

in den letzten 25 Jahren ergaben enge Korrelationen. Zu Parametern der Humusbilanz (Humuseinheitenmethode nach LEITHOLD, LEITHOLD et al. 1997) und der Düngung waren diese deutlich schwächer. Unerwartet war der negative Zusammenhang zu Anzahl Jahren mit Strohdüngung sowie zu mineralischer Phosphat- und Kalidüngung. Alle mit OS korrelierten Parameter wiesen auch signifikante Zusammenhänge mit  $N_t$  auf, meist sogar mit höheren Koeffizienten (nicht dargestellt).

**Tabelle 71: Koeffizienten der Korrelationsanalyse (Pearson, Kor) und der partiellen Korrelationsanalyse (PKor, Summe aus Ton- und Feinschluffgehalt als Kontrollvariable) vom Gehalt der organischen Substanz in 0 - 20 cm Bodentiefe mit Standort- und Bewirtschaftungsgrößen**

Klima (Ø 25 Jahre)	Kor	PKor	Bewirtschaftung	Kor	PKor
Ø Jahrestemperatur	-0,30**		Jahre Klee gras (25 Jahre)	0,31**	0,25**
Ø Temperatur Sept. – Nov.	-0,31**		Anbau 2-jähr. Klee gras (25 Jahre)	0,36**	0,29**
Ø Temperatur Dezember – Februar	-0,41**		Anteil Winterfrüchte (15 Jahre)	0,24**	
Frosttage / Jahr		0,15	Wurzelfrüchte vor Umst. (ja/nein)	-0,38**	-0,19*
<b>Boden</b>			Anteil Wurzelfrüchte (15 Jahre)	-0,36**	
Tongehalt	0,65**		Pflugtiefe	-0,32**	
Schluffgehalt	0,34**		∑ Humusmehrer Bilanz (15 Jahre)	0,29**	0,19*
Sandgehalt	-0,47**		∑ Humus-Stroh Bilanz (15 Jahre)		-0,16
Wasservorrat 30-60 cm Frühjahr	0,52**		∑ Humuszehrer Bilanz (15 Jahre)	0,29	
Wasservorrat 60-90 cm Frühjahr	0,44**		Humusmehrer / Humuszehrer (15 J.)	0,34**	0,19*
Eindringtiefe Bodensonde (0-80 cm)		-0,37**	Saldo Humusbilanz (15 Jahre)	0,27**	0,21*
<b>Bewirtschaftung</b>			Jahre Strohdüngung (10 Jahre)		-0,14
Jahre ökologischer Bewirtschaftung	0,21*		∑ Mistdüngung (10 Jahre)		0,17*
GV/ha	0,34**	0,36**	∑ Mist- + Gölledüngung-TM (10 J.)		0,16
Jahre mit Viehhaltung	0,29**	0,26**	Regelmäßige Kalidüngung	-0,43**	-0,19*
Jahre viehlose Bewirtschaftung	-0,26**	-0,30**	Regelmäßige Phosphordüngung	-0,48**	-0,22**
Jahre <0,2 GV/ha	-0,27**	-0,36**			

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

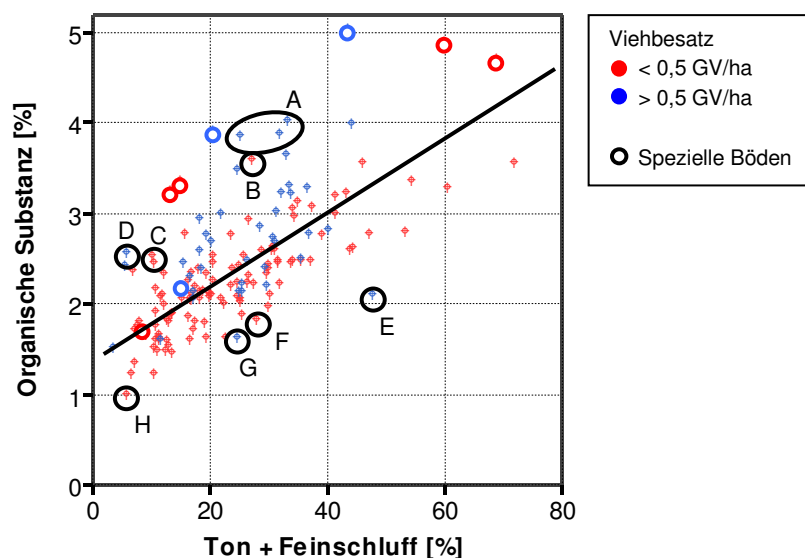
Mit Hilfe der multiplen linearen Regression wurden verschiedene Modelle zur Erklärung der OS-Varianz erstellt (Tabelle 72). Im Verlauf der Analyse wurde ein Schlag als Ausreißer identifiziert und nicht weiter mit einbezogen. In allen Modellen erklärten die Faktoren Ton&Fs und Eindringtiefe zusammen über 80 % der insgesamt erklärten Varianz. Neben diesen starken Bodenfaktoren war es jeweils nur möglich, einen signifikanten Bewirtschaftungsfaktor zu integrieren. Das Regressionsmodell mit GV/ha erreicht mit 0,63 das höchste  $R^2$ . Mit Anbaujahren Klee gras oder dem Saldo der Humusbilanz wurden nur 0,58 bzw. 0,57 erreicht.

Regressionsmodelle mit den gleichen Faktoren und der Zielgröße  $N_t$  wiesen etwas höhere  $R^2$ -Werte auf (nicht dargestellt).

**Tabelle 72: Direkte Faktoren des Gehalts organischer Substanz in 0-20 cm Bodentiefe: in verschiedenen Regressionsmodellen aufgenommene Regressoren, Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor					Model 1 R <sup>2</sup> 0,63		Model 2 R <sup>2</sup> 0,57		Model 3 R <sup>2</sup> 0,58	
	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.	Beta	Sig.	Beta	Sig.
Ton- + Feinschluffgehalt [%]	22,7	3,6	47,3	10,2	0,74	0,00	0,74	0,00	0,72	0,00
Eindringtiefe [cm]					-0,27	0,00	-0,28	0,00	-0,31	0,00
GV/ha	0,32	0,00	1,00	0,31	0,29	0,00				
Saldo Humusbilanz (10 Jahre) [HE/Jahr]	0,29	-1,15	2,75	0,83			0,14	0,01		
Jahre Klee gras (25 Jahre)	2,4	0	9	1,9					0,16	0,01

In Abbildung 68 werden von allen 156 Schlägen die Gehalte an organischer Substanz dem stärksten Faktor – Gehalt an Ton und Feinschluff – gegenüber gestellt. Die nicht ausgefüllten Punkte kennzeichnen spezielle Bodenformen, die aufgrund ihrer Bodenbildung hohe OS-Werte aufwiesen, z. B. anmoorige Böden oder Schwarzerden. Diese wurden nicht in die statistische Auswertung einbezogen. Wie nach der Regressionsanalyse zu erwarten war, liegen die Mehrzahl der Schläge mit einem Viehbesatz größer als 0,5 GV/ha über der Regressionsgeraden (R<sup>2</sup> 0,47). Einzelne Schläge weisen deutliche Abweichungen von der Regressionsgeraden auf. Mit einer Einzelfallanalyse wurde versucht, die Ursachen der abweichenden OS-Werte zu klären. Hierbei wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Informationen verwendet.



**Abbildung 68: Streudiagramm von der Summe aus Ton- und Feinschluffgehalt und dem Gehalt an organischer Substanz in 0-20 cm Bodentiefe von Betrieben mit einem Viehbesatz < und > 0,5 GV/ha sowie die Regressionsgerade (alle Punkte außer spezielle Böden) und Markierungen von Einzelfällen die im Text erläutert werden**

Die drei Schläge der Gruppe A mit sehr hohen OS-Werten liegen alle auf einem Betrieb im Erzgebirge auf ca. 400 m über NN. Wahrscheinlich sind vor allem die klimatischen Bedingungen, z. B. die langen kalten Winter und die Vorbewirtschaftung für die ungewöhnlichen Gehalte

verantwortlich. Vor 1991 wurden die Flächen von einer Gemischt-LPG bewirtschaftet; Angaben über die damalige Fruchtfolge und Düngung liegen nicht vor.

Der Schlag B liegt auf einem Betrieb mit 0,4 GV/ha und intensiver Mistwirtschaft. Außergewöhnlich hohe OS-Werte weist jedoch nur einer der vier Untersuchungsschläge auf. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass die Vorbewirtschaftung und/oder die Lage der Messpunkte am Boden eines kleinen Tals für diesen Ausreißer verantwortlich sind.

Auch der Schlag C ist der einzige Schlag eines Betriebes mit ungewöhnlich hohem OS-Wert. Da die anderen Schläge höher und leicht hängig gelegen sind, ist der hohe OS-Wert wahrscheinlich auf die Lage in einem Bachtal und eventuell auf einen Grundwassereinfluss zurückzuführen.

Schlag D liegt in einem Heidegebiet mit sandigen Böden. Während die OS-Werte der anderen Untersuchungsschläge des Betriebes zwischen 1,5 und 1,8 % lagen, wurden bei Schlag D über 2,4 % gemessen. Ursache hierfür kann z. B. lang zurückliegende Plaggenbewirtschaftung oder große Mengen punktuell ausgebrachter organischer Substanz sein.

Trotz eines hohen Viehbesatzes des Betriebs (ca. 0,8 GV/ha) liegt der OS-Wert auf Schlag E auf sehr niedrigem Niveau. Dieser Schlag wurde jedoch erst zwei Jahre vor der Untersuchung zugepachtet. Die konventionelle, viehlose Vorbewirtschaftung mit einem hohen Anteil an Mais in der Fruchtfolge kann zu dem relativ geringen OS-Wert beigetragen haben.

Der niedrige OS-Wert von Schlag F spiegelt das insgesamt niedrige OS-Niveau des entsprechenden Betriebes wieder. Dieser liegt in einer intensiven Ackerbauregion mit schluffigen Lößböden. Wahrscheinlich ist eine lange Ackerbaugeschichte hoher Intensität für die niedrigen Werte verantwortlich. Ein Viehbesatz von 0,4 GV/ha und eine deutlich positive Humusbilanz lassen vermuten, dass in Zukunft die Werte nicht weiter absinken oder sogar steigen werden.

Schlag G liegt mit unter 1,6 % OS deutlich niedriger als die benachbarten Untersuchungsschläge des gleichen Betriebs. Die Ursachen können bei gleichen Bodenbildungsvoraussetzungen nur in einer länger zurückliegenden unterschiedlichen Bewirtschaftung liegen.

Schlag H wies den niedrigsten OS-Wert eines Betriebes mit insgesamt niedrigem OS-Niveau auf. Auf dem Betrieb wurden schon vor der Umstellung auf Ökolandbau intensiv Kartoffeln angebaut. Die ökologische Bewirtschaftung wird viehlos, weitgehend ohne Kleegrasanbau und mit nur geringem Mistimport durchgeführt. Die errechneten Humusbilanzen liegen deutlich im negativen Bereich. Der besonders geringe OS-Wert auf Schlag H kann damit zusammenhängen, dass der Schlag im Vergleich zu den anderen Untersuchungsschlägen den leichtesten Boden (70 % Sand) aufweist.

## **C/N-Verhältnis**

Das C/N-Verhältnis der organischen Substanz der oberen 20 cm des Bodens variierte von 7,5 bis 13,5 und lag im Mittel der 156 Untersuchungsschläge bei 9,6 (Abbildung 69). Bei der weiteren Auswertung wurden einige Schläge mit extremen Bedingungen aussortiert, so dass nur 138 Schläge in die statistische Auswertung einbezogen werden konnten.

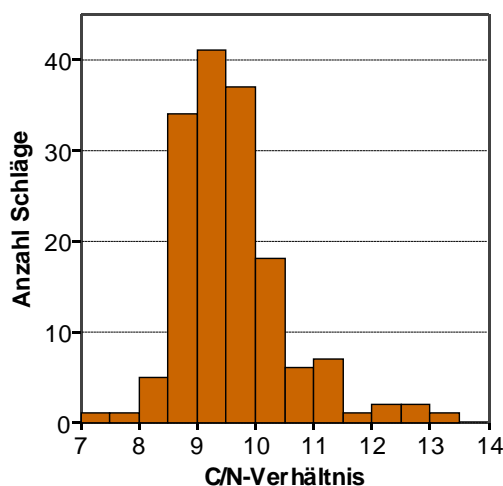


Abbildung 69: Histogramme des Verhältnisses von  $C_{org}$  zu  $N_t$  (C/N) in der Bodenschicht 0-20 cm

Die Korrelationsanalyse ergab nur wenige signifikante Korrelationen, vor allem zu Boden- und Witterungsparametern (nicht dargestellt). Die Parameter mit den höchsten Korrelationskoeffizienten, Eindringtiefe ( $r$  -0,45) und Tongehalt ( $r$  -0,37), wurden als Kontrollvariablen in einer partielle Korrelationsanalyse verwendet. Dabei wurde jedoch kein Bewirtschaftungsparameter mit einer signifikanten bzw. plausiblen Korrelation ermittelt. Nur zu den bodenbiologischen Quotienten traten signifikante Korrelationen auf (Tabelle 73). Kausale Zusammenhänge sind in beide Richtungen möglich, d. h. ein Einfluss des C/N-Verhältnisses auf die Bodenbiologie sowie eine Wirkung der bodenbiologischen Eigenschaften auf das C/N-Verhältnis der organischen Substanz.

Tabelle 73: Koeffizienten der partiellen Korrelationsanalyse (Eindringtiefe und Tongehalt als Kontrollvariablen) vom Verhältnis  $C_{org}$  zu  $N_t$  in 0-20 cm Bodentiefe mit bodenmikrobiologischen Parametern

Bodenbiologie		Bodenbiologie	
$C_{mik}/C_{org}$	-0,42**	Ergosterol/ $C_{mik}$	0,33**
FDA/ $C_{mik}$	0,24**	Proteaseaktivität/ $C_{mik}$	0,39**

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

#### 4.1.7.4 Bodenbiologie

Die im Frühjahr im Getreide entnommenen Bodenproben auf 0-20 cm wurden auf eine Reihe bodenmikrobiologischer Parameter untersucht. Bis auf FDA (Maß für den Vitalitätszustand von Mikroorganismen) korrelierten diese Größen eng mit dem Gehalt an organischer Substanz bzw. untereinander (Tabelle 74). Im Folgenden wurden für die statistische Auswertung von mikrobiell gebundenem C ( $C_{mik}$ ) und N ( $N_{mik}$ ) die Quotienten  $C_{mik}/C_{org}$  und  $N_{mik}/N_t$  verwendet. Quotienten mit  $C_{mik}$  wurden bei dem Ergosterolgehalt (Maß für die pilzliche Biomasse, Ergo/ $C_{mik}$ ), der Bodenatmung ( $qCO_2$ ) sowie der Enzymaktivität von Protease (Prot/ $C_{mik}$ ) und alkalischer Phosphatase (Phos/ $C_{mik}$ ) gebildet.



**Tabelle 74: Korrelationskoeffizienten (Pearson) verschiedener bodenmikrobiologischer Parameter in 0-20 cm Bodentiefe**

Korrelierende Parameter		Parameter, Korrelation mit $C_{mik}$	
$C_{mik} - C_{org}$	0,78**	Ergosterol	0,65**
$N_{mik} - N_t$	0,85**	Bodenatmung	0,64**
		FDA	0,23*
		Proteaseaktivität	0,44**
		Alkalische Phosphataseaktivität	0,79**

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

Eine Übersicht über die Größenordnung und Streuung der Quotienten gibt Tabelle 75. Für die weiteren statistischen Auswertungen wurden  $C_{mik}/C_{org}$ ,  $C_{mik}/N_{mik}$ , Prot/ $C_{mik}$ , Phos/ $C_{mik}$  ausgewählt.

**Tabelle 75: Kenngrößen ausgewählter Quotienten bodenmikrobiologischer Parameter in 0-20 cm Bodentiefe (SD: Standardabweichung)**

Parameter	Ø	Min.	Max.	SD
$C_{mik}/C_{org}$ [%]	1,90	0,70	3,08	0,46
$N_{mik}/N_t$ [%]	2,79	1,36	4,78	0,61
$C_{mik}/N_{mik}$	6,50	4,50	9,48	0,77
Ergosterol / $C_{mik}$ [%]	0,23	0,08	0,55	0,08
Bodenatmung ( $CO_2-C$ ) / $C_{mik}$ ( $qCO_2$ ) [mg/(g x h)]	3,61	1,59	8,18	1,14
FDA / $C_{mik}$ [mg/(mg x min)]	2,75	0,43	8,02	1,53
Proteaseaktivität / $C_{mik}$ [mg Tyrosinäquivalente / (mg x 2h)]	1,15	0,25	3,05	0,49
Alk. Phosphataseaktivität / $C_{mik}$ [mg Nitrophenol / (mg x h)]	1,24	0,36	2,26	0,47

### $C_{mik}/C_{org}$

Eine Korrelationsanalyse von  $C_{mik}/C_{org}$  mit den erfassten Klima- und Bodenparametern ergab eine Reihe von signifikanten Korrelationen (nicht dargestellt). Nach einer Vorauswahl möglicher Faktoren mit der partiellen Korrelationsanalyse und der folgenden schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurde eine Kombination von sechs Parametern ausgewählt, mit der ein wesentlicher Teil der Varianz von  $C_{mik}/C_{org}$  erklärt werden konnte ( $R^2$  0,56). Die in Tabelle 76 aufgeführten Beta-Werte der einzelnen Faktoren geben Hinweise auf die relative Wichtigkeit bei der Varianzaufklärung.

**Tabelle 76: Direkte Standortfaktoren des Quotienten  $C_{mik}/C_{org}$  in 0-20 cm Bodentiefe: in ein Regressionsmodell ( $R^2$  0,56) aufgenommene Regressoren, Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Ø Temperatur September – Februar (25 Jahre) [°C]	4,94	3,87	6,18	0,62	-0,32	0,00
Ø Niederschlag Juni – August (25 Jahre) [l/m <sup>2</sup> ]	228	178	317	43	-0,31	0,00
Tongehalt [%]	17,1	2,9	36,6	8,0	0,55	0,00
C/N	9,6	7,5	13,5	0,9	-0,25	0,00
Diff-Mn* [mg/kg]	0	-258	196	68	0,36	0,00
Cu [mg/kg]	2,74	0,65	6,27	1,10	-0,26	0,00

\* Differenz von Mn und dem mit einem Regressionsmodell (Regressor: Tongehalt) errechneten Mn-Gehalt

Da die Korrelationskoeffizienten von Bewirtschaftungsparametern deutlich niedriger ausfielen als bei den Boden- und Klimaparametern und sie auch in Regressionsmodellen nur eine geringe Rolle spielten (nicht dargestellt), wurde der Einfluss der Bewirtschaftung mit der partiellen Korrelationsanalyse geprüft. Als Kontrollvariablen wurden die Regressoren aus Tabelle 76 verwendet. In Tabelle 77 sind Bewirtschaftungsfaktoren mit einem Zusammenhang zu  $C_{mik}/C_{org}$  aufgeführt.

Eine große Pflugtiefe und ein hoher Anteil von Wurzelfrüchten in der Fruchtfolge wiesen negative Zusammenhänge zu  $C_{mik}/C_{org}$  auf. Positiv wirkten sich ein langfristig hoher Anteil an Leguminosen und Zwischenfrüchten sowie häufiger Bewuchs über Winter aus. Bei der Prüfung der Düngungsmaßnahmen ergab nur die Gülledüngung eine signifikante Korrelation mit  $C_{mik}/C_{org}$ .

**Tabelle 77: Koeffizienten der partiellen Korrelationsanalyse von  $C_{mik}/C_{org}$  in 0-20 cm Bodentiefe mit Bewirtschaftungsgrößen (Regressoren aus Tabelle 76 als Kontrollvariablen)**

Bewirtschaftung		Bewirtschaftung	
Pflugtiefe	-0,20*	Anteil Wurzelfrüchte (10 Jahre)	-0,21*
Anbaujahre Leguminosen (25 Jahre)	0,18	Anbau Wurzelfrüchte vor Umstellung	-0,28**
Anbaujahre Rotklee (25 Jahre)	0,24*	Anteil Zwischenfrucht (10 Jahre)	0,31**
Anbaujahre Weißklee (25 Jahre)	0,21*	Summe Gülledüngung (10 Jahre)	0,23*
Jahre Bewuchs über Winter (10 Jahre)	0,20*	Abstand Gülledüngung	-0,32**
Anteil Winterfrüchte	0,17	∑ Humusmehrer Bilanz (15 Jahre)	0,18

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

### $C_{mik}/N_{mik}$

Eine Korrelationsanalyse von  $C_{mik}/N_{mik}$  mit den erfassten Klima- und Bodenparametern ergab nur wenige signifikante Korrelationen (nicht dargestellt). Mit der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurde eine Kombination von den beiden Parametern Tongehalt und pH-Wert ausgewählt, mit der ein signifikanter Teil der Varianz von  $C_{mik}/N_{mik}$  erklärt werden konnte ( $R^2$  0,28). Die in Tabelle 78 aufgeführten Beta-Werte der einzelnen Faktoren geben Hinweise auf die relative Wichtigkeit bei der Varianzaufklärung.

**Tabelle 78: Direkte Standortfaktoren des Quotienten  $C_{mik}/N_{mik}$  in 0-20 cm Bodentiefe: in ein Regressionsmodell ( $R^2$  0,28) aufgenommene Regressoren, Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Tongehalt [%]	17,1	2,9	36,6	8,0	0,53	0,00
pH	9,6	7,5	13,5	0,9	-0,51	0,00

Da auch bei  $C_{mik}/N_{mik}$  die Korrelationskoeffizienten von Bewirtschaftungsparametern deutlich niedriger ausfielen als bei den Boden- und Klimaparametern und sie auch in Regressionsmodellen nur eine geringe Rolle spielten (nicht dargestellt) wurde der Einfluss der Bewirtschaftung mit der partiellen Korrelationsanalyse geprüft. Als Kontrollvariablen wurden die Regressoren aus Tabelle 78 verwendet. In Tabelle 79 sind Bewirtschaftungsfaktoren mit einem Zusammenhang zu  $C_{mik}/N_{mik}$  aufgeführt.

Eine lange ökologische Bewirtschaftung, ein langfristig hoher Anteil an Leguminosen und Winterfrüchten sowie ein hoher Anteil an Strohdüngung wiesen positive Zusammenhänge zu  $C_{mik}/N_{mik}$  auf. Negativ wirkten sich ein hoher Viehbesatz und ein hoher Getreideanteil in der Fruchtfolge aus. Bei der Prüfung der Düngungsmaßnahmen ergaben sich keine signifikanten Korrelationen.

**Tabelle 79: Koeffizienten der partielle Korrelationsanalyse von  $C_{mik}/N_{mik}$  in 0-20 cm Bodentiefe mit Bewirtschaftungsgrößen (Regressoren aus Tabelle 78 als Kontrollvariablen)**

Bewirtschaftung		Bewirtschaftung	
Jahre ökologischer Bewirtschaftung	0,18	Anteil Klee gras (15 Jahre)	0,16
GV/ha	-0,18	Klee gras an bau vor Umstellung	0,20
Anbaujahre Leguminosen hauptfrüchte (25 Jahre)	0,25*	Anteil Getreide (15 Jahre)	-0,16
Anbaujahre Körnerleguminosen hauptfrüchte (25 Jahre)	0,24*	∑ Humusmehrer Bilanz (15 Jahre)	0,18
Anteil Winterfrüchte (5 Jahre)	0,20*	Strohdüngung (4 Jahre)	0,23*
Vorvorfrucht Winterfrucht	0,25**		

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$

### Proteaseaktivität / $C_{mik}$

Eine Korrelationsanalyse von  $Prot/C_{mik}$  mit den erfassten Klima- und Bodenparametern ergab eine Reihe signifikanter Korrelationen (nicht dargestellt). Nach einer Vorauswahl möglicher Faktoren mit der partiellen Korrelationsanalyse und der folgenden schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurde eine Kombination von vier Parametern ausgewählt, mit der ein wesentlicher Teil der Varianz von  $Prot/C_{mik}$  erklärt werden konnte ( $R^2$  0,67). Die in Tabelle 80 aufgeführten Beta-Werte der einzelnen Faktoren geben Hinweise auf die relative Wichtigkeit bei der Varianzaufklärung.

**Tabelle 80: Direkte Standortfaktoren des Quotienten Proteaseaktivität/C<sub>mik</sub> in 0-20 cm Bodentiefe: in ein Regressionsmodell (R<sup>2</sup> 0,67) aufgenommene Regressoren, Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Tage > 5°C Januar – Beprobung	23	5	42	8	-0,16	0,01
Tongehalt [%]	17,1	2,9	36,6	8,0	-0,47	0,00
Eindringwiderstand 30-38 cm [MPa]	1,95	0,75	4,67	0,81	0,26	0,00
C/N	9,6	7,5	13,5	0,9	0,23	0,00

Der Einfluss der Bewirtschaftung wurde mit der partiellen Korrelationsanalyse geprüft. Als Kontrollvariablen wurden die Regressoren aus Tabelle 80 verwendet. In Tabelle 81 sind Bewirtschaftungsfaktoren mit einem Zusammenhang zu Prot/C<sub>mik</sub> aufgeführt.

Eine große Pflugtiefe und ein hoher Kleeanteil in den fünf Jahren vor Beprobung wiesen positive Zusammenhänge zu Prot/C<sub>mik</sub> auf. Eine tiefe Stoppelbearbeitung und organische Düngung wirkten sich hingegen negativ aus. Insgesamt traten nur wenige und wenn dann schwache Korrelationen zu Bewirtschaftungsparametern auf.

**Tabelle 81: Koeffizienten der partiellen Korrelationsanalyse von Proteaseaktivität/C<sub>mik</sub> in 0-20 cm Bodentiefe mit Bewirtschaftungsgrößen (Regressoren aus Tabelle 80 als Kontrollvariablen)**

Bewirtschaftung		Bewirtschaftung	
Pflugtiefe	0,26**	Abstand Gülledüngung	0,27**
Anteil Kleeanteil (5 Jahre)	0,20*	Gülledüngung vor Umstellung	-0,19
Anteil Zwischenfrucht (15 Jahre)	-0,18	Mistdüngung vor Umstellung	-0,21*
Summe Gülledüngung (4 Jahre)	-0,16	Tief Stoppelbearbeitung	-0,30**

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

### Alkalische Phosphataseaktivität / C<sub>mik</sub>

Eine Korrelationsanalyse von Phos/C<sub>mik</sub> mit den erfassten Klima- und Bodenparametern ergab eine Reihe von signifikanten Korrelationen (nicht dargestellt). Nach einer Vorauswahl möglicher Faktoren mit der partiellen Korrelationsanalyse und der folgenden schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurde eine Kombination von drei Parametern ausgewählt, mit der ein großer Teil der Varianz von Phos/C<sub>mik</sub> erklärt werden konnte (R<sup>2</sup> 0,73). Die in Tabelle 82 aufgeführten Beta-Werte der einzelnen Faktoren geben Hinweise auf die relative Wichtigkeit bei der Varianzaufklärung.

**Tabelle 82: Direkte Standortfaktoren des Quotienten alkalische Phosphataseaktivität/C<sub>mik</sub> in 0-20 cm Bodentiefe: in ein Regressionsmodell (R<sup>2</sup> 0,73) aufgenommene Regressoren, Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Ø Jahrestemperatur (25 Jahre) [°C]	8,99	8,28	9,72	0,36	0,21	0,00
pH	6,15	4,77	7,37	0,52	0,68	0,00
Eindringwiderstand 30-38 cm [MPa]	1,95	0,75	4,67	0,81	0,30	0,00

Auch bei Phos/C<sub>mik</sub> wurde der Einfluss der Bewirtschaftung mit der partiellen Korrelationsanalyse geprüft. Als Kontrollvariablen wurden die Regressoren aus Tabelle 82 verwendet. In Tabelle 83 sind Bewirtschaftungsfaktoren mit einem Zusammenhang zu Phos/C<sub>mik</sub> aufgeführt. Für Phos/C<sub>mik</sub> wurden nur wenige Bewirtschaftungsparameter mit einer signifikanten oder tendenziell abgesicherten Korrelation gefunden. Länger andauernde ökologische Bewirtschaftung und Viehhaltung wiesen positive Zusammenhänge zu Phos/C<sub>mik</sub> auf. Eine regelmäßige Phosphat- oder Kalidüngung wirkte sich hingegen negativ aus.

**Tabelle 83: Koeffizienten der partielle Korrelationsanalyse von alkalische Phosphataseaktivität/C<sub>mik</sub> in 0-20 cm Bodentiefe mit Bewirtschaftungsgrößen (Regressoren aus Tabelle 82 als Kontrollvariablen)**

Bewirtschaftung		Bewirtschaftung	
Jahre ökologische Bewirtschaftung	0,16	Regelmäßige Phosphatdüngung	-0,17
GV/ha	0,16	Regelmäßige Kalidüngung	-0,20*
Jahre viehloser Bewirtschaftung (25 Jahre)	-0,25*		

\*\* signifikant für p<0,01; \* signifikant für p<0,05; kein Sternchen: Tendenz, p<0,1

## Regenwürmer

Der Besatz mit Regenwürmern (RW) wurde bei der Bodenuntersuchung im Juni anhand der gefundenen Tiere und Gänge bonitiert. Eine Korrelationsanalyse von RW mit den erfassten Klima- und Bodenparametern ergab wenige signifikante Korrelationen (nicht dargestellt). Mit der schrittweisen multiplen linearen Regressionsanalyse wurden die Parameter Eindringtiefe der Bodensonde und Schluffgehalt ausgewählt, mit denen jedoch nur ein geringer Teil der Varianz von RW erklärt werden konnte (R<sup>2</sup> 0,17). Die in Tabelle 84 aufgeführten Beta-Werte der beiden Faktoren geben Hinweise auf die relative Wichtigkeit bei der Varianzaufklärung.

**Tabelle 84: Direkte Standortfaktoren des Regenwurmbesatzes (Bonitur): in ein Regressionsmodell aufgenommene Regressoren, Beta-Werte und Signifikanzniveau (Sig.) sowie Kenngrößen der Faktoren (SD: Standardabweichung)**

Faktor	Ø	Min.	Max.	SD	Beta	Sig.
Eindringtiefe (80 cm Bodensonde) [cm]	70,1	23,4	80,0	13,4	0,34	0,00
Schluffgehalt [%]	45,5	9,6	83,7	21,0	0,16	0,04

Der Einfluss der Bewirtschaftung und weiterer Bodenparameter wurde mit der partiellen Korrelationsanalyse geprüft. Als Kontrollvariablen wurden die Regressoren aus Tabelle 84 verwendet. In Tabelle 85 sind Faktoren mit einem Zusammenhang zu RW aufgeführt.

Im Bereich Boden wurden einige Parameter mit einer signifikanten Korrelation zu RW gefunden. Ein geringer Regenwurmbesatz trat bei einer großen Dichte der Krume, einem hohen Eindringwiderstand im Unterboden und bei hohen Cu-Gehalten auf. Weiterhin zeigten sich Zusammenhänge zu einzelnen mikrobiologischen Parametern.

Für RW wurden auch einige Bewirtschaftungsparameter mit einer signifikanten oder tendenziell abgesicherten Korrelation ermittelt. Langjährige Viehhaltung, häufiger Rotkleeanbau und ein hoher Anteil an Winterfrüchten wiesen positive Zusammenhänge mit RW auf. Auf Schlägen mit einem hohen Anteil an Körnerleguminosen, Wurzel- und Knollenfrüchten sowie an

Humuszehrnern (Humuseinheitenmethode nach Leithold, LEITHOLD et al. 1997) wurde hingegen häufig ein geringer Regenwurmbesatz gefunden.

**Tabelle 85: Koeffizienten der partielle Korrelationsanalyse von Regenwurmbesatz (Bonitur) mit Bewirtschaftungsgrößen (Regressoren aus Tabelle 84 als Kontrollvariablen)**

Boden		Bewirtschaftung	
Trockenrohdichte	-0,23*	Jahre viehloser Bewirtschaftung	-0,16
Eindringwiderstand (40-49 cm)	-0,19*	Jahre mit Viehhaltung	0,14
Cu	-0,16*	Jahre Rotklee (25 Jahre)	0,18*
C <sub>org</sub> /N <sub>t</sub>	-0,19*	Anteil Körnerleguminosen (15 Jahre)	-0,17*
C <sub>mik</sub> /C <sub>org</sub>	0,18**	Anteil Wurzel- & Knollenfrüchte (15 Jahre)	-0,17*
Ergosterol/C <sub>mik</sub>	-0,28**	Σ Humuszehrer Bilanz (15 Jahre)	0,15
Metabolischer Quotient	-0,20*	Anteil Winterfrüchte (5 Jahre)	0,16

\*\* signifikant für  $p < 0,01$ ; \* signifikant für  $p < 0,05$ ; kein Sternchen: Tendenz,  $p < 0,1$



## 4.1.8 Zusammenfassende Diskussion zu Bodeneigenschaften

Ziel der Praxiserhebungen war die Ermittlung wesentlicher Ertragsfaktoren von Körnerleguminosen und Getreide unter Berücksichtigung von Aspekten der Bodenfruchtbarkeit. Weiterhin sollten aber auch Bewirtschaftungsmaßnahmen bzw. -systeme ermittelt werden, die zum Erhalt oder zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit besonders beitragen. Im Folgenden wird der Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftung innerhalb des Systems Ökolandbau auf verschiedene Bodeneigenschaften diskutiert.

### 4.1.8.1 Bodenstruktur

Für den Einfluss der Bodenstruktur auf den Nutzpflanzenenertrag wurden in der Praxiserhebung je nach untersuchter Kulturart unterschiedliche Effekte ermittelt. Für den Erbsenertrag wurden zwar aus verschiedenen Gründen keine Zusammenhänge mit Bodenstrukturparametern gefunden, jedoch weisen sowohl Ergebnisse anderer Untersuchungen als auch Beobachtungen auf den Untersuchungsschlägen auf deutlich negative Effekte ungünstiger Bodenstruktur hin (siehe Kap. 4.1.2.3). Bei den Ackerbohnen wurde sowohl ein direkter negativer Effekt ungünstiger Unterbodenstruktur auf den Ertrag ermittelt, als auch eine Förderung von Fußkrankheiten durch Strukturmängel in der Krume (siehe Kap. 4.1.4.3). Der Ertrag von Wintergetreide lag auf Schlägen mit Verdichtungen im Bearbeitungshorizont aber auch bei dicht lagernder Krume häufig niedriger als auf unbeeinträchtigten Schlägen (siehe Kap. 4.1.6.3).

Die Standortbedingungen und dabei vor allem die Bodenart haben einen dominanten Einfluss auf die Ausprägung der Bodenstruktur. Mit Hilfe der partiellen Korrelationsanalyse konnten jedoch Hinweise auf Effekte der Bewirtschaftung ermittelt werden. Eine Erläuterung der Bewertungskriterien von Bodenstruktur auf Basis der erfassten bodenphysikalischen Parameter findet sich in Kap. 4.6.1.2.

Ein hoher Anteil an feinsamigen Leguminosen bzw. Klee- oder Luzernegrasmengen in der Fruchtfolge wird häufig mit einer positiven Wirkung auf die Bodenstruktur verbunden (JENSEN & HAUGGAARD-NIELSEN 2003, WATSON et al. 2002). Auf den untersuchten Schlägen zeichnete sich sowohl ein positiver Effekt der feinsamigen als auch der Körnerleguminosen auf Parameter der Bodenstruktur ab.

Von KAHNT (1985) wird sowohl der Erbse als auch der Ackerbohne ein direkter positiver Effekt auf die Bodenstruktur unter der Nachfrucht zugeschrieben. Die Untersuchungen auf den Praxisschlägen weisen jedoch darauf hin, dass zwar die Ackerbohne als Vorfrucht positiv mit einzelnen Bodenstrukturparametern zusammenhängt, die Erbsenvorfrucht jedoch negative Effekte haben kann.

Während der Getreideertrag positiv auf einen hohen Anteil feinsamiger Leguminosen reagiert, ist ein hoher Leguminosenanteil für den Anbau von Erbsen und Ackerbohnen problematisch (siehe Kap. 4.1.1 und 4.1.3). Eine Förderung der Bodenstruktur durch intensiven Leguminosenanbau kann somit in Konflikt mit den Fruchtfolgeansprüchen der Körnerleguminosen stehen. Neben der Selbstunverträglichkeit wurden für die Erbse die Arten Rotklee und Luzerne und für die Ackerbohne die Erbse als mögliche Verursacher von Mindererträgen ermittelt.

Die Untersuchung unterschiedlicher Porengrößen im Boden lassen darauf schließen, dass auf Schlägen mit einem hohen Anteil an Wurzel- und Knollenfrüchten (Bereich 0 bis 30 %) und an Mais (Bereich 0 bis 47 %) in der Bewirtschaftungsgeschichte (15 Jahre) häufiger mit Verdichtungen unterhalb der Bearbeitungstiefe zu rechnen ist. Negative Effekte dieser Kulturen auf die Bodenstruktur sind auch in der Literatur beschrieben (PISKORZ & ROSZAK 1985, MUSTONEN

1985, BECK et al. 1994).

Der Zwischenfruchtanbau spielt im Ökolandbau eine besondere Rolle. Ein wichtiges Ziel ist dabei der Erhalt bzw. die Verbesserung der Bodenstruktur (anonym 2011). Forschungsergebnisse belegen positive Effekte bodenphysikalischer Parameter durch den Anbau von Zwischenfrüchten (HUBBARD et al. 2013, BENOIT et al. 1962). In der Praxiserhebung ist jedoch mit häufigem Zwischenfruchtanbau (Bereich 0 bis 67 %) oft ein geringerer Luftporenanteil im Boden unterhalb der Bearbeitungstiefe verbunden. Inwieweit in der Praxis ein kausaler Zusammenhang zwischen dem Anbau von Zwischenfrüchten und Unterbodenverdichtungen bestehen kann, muss weiter untersucht werden.

Die Auswertung der Porengrößenverhältnisse ergab, dass auf Betrieben mit PS-stärkeren und damit auch schwereren Ackerschleppern (Bereich 110 bis 300 PS) häufiger mit Verdichtungen unterhalb der Bearbeitungstiefe zu rechnen ist. Dies bestätigt von DEMMEL et al. (2011) zusammengetragene Ergebnisse auch für den Ökolandbau. Bei der Messung des Eindringwiderstandes wurde der negative Effekt schwerer Schlepper jedoch nicht gefunden. Mit einer größeren Reifenbreite (Bereich 48 bis 98 cm) und damit einer Verteilung des Gewichts auf eine größere Fläche wurde hingegen vor allem die Struktur der Krume geschont. Ein positiver Effekt eines geringen Innendrucks der Schlepperbereifung wie er in eigenen Versuchen (siehe Kap. 4.6.3.2) ermittelt wurde, war auf den Praxisschlägen nicht eindeutig nachweisbar.

Die Ergebnisse der Praxiserhebung zeigen, dass bei häufiger Gülledüngung die Porenverteilung im Boden oft ungünstiger bewertet wird als auf Schlägen ohne Gülledüngung oder mit geringer Düngungsintensität. Für die Auswirkungen von Gülledüngung auf die Bodenstruktur werden in der Literatur sowohl negative als auch positive Effekte des Gülle-Substrats beschrieben. (PAGLIAI 1985, LEA et al. 1982). Der ermittelte negative Effekt intensiver Gülledüngung auf die Bodenstruktur ist wahrscheinlich vor allem auf das häufige Befahren mit schweren Güllefässern zurückzuführen (SCHAFER-LÄNDEFELD et al. 2004).

Düngung mit Stallmist hat hingegen, wie in der Literatur beschrieben (BLAIR et al. 2006), auch auf den Untersuchungsschlägen einen positiven Einfluss auf physikalische Eigenschaften des Bodens.

Die Untersuchung der ökologisch bewirtschafteten Praxisschläge verdeutlicht den Konflikt zwischen gülle- und mistbasierten Tierhaltungs- bzw. Düngungskonzepten. Während Gülledüngung im Getreide deutlich ertragswirksam ist aber die Bodenstruktur oft negativ beeinflusst, ist bei Mistdüngung kaum ein Ertragseffekt nachzuweisen, der Einfluss auf die Bodenstruktur ist jedoch positiv.

#### 4.1.8.2 Bodennährstoffgehalte, pH-Wert, Kationenaustauschkapazität

Von den untersuchten Makro- und Mikronährstoffen, dem pH-Wert und Kationenaustauschkapazität hatte nur die  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr einen deutlichen Einfluss auf alle geprüften Kulturarten (siehe in den entsprechenden Kapiteln). Einen deutlichen, positiven Zusammenhang von Ertrag und Gehalt an verfügbarem Nährstoff wurde noch bei Erbse und Phosphat gefunden. Darüber hinaus gibt es nur Hinweise auf einzelne, weniger ausgeprägte Effekte: ein leicht positiver Einfluss hoher Schwefelversorgung auf die Bestandesdichte der Erbsen, leicht positive indirekte Zusammenhänge von Ackerbohnenenertrag und den Gehalten an verfügbarem K und P sowie eine Förderung des Getreideertrags durch höhere Gehalte an verfügbarem K, Mg, B und S. Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass bei Getreide, Erbse und Ackerbohne auf vielen Standorten in der Ökolandbaupraxis neben Stickstoff bei Getreide und Phosphor bei Erbse andere Bodennährstoffe (gemessen als verfügbare Nährstoffe nach VDLUFA) selten limitierend auf den Ertrag wirksam werden.

Aufgrund nicht ausgeglichener Nährstoffbilanzen wird im Ökolandbau bei zunehmender Dauer ökologischer Bewirtschaftung häufig mit sinkenden Nährstoffgehalten gerechnet. SCHULTE (1996) untersuchte die Gehalte an verfügbarem P und K auf mehreren Ökobetrieben. Schläge mit mehr als 36 Jahren Ökobewirtschaftung wiesen deutlich geringere P-Gehalte auf als die jüngeren Schläge. Die K-Gehalte unterschieden sich bei dieser Studie nicht. In der Praxiserhebung wurde mit zunehmender Dauer ökologischer Bewirtschaftung (DÖKO) bei keinem Nährstoff eine Abnahme der verfügbaren Gehalte festgestellt. DÖKO betrug bei den Untersuchungsschlägen jedoch im Mittel auch nur 13 und maximal 34 Jahre.

Ein Einfluss der Viehhaltung zeigte sich in der Praxiserhebung vor allem im Zn-Gehalt, der im Mittel auf Schlägen mit viehloser Bewirtschaftung deutlich niedriger lag, als auf Schlägen von Betrieben mit langjähriger Viehhaltung. KAYGORODOV (2004) berichtet von hohen Zn-Gehalten vor allem in Schweinegülle (über Richtwerte Klärschlammverordnung). Und auch der Vergleich verschiedener organischer Düngemittel bei SCHMIDT (1992) weist auf relativ hohe Frachten an Zn mit Mist und Gülle hin. Ein Zusammenhang von Intensität der Anwendung von Wirtschaftsdüngern und dem Zn-Gehalt im Boden zeigte sich auf den Untersuchungsschlägen nur bei Gülle und hier auch nur leicht. Ein Zusammenhang zur Tierart war nicht zu erkennen. Es ist anzunehmen, dass auch die Intensität der Tierhaltung vor Umstellung der Betriebe einen Einfluss auf die Zn-Gehalte im Boden hat. Neben Zn wurden auch beim Gehalt an verfügbarem K mit steigender Intensität der Tierhaltung bzw. der Güllendüngung höhere Werte im Boden gefunden. In den Wirtschaftsdüngern ist K der Nährstoff mit dem höchsten Gewichtsanteil (STEIN-BACHINGER & DEWES 2004).

Aufgrund der höheren Cu-Gehalte auf Schlägen mit viehloser Bewirtschaftung wurde zusätzlich der Einfluss einzelner Fruchtfolgeelemente geprüft. Dabei zeigte sich ein positiver Zusammenhang zum Anteil an Wurzel- und Knollenfrüchten, d. h. vor allem an Kartoffeln, in der Fruchtfolge. Möglicherweise zeigen sich hier schon die Auswirkungen der von HÖPER et al. (2012) beschriebenen hohen Cu-Bilanzsalden auf ökologischen Kartoffelbaubetrieben, die Cu-Präparate als Pflanzenschutzmittel einsetzen. Wahrscheinlich sind jedoch langfristige Auswirkungen des Einsatzes der Cu-haltigen Pflanzenschutzmittel im Kartoffelanbau, die bis in die 60er Jahre in deutlich höheren Aufwandmengen im konventionellen Landbau eingesetzt wurden.

Ein Effekt regelmäßiger Kalkung zeichnete sich nur beim Nährstoff B ab, dessen verfügbare Gehalte auf Schlägen mit Kalkung im Mittel etwas geringer waren. In einzelnen Fällen wurden auch signifikante Korrelationen von regelmäßiger P- und K-Düngung und verfügbaren Bodennährstoffen ermittelt. Diese waren meist negativ. Es ist anzunehmen, dass die Düngungsmaßnahmen vor allem auf Schlägen mit geringer Nährstoffversorgung durchgeführt werden und auf diese Weise die negativen Zusammenhänge zu Nährstoffgehalten erklärt werden können. Nur bei Cu war ein deutlich positiver Zusammenhang zu erkennen. Allerdings muss beachtet werden, dass eine regelmäßige P- und K-Düngung auf den Untersuchungsschlägen vor allem auf Betrieben mit hohem Kartoffelanteil vorgenommen wird.

### 4.1.8.3 Organische Substanz im Boden

Den größten Einfluss des Gehalts an organischer Substanz in der Krume (OS) auf den Ertrag wurde in der Praxiserhebung indirekt über den positiven Zusammenhang zur  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr gefunden. Bei der Erbse wurde ein negativer und beim Getreide ein positiver Effekt auf den Ertrag ermittelt. Bei der Ackerbohne hatte die Höhe der  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr keine Auswirkungen auf den Ertrag, hier wurde jedoch ein direkter leicht positiver Einfluss von OS festgestellt. Einen deutlichen Einfluss des C/N-Verhältnisses der organischen Substanz auf den Ertrag von Erbe, Ackerbohne oder Getreide war nicht erkennbar.

Insgesamt ist eine klare Abgrenzung von Einflüssen der OS auf die geprüften Kulturpflanzen nicht eindeutig möglich, da der Parameter eng mit der Bodenart zusammenhängt.

Bekanntermaßen ist OS ein wesentlicher Faktor für viele Bodenfunktionen. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002) nennen z. B. Nährstoffreservoir, Adsorptionsvermögen, Lebensgrundlage von Bodenorganismen, Stabilisierung von Aggregatgefüge und Wasserspeicherkapazität. In der Praxiserhebung wurden enge positive Zusammenhänge von OS mit positiv bewerteten Bodenstruktureigenschaften ermittelt. CAPRIEL (2010a) weist darauf hin, dass bei abnehmender OS zunehmend mit Erschwernissen in der Bodenbearbeitung und Befahrbarkeit sowie einer höheren Erosionsgefahr zu rechnen ist. Der Erhalt bzw. die Steigerung von OS ist somit ein wesentliches Kennzeichen eines die Bodenfruchtbarkeit erhaltenden Anbausystems.

Die jeweiligen Standortbedingungen sind wesentlich für die große Varianz von OS auf den Untersuchungsschlägen verantwortlich. Dabei ist die Summe aus Ton- und Feinschluffanteil der wichtigste Faktor. Daneben hat auch die mittlere Eindringtiefe einer Bodensonde, d. h. die Tiefgründigkeit eines Standorts, einen deutlichen Einfluss. Anders als in Untersuchungen von CAPRIEL (2010b) war ein Effekt der langjährigen mittleren Niederschlagsmengen und Temperaturen nicht zu erkennen. In Einzelfällen spielen spezielle Bedingungen bei der Bodenbildung eine große Rolle, z. B. das Grundwasser bei anmoorigen Böden, das Klima bei Schwarzerden sowie Fließgewässer und Grundwasser bei Auenböden.

Veränderungen von OS durch Änderungen in der ackerbaulichen Bewirtschaftung erreichen erst nach mehreren Jahren bis Jahrzehnten messbare Größenordnungen (SCHMIDT et al. 2006). Der Ermittlung von Zusammenhängen von OS und Bewirtschaftung auf Basis der Praxiserhebung sind somit enge Grenzen gesetzt, da die Bewirtschaftung maximal für den Zeitraum von 25 Jahren ermittelt werden konnte.

Der Viehbesatz (GV/ha) fasste die Bewirtschaftungseffekte mit seinem Einfluss auf OS anscheinend am besten zusammen, da mit ihm in einem multiplen Regressionsmodell der höchste Anteil der OS-Varianz erklärt werden konnte. Im Vergleich zu den oben genannten Standortbedingungen waren es ca. 20 %. Sowohl die Salden einer Humusbilanz (Humuseinheitenmethode nach Leithold, LEITHOLD et al. 1997) als auch der langjährige Anteil an Klee bzw. Luzernegras in der Fruchtfolge konnten nur geringere Anteile an Varianz erklären.

Ergebnisse von Korrelationsanalysen weisen auf den Einfluss einzelner Bewirtschaftungsmaßnahmen hin. So wird der negative Effekt von Wurzel- und Knollenfrüchten und der positive Effekt von Mistdüngung bestätigt (CAPRIEL, 2009, LEITHOLD et al. 1997). Besonders bei Systemen mit langjährigem intensivem Kartoffelanbau und ohne Klee gras in der Fruchtfolge wurden Schläge mit, für die Standortbedingungen, geringen OS-Werten gefunden. Einen Einfluss der Bewirtschaftung auf das C/N-Verhältnis der organischen Substanz war in der Praxiserhebung nicht nachzuweisen.



#### 4.1.8.4 Bodenbiologie

Die mikrobiologischen Parameter hängen eng mit den Gehalten an organischer Substanz oder an mikrobieller Biomasse zusammen, so dass jeweils Quotienten berechnet wurden. Starke direkte Einflüsse mikrobieller Bodeneigenschaften auf den Ertrag wurden in der Praxiserhebung nicht ermittelt. Ergebnisse von Korrelationsanalysen weisen auf mögliche leichte Ertragseffekte hin. Da die geprüften Quotienten jedoch oft eng mit den Ertrag beeinflussenden Bodeneigenschaften korrelierten, wie z. B. dem Tongehalt, ist eine sichere Abgrenzung bodenbiologischer Einflüsse nicht möglich. So sind die ermittelten Korrelationen zwischen  $N_{\min}$ -Menge im Frühjahr und bodenbiologischen Quotienten hier nicht interpretierbar, da diese Quotienten weiterhin eng mit dem Gehalt an organischer Substanz (OS) korrelieren.

Hohe Werte des Quotienten aus mikrobiell gebundenem C und gesamtem organischen C ( $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ ) kennzeichnen Böden mit einer großen Zufuhr an leicht verfügbarem C mit frischer organischer Substanz. Niedrige Werte deuten auf Störungen des C-Haushalts hin (HÖPER & KLEEFISCH 2001). In der Praxisuntersuchung korrelierte bei der Erbse  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$  positiv mit der Schädigung der Wurzeln und dem Besatz mit *M. pinodes*. Bei Ackerbohne und Getreide waren keine Ertragseffekte zu erkennen. Der positiven Bewertung von  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$  als Maß der Belebtheit der organischen Substanz im Boden können somit auch negative Effekte gegenüber stehen.

Die Regressionsanalyse zeigt deutliche Einflüsse der Standortbedingungen auf  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ . Warme Winter und feuchte Sommer sind häufig mit niedrigen Werten verbunden. Dieser Effekt kann mit den dadurch längeren Phasen mikrobieller Aktivität und dem damit höheren Abbau frischer organischer Substanz zusammenhängen. Weiterhin haben der Tongehalt und der Gehalt an verfügbarem Mn (positiv) sowie das C/N-Verhältnis (negativ) einen deutlichen Einfluss auf  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ . Besonders interessant ist der negative Zusammenhang mit dem Cu-Gehalt. Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002) kann Cu die mikrobielle Aktivität im Boden deutlich einschränken. Aus Ergebnissen der Praxiserhebung geht hervor, dass hohe Cu-Gehalte im Boden oft mit einem hohen Anteil an Kartoffeln in der Fruchtfolge verbunden sind. Die partielle Korrelationsanalyse mit Bewirtschaftungsparametern ergab auch einen direkten negativen Zusammenhang von  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$  und dem Anteil an Wurzel- und Knollenfrüchten. Kausale Zusammenhänge sind über die hemmende Wirkung von Cu-haltigen Pflanzenschutzmitteln, aber auch über die geringere Zufuhr an organischer Substanz in Fruchtfolgen mit hohem Hackfruchtanteil möglich. Nach Ergebnissen der Praxiserhebung ist auf Schlägen mit häufigem Leguminosen- und Zwischenfruchtanbau sowie mit vielen Winterfrüchten hingegen häufig mit hohen  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ -Werten zu rechnen. Dies bestätigt Ergebnisse von JORDAN et al. (2004) und CAMPBELL et al. (1991) über die positive Wirkung von Leguminosen in der Fruchtfolge.

Bei der Prüfung der organischen Düngungsmaßnahmen wurde nur eine positive Wirkung der langjährigen Gülledüngung und nicht von Mist ermittelt. Untersuchungen von SCHERER et al. (2011) zeigen einen positiven Effekt von Mistdüngung auf  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ . Der fehlende Zusammenhang in der Praxiserhebung kann mit einem von HEINZE et al. (2011) beschriebenen Effekt zusammenhängen. Dort wird zwar eine positive Wirkung langjähriger Mistdüngung auf den  $C_{\text{mik}}$ -Gehalt beschrieben, aufgrund des gleichfalls positiven Einflusses auf den  $C_{\text{org}}$ -Gehalt bleibt der  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ -Quotient jedoch unter dem Wert der mineralisch gedüngten Variante.

Der negative Zusammenhang von Pflugtiefe und  $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$  kann mit der stärkeren Verdünnung der frischen organischen Substanz bei größerer Bearbeitungstiefe zusammen hängen.

Das  $C_{\text{mik}}/N_{\text{mik}}$ -Verhältnis ist ein Indikator für die N-Verfügbarkeit aus der organischen Substanz des Bodens. Niedrige Werte können als Hinweis auf eine leistungsfähige und gut

funktionierende Mikroorganismengesellschaft gelten (Jørgensen, 2005). In der Praxiserhebung wurde kein Zusammenhang zum Ertrag oder zu N-Parametern (z. B.  $N_{\min}$ ) gefunden.

Die statistische Auswertung ergab wenige Zusammenhänge von Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren mit  $C_{\text{mik}}/N_{\text{mik}}$ . Weite  $C_{\text{mik}}/N_{\text{mik}}$ -Verhältnisse wurden bei Böden mit hohem Tongehalt oder niedrigem pH-Wert gefunden.

Bei der Bewirtschaftung weisen die Ergebnisse der Korrelationsanalyse darauf hin, dass eine lange ökologische Bewirtschaftung, ein langfristig hoher Anteil an Leguminosen und Winterfrüchten sowie ein hoher Anteil an Strohdüngung zu höheren  $C_{\text{mik}}/N_{\text{mik}}$ -Werten führen, während bei einem hohen Viehbesatz und einem hohen Getreideanteil in der Fruchtfolge häufig niedrigere Werte auftreten. Auch Ergebnisse von DILLY et al. (2003) zeigen bei zunehmender Dauer ökologischer Bewirtschaftung höhere  $C_{\text{mik}}/N_{\text{mik}}$ -Quotienten im Boden.

Im Boden sind Proteasen eine wesentliche Grundlage für den Abbau organischer N-Verbindungen und damit für die N-Mineralisation (OTTOW 2011). Die Proteaseaktivität hängt mit dem Gesamtstickstoffgehalt des Bodens zusammen (BÖHM 1993). Während die auf den Untersuchungsschlägen ermittelte Proteaseaktivität positiv mit dem Ertrag korrelierte, war ein Einfluss des Quotienten aus Proteaseaktivität und  $C_{\text{mik}}$  ( $\text{Prot}/C_{\text{mik}}$ ) nicht zu erkennen. Der negative Zusammenhang von Quotient und  $N_{\min}$ -Menge im Boden zum Beprobungszeitpunkt kann mit der Hemmung der Proteaseaktivität durch  $N_{\min}$  begründet sein (HU et al. 2010).

$\text{Prot}/C_{\text{mik}}$  wurde stark durch die Standortparameter Temperatur vor Beprobung (negativ), den Tongehalt (negativ) und das C/N-Verhältnis (positiv) beeinflusst. Daneben konnten nur wenige, schwache Korrelationen zu Bewirtschaftungsparametern ermittelt werden. Wahrscheinlich wird durch die Bewirtschaftung  $C_{\text{mic}}$  und Proteaseaktivität in ähnlichem Maße beeinflusst, so dass der Quotient keine starken Effekte widerspiegelt.

Im Boden sind Phosphatasen eine wichtige Größe zur Erschließung des organisch gebundenen P für die Pflanzenernährung (ÖHLINGER et al. 1993) Die alkalische Phosphatase ist mikrobiellen Ursprungs, während die saure Phosphatase von Wurzeln ausgeschieden wird (KANDELER & STEMMER 1998). Die in der Praxiserhebung gemessene Aktivität der alkalischen Phosphatase wurde als Quotient mit  $C_{\text{mik}}$  ausgewertet ( $\text{Phos}/C_{\text{mik}}$ ).

Ergebnisse der Korrelationsanalysen weisen auf einen positiven Zusammenhang von  $\text{Phos}/C_{\text{mik}}$  mit dem Getreideertrag hin. Diese Korrelation kann mit der bessern Phosphorversorgung bei einer höheren Phosphataseaktivität im Boden zusammenhängen (TARAFDAR & CLAASSEN 1988). Die Höhe des Quotienten  $\text{Phos}/C_{\text{mik}}$  auf den Untersuchungsschlägen war vor allem vom Standort abhängig. Wesentliche Faktoren waren der pH-Wert und die Jahrestemperatur (positiv). Die Dauer der ökologischen Bewirtschaftung und einer Viehhaltung wiesen positive Korrelationen zu  $\text{Phos}/C_{\text{mik}}$  auf. Eine regelmäßige Phosphat- und / oder Kalidüngung wirkte sich hingegen negativ aus. Auch in der Literatur wird ein positiver Effekt ökologischer Bewirtschaftung (KAHLE et al. 2005) und negative Auswirkungen einer mineralischen P-Düngung (GUILLEMIN 1995) auf die Phosphataseaktivität beschrieben.

In der Praxiserhebung zeigte sich kein deutlicher Zusammenhang zwischen den Regenwurm-Boniturergebnissen und den Erträgen von Erbse, Ackerbohne und Getreide. Ein hoher Regenwurm��atz ist jedoch für den Boden aus verschiedenen Gründen positiv zu bewerten. So wird z. B. die Luft- und Wasserführung durch Regenwurmzüge verbessert sowie durch das Fraßverhalten die Umsetzung organischer Materialien und der Aggregataufbau gefördert (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002).

Weder mit Standort- noch mit Bewirtschaftungsfaktoren konnte ein großer Anteil der Varianz der Regenwurm-Boniturergebnisse erklärt werden. Das Auffinden von Regenwürmern hängt wesentlich von der Feuchtigkeit des Bodens bei der Bonitur ab (DAUGELIENE 2010). Zwar



wurden auf den Untersuchungsschlägen nicht nur die gefundenen Würmer sondern auch die Dichte an Gängen bewertet, es ist jedoch trotzdem davon auszugehen, dass ein deutlicher Effekt des Bodenzustands auf das Boniturergebnis die Ermittlung von Zusammenhängen erschwerte.

Wichtige Standortfaktoren waren die Tiefgründigkeit (Eindringtiefe Bodensonde: positiv) und der Schluffgehalt (positiv). Eine hohe Trockenrohdichte der Krume sowie Verdichtungen im Unterboden wirkten sich negativ aus. Schläge mit hohen Cu-Gehalten im Boden wiesen häufig einen geringen Regenwurmbesatz auf. JÄNSCH & RÖMBKE (2009) belegen in einer Auswertung von einer Vielzahl von Studien, dass sich hohe Cu-Gehalte toxisch auf Regenwürmer auswirken können.

Von den Bewirtschaftungsparametern wiesen die Dauer der Viehhaltung, die Häufigkeit von Rotkleeanbau und der Anteil an Winterfrüchten in der Fruchtfolge positive Zusammenhänge mit dem Regenwurmbesatz auf. Auf Schlägen mit einem hohen Anteil an Körnerleguminosen, Wurzel- und Knollenfrüchten sowie zusammengefasst an Humuszehrern (Humuseinheitenmethode nach LEITHOLD, LEITHOLD et al. 1997) wurde hingegen häufig ein geringer Regenwurmbesatz gefunden. Diese Ergebnisse bestätigen die bekannten positiven Effekte winterlicher Begrünung und von Kleegrasanbau sowie den negativen Einfluss intensiven Hackfruchtanbaus auf den Besatz mit Regenwürmern.

#### 4.1.8.5 Bodenqualität und Bewirtschaftung

Die Ergebnisse der Praxiserhebungen haben gezeigt, dass ein Großteil der untersuchten Bodenfruchtbarkeitsparameter vor allem von der standortbedingten Bodenart abhängig ist. In diesem vorgegebenen Rahmen kann die Bewirtschaftung jedoch einen deutlichen Einfluss auf die Qualität der Bodeneigenschaften ausüben. Im Folgenden sind die in der Praxiserhebung ermittelten wesentlichen Einflussgrößen und Steuerungsmöglichkeiten durch die Bewirtschaftung zusammengefasst aufgeführt:

- Bodenstruktur: Positiv bewertet werden ein hoher Anteil an kontinuierlichen Grobporen, der eine gute Durchlüftung und einen schnellen Wassertransport gewährleistet, ein hohes Wasserspeichervermögen und möglichst wenig Schadverdichtungen die sowohl den Luft- und Wasserhaushalt stören als auch die Durchwurzelung behindern.
  - Der Einsatz leichter Schlepper und breiter Reifen schont den Boden. Die Gefahr von Schadverdichtungen ist bei Schleppern von 100 bis 150 PS geringer als bei 300 PS und bei Reifen von 80 bis 100 cm Breite geringer als bei 50 cm.
  - Ein hoher Anteil an Leguminosen in der Fruchtfolge hat einen positiven Effekt auf die Bodenstruktur. Ein Leguminosenanteil unter 30 % (inkl. Zwischenfrüchte) ist im Mittel der Betriebe als gering und über 50 % als hoch zu bewerten. Bei Körnerleguminosen macht sich ein positiver Einfluss z. B. nach Ackerbohnen direkt bemerkbar, während nach Erbsen auch negative Auswirkungen beobachtet werden.
  - Der Anbau von Wurzel- und Knollenfrüchten sowie von Mais wirkt sich oft negativ auf die Bodenstruktur aus.
  - Während auf Schlägen mit intensiver Gülledüngung mit einem negativen Einfluss auf die Bodenstruktur gerechnet werden muss, wirkt sich die Düngung mit Mist positiv aus.
- Nährstoffgehalte (ohne N): Ausreichend hohe Gehalte an verfügbaren Nährstoffen werden als Voraussetzung für sichere Erträge angesehen.

- Nach Umstellung auf Ökolandbau ist nicht mit einer schnellen Verarmung des Bodens an verfügbaren Nährstoffen zu rechnen. Bei Schlägen mit durchschnittlich 13 Jahren Ökobilanz (maximal 34) ist kein Effekt des Umstellungszeitraums auf die Nährstoffgehalte zu erkennen.
  - Langjährige Viehhaltung bzw. der intensive Einsatz von Wirtschaftsdüngern ist häufig mit höheren Kali- und Zinkgehalten verbunden.
  - Auf Schlägen mit langfristig hohem Kartoffelanbau muss mit erhöhten Kupfergehalten im Boden gerechnet werden.
- Organische Substanz (Humus): Bekanntermaßen ist Humus ein wesentlicher Faktor für viele Bodenfunktionen, z. B. für die Nährstoff- und Wasserspeicherung, als Lebensgrundlage von Bodenorganismen und für die Stabilisierung der Bodenstruktur. Der Gehalt in der Ackerkrume hängt in erster Linie vom Tongehalt des Bodens ab. Veränderungen durch die Bewirtschaftung erreichen erst nach mehreren Jahren bis Jahrzehnten messbare Größenordnungen.
- Der Gehalt an organischer Substanz liegt auf Schlägen von Betrieben mit einem langfristig hohen Tierbesatz meist höher als auf Schlägen viehloser oder vieharter Betriebe gleicher Bodenart. Auch eine langfristig hohe Humusbilanz oder langjährig hohe Anteile an Klee- oder Luzernegrass in der Fruchtfolge sind meist mit höheren Gehalten an organischer Substanz verbunden.
  - Schon in dem relativ kurzen Untersuchungszeitraum von ca. 10 bis 25 Jahren zeigen sich ein leicht negativer Effekt des Anbaus von Wurzel- und Knollenfrüchten und die positive Auswirkung von Mistdüngung auf den Gehalt an organischer Substanz in der Krume.
- Bodenbiologie: Die mikrobiologischen Eigenschaften des Bodens hängen eng mit den Gehalten an organischer Substanz und damit auch mit der Bodenart zusammen. Eine hohe biologische Aktivität des Bodens wird im Allgemeinen als positiv bewertet. Auch ein hoher Regenwurmbesatz ist z. B. für die Luft- und Wasserführung, die Umsetzung organischer Materialien und den Aggregataufbau förderlich.
- Der Anteil mikrobieller Lebewesen an der organischen Substanz, d. h. die Belebtheit des Bodens, steigt mit der Häufigkeit des Leguminosen- und Zwischenfruchtanbaus sowie mit dem Anteil an Winterfrüchten in der Fruchtfolge. Auch die Regenwürmer profitieren von Winterfrüchten und einem hohen Anteil von Klee-Grass in der Fruchtfolge.
  - Der Anbau von Wurzel- und Knollenfrüchten hat eine gegenteilige Wirkung auf das mikrobielle Bodenleben und die Regenwürmer. Dies kann an der relativ geringen Zufuhr an Pflanzenresten mit diesen Kulturen, der hohen Bearbeitungsintensität, aber auch an der hemmenden Wirkung von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln liegen.
  - Bei dem Einsatz von Wirtschaftsdüngern zeigt vor allem die langjährige Gülle- und Mistdüngung eine positive Wirkung auf die Belebtheit der organischen Substanz. Da bei der Mistdüngung sowohl der Gehalt an organischer Substanz als auch an mikrobiellen Lebewesen ansteigt, ist ein Effekt auf die Belebtheit der organischen Substanz nicht zu erkennen.

Insgesamt bestätigen die ermittelten Ergebnisse die im Ökolandbau häufig aufgestellte These, dass Gemischtbetriebe mit Mistdüngung und hohem Leguminosenanteil die Bodenqualität fördern und die Bodenfruchtbarkeit langfristig erhalten oder steigern können. Bei viehlosen oder vieharmen Ackerbaubetrieben ist es hingegen wichtig, auf einen ausreichenden Leguminosenanteil zu achten und gegebenenfalls z. B. organische Düngemittel zu importieren, um ein Nachlassen der Bodenqualität auszuschließen.

## 4.2 Workpackage 2: Nährstoffinputs, Sekundärrohstoffe, Wirtschaftsdünger – Teil 1 Vorfruchtwert

### 4.2.1 Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Saatplatterbse, Ackerbohne und Rotklee 2008 – 2011

#### 4.2.1.1 - Versuchsspezifische Materialien und Methoden

##### Standorteigenschaften und Witterungsverlauf

Die Feldversuche in Teil1-WP 2 in den Jahren 2008 bis 2012 wurden auf den Versuchsflächen der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Dresden-Pillnitz durchgeführt. Die Flächen liegen auf einer Höhe von 117,5 m über NN und befinden sich in der ehemaligen Elbaue etwa 51° nördlicher Breite und 13° östlicher Länge. Der Bodentyp ist eine Haftenäse-Braunerde aus Auenlehm. Die Bodenart im Ap-Horizont ist lehmiger Sand (SI3), im B-Horizont SI4 und im C-Horizont SI2. Es besteht teilweise Haft- und Stauwassereinfluss. Die Fläche wird seit dem Jahr 2003 ökologisch bewirtschaftet. In Tabelle 86 sind die jeweils vor der Aussaat der Kulturen ermittelten Grundnährstoffgehalte im Boden dargestellt.

**Tabelle 86: pH-Wert, Anteil an C<sub>t</sub> und N<sub>t</sub> und Grundnährstoffgehalt im Boden vor Versuchsbeginn in einer Tiefe von 0 bis 30 cm in den Jahren 2008 bis 2012 am Standort Dresden-Pillnitz**

	pH	C <sub>t</sub>	N <sub>t</sub>	P	K	Mg
		%	%	[mg/100g]	[mg/100g]	[mg/100g]
Juli 2008	6,2	-	-	5,8	16,7	9,8
März 2009	5,5	1,00	0,10	6,3	13,7	9,3
Juli 2009	5,7	0,99	0,11	5,8	13,6	10,2
März 2010	6,0	0,89	0,12	6,8	14,5	11,3
März 2011	6,0	1,11	0,12	5,8	12,7	10,4
März 2012	-	1,45	0,13	4,7	15,4	11,2

Die vorliegenden Wetterdaten wurden von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft bereitgestellt, welche vor Ort eine Wetterstation betreibt. In Abbildung 70 und Abbildung 71 sind die monatlichen Niederschlagsmengen und Durchschnittstemperaturen im Versuchszeitraum jeweils den langjährigen Mitteln gegenübergestellt. Demnach wurde insbesondere im Zeitraum April/Mai 2010 eine deutlich geringere Durchschnittstemperatur gegenüber dem Jahr 2009 festgestellt. Für den Monat April der Jahre 2009, 2010 und 2012 lässt sich am Standort eine vergleichsweise geringe monatliche Niederschlagsmenge (31 mm oder niedriger) feststellen.

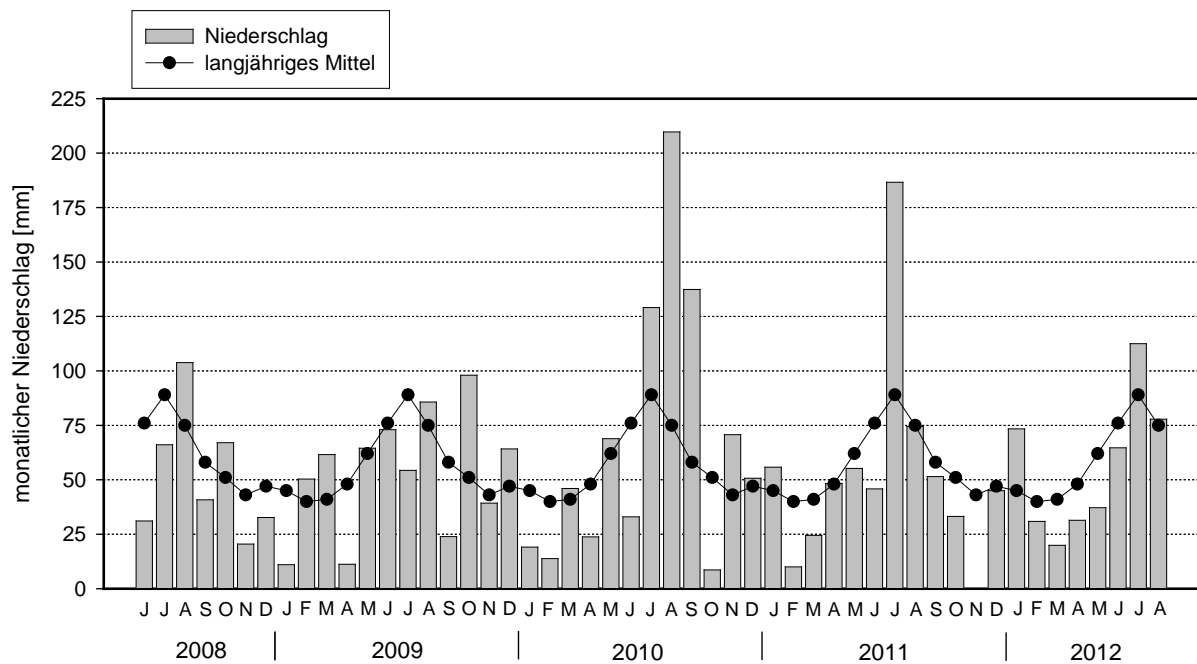


Abbildung 70: Niederschläge im Versuchszeitraum und langjähriges Mittel am Standort Dresden-Pillnitz

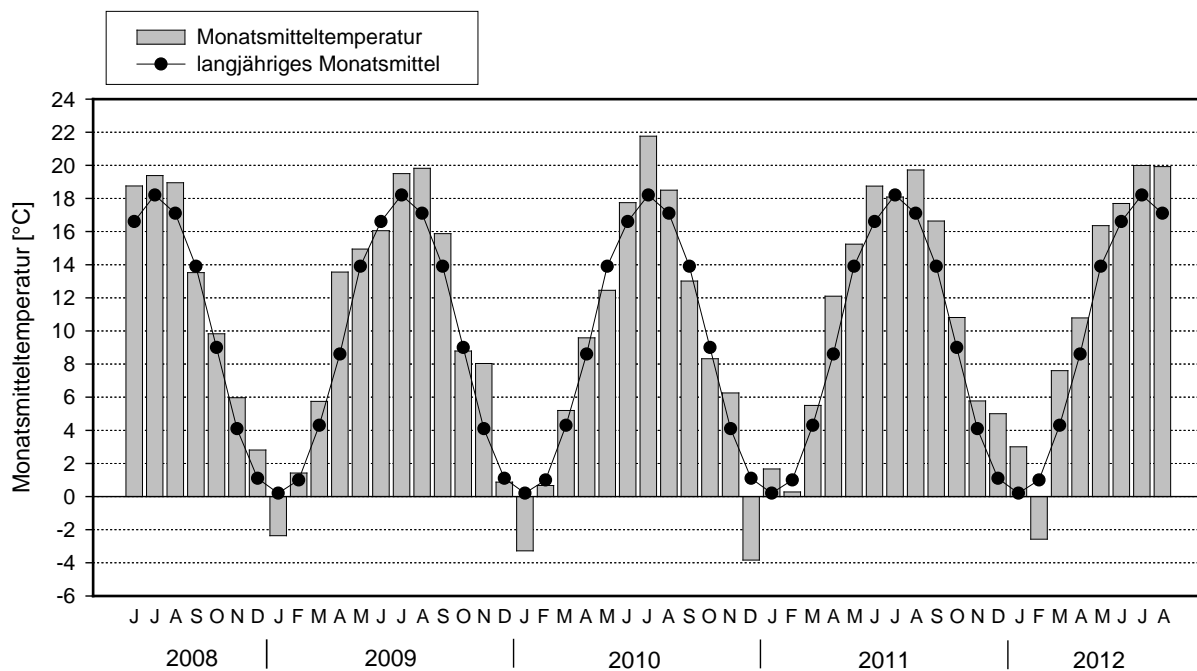


Abbildung 71: Temperaturverlauf (Monatsmittel) im Versuchszeitraum und langjähriges Mittel am Standort Dresden-Pillnitz

## Bodenrespiration

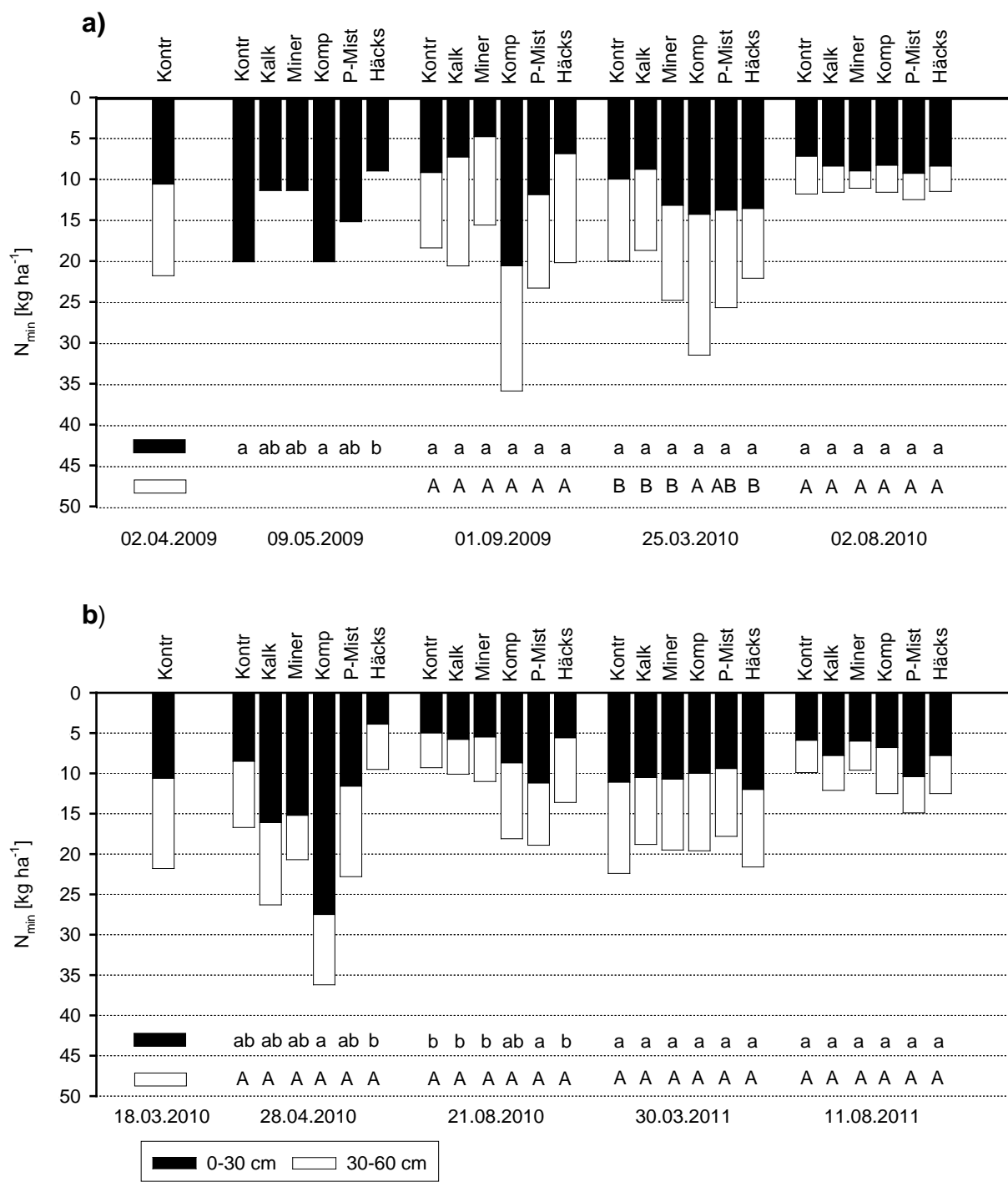
Zur Ermittlung der Bodenrespiration unter Feldbedingungen wurden nach der Saat von Saatplatterbse (2008), Ackerbohne (2009, 2010) und Rotklee (2012) in allen Düngevarianten 10 Messpunkte je Parzelle in einem Abstand von 1 m zueinander festgelegt. An jedem Messpunkt wurde ein PVC-Rohr ( $\varnothing$  10 cm, Höhe 0,5 m) in den Boden eingelassen, auf dem der Messzylinder des Messgerätes (CIRAS 2 PP-Systems) zu jeder Messung aufgesetzt wurde. Die



signifikant) und im Frühjahr unter dem nachfolgenden Winterweizen in der Tiefenstufe 30 bis 60 cm (signifikant, Abbildung 73a). Im Jahr 2010 wurde nach der Ernte der Ackerbohne ein signifikanter Unterschied des  $N_{\min}$ -Vorrates im Boden zwischen den Varianten Pferdemist und Gehölzhäcksel festgestellt, während sich die Werte unter dem nachfolgenden Winterweizen nur noch in sehr geringem Maß unterschieden (Abbildung 73b).

Bei Rotklee wurde in den Jahren 2009 und 2010 analog zu Ackerbohne eine signifikante Abstufung des  $N_{\min}$ -Vorrates im Boden (Grüngutkompost > Pferdemist > Gehölzhäcksel) in einer Tiefe von 0 bis 30 cm etwa 40 Tage nach der Saat festgestellt, welche sich im Jahr 2009 auch nach der letzten Ernte des Rotklees erkennen ließ (nicht signifikant), nicht jedoch im Jahr 2010 und in beiden Jahren zu den jeweils späteren Terminen der Probenahme (Abbildung 74).





**Abbildung 73: N<sub>min</sub>-Vorrat im Boden in Abhängigkeit von der Düngung unter Ackerbohne und nachfolgendem Winterweizen in den Jahren 2009/2010 (a) und 2010/2011 (b)**

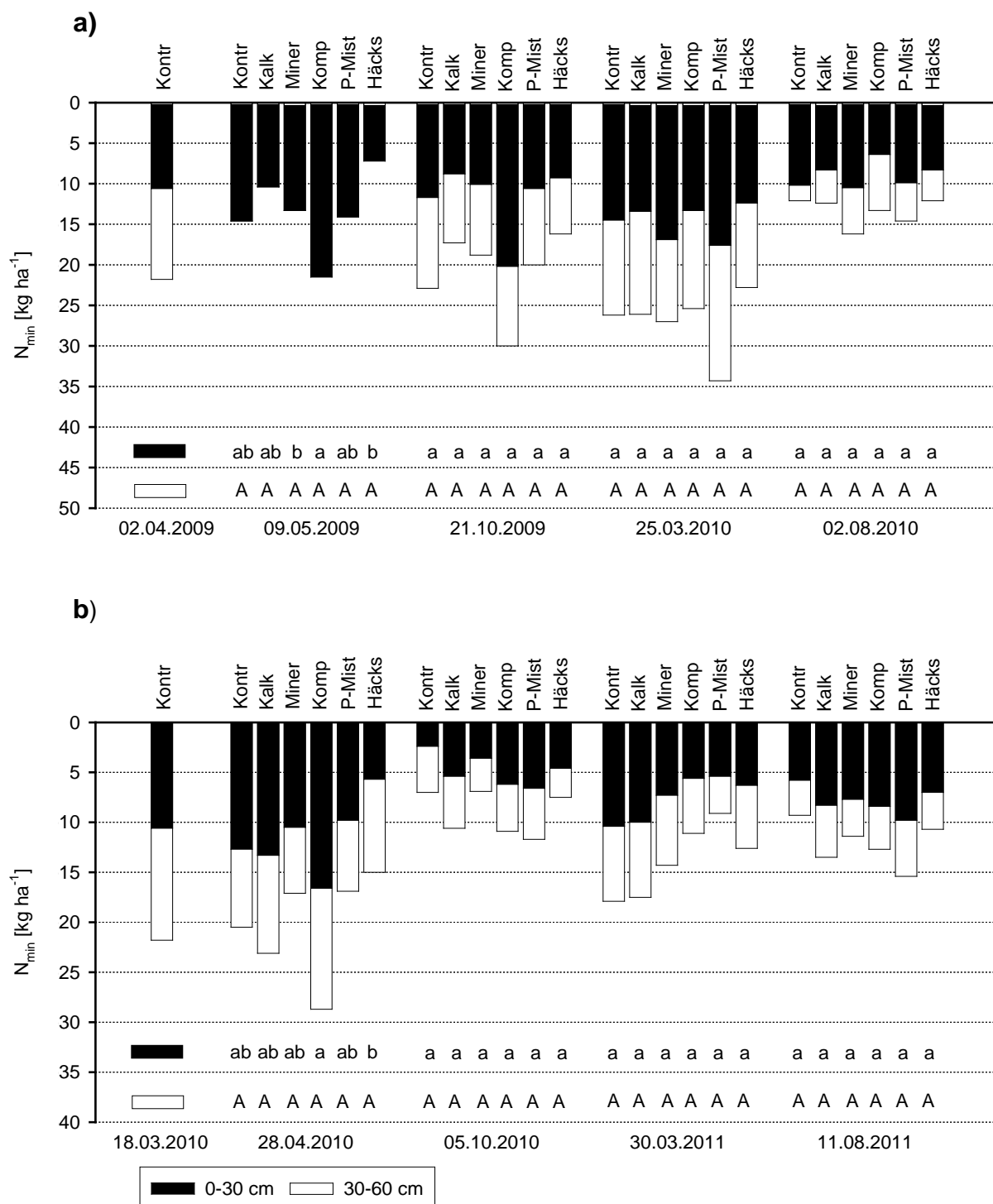


Abbildung 74:  $N_{\min}$ -Vorrat im Boden in Abhängigkeit der Düngung unter Rotklee und nachfolgendem Winterweizen in den Jahren 2009/2010 (a) und 2010/2011 (b)

### 4.2.1.3 Bodenrespiration

Zu Saatplatterbse im Jahr 2008 wurde in den Varianten mit Düngung von Pferdemist und Stroh im Mittel über sieben Messtage eine signifikant höhere Bodenrespiration gegenüber der Kontrolle und den Vergleichsvarianten festgestellt (Tabelle 87). Die Höhe der Bodenrespiration lag in der Kontrolle ohne Düngung bei sieben Messtagen im Bereich zwischen 423 und 814 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Im Vergleich dazu wurden in der Variante mit Düngung von Pferdemist deutlich höhere Werte zwischen 711 und 1356 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> und in der Variante mit Strohdüngung

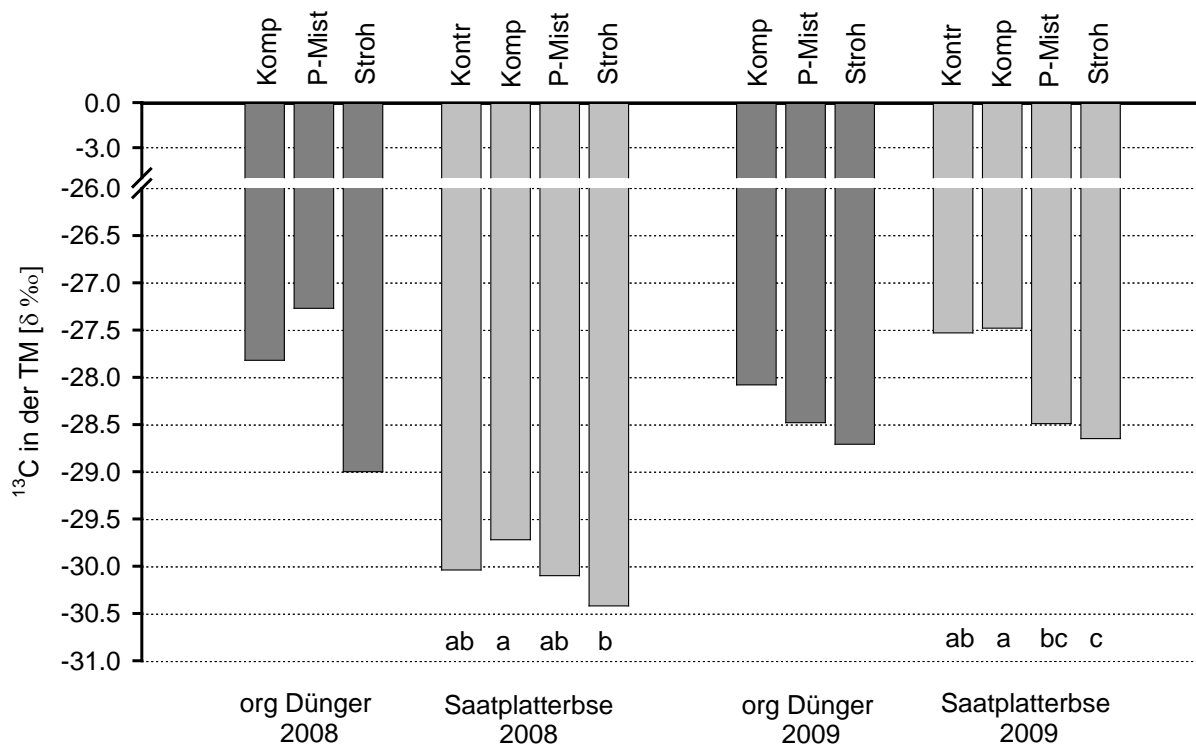
Werte zwischen 701 und 1239 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> ermittelt. Die Messungen der Bodenrespiration in Ackerbohne in den Jahren 2009 (vier Messtage) und 2010 (fünf Messtage) ergaben ebenfalls teils signifikant höhere Respirationsraten in den organisch gedüngten Varianten gegenüber der Kontrolle und den Vergleichsvarianten. Die absoluten Werte lagen im Jahr 2009 in der Kontrollvariante zwischen 323 und 485 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> und im Jahr 2010 zwischen 187 und 1104 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>.

**Tabelle 87: Bodenrespiration zu Saatplatterbse (2008) und Ackerbohne (2009 und 2010) nach organischer und mineralischer Düngung**

	Bodenrespiration zu Saatplatterbse 7 Termine 2008	Bodenrespiration zu Ackerbohne 4 Termine 2009	Bodenrespiration zu Ackerbohne 5 Termine 2010
Kontrolle	b	bc	b
Kalk	b	abc	ab
Mineralisch	b	bc	b
Grüngutkompost	b	a	a
Pferdemist	a	ab	a
Stroh/Gehölzhäcksel	a	a	ab
<i>P</i> -Wert Variante	0,0001	0,0007	0,0010
<i>P</i> -Wert Termin	0,0704	0,1354	0,0163
<i>P</i> -Wert Variante x Termin	0,2706	0,7281	0,1037

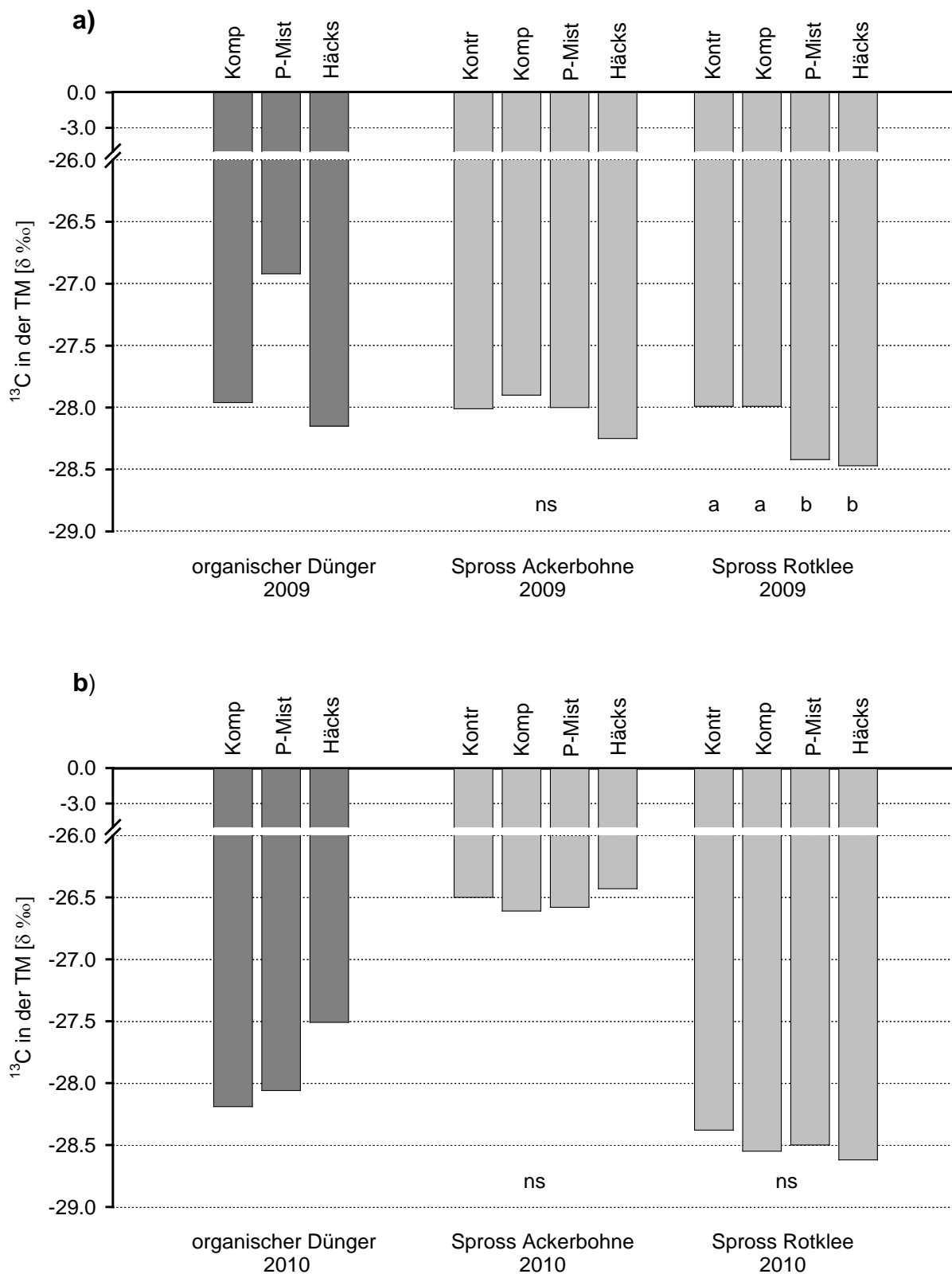
#### 4.2.1.4 Isotopensignatur <sup>13</sup>Cnaturalabundance

Im Jahr 2008 lagen die Delta-<sup>13</sup>C-Werte (δ‰ <sup>13</sup>Cnaturalabundance) der eingesetzten organischen Düngemittel deutlich höher gegenüber den Delta-<sup>13</sup>C-Werten im Spross der Saatplatterbse (Abbildung 75). Demgegenüber wurden im Jahr 2009 niedrigere (Grüngutkompost) bzw. gleich hohe (Pferdemist und Stroh) Delta-<sup>13</sup>C-Werte in den organischen Düngemitteln im Vergleich mit den Werten im Spross von Saatplatterbse festgestellt. Signifikant unterschieden sich die Delta-<sup>13</sup>C-Werte im Spross der Saatplatterbse zwischen den Varianten mit Strohdüngung (-30,42) und Düngung von Grüngutkompost (-29,72) im Jahr 2008 und zwischen der Variante mit Strohdüngung (-28,65) und der Kontrolle (-27,53) und Düngung mit Grüngutkompost (-27,48) im Jahr 2009.



**Abbildung 75: δ‰-Wert <sup>13</sup>C (natural abundance) in der Trockenmasse eingesetzter organischer Düngemittel und in der Sprossmasse der Saatplatterbse in den Jahren 2008 und 2009**

Die ermittelten Delta-<sup>13</sup>C-Werte im Spross der Ackerbohne lagen im Jahr 2009 im Mittel der Prüfglieder bei -28,04 gegenüber -26,53 im Jahr 2010. Auch die eingesetzten Düngemittel selbst wiesen im Vergleich der Jahre Schwankungen hinsichtlich ihrer Delta-<sup>13</sup>C-Werte auf (Abbildung 76). So wurde etwa im Pferdemist im Jahr 2009 ein Delta-<sup>13</sup>C-Wert von -26,92 und im Jahr 2010 ein Delta-<sup>13</sup>C-Wert von -28,06 festgestellt. Die Varianten mit Düngung von Pferdemist und Gehölzhäcksel im Jahr 2009 wiesen signifikant höhere Delta-<sup>13</sup>C-Werte im Spross des Rotklees gegenüber der Variante mit Düngung von Grüngutkompost und der Kontrolle auf.



**Abbildung 76:  $\delta^{13}\text{C}$  (natural abundance) in der Trockenmasse eingesetzter organischer Düngemittel und in der Sprossmasse der Ackerbohne und des Rotklee in den Jahren 2009 (a) und 2010 (b)**

#### 4.2.1.5 Ertrag Saatplatterbse, Ackerbohne und Rotklee

Der Sprossertrag der Saatplatterbse lag im Mittel der Prüfglieder im Jahr 2008 bei 55 dt Trockenmasse je ha, im Jahr 2009 bei 45 dt/ha. In beiden Jahren unterschieden sich die Mittelwerte der Düngevarianten nicht signifikant voneinander (Abbildung 77). Die Referenzfrucht Welsches Weidelgras lag mit einem Sprossertrag von 27 dt/ha im Jahr 2008 und 18 dt/ha im Jahr 2009 auf einem deutlich geringeren Ertragsniveau gegenüber der Saatplatterbse. Im Jahr 2009 wurde in der Variante mit Düngung von Pferdemist mit 28 dt/ha ein signifikant höherer Sprossertrag gegenüber der Kontrolle und den Varianten mit Düngung von Kalk und Grüngutkompost erzielt.

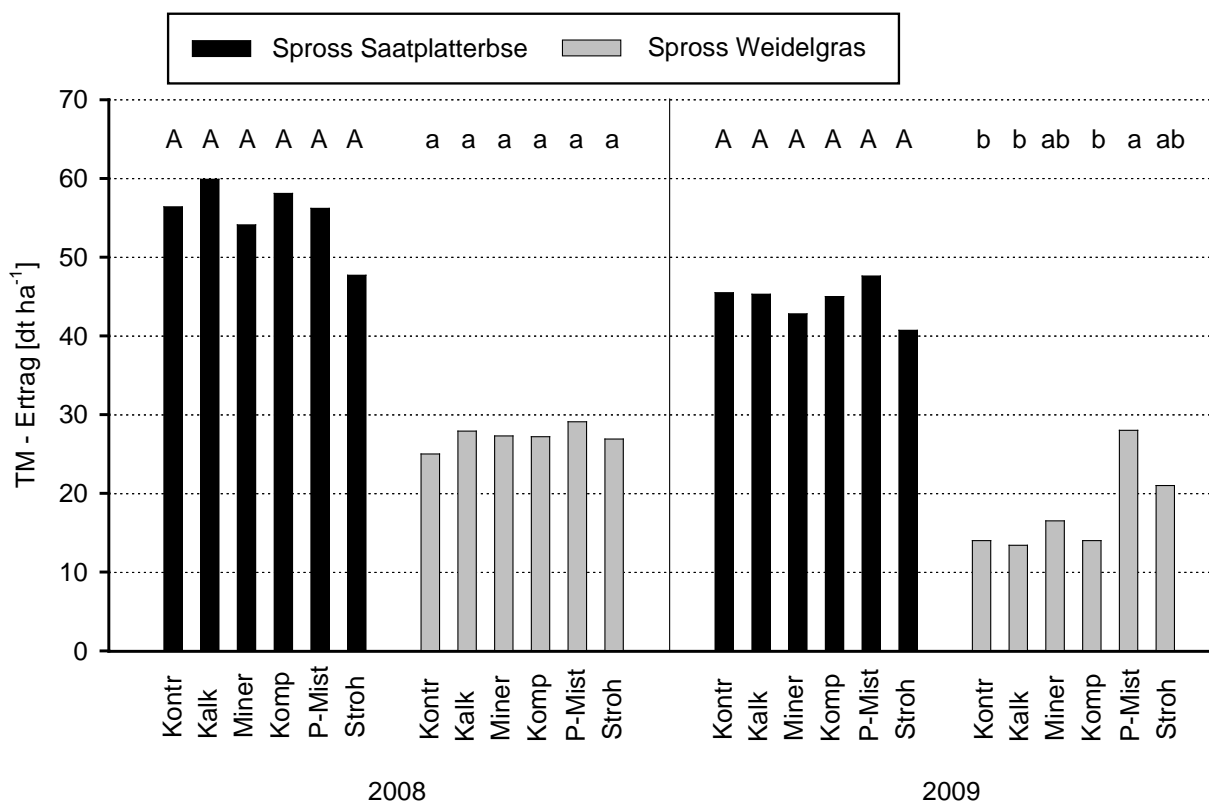


Abbildung 77: Sprossertrag von Saatplatterbse (TM) und von Welschem Weidelgras in den Jahren 2008 und 2009

Der Kornertrag von Ackerbohne betrug im Jahr 2009 im Mittel der Prüfglieder 36 dt/ha. In der Variante mit der Düngung von Gehölzhäcksel wurde ein mit 43 dt/ha signifikant höherer Kornertrag gegenüber der Variante mit Pferdemistdüngung (30 dt/ha) ermittelt (Abbildung 78). Im Jahr 2010 lag der Kornertrag im Mittel bei 28 dt/ha. Zwischen den Düngevarianten wurden im Jahr 2010 hinsichtlich des Korn- und des Strohertrages keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Die Verunkrautung zum Zeitpunkt der Ernte der Ackerbohne zeigte demgegenüber in beiden Jahren deutliche Unterschiede zwischen den Düngevarianten. Im Jahr 2009 wurde eine Reduzierung der Verunkrautung in der Variante mit der Düngung von Gehölzhäcksel um 51 % gegenüber der Kontrolle ermittelt (Abbildung 79). Im Jahr 2010 lag die Verunkrautung (Sprossmasse) in der Variante Gehölzhäcksel um 4 % unter dem Wert der Kontrolle. In der Variante mit Düngung von Pferdemist zeigte sich in beiden Jahren hingegen ein deutlich erhöhtes Unkrautauflaufen gegenüber den Vergleichsvarianten.



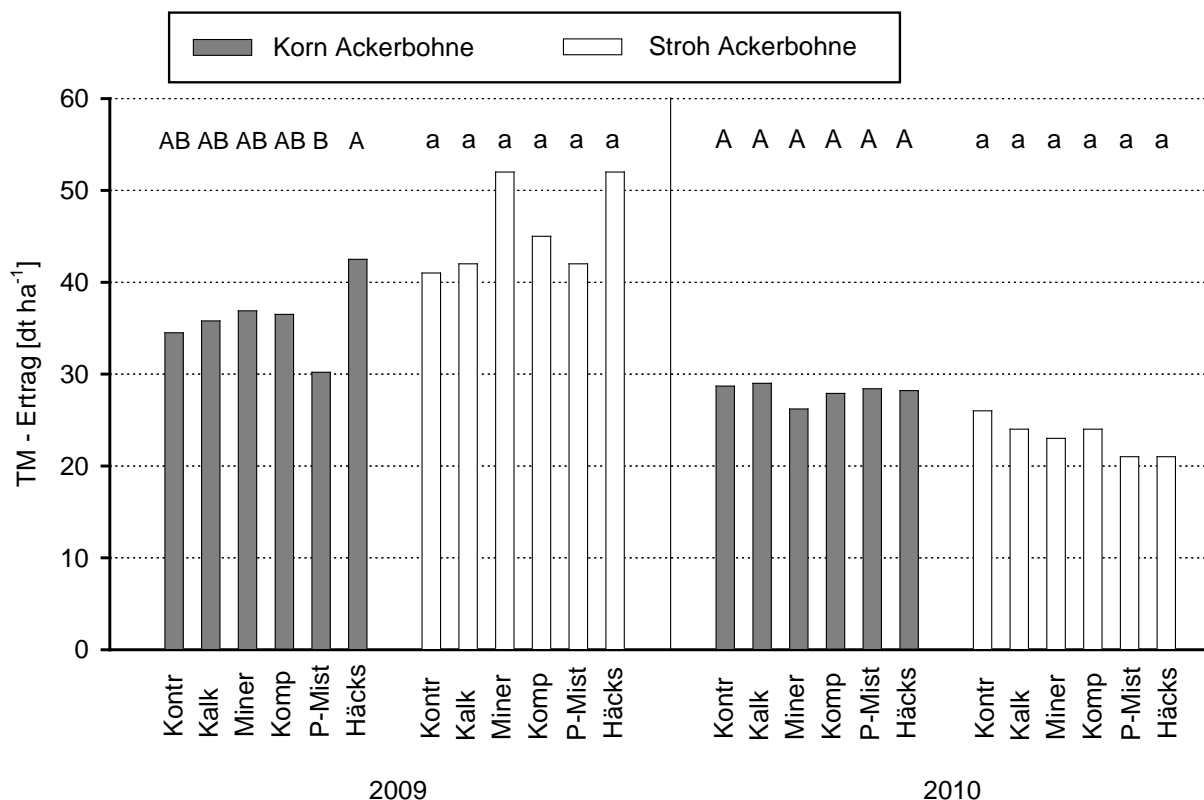
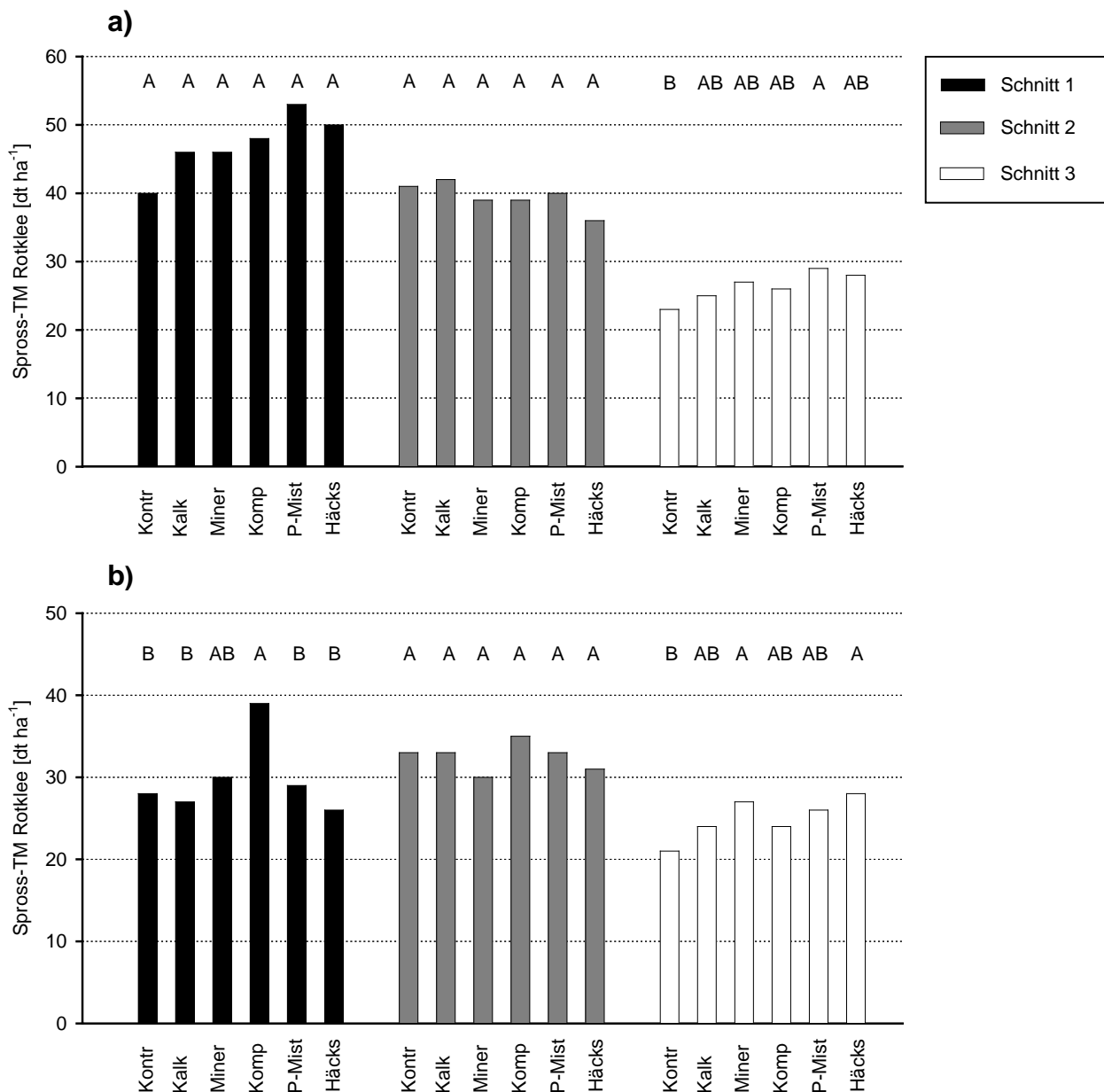


Abbildung 78: Kornertrag und Strohertrag der Ackerbohne in den Jahren 2008 und 2009

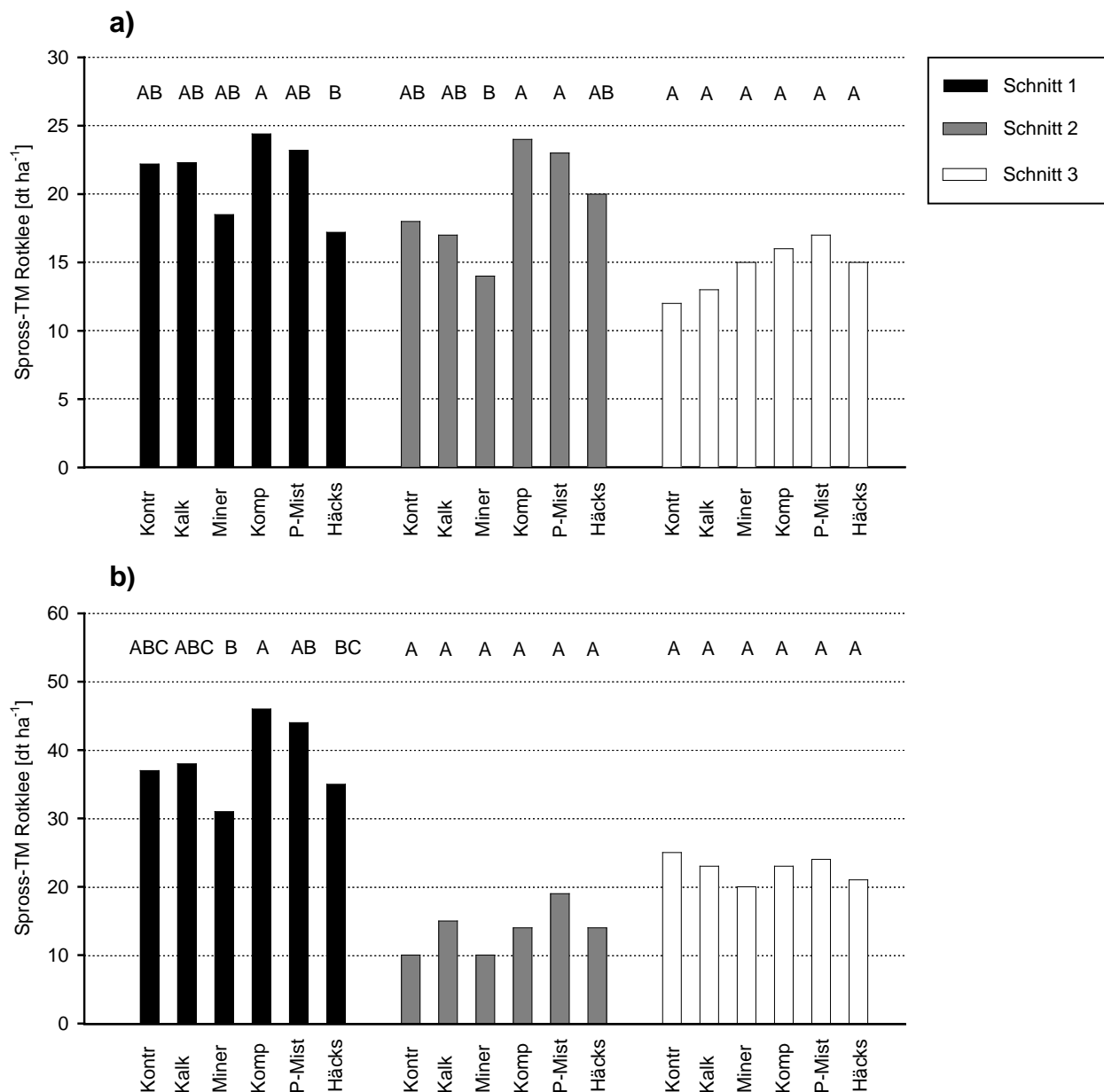
**Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen. Abbildung 79: Sprosstrockenmasse an Unkraut zum Zeitpunkt der Ernte der Ackerbohne in den Jahren 2009 und 2010**

Der Sprossertrag des Rotklees betrug im Jahr 2009 im Mittel der Prüfglieder 120 dt Trockenmasse je ha (Summe aus drei Schnitten und der Stoppelmasse) gegenüber 99 dt/ha im Jahr 2010. Im Mittel der Einzelernten und der Stoppelmasse zum dritten Schnitt im Jahr 2010 lag der Ertrag der Sprosstrockenmasse in der Variante mit Grüngutkompost mit 109 dt/ha signifikant über den Erträgen der Varianten mit Kalkdüngung, Gehölzhäcksel und der Kontrolle. In Abbildung 80 sind die Sprosserträge der einzelnen Schnitte des Rotklees in beiden Jahren dargestellt. Im Jahr 2009 wurden zum ersten Schnitt in allen gedüngten Varianten höhere Sprosserträge gegenüber der ungedüngten Kontrolle festgestellt (nicht signifikant). Zum zweiten Schnitttermin lagen die Sprosserträge mit Ausnahme der Variante Kalkdüngung leicht unter dem Wert der Kontrolle. In der Variante mit Düngung von Gehölzhäcksel lag der Sprossertrag um 12 % unter dem Wert der Kontrolle. Zum dritten Schnitt lag der Sprossertrag in der Variante Pferdemit mit 29 dt/ha signifikant über dem Wert der Kontrolle mit 23 dt/ha. Im Jahr 2010 wurden hinsichtlich der Ertragsleistung der Einzelschnitte signifikante Unterschiede zum ersten und zum dritten Termin festgestellt (Abbildung 80b). Zum ersten Schnitttermin lag der Sprossertrag des Rotklees der Variante mit Grüngutkompost deutlich über den Werten der Vergleichsvarianten. Zum dritten Schnitttermin lagen die Sprosstrockenmassen in den Varianten mit mineralischer Düngung und mit Gehölzhäcksel signifikant über dem Wert der Kontrolle.



**Abbildung 80: Sprossstrockenmasse des Rotklee zu 3 Ernteterminen in den Jahren 2009 (a) und 2010 (b)**

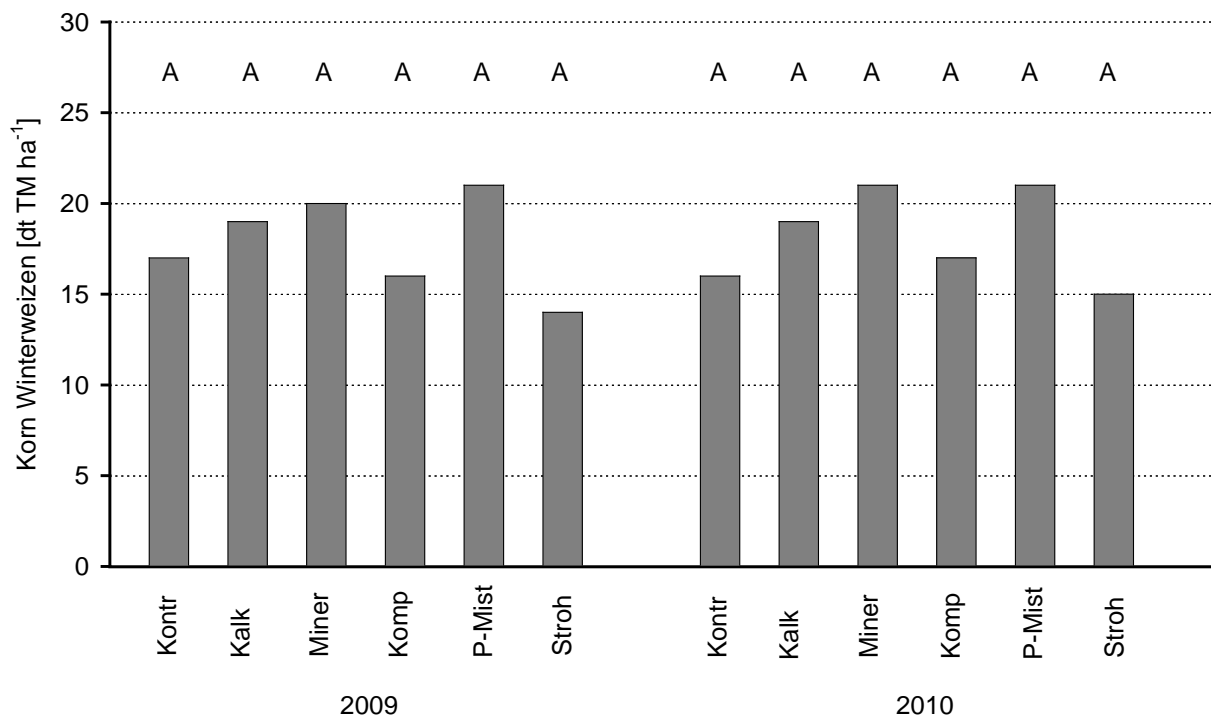
In Abbildung 81 sind die Sprosserträge der einzelnen Schnitte des Welschen Weidelgrases in den Jahren 2009 und 2010 dargestellt. Ersichtlich ist, dass mit Ausnahme des dritten Schnitttermins im Jahr 2010 die Erträge der Sprossstrockenmasse in den organisch gedüngten Varianten - insbesondere in den Varianten mit Grüngutkompost und Pferdemit - leicht über den Erträgen in der Kontrollvariante lagen. Die Erträge der Variante mit rein mineralischer Düngung lagen hingegen zum zweiten Schnitttermin im Jahr 2009 und zum ersten Schnitttermin im Jahr 2010 signifikant unter den Werten der Variante mit Grüngutkompost.



**Abbildung 81: Sprosstrockenmasse des Welschen Weidelgrases zu 3 Ernteterminen in den Jahren 2009 (a) und 2010 (b)**

#### 4.2.1.6 Kornertrag Winterweizen

Der Kornertrag des auf Saatplatterbse folgenden Winterweizens lag im Mittel der Düngewarianten im Jahr 2009 und im Jahr 2010 bei 18 dt/ha (Abbildung 82). Im Jahr 2009 wurde in der Variante mit Düngung von Pferdemit mit 21 dt/ha der höchste und in der Variante mit Strohdüngung mit 14 dt/ha der niedrigste Kornertrag ermittelt (schwach signifikant mit  $P=0,0574$ ). Im Jahr 2010 wurde in der Variante mit mineralischer Düngung mit 21 dt/ha der höchste und in der Variante mit Strohdüngung mit 15 dt/ha der niedrigste Kornertrag ermittelt (nicht signifikant verschieden).



**Abbildung 82: Kornertrag des Winterweizens nach Vorfrucht Saatplatterbse in den Jahren 2009 und 2010**

Der Kornertrag des Winterweizens nach Vorfrucht Ackerbohne betrug im Jahr 2010 im Mittel der Prüfglieder 38 dt/ha und lag im Jahr 2011 mit 26 dt/ha (-31 %) deutlich unter dem Wert des Vorjahres. Der Kornertrag des Winterweizens nach Vorfrucht Rotklee betrug im Jahr 2010 im Mittel der Prüfglieder 35 dt/ha, im Jahr 2011 30 dt/ha (-14 %). Insbesondere im Jahr 2010 wurden höhere Kornerträge in den organisch gedüngten Varianten gegenüber der Kontrolle festgestellt. Mit einem Kornertrag von 46 dt/ha nach Vorfrucht Ackerbohne (signifikant) und 38 dt/ha nach Vorfrucht Rotklee (nicht signifikant) wurde in der Variante mit Düngung von Grüngutkompost der jeweils höchste Wert gegenüber der Kontrolle erzielt (Abbildung 83). Im Jahr 2011 wurden nur geringe Unterschiede im Kornertrag des Winterweizens zwischen den Düngevarianten festgestellt. Die höchsten Ertragsunterschiede gegenüber der Kontrolle wurden in der Variante mit Düngung von Gehölzhäcksel mit 4 dt/ha Mehrertrag nach Vorfrucht Ackerbohne und in der Variante mit Düngung von Grüngutkompost mit 3 dt/ha erzielt .

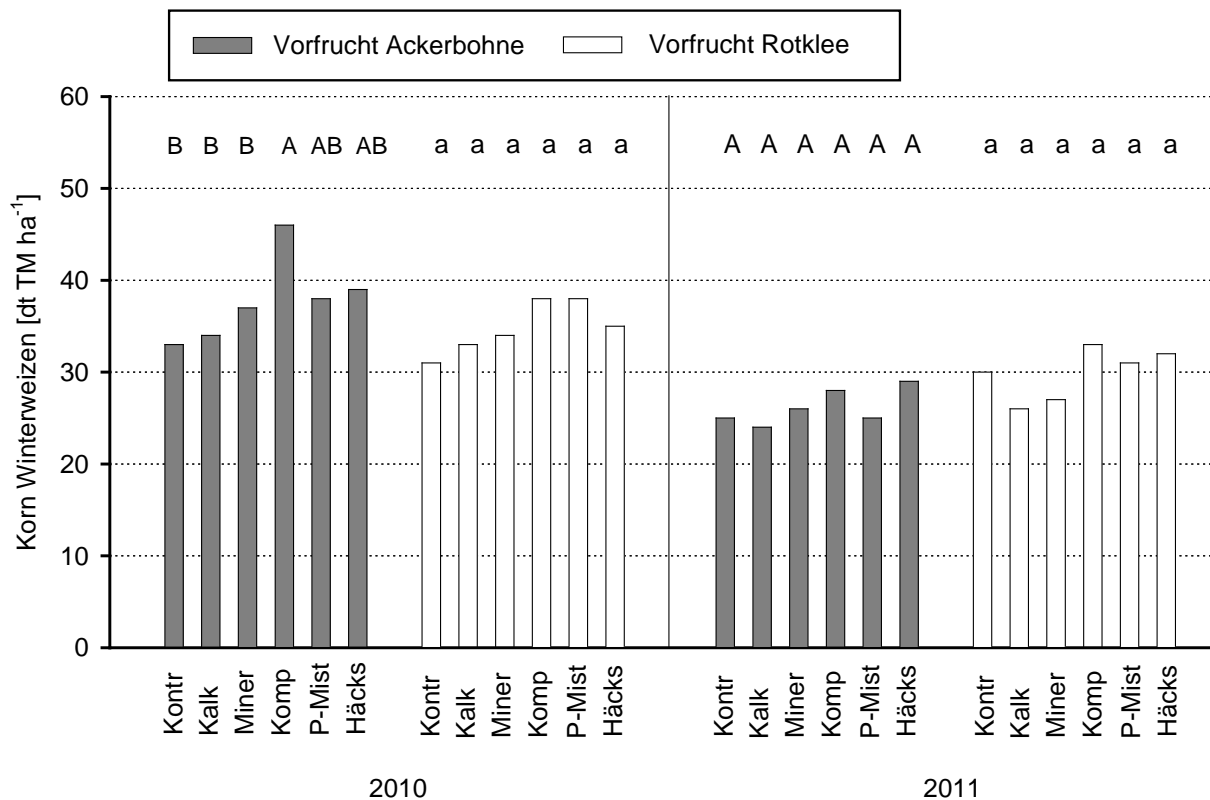


Abbildung 83: Kornertrag des Winterweizens nach Vorfrucht Ackerbohne und Rotklee in den Jahren 2010 und 2011

#### 4.2.1.7 N<sub>2</sub>-Fixierleistung

Der N-Gesamtertrag ( $N_{dfs} + N_{dfa}$ ) im Spross der Saatplatterbse betrug im Jahr 2008 im Mittel der Prüfglieder 192 kg N je ha und lag damit entsprechend der höheren Trockenmasse in diesem Jahr um 32 % über dem Wert im Jahr 2009 mit 132 kg N je ha. Im Jahr 2008 konnten hinsichtlich der Aufnahme von Stickstoff aus dem Boden und aus der Luft keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden. Die geringste symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung wurde in der Variante mit Strohdüngung mit 115 kg N je ha ermittelt, der höchste Wert in der Variante mit Kalkdüngung (Tabelle 88). Im Jahr 2009 wurde von der Saatplatterbse in der Variante mit Düngung von Pferdemit signifikant mehr Stickstoff aus dem Boden aufgenommen als in den Vergleichsvarianten, mit Ausnahme der Variante der Strohdüngung. Die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung unterschied sich hingegen nur sehr gering zwischen den Düngevarianten. Ein Rückgang der Sprosstrockenmasse der Saatplatterbse im Mittel der Prüfglieder um 19 % im Jahr 2009 gegenüber dem Jahr 2008 hatte eine um 41 % geringere Aufnahme von Stickstoff aus dem Boden und eine um 28 % geringere Aufnahme von Stickstoff aus der Luft zur Folge.

**Tabelle 88: Stickstoffaufnahme aus dem Boden ( $N_{dfs}$ ) und symbiotisch fixierter Stickstoff ( $N_{dfa}$ ) der Saatplatterbse in den Jahren 2008 und 2009**

	Saatplatterbse 2008		Saatplatterbse 2009	
	$N_{dfs}$ [kg N/ha]	$N_{dfa}$ [kg N/ha]	$N_{dfs}$ [kg N/ha]	$N_{dfa}$ [kg N/ha]
Kontrolle	51,9	147,5	23,3 b	104,1
Kalk	57,7	155,7	25,6 b	99,9
Mineralisch	50,8	132,5	28,6 b	96,5
Grüngutkompost	52,8	149,4	25,4 b	99,8
Pferdemist	57,6	133,2	54,5 a	94,1
Stroh	49,3	115,6	35,5 ab	101,4
P-Wert	0,9910	0,5489	0,0008	0,9704

Die Gesamtaufnahme an Stickstoff durch Ackerbohne lag im Jahr 2009 bei 234 kg N je ha und im Jahr 2010 bei 138 kg N je ha. Die Aufnahme an Stickstoff aus dem Boden unterschied sich zwischen den Düngevarianten nur in sehr geringem Maße (Abbildung 90a). In der Variante mit der Düngung von Gehölzhäcksel wurde im Vergleich zur Kontrolle mit 200 kg N je ha die höchste Menge an Stickstoff aus der Luft aufgenommen. Im Jahr 2010 unterschied sich die N-Aufnahme aus dem Boden der Varianten mit mineralischer Düngung und mit Düngung von Grüngutkompost signifikant voneinander. Hinsichtlich der Aufnahme an Stickstoff aus der Luft zeigten sich nur geringe Unterschiede zwischen den Düngevarianten. Ein Rückgang der Sprosstrockenmasse der Ackerbohne im Mittel der Prüfglieder um 38 % im Jahr 2010 gegenüber dem Jahr 2009 hatte eine um 54 % geringere Aufnahme an Stickstoff aus dem Boden und eine um 36 % geringere Aufnahme an Stickstoff aus der Luft zur Folge.

**Tabelle 89: Stickstoffaufnahme aus dem Boden ( $N_{dfs}$ ) und symbiotisch fixierter Stickstoff ( $N_{dfa}$ ) der Ackerbohne (a) und des Rotklee (b) in den Jahren 2009 und 2010**

a)

	Ackerbohne 2009		Ackerbohne 2010	
	$N_{dfs}$ [kg N/ha]	$N_{dfa}$ [kg N/ha]	$N_{dfs}$ [kg N/ha]	$N_{dfa}$ [kg N/ha]
Kontrolle	62,6	153,4	30,7 ab	109,1
Kalk	69,2	161,6	31,9 ab	109,2
Mineralisch	56,7	185,6	21,3 b	107,8
Grüngutkompost	69,5	170,4	33,7 a	106,5
Pferdemist	50,8	153,7	29,5 ab	111,0
Gehölzhäcksel	71,3	199,9	27,5 ab	109,5
P-Wert Variante	0,42131	0,06321	0,0391	0,9968



b)

	Rotklee 2009		Rotklee 2010	
	N <sub>dfs</sub> [kg N/ha]	N <sub>dfa</sub> [kg N/ha]	N <sub>dfs</sub> [kg N/ha]	N <sub>dfa</sub> [kg N/ha]
Kontrolle	67,6	237,4	52,8	200,1
Kalk	75,1	258,5	63,1	202,3
Mineralisch	89,3	271,0	60,8	221,8
Grüngutkompost	70,0	255,5	71,2	219,2
Pferdemist	90,7	277,0	66,8	204,8
Gehölzhäcksel	65,3	259,4	49,1	208,1
P-Wert	0,05101	0,5338	0,06271	0,1148

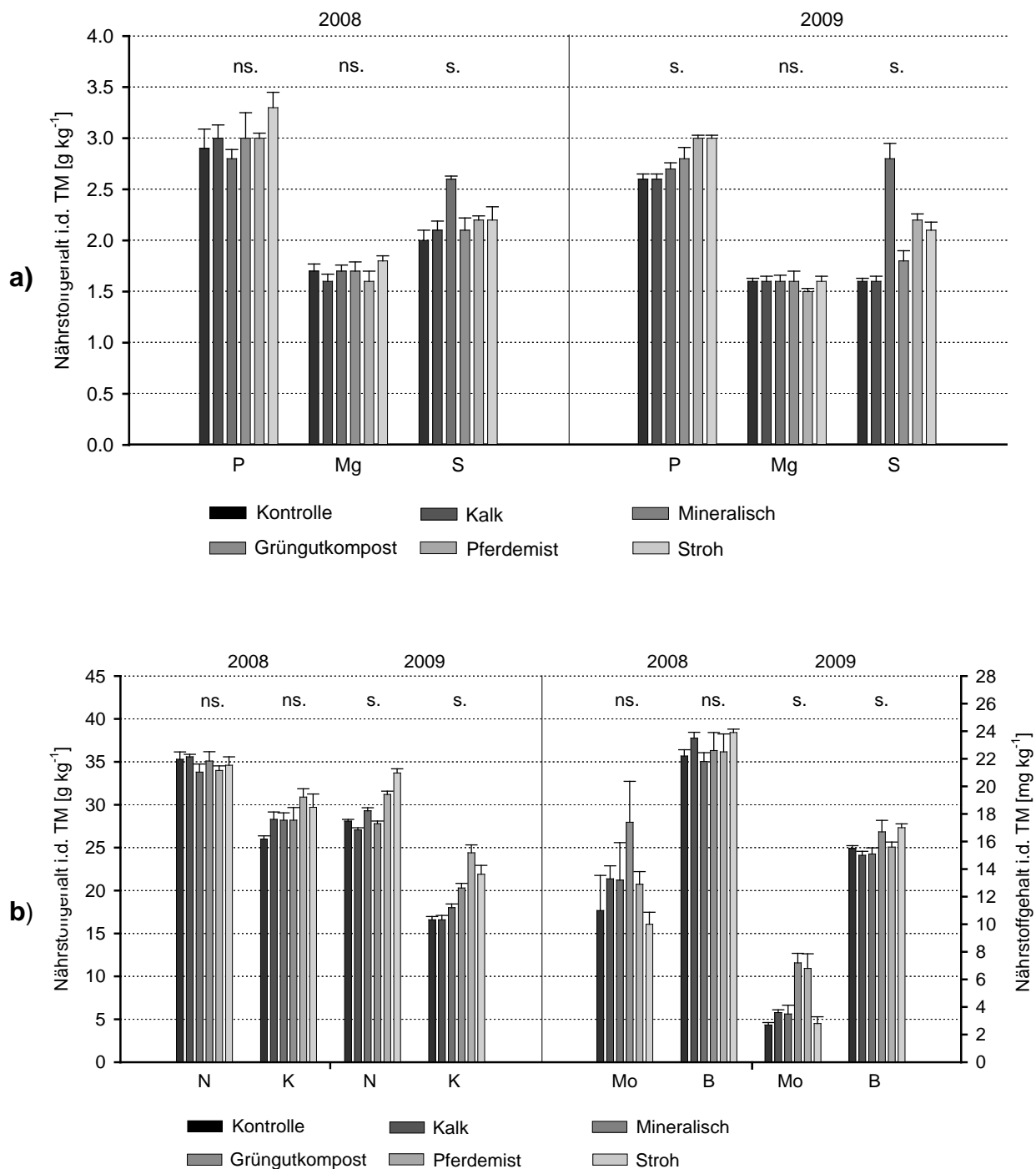
<sup>1</sup>Sidak Scheffè Test

Die Gesamtaufnahme an Stickstoff durch Rotklee im Mittel der Prüfglieder betrug im Jahr 2009 mit drei Schnittterminen 336 kg N je ha gegenüber 270 kg N je ha im Jahr 2010. Die Variante mit Düngung von Pferdemist unterschied sich hinsichtlich der Gesamtaufnahme an Stickstoff im Jahr 2009 mit 368 kg N je ha signifikant zur Kontrolle mit 304 kg N je ha. Sowohl die Aufnahme an Stickstoff aus dem Boden als auch aus der Luft lag im Jahr 2009 in dieser Variante deutlich über den Werten der Kontrolle (Tabelle 89b). Im Jahr 2010 wurde mit einem Wert von 71 kg N je ha die höchste Menge an N aus dem Boden im Spross des Rotkleees in der Variante mit der Düngung von Grüngutkompost ermittelt. Die Mittelwerte der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierung lagen in der mineralischen Düngevariante um 21 kg N je ha und in der Variante mit Düngung von Grüngutkompost um 19 kg N je ha über dem Wert der Kontrolle. Ein Rückgang der Sprosstrockenmasse des Rotkleees im Mittel der Prüfglieder um 18 % im Jahr 2010 gegenüber dem Jahr 2009 hatte eine um 21 % geringere Aufnahme von Stickstoff aus dem Boden und eine um 19 % geringere Aufnahme von Stickstoff aus der Luft zur Folge.

#### 4.2.1.8 Nährstoffaufnahme

Der Gehalt an **Phosphor** in der Sprossmasse der Saatplatterbse betrug in der Kontrolle ohne Düngung 2,9 g P/kg TM im Jahr 2008 und 2,6 g P/kg TM im Jahr 2009. Signifikant höhere P-Gehalte wurden im Jahr 2009 in den Varianten mit Düngung von Pferdemist und Stroh (beide 3,0 g P/kg TM) gegenüber den Vergleichsvarianten mit Ausnahme der Variante mit Düngung von Grüngutkompost ermittelt (Abbildung 84a). Signifikante Unterschiede hinsichtlich der Gehalte an Magnesium wurden bei der Saatplatterbse nicht festgestellt. Der Gehalt an **Schwefel** im Spross der Saatplatterbse lag im Jahr 2008 in der Variante mit rein mineralischer Düngung mit 2,6 g S/kg TM und im Jahr 2009 mit 2,8 g S/kg TM hoch signifikant über dem Wert der Kontrolle, was auf eine gute Verfügbarkeit an Schwefel im Boden in dieser Düngevariante schließen lässt. Der Gehalt an **Stickstoff** im Spross der Saatplatterbse betrug im Jahr 2008 35,3 g N/kg TM und im Jahr 2009 28,1 g N/kg TM in der Kontrolle (Abbildung 84b). Im Jahr 2009 wurden in den Varianten mit Düngung von Pferdemist mit 31,2 g N/kg TM und Stroh mit 33,7 g N/kg TM signifikant höhere Werte gegenüber der Kontrolle und den Vergleichsvarianten ermittelt. Der Gehalt an **Kalium** im Spross der Saatplatterbse lag in beiden Jahren, insbesondere in den organisch gedüngten Varianten, über dem Wert der Kontrolle. Signifikante Unterschiede zeigten sich im Jahr 2009 in den Varianten mit Düngung von Grüngutkompost

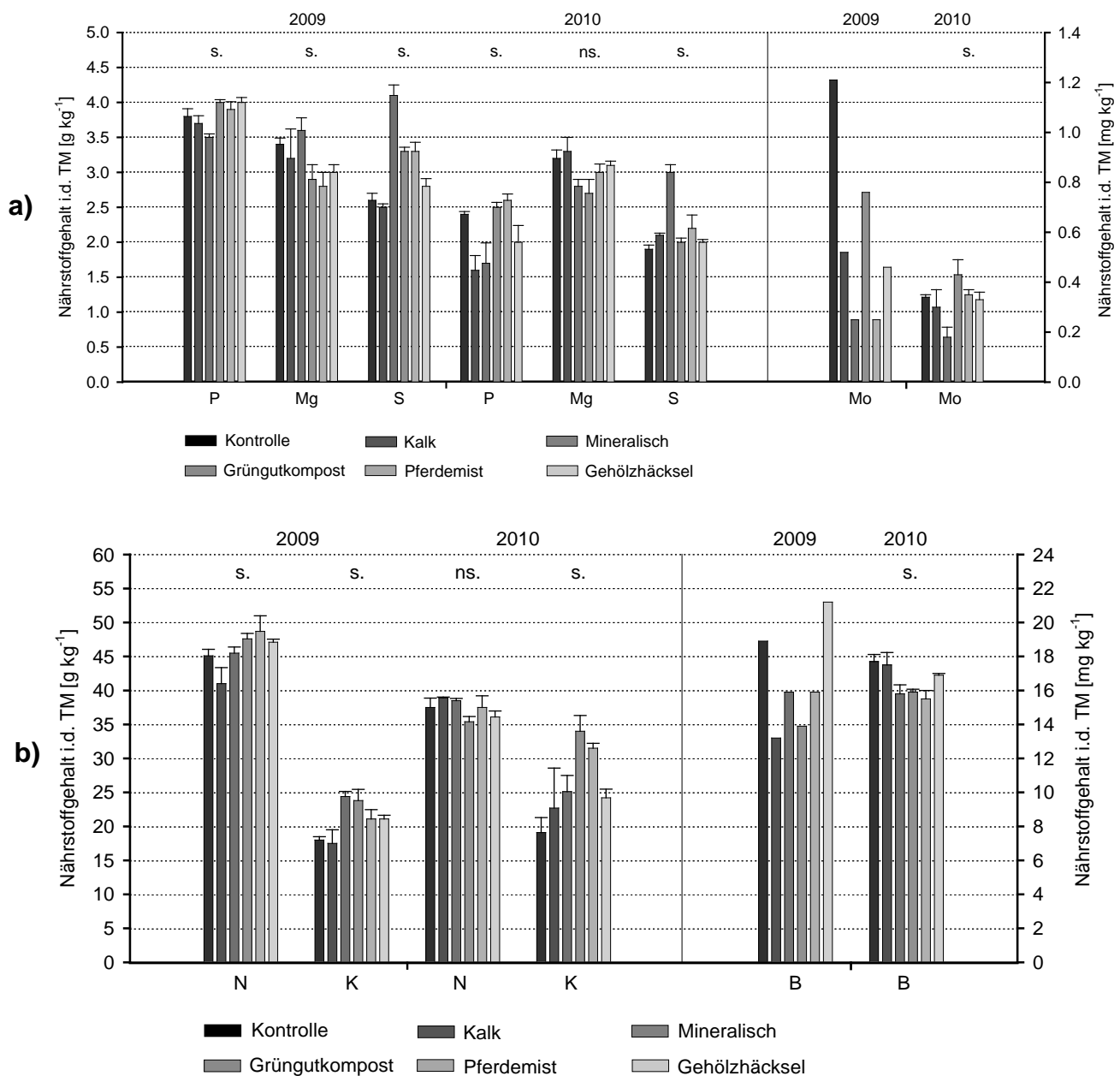
(20,3 g K/kg TM), Pferdemit (24,4 g K/kg TM) und Stroh (21,9 g K/kg TM) gegenüber der Kontrolle mit 16,6 g K/kg TM. Auch bei den Mikronährstoffen **Molybdän** und **Bor** wurden insbesondere im Jahr 2009 signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten festgestellt. So lagen die Gehalte von Molybdän in den Varianten mit Düngung von Grüngutkompost (7,2 mg Mo/kg TM) und Pferdemit (6,8 mg Mo/kg TM) deutlich über dem Wert der Kontrolle (2,7 mg Mo/kg TM).



**Abbildung 84: Gehalt an Phosphor, Magnesium, Schwefel (a) und an Stickstoff, Kalium, Molybdän und Bor (b) im Spross der Saatplatterbse in den Jahren 2008 und 2009**

Der Gehalt an **Phosphor** im Blatt der Ackerbohne zum BBCH-Stadium 65 im Jahr 2009 betrug in der Kontrolle 3,8 g P/kg TM. In den organisch gedüngten Varianten lagen die P-Gehalte signifikant über den Werten der Variante mit mineralischer Düngung (Abbildung 85a). Im Jahr 2010 zum BBCH-Stadium 78 der Ackerbohne lagen die P-Gehalte im Blatt in den Varianten mit Kalkdüngung und mit mineralischer Düngung signifikant unter den Werten der Vergleichsvarianten und der Kontrolle mit 2,4 g P/kg TM. Der Gehalt an **Magnesium** im Blatt der Ackerbohne lag im Jahr 2009 in der Variante mit Düngung von Pferdemist mit 2,8 g Mg/kg TM signifikant unter dem Wert der mineralischen Düngevariante mit 3,6 g Mg/kg TM. Deutliche Unterschiede wurden hinsichtlich des Gehaltes an **Schwefel** im Blatt der Ackerbohne festgestellt. Im Jahr 2009 lagen die S-Gehalte in der Variante mit mineralischer Düngung (4,1 g S/kg TM) signifikant über den Werten der Varianten mit Düngung von Pferdemist und Grüngutkompost (beide 3,3 g S/kg TM), welche sich wiederum signifikant von den Varianten mit Düngung von Gehölzhäcksel, Kalk und der Kontrolle mit 2,6 g S/kg TM unterschieden. Im Jahr 2010, zu BBCH 78 der Ackerbohne, konnten noch signifikante Unterschiede in der mineralisch gedüngten Variante mit einem Wert von 3,0 g S/kg TM gegenüber den Vergleichsvarianten festgestellt werden. Trotz Probenahme zu einem sehr späten Entwicklungsstadium der Ackerbohne im Jahr 2010 wurden signifikante Unterschiede im Gehalt an **Molybdän** im Blatt festgestellt. So lag der Mo-Gehalt in der Variante mit Düngung von Grüngutkompost mit 0,49 mg Mo/kg TM deutlich über dem Wert von 0,25 mg Mo/kg TM in der Variante mit mineralischer Düngung.

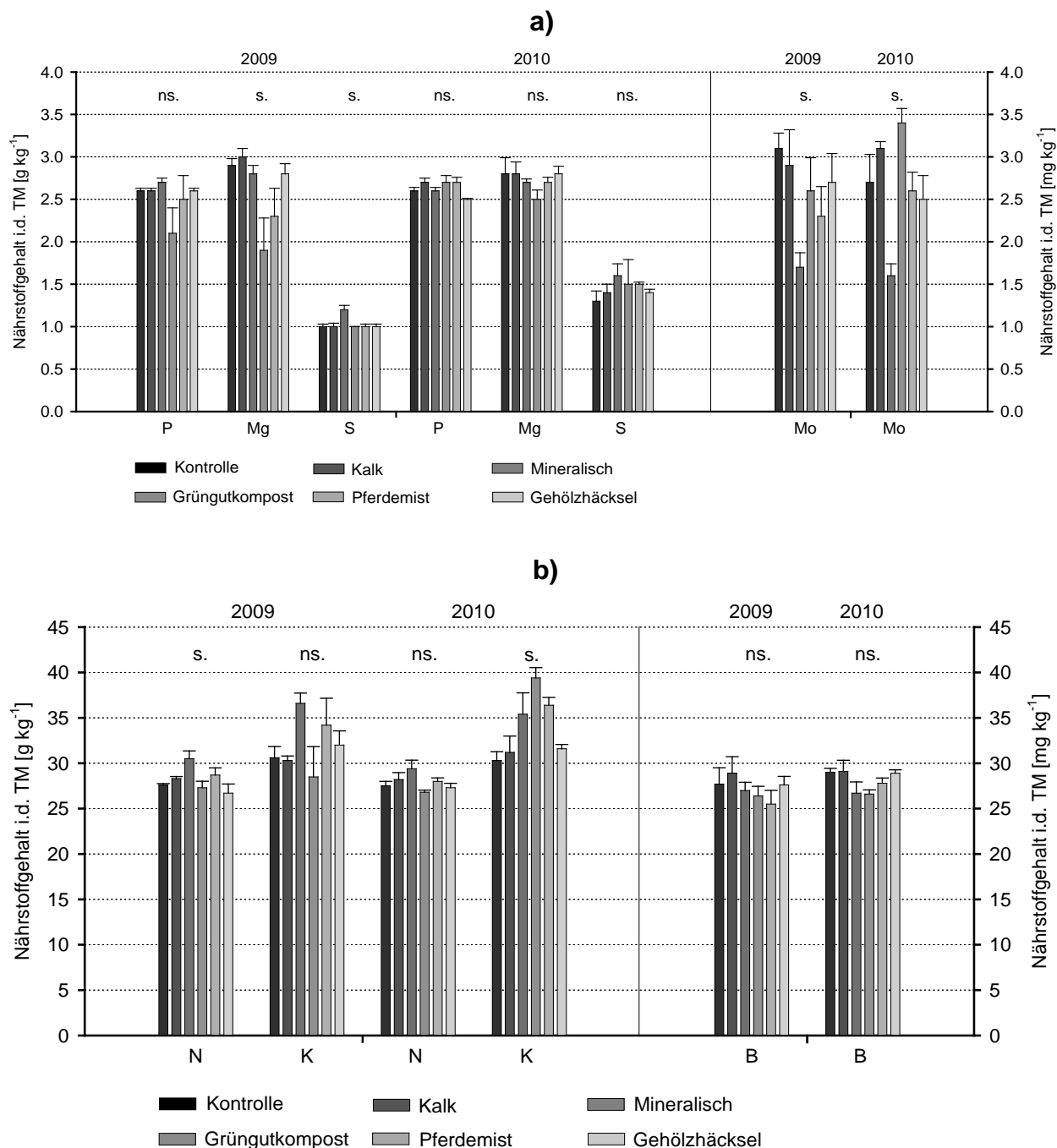
Die Gehalte an **Stickstoff** im Blatt der Ackerbohne unterschieden sich nur im Jahr 2009 wesentlich (Abbildung 85b). Die N-Gehalte in den organisch gedüngten Varianten lagen in diesem Jahr signifikant über dem Wert mit Kalkdüngung. Im Blatt der Kontrollvariante betrug der N-Gehalt 45,1 g N/kg TM. Trotz unterschiedlicher Entwicklungsstadien zum Zeitpunkt der Probenahme in den beiden Versuchsjahren wurden jeweils in den Varianten mit Düngung von Grüngutkompost (im Jahr 2009 auch in der Variante mit mineralischer Düngung) signifikant höhere Gehalte an **Kalium** im Blatt der Ackerbohne gegenüber der Kontrolle ermittelt. Im Jahr 2010 wurde in der Variante mit Düngung von Pferdemist (15,5 mg B/kg TM) signifikant geringere Gehalte an **Bor** gegenüber der Kontrolle (17,7 mg B/kg TM) nachgewiesen.



**Abbildung 85: Gehalt an Phosphor, Magnesium, Schwefel, Molybdän (a) und an Stickstoff, Kalium und Bor (b) in der Blatt-TM der Ackerbohne in den Jahren 2009 und 2010, Analysen: Claudia Seehuber 2010, Universität Bonn**

Die Gehalte an **Phosphor** im Spross des Rotklees (Mischprobe aus dem Aufwuchs von drei Schnittterminen im Jahr) betragen in der Kontrolle im Jahr 2009 2,5 g P/kg TM und im Jahr 2010 2,6 g P/kg TM. Signifikante Unterschiede zwischen den Düngervarianten wurden nicht festgestellt (Abbildung 86a). Im Jahr 2009 lag der Gehalt an **Magnesium** im Spross des Rotklees in der Variante mit Düngung von Grüngutkompost mit einem Wert von 1,9 g Mg/kg TM signifikant unter dem Wert in der Variante mit Kalkdüngung (3,0 g Mg/kg TM). Der Gehalt an Magnesium in der Kontrolle betrug im Jahr 2009 2,9 g Mg/kg TM und im Jahr 2010 2,8 g Mg/kg TM. Die Gehalte an **Schwefel** betragen in der Kontrolle im Jahr 2009 1,0 g S/kg TM und im Jahr 2010 1,3 g S/kg TM. In der Variante mit mineralischer Düngung lagen die S-Gehalte mit 1,2 g S/kg TM im Jahr 2009 und mit 1,6 g S/kg TM im Jahr 2010 über den Werten der

Vergleichsvarianten (signifikant im Jahr 2009). Wie auch bei der Ackerbohne festgestellt wurde, lagen die Gehalte an **Molybdän** in der Variante mit mineralischer Düngung deutlich unter den Werten der Vergleichsvarianten. Im Jahr 2009 betrug der Mo-Gehalt in dieser Variante 1,7 mg Mo/kg TM (signifikant verschieden gegenüber der Variante mit Düngung von Grüngutkompost mit 3,6 mg Mo/kg TM) und im Jahr 2010 1,6 mg Mo/kg TM (signifikant verschieden gegenüber allen Vergleichsvarianten). Die höchsten Gehalte an **Stickstoff** im Spross des Rotklee wurden in der mineralischen Düngevariante mit 30,5 N/kg TM im Jahr 2009 und 29,4 g N/kg TM im Jahr 2010 festgestellt. Die niedrigsten Werte wurden mit 26,7 g N/kg TM (2009) und 27,3 g N/kg TM (2010) in der Variante mit Düngung von Gehölzhäcksel festgestellt. Signifikante Wechselwirkungen wurden hinsichtlich der **Kalium**gehalte festgestellt. So betrug der K-Gehalt in der Sprossmasse des Rotklee im Jahr 2009 in der Variante mit Düngung von Grüngutkompost 28,5 g K/kg TM und lag damit unter den Werten der Vergleichsvarianten. Im Jahr 2010 lag der K-Gehalt in dieser Variante bei 39,4 g K/kg TM und lag deutlich über den Werten der Vergleichsvarianten. Bei den Gehalten an **Bor** wurden in den Sprossmassen von Rotklee keine signifikanten Unterschiede festgestellt.



**Abbildung 86: Gehalt an Phosphor, Magnesium, Schwefel, Molybdän (a) und Stickstoff, Kalium und Bor (b) im Spross des Rotklee in den Jahren 2009 und 2010**

#### 4.2.2 Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Praxisversuche Gehölzhäcksel 2010 und 2011

In Tabelle 90 sind die Kornerträge und die Verunkrautung zum Zeitpunkt der Ernte der mit Gehölzhäcksel gedüngten Kulturen gegenüber der jeweiligen Kontrolle ohne Düngung an den einzelnen Standorten dargestellt. Unabhängig von der an den Standorten vorliegenden Bodenart und den damit verbunden, unterschiedlichen Bedingungen für die Kultur- und



Unkrautpflanzen, wurde im Mittel der dargestellten Praxisversuche ein um 14 % höherer Körnertrag gegenüber der Kontrolle ohne Düngung festgestellt. An den Standorten Trenthorst zu Ackerbohne und Dresden zu Schmalblättriger Lupine und Ackerbohne im Jahr 2010 kam es zu einer leichten Minderung des Körnertrages. Die Verunkrautung zum Zeitpunkt der Ernte der Kulturen wurde - mit Ausnahme im Jahr 2011 am Standort Trenthorst zu Ackerbohne - gegenüber der Kontrolle zum Teil stark reduziert. Festzustellen war, dass die deutlichsten Effekte bei einer vergleichsweise geringen Verunkrautung der Kontrolle beobachtet wurden. War die Verunkrautung zum Zeitpunkt der Ernte in der Kontrolle ohne Düngung vergleichsweise hoch (z. B. Köllitsch 2011), konnte auch durch die Düngung von Gehölzhäcksel zur Saat nur eine geringe Reduzierung erzielt werden. Insbesondere wurden einjährige Samenunkräuter von der Wirkung des Grünguthäcksel erfasst (Pötzsch 2010). Im Mittel der dargestellten Praxisversuche wurde durch die Ausbringung des Gehölzhäcksel zur Saat die Verunkrautung gegenüber der Kontrolle um 36 % reduziert.

**Tabelle 90: Körnertrag von Ackerbohne (AB), Erbse (E) und Schmalblättrige Lupine (L) sowie Verunkrautung zum Zeitpunkt der Ernte in Abhängigkeit der Applikation von Gehölzhäcksel vor der Saat**

Standort	Jahr	Kultur	Korn Kontrolle	Korn Gehölzhäcksel	Unkraut Kontrolle	Unkraut Gehölzhäcksel
			[dt/ha]	[%]	[dt/ha]	[%]
KH	2010	AB	15,6	115	17,3	39
TH	2010	AB	33,0	88	11,9	60
KH	2011	AB	12,0	142	66,8	88
TH	2011	AB	26,9	114	11,1	112
TH	2011	E	35,3	120	13,0	67
DD	2010	E	33,3	103	11,2	34
DD	2010	L	12,3	92	5,8	66
DD	2010	AB	33,4	94	9,6	18
Köll	2011	E	16,7	124	47,6	92
Köll	2011	AB	15,3	141	47,6	92
FH	2011	E	26,3	124	13,5	36

Am Standort Frankenhausen wurde der Praxisversuch um zwei Varianten erweitert, der Applikation der Gehölzhäcksel nach der Saat ohne Einarbeitung und einer zusätzlichen mechanischen Unkrautregulierung. Die Applikation der Gehölzhäcksel nach der Saat ohne Einarbeitung hatte keine Wirkung hinsichtlich einer Reduzierung der Verunkrautung. Eine zusätzliche mechanische Regulierung der Unkräuter erbrachte hingegen eine zusätzliche Reduzierung der Verunkrautung um 50 % im Vergleich zur Variante mit Gehölzhäcksel ohne mechanische Regulierung (Ergebnisse nicht dargestellt).

## 4.2.3 Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Gefäßversuch Gehölzhäcksel 2012

### 4.2.3.1 Versuchsspezifische Materialien und Methoden

Die Untersuchungen zur keim- und wuchshemmenden Wirkung von Gehölzhäcksel unter teilkontrollierten Bedingungen im Gewächshaus der HTW-Dresden mit acht Gehölzarten und zwei Arten von Sägemehl wurden im Zeitraum vom 16. November 2011 bis 12. Januar 2012 durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten in sechs aufeinander folgenden Abschnitten, welche in Tabelle 91 aufgeführt sind. Die botanischen und deutschen Namen der untersuchten Gehölze sind in Tabelle 92 aufgeführt. Die Gehölze wurden mit einer Schneidmühle (Retsch SM 100) auf eine Partikelgröße von  $\leq 10$  mm, 6 mm und mit einer Ultrazentrifugalmühle (Retsch ZM 200) auf eine Partikelgröße von  $\leq 1$  mm vermahlen. Das vermahlene Material wurde im Abschnitt Hauptversuch (Tabelle 91) neben einer Kontrolle ohne Düngung in einer Menge von 2,5 t, 5,0 t und 7,5 t Kohlenstoffäquivalent ha<sup>-1</sup> mit Komposterde (Kompostanteil 50 %) vermischt und in Topfgefäße (Material der Gefäße: PP, Fläche: 81 cm<sup>2</sup>, Volumen: 423 cm<sup>3</sup>) gegeben. Je Gefäß wurden 100 Samen Kresse (*L. sativum* L.) in einer Tiefe von 0,5 cm abgelegt und mit Boden bedeckt. Die Töpfe wurden blockweise randomisiert mit fünf Wiederholungen auf Tischen angeordnet. Die Bonituren zur Ermittlung der Keimung und der Wuchshöhe der Pflanzen erfolgten bei einer erreichten Keimungsrate von  $> 80$  % der Kontrollvariante. Die Raumtemperatur im Versuchszeitraum betrug im Mittel 15 °C, die relative Luftfeuchte lag im Mittel bei 60 %. In einem Folgeversuch wurden Ackerbohne (Sorte 'Espresso'), Erbse (Sorte 'Santana'), Rotklee (Sorte 'Titus') und Kresse mit Häckselgut von *C. lawsoniana* mit einer Partikelgröße von  $< 1$  mm und einer Menge von 7,5 t C/ha gedüngt.

**Tabelle 91: Abschnitte und ausgeführte Arbeiten im Gefäßversuch mit Gehölzhäckseln im Zeitraum November 2011 bis Januar 2012**

Abschnitt	Faktoren	Gefäße	Prüftage
Materialscreening	Prüfung Wasseraufnahmevermögen Gehölze		1
Materialscreening	Prüfung Keimfähigkeit mit Extraktionswasser		1
Vorversuch 1	4 Substrate 1 Gehölzart 1 Partikelgröße 1 Düngestufe	20	10 (1 Bonitur)
Vorversuch 2	2 Substrate 1 Gehölzart 3 Partikelgrößen 3 Düngestufen + 1 Kontrolle	120	14 (2 Bonituren)
Hauptversuch	1 Substrate 10 Gehölzarten + 1 Kontrolle 3 Partikelgrößen 3 Düngestufen	495	10 (1 Bonitur)
Folgeversuch	1 Substrate 1 Gehölzart + 1 Kontrolle 1 Partikelgrößen 1 Düngestufen 4 Kulturarten	40	17 (2 Bonituren)

### 4.2.3.2 Ergebnisse Gefäßversuche Gehölzhäcksel

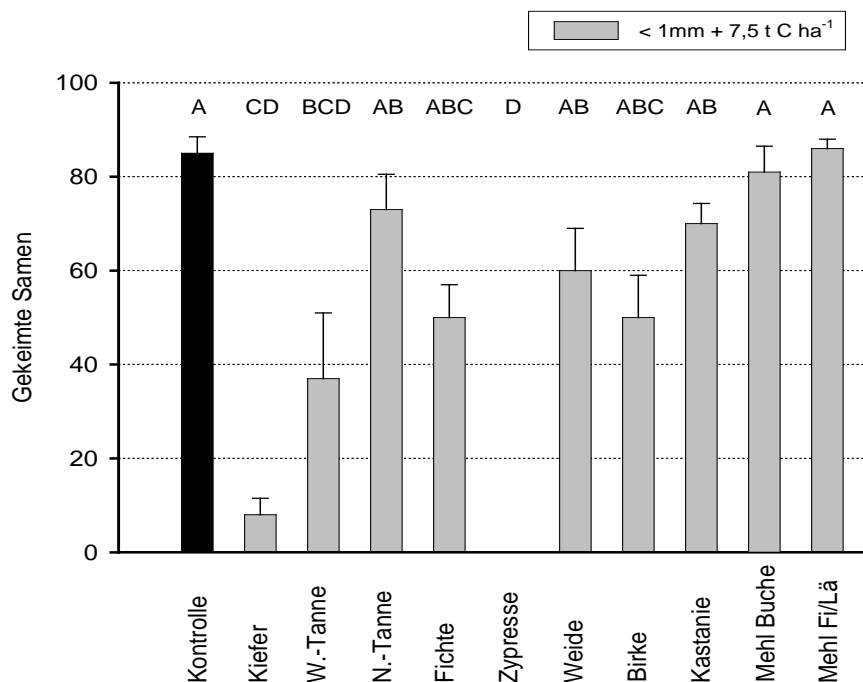
Die geprüften Arten des Gehölzhäcksel unterschieden sich hinsichtlich ihres Nährstoffgehaltes und ihres C/N-Verhältnisses (s. Tabelle 92). Bei Weißtanne und Blaufichte wurde das niedrigste C/N-Verhältnis von 46 bzw. 48 festgestellt. Das C/N-Verhältnis der geprüften Sägemehle der Buche und Fichte/Lärche lagen bei 187 bzw. 245. Auch anhand der Nährstoffgehalte wird eine unterschiedliche Zusammensetzung der untersuchten Gehölze (Anteil an Holz, Rinde und Blatt- bzw. Nadelmasse) deutlich. In Tabelle 93 sind die statistisch gesicherten Unterschiede hinsichtlich der Keimung von Kressesamen nach Ausbringung von Gehölzhäcksel zwischen den untersuchten Gehölzarten in den einzelnen Faktorstufen dargestellt. Ersichtlich ist, dass sowohl das Häckselgut der Nadelgehölze als auch der Laubgehölze keimhemmend auf Kresse wirken können. Es wurden jedoch signifikante Wechselwirkungen zwischen Gehölzart, Aufwandmenge und Partikelgröße ermittelt. Bei Weißtanne wurde z. B. mit zunehmender Aufwandmenge eine stärkere Keimhemmung der Kressesamen gegenüber der Kontrolle erzielt, nicht jedoch mit abnehmender Partikelgröße. Die keimhemmende Wirkung des Häckselgutes der Scheinzypresse nahm hingegen sowohl mit zunehmender Aufwandmenge als auch mit abnehmender Partikelgröße gegenüber den Vergleichsvarianten und der Kontrolle zu. Bei den Gehölzarten Scheinzypresse und Schwarzkiefer wurde die deutlichste keim- und wuchshemmende Wirkung auf die Kresse erzielt. So keimten in der Variante mit einer Partikelgröße < 1 mm und Ausbringungsmenge 7,5 t C/ha bei Schwarzkiefer im Mittel weniger als 10 von 100 Samen (Abbildung 87). Bei Scheinzypresse konnte in der gleichen Variante keine Keimung der Kresse mehr festgestellt werden. Die verwendeten Sägemehle zeigten eine nur geringe bzw. keine Wirkung auf die Keimung der Kresse.

**Tabelle 92: C/N-Verhältnis und Gehalt an Kalium, Phosphor, Magnesium und Schwefel geprüfter Gehölze im Gefäßversuch 2011**

Art	Deutscher Name	C/N	K [%]	P [%]	Mg [%]	S [%]
<i>Pinus sylvestris</i>	Schwarzkiefer	54	0,65	0,11	0,08	0,08
<i>Abies alba</i> M.	Weißtanne	46	0,56	0,16	0,07	0,09
<i>Abies nordmannia</i>	Nordmantanne	54	0,49	0,14	0,07	0,07
<i>Picea pungens</i>	Blaufichte	48	0,52	0,19	0,06	0,07
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	Scheinzypresse	59	0,50	0,11	0,07	0,10
<i>Salix viminalis</i> L.	Trauerweide	58	0,49	0,10	0,07	0,08
<i>Betula verrucosa</i> R.	Birke	54	0,22	0,12	0,08	0,06
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Roßkastanie	93	0,10	0,06	0,07	0,06
<i>Fagus</i> (Mehl)	Sägemehl Buche	187	0,09	0,02	0,03	0,02
<i>Picea/Larix</i> (Mehl)	Sägemehl Fichte/Lärche	245	0,04	0,02	0,01	0,02

**Tabelle 93: Signifikante Unterschiede (Tukey Test,  $P < 0,05$ ) der Anzahl gekeimter Samen der Kresse nach Applikation von Gehölzhäckseln verschiedener Art, Menge und Zerkleinerung im Gefäßversuch 2011**

Partikelgröße [mm]	10	10	10	6	6	6	1	1	1
Menge [t C/ha]	2,5	5	7,5	2,5	5	7,5	2,5	5	7,5
Kontrolle	ab	A	a	a	A	ab	a	A	a
Schwarzkiefer	c	CD	d	c	D	ef	d	D	ef
Weißtanne	abc	BC	bc	ab	AB	cd	abc	ABC	de
Nordmantanne	bc	BCD	cd	bc	CD	de	cd	BC	abc
Blaufichte	abc	ABC	bc	ab	BC	bcd	abc	BC	bcd
Scheinzypresse	abc	D	e	bc	CD	f	e	E	f
Trauerweide	abc	ABC	c	ab	BC	abcd	ab	ABC	abcd
Birke	abc	BCD	d	bc	CD	bcd	bc	C	cd
Roßkastanie	ab	AB	bc	ab	A	abc	abc	AB	abc
Sägemehl 1	a	AB	ab	a	AB	a	a	A	ab
Sägemehl 2	ab	A	a	a	A	a	a	A	a



**Abbildung 87: Anzahl gekeimter Kressesamen nach Applikation von Häckselgut unterschiedlicher Gehölzarten im Gefäßversuch (Partikelgröße < 1 mm, Aufwandmenge entspricht 7,5 t C/ha)**

Im Folgeversuch (Tabelle 91) mit der Ausbringung des im Hauptversuch als hochwirksam keimhemmend ermittelten Gehölzhäcksel der Scheinzypresse zu Samen von vier Pflanzenarten wurde insbesondere Kresse deutlich in der Keimung gehemmt (Tabelle 94). Bei Rotklee nahm die Keimrate mit Düngung gegenüber der Kontrolle um 19 % ab, bei Ackerbohne um 37 % und bei Kresse konnte keine Keimung der Samen nach Düngung mit *C. lawsoniana* festgestellt werden. Bei der Erbse lag die Keimrate in der Kontrolle bei nur 37 % gegenüber der gedüngten Variante mit 50 %.

**Tabelle 94: Keimrate (%) von Ackerbohne, Erbse, Rotklee und Kresse nach Behandlung mit Häckselgut von *C. lawsoniana* L. mit einer Partikelgröße < 1 mm und einer Menge von 7,5 t C/ha (Gefäßversuch)**

	Ackerbohne	Erbse	Rotklee	Kresse
Kontrolle	87 %A	37 %a	56 %a	88 %A
<i>C. lawsoniana</i>	50 %B	50 %a	37 %b	0 %B

## 4.2.4 Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Freilandversuch Gehölzhäcksel Dresden-Pillnitz 2012

### 4.2.4.1 Versuchsspezifische Materialien und Methoden

Nach erfolgter Bodenbearbeitung mit dem Pflug (Arbeitstiefe 25 cm) und Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge wurden am 27. März 2012 Ackerbohnen mit einer Saatstärke von 60 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup> in Form einer zweifaktoriellen Blockanlage mit vier Wiederholungen ausgesät. Nach der Aussaat erfolgte die Ausbringung von zwei Arten des Gehölzhäcksel (*C. lawsoniana* L. und *P. sylvestris* L.) in drei Stufen der Applikationsmenge (0 t, 5 t und 7,5 t C-Äquivalent/ha) von Hand ohne Einarbeitung in den Boden. Der Trockenmasseanteil von *C. lawsoniana* betrug 56 %, das C/N-Verhältnis betrug 78 bei 49,1 % C in der Trockenmasse. Der Trockenmasseanteil von *P. sylvestris* betrug 45 %, das C/N-Verhältnis betrug 72 bei 50,2 % C in der Trockenmasse. Am 23. Mai 2012 (BBCH 61) wurden je Parzelle von etwa 15 Pflanzen die jüngsten, voll entwickelten Blätter für eine Nährstoffanalyse (P, K, Mg, S) entnommen. Am 18. Juni 2012 erfolgten eine Bonitur der vorkommenden Unkrautarten und deren Anzahl auf einer Fläche von 2 × 0,1 m<sup>2</sup> je Parzelle. Am 13. August 2012 erfolgte die Ernte der Sprossmasse von Hand und Ermittlung des Korn- und Strohertrages der Ackerbohne und der Trockenmasse an Unkrautsprossmasse auf einer Fläche von 2 m<sup>2</sup> je Parzelle. Am 23. August 2012 wurde die Ackerbohne mit einem Parzellenmähdrescher auf der verbliebenen Fläche (11,3 m<sup>2</sup>) gedroschen.

### 4.2.4.2 Ergebnisse Gehölzhäcksel Freiland 2012

Der Gehalt an Nährstoffen im Blatt der Ackerbohne zum BBCH-Stadium 61 unterschied sich im Vergleich der ausgebrachten Mengen an Gehölzhäcksel und der zwei geprüften Gehölzarten nur gering und mit Ausnahme von Magnesium nicht signifikant (Tabelle 95). Der Gehalt an Magnesium lag in der Variante mit einer Applikationsmenge von 7,5 t C/ha mit 3,3 mg Mg/kg TM signifikant unter dem Wert der Kontrolle. Es wurden signifikante Wechselwirkungen zwischen der Applikationsmenge und der Pflanzenart beim Gehalt an Schwefel im Blatt der Ackerbohne ermittelt, deren unterschiedliche Gehalte jedoch gering ausfielen.

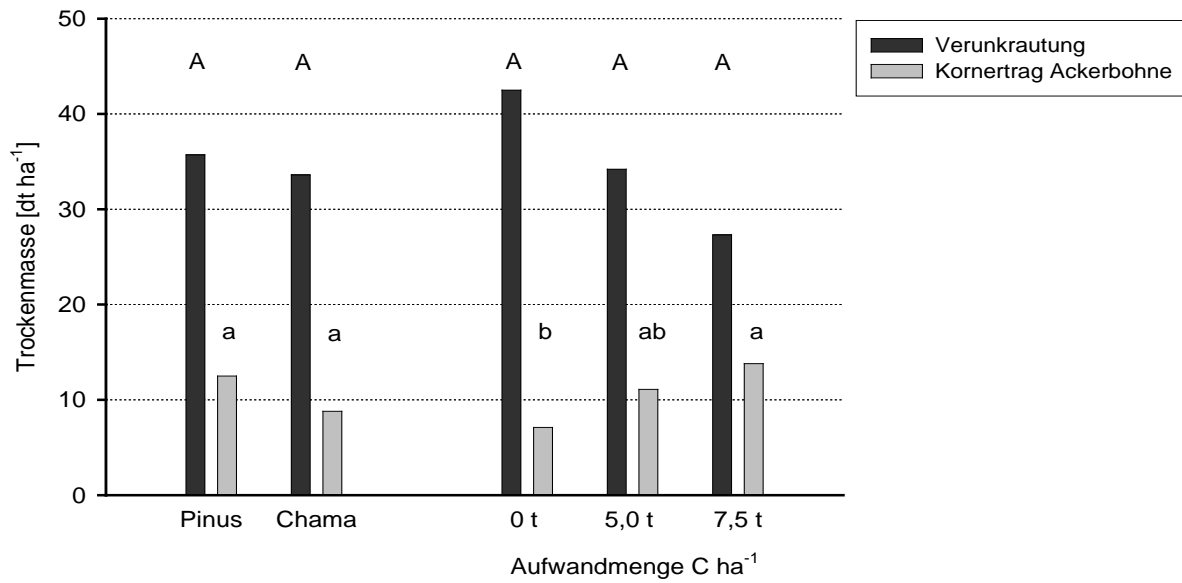


**Tabelle 95: Gehalte an P, K, Mg und S im Blatt der Ackerbohne (Trockenmasse) zu BBCH 61 nach unterschiedlicher Art und Applikationsmenge an Gehölzhäcksel nach der Saat im Jahr 2012 am Standort Dresden-Pillnitz**

	P [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	S [g/kg]
Kontrolle	3,1	25,9	3,7 a	2,8
5,0 t C ha <sup>-1</sup>	3,2	26,5	3,5 ab	2,8
7,5 t C ha <sup>-1</sup>	3,3	27,6	3,3 c	2,8
<i>P. sylvestris.</i>	3,2	26,9	3,5	2,8
<i>C. lawsoniana</i>	3,1	26,3	3,5	2,7
<i>P</i> -Wert Menge	0,1563	0,1117	0,0061	0,9570
<i>P</i> -Wert Art	0,0658	0,2664	0,4539	0,2268
<i>P</i> -Wert Menge x Art	0,0600	0,2480	0,0834	0,0042

Die Anzahl an Unkrautpflanzen zur ersten Bonitur am 18. Juni 2012 unterschied sich nicht signifikant zwischen den Faktorstufen der Aufwandmenge und lag zwischen 228 Pflanzen/m<sup>2</sup> in der Kontrolle und 200 Pflanzen/m<sup>2</sup> in der Variante mit einer Applikation von 7,5 t C/ha. Die Sprosstrockenmasse an Unkräutern lag zwischen 10,1 dt/ha in der Kontrolle und 11,8 dt/ha in der Variante 7,5 t C/ha. Ebenso wurden zu diesem Termin keine signifikanten Unterschiede zwischen den Faktorstufen der Gehölzart hinsichtlich der Anzahl an Unkräutern und der Unkrauttrockenmasse ermittelt. Zum Zeitpunkt der Ernte der Ackerbohne im Jahr 2012 wurde im Pflanzenbestand insgesamt eine vergleichsweise hohe Verunkrautung festgestellt (

Abbildung 88). Der Trockenmasseertrag an Unkrautsprossmasse in der Kontrolle betrug 43 dt/ha und nahm mit steigender Menge an Gehölzhäcksel auf 27 dt/ha in der Variante 7,5 t C/ha ab ( $P = 0,0804$ ). Der Kornertrag der Ackerbohne betrug im Mittel der Varianten aufgrund von starkem Befall der Ackerbohnen mit *B. fabae* und starker Verunkrautung nur 10 dt/ha. Umgekehrt proportional zur Verunkrautung stieg der Kornertrag der Ackerbohne bei zunehmender Menge an Gehölzhäcksel von 7 dt/ha in der Kontrolle auf 14 dt/ha in der Variante mit der höchsten Ausbringmenge an Gehölzhäcksel.



**Abbildung 88: Unkraut-TM und Kornertrag der Ackerbohne nach Applikation von Gehölzhäcksel in Abhängigkeit von Gehölzart (*P. sylvestris*, *C. lawsoniana*) und Menge zur Saat im Jahr 2012**

## 4.2.5 Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Pferdemist zu Ackerbohne 2012

### 4.2.5.1 Versuchsspezifische Materialien und Methoden

Der Feldversuch mit Pferdemist wurde in Form einer zweifaktoriellen Spaltanlage mit der Haupteinheit Einarbeitungstiefe und Untereinheit Ausbringmenge mit vier Wiederholungen am Standort Dresden-Pillnitz angelegt. Der Pferdemist wurde flach mit einer Kreiselegge (Arbeitstiefe 8 cm) und tief mit einem Pflug (Arbeitstiefe 25 cm) eingearbeitet. In der Variante mit flacher Einarbeitung des Pferdemistes erfolgte die Bodenbearbeitung mit dem Pflug vor der Ausbringung. Der Pferdemist wurde jeweils in drei Aufwandmengen von Hand ausgebracht (0 t, 5 t und 10 t C-Äquivalent/ha). Der Trockenmasseanteil des verwendeten Pferdemistes betrug 40 %. Das C/N-Verhältnis des Pferdemistes belief sich auf 61 bei 43,5 % C in der Trockenmasse. Die Düngung und Aussaat der Ackerbohne erfolgte am 27. März 2012 mit einer Saatstärke von 60 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup>. Am 24. Mai 2012 (BBCH 61) wurden je Parzelle von etwa 15 Pflanzen die jüngsten, voll entwickelten Blätter für eine Analyse aufgenommener Nährstoffe (P, K, Mg, S) entnommen. Am 07. August 2012 erfolgte die Ernte von Hand und die Ermittlung des Korn- und Strohertrages der Ackerbohne und der Trockenmasse an Unkraut auf einer Fläche von 2 m<sup>2</sup> je Parzelle. Am 23. August 2012 wurde die Ackerbohne mit einem Parzellenmähdrescher auf der verbliebenen Fläche gedroschen.

### 4.2.5.2 Ergebnisse Pferdemist zu Ackerbohne 2012

Unabhängig von der Menge an ausgebrachtem Pferdemist und der Einarbeitungstiefe lag der Feldaufgang der Ackerbohne im Mittel der Varianten bei 70 % (Tabelle 96). Gegenüber der Kontrolle konnten in den gedüngten Varianten im Blatt der Ackerbohne keine signifikant höheren Gehalte der analysierten Nährstoffe festgestellt werden. Die Gehalte an P und Mg lagen in der Kontrolle leicht über den Werten der gedüngten Varianten. Der Gehalt an Magnesium im Blatt der Ackerbohne lag in der Variante mit tiefer Einarbeitung des Pferdemistes signifikant über der Variante mit flacher Einarbeitung. Aufgrund von starkem Befall mit *B. fabae* und nachfolgend starker Verunkrautung der Ackerbohnen betrug der Kornertrag im Mittel der Varianten nur 9 dt/ha.

**Tabelle 96: Feldaufgang (FA), Kornertrag und Gehalt an P, K, Mg und S im Blatt der Ackerbohne (Trockenmasse) zu BBCH 61 nach unterschiedlicher Applikationsmenge und Einarbeitung von Pferdemist zur Saat im Jahr 2012 am Standort Dresden-Pillnitz**

	FA [%]	Korn-TM [dt/ha]	P [g/kg]	K [g/kg]	Mg [g/kg]	S [g/kg]
Kontrolle	69	8,0	3,0	27,9	3,7	2,9
5 t C ha <sup>-1</sup>	71	9,4	2,9	24,9	3,6	2,9
10 t C ha <sup>-1</sup>	68	9,6	2,7	30,4	3,5	2,8
Einarbeitung flach	69	9,9	2,8	30,2	3,4 b	2,8
Einarbeitung tief	71	8,1	2,9	29,1	3,7 a	2,9
P-Wert Menge	0,7545	0,3850	0,2923	0,2186	0,4484	0,2825
P-Wert Tiefe der Einarbeitung	0,6167	0,1028	0,4349	0,1087	0,0243	0,4320
P-Wert Menge x Tiefe	0,3958	0,2360	0,6973	0,7209	0,5574	0,8071

## 4.2.6 Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - <sup>13</sup>C-Anreicherung Rotklee 2012

### 4.2.6.1 Versuchsspezifische Materialien und Methoden

Der Feldversuch zur Quantifizierung der Aufnahme von Kohlenstoff aus <sup>13</sup>C-markiertem Stroh durch Rotklee wurde in Form einer einfaktoriellen Blockanlage mit vier Wiederholungen am Standort Dresden-Pillnitz angelegt. Am 23. März 2012 wurde gehäckseltes Weizenstroh (Partikelgröße < 10 mm, C/N 72, C i.d. TM 42,5 %) parzellengenau mit einer Menge von 2,148 t C-Äquivalent/ha nach erfolgter Bodenbearbeitung mit dem Pflug (Arbeitstiefe 25 cm) und anschließender Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge ausgebracht und von Hand flach in den Boden eingearbeitet. In jeder Wiederholung wurden jeweils eine ungedüngte und eine strohgedüngte Parzelle mit Rotklee der Sorte 'Titus' mit 850 keimfähigen Samen/m<sup>2</sup> eingesät. Als Referenzfrucht zur Bestimmung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Rotklees wurde Welsches Weidelgras der Sorte 'Fabio' ebenfalls auf einer ungedüngten und einer strohgedüngten Parzelle je Wiederholung mit einer Saatstärke von 1500 keimfähigen Samen/m<sup>2</sup> gesät. Die Parzellengröße betrug 9,45 m<sup>2</sup>. Die Düngung von Rotklee mit markiertem Stroh erfolgte separat in Gefäßen (Durchmesser 0,16 m, Volumen 3,6 dm<sup>3</sup>), welche in den Boden auf den Rotkleeparzellen eingelassen wurden. Installiert wurden je Wiederholung drei Gefäße mit den Varianten (1) ohne Düngung, (2) Düngung mit unmarkiertem Stroh und (3) Düngung mit <sup>13</sup>C-markiertem Stroh in einer Aufwandmenge von 2,148 t C-Äquivalent/ha. Die Ausbringung des Strohs und die Saat von Rotklee erfolgten analog zur Vorgehensweise auf den Parzellen. Die Gefäße wurden nach der Saat einzeln zum Schutz vor Windeinfluss bis zu einer Höhe von 0,4 m mit transparenter PVC-Folie eingehaust. Für die Düngung wurde hoch angereichertes Weizenstroh (> 97 atom% <sup>13</sup>C, Partikelgröße < 1 mm) der Sorte 'Baldus' mit unmarkiertem Weizenstroh bis zum Erreichen eines <sup>13</sup>C-Anreicherungsgrads von 9,7 atom% vermischt. Die gedüngte Menge an Stroh je Gefäß betrug 12,5 g (entspricht 2,148 t C-Äquivalent bzw. 4,88 t Stroh je ha). Die Installation eines Windschutzes, die Markierung von Messpunkten für die Ermittlung der Bodenrespiration und die Durchführung der Messungen der Bodenrespiration erfolgte wie unter Kapitel 4.2.1.1 beschrieben. Im Verlauf der Vegetationsperiode des Rotklees wurden zu 15 Terminen Messungen der Bodenrespiration durchgeführt. Zur Ermittlung des Sprossertrages wurde der Rotklee auf den Parzellen zu drei Terminen (13. Juni 2012, 10. Juli 2012, 16. August 2012) auf einer Fläche von 8,1 m<sup>2</sup> je Parzelle von Hand geerntet. Zu den genannten Terminen der Beerntung der Parzellen und zusätzlich am 28. September 2012 wurde der Rotklee in den Gefäßen beerntet. Die Bearbeitung der Pflanzenproben zur Ermittlung der Trockenmasse, der aufgenommenen Nährstoffe, der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung und des Abreicherungsgrades an <sup>13</sup>C im Spross des Rotklees erfolgte wie unter Abschnitt 4.2.1.1 beschrieben.

Der Anteil stabiler <sup>13</sup>C-Isotope aus dem gedüngten Stroh am Spross-C des Rotklees (<sup>13</sup>C<sub>RKS</sub>) wurde nach folgender Formel berechnet:

$$^{13}\text{C}_{\text{RKS}} [\%] = 100 \times \frac{(\text{RK}_m - \text{RK}_{\text{um}})}{(\text{Stroh}_m - \text{RK}_{\text{um}})}$$

RK<sub>m</sub> = Anreicherungsgrad Rotklee mit <sup>13</sup>C-markiertem Stroh gedüngt [atom% <sup>13</sup>C]

RK<sub>um</sub> = Anreicherungsgrad Rotklee mit unmarkiertem Stroh gedüngt [atom% <sup>13</sup>C]

Stroh<sub>m</sub> = Anreicherungsgrad markiertes Stroh [atom% <sup>13</sup>C]

Die Menge des aus dem gedüngten Stroh aufgenommenen Kohlenstoffs ( $C_{RKS}$ ) berechnet sich aus der Spross trockenmasse des Rotklees, dem prozentualen Anteil an C in der Spross trockenmasse und dem Anteil von  $^{13}C$  aus dem gedüngten Stroh.

$$C_{RKS} [g] = \frac{S_{\text{pross}} - TM_{RK} \times C_{RK} \times {}^{13}C_{RKS}}{100}$$

Der Anteil des durch den Rotklee aufgenommenen Kohlenstoffs aus dem gedüngten Stroh ( $C_{RKS}$ ) wurde unter Einbeziehung der Menge an gedüngtem Stroh und dem prozentualen Anteil an C im Stroh ermittelt.

$$C_{RKS} [\%] = \frac{C_{RKS}}{S_{\text{pross}} - TM_{\text{Stroh}} \times C_{\text{Stroh}}}$$



## 4.2.7 Düngung Kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen - Ergebnisse <sup>13</sup>C-Anreicherung Rotklee 2012

### 4.2.7.1 Bodenrespiration unter Rotklee

An 11 von fünfzehn Messtagen im Zeitraum April bis September 2012 wurde eine erhöhte Bodenrespiration in Rotklee mit Strohdüngung gegenüber der Kontrolle ohne Strohdüngung festgestellt (Abbildung 89). Vergleichsweise hohe Respirationswerte zwischen 730 und 930 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>xh wurden im Zeitraum vom 12. Juni bis 23. August gemessen und sind auf länger anhaltende, hohe Bodentemperaturen und Niederschläge in den Tagen vor den Messungen zurückzuführen. Im Mittel von fünfzehn Messtagen lag die Bodenrespiration mit 521 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>xh in der Kontrolle signifikant unter dem Wert von 547 mg in der Variante mit Strohdüngung.

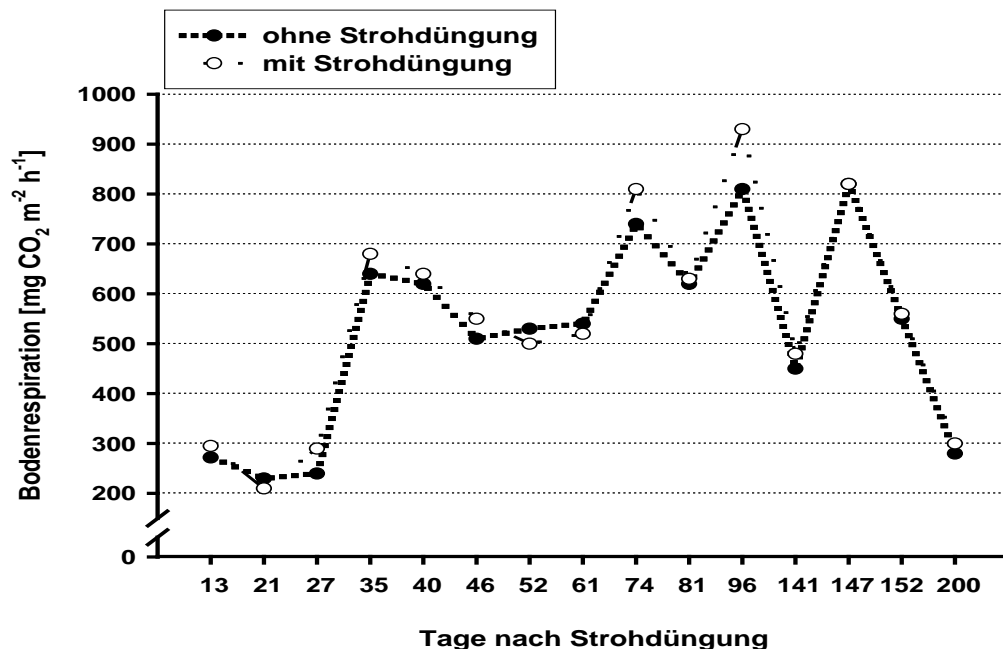


Abbildung 89: Bodenrespiration zu Rotklee nach Strohdüngung, 15 Messtage im Jahr 2012 am Standort Dresden-Pillnitz

### 4.2.7.2 Sprossertrag und N<sub>2</sub>-Fixierung Rotklee

Die Sprosstrockenmasse des Rotkleees in den Parzellen lag in der Variante mit Strohdüngung zu allen Schnitfterminen über dem Wert der Kontrolle, wobei die Höhe des Mehrertrages mit jedem Schnitftermin zunahm (Tabelle 97). Ebenso stieg der Sprossertrag des Rotkleees im Mittel der Varianten signifikant mit jedem Schnitftermin. Der Sprossertrag des Rotkleees in der Variante mit Strohdüngung lag im Mittel der Schnitftermine 13 % über dem Wert der Kontrolle. Die Aufnahme an Stickstoff aus dem Boden und die N<sub>2</sub>-Fixierung lag in drei Schnitten mit 66,5 kg/ha bzw. 114,6 kg N/ha in der Variante mit Strohdüngung jeweils 11 % über dem Wert der Kontrolle (Tabelle 98).

**Tabelle 97: Sprossrockenmasse des Rotklees ohne und nach Strohdüngung zu drei Schnittterminen im Jahr 2012**

	Spross-TM 1.Schnitt [dt/ha]	Spross-TM 2.Schnitt [dt/ha]	Spross-TM 3.Schnitt [dt/ha]	Spross-TM 3Termine [dt/ha]
<b>Kontrolle</b>	14,5	18,6	26,1	59,1
<b>Stroh</b>	14,8	19,7	32,8	67,3
<b>P-Wert Variante</b>	0,9064	0,6284	0,0807	0,2405

**Tabelle 98: Bodenbürtige ( $N_{dfs}$ ) und luftbürtige ( $N_{dfa}$ ) Aufnahme an Stickstoff durch Rotklee ohne und nach Strohdüngung im Jahr 2012**

	$N_{dfs}$ [kg/ha]	$N_{dfa}$ [kg/ha]
<b>Kontrolle</b>	59,9	103,5
<b>Stroh</b>	66,5	114,6
<b>P-Wert</b>	0,3829	0,2516

#### 4.2.7.3 $^{13}\text{C}$ -Anreicherung Rotklee

Der Anreicherungsgrad stabiler  $^{13}\text{C}$ -Isotope im Spross des Rotklees lag in der mit markiertem Stroh gedüngten Variante zu allen Schnittterminen mit einem  $P$ -Wert  $< 0,001$  hoch signifikant über dem der Kontrollvarianten (Abbildung 90). Damit ist eine Aufnahme von Kohlenstoff aus dem gedüngten Stroh durch die Rotkleepflanzen nachgewiesen. Die Höhe des Anreicherungsgrades in der Variante mit Düngung von markiertem Stroh unterschied sich zwischen den einzelnen Schnittterminen teils deutlich und erreichte mit  $0,47 \delta\text{‰ }^{13}\text{C}$  zum zweiten Schnitt den höchsten und mit  $-16,47 \delta\text{‰ }^{13}\text{C}$  zum dritten Schnitttermin den niedrigsten Wert. Die Mittelwerte in dieser Variante weisen im Vergleich jeweils den höchsten Standardfehler auf, was auf größere Unterschiede hinsichtlich des Anreicherungsgrades innerhalb der vier Wiederholungen hindeutet. Zum Teil kann dies mit einem gewissen Verdünnungseffekt, d. h. einem höheren Grad der Anreicherung bei geringerer Trockenmasse, begründet werden.

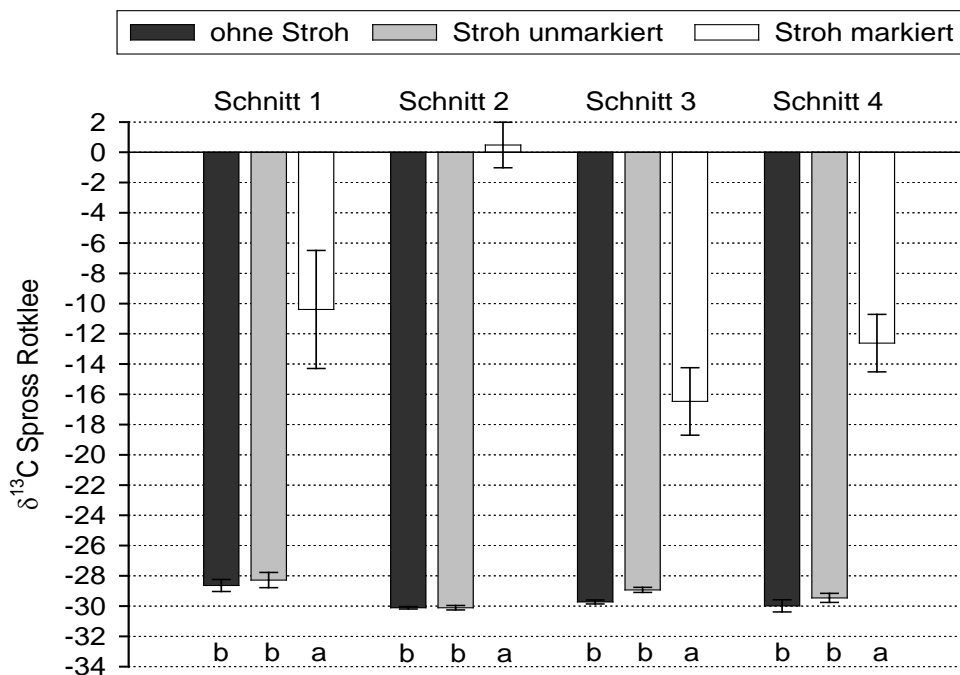


Abbildung 90: Isotopensignatur ( $\delta^{13}\text{C}$ ) im Spross des Rotklee nach Düngung mit  $^{13}\text{C}$ -markiertem Stroh im Jahr 2012 am Standort Dresden-Pillnitz

#### 4.2.8 Diskussion und Einordnung der Ergebnisse

Im Rahmen des Teilprojektes 1 von WP 2 sollten hauptsächlich drei Arbeitshypothesen geprüft werden. Im Rahmen der Verlängerung des Projektes sollten weitere Punkte zur Vertiefung der bis dahin gewonnenen Erkenntnisse untersucht werden (als Unterpunkt angeführt):

1. Die Applikation stickstoffarmer und kohlenstoffreicher organischer Düngemittel führt zu einer temporären Immobilisation von mineralischem Stickstoff im Boden, sodass die Leguminose ihren N-Bedarf zu einem höheren Anteil aus der Symbiose deckt und das Wachstum nichtlegumer Unkräuter begrenzt wird.
  - Prüfung verschiedener Gehölzarten und Applikationsmengen von Gehölzhäcksel hinsichtlich einer unkrautregulierenden Wirkung im Gefäßversuch und im Freiland.

Die geschätzte **symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung** innerhalb einer Vegetationsperiode der untersuchten Leguminosen lag im Mittel von zwei Jahren bei Saatplatterbse bei 119 kg N/ha, bei Ackerbohne bei 140 kg N/ha und bei Rotklee bei 235 kg N/ha. Signifikante Unterschiede zwischen den Düngewarianten hinsichtlich der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierung wurden nicht ermittelt, jedoch wurde im Jahr 2009, insbesondere in den organischen Düngewarianten, eine höhere N<sub>2</sub>-Fixierung bei Ackerbohne um 17 bis 49 kg N/ha und bei Rotklee um 19 bis 40 kg N/ha gegenüber der Kontrolle ohne Düngung festgestellt (Tabelle 89). Die Variante mit rein mineralischer Düngung lag bei Ackerbohne um 32 kg N/ha und bei Rotklee um 34 kg N/ha über dem Wert der Kontrolle. Somit wurde in den organisch gedüngten Varianten in der Tendenz tatsächlich eine höhere N<sub>2</sub>-Fixierung gegenüber der Kontrolle erreicht, die offenbar mit einer gesteigerten Nährstoffverfügbarkeit aus den applizierten Düngemitteln zu erklären ist. Eine verbesserte Versorgung der Leguminosen in allen gedüngten Varianten gegenüber der Kontrolle wurde anhand der Gehalte im Spross - insbesondere bei Kalium, Phosphor und

Schwefel - festgestellt (Abbildung 84 bis Abbildung 86). Die Variante mit rein mineralischer Düngung wies vor allem signifikant höhere Werte gegenüber der Kontrolle im Gehalt an Schwefel im Spross der Saatplatterbse in 2008 und 2009, im Blatt der Ackerbohne und im Spross des Rotklee in 2009 auf. ZHAO (1999) wies in Untersuchungen mit Erbse (*P. sativum* L.) eine Steigerung der N<sub>2</sub>-Fixierung nach Erhöhung der Schwefelverfügbarkeit nach. In den organisch gedüngten Varianten lagen demgegenüber die Gehalte an Kalium und Phosphor teils signifikant über den Werten der Kontrolle und insbesondere die Gehalte an Molybdän über dem Wert der mineralischen Variante. JENSEN (2002) beschrieb eine verminderte N<sub>2</sub>-Fixierung von Weißklee (*T. repens* L.) bei geringer P-Versorgung. Einen signifikant höheren N-Gehalt im Spross von Erdklee (*T. subterraneum* L.) und ein höheren Spross-N-Ertrag (kg N/ha) nach Düngung mit Molybdän ermittelte COVENTRY (1985).

Nachgewiesen wurde in den Untersuchungen eine temporäre Immobilisierung von Stickstoff im Boden unter Ackerbohne und Rotklee nach Applikation von Gehölzhäcksel mit einem C/N-Verhältnis zwischen 45 und 62, welche jedoch auf den Bereich der Einarbeitungstiefe (0 bis 20 cm) des organischen Materials beschränkt blieb (Abbildung 73 und Abbildung 74). Nachgewiesen wurde ferner in der Variante mit Düngung von Gehölzhäcksel ein um 2 bis 4 % höherer Anteil an symbiotisch fixiertem Stickstoff am Spross-N der Ackerbohne und des Rotklee gegenüber der Kontrolle in den Jahren 2009 und 2010 (Tabelle 89). Eine verstärkte symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung durch Leguminosen bei geringer N-Verfügbarkeit im Boden wurde u. a. auch von JENSEN (1985) festgestellt. SHIVASHANKAR (1978) wies eine erhöhte Nodulation, eine erhöhte Nitrogenaseaktivität und eine gesteigerte N<sub>2</sub>-Fixierung nach Applikation von Stroh bei Sojabohne nach und führte dies auf eine verminderte Verfügbarkeit von mineralischem Stickstoff im Boden zurück.

Die **Verunkrautung** bei Ackerbohne war in den Untersuchungen am Standort Dresden in den Jahren 2009 und 2010 in der Variante mit Düngung von Pferdemist gegenüber den Vergleichsvarianten deutlich erhöht, was u. a. mit einem geringen Feldaufgang der Ackerbohne und nachfolgend einer geringen Bestandesdichte zu erklären ist (**Abbildung 79**). Demgegenüber wurde in den oben genannten Versuchen und in den zusätzlichen Demonstrations- und Praxisuntersuchungen mit Ackerbohne, Erbse und Schmalblättriger Lupine eine Reduzierung der Verunkrautung durch die Applikation von Gehölzhäcksel um 36 % im Mittel der Versuche festgestellt (Tabelle 90). Die durch den Gehölzhäcksel verursachten Keim- und Wuchshemmungen wurden insbesondere bei einjährigen Samenunkräutern festgestellt (PÖTZSCH 2010). Die Untersuchungen mit verschiedenen Gehölzarten im Rahmen der Verlängerung des Projektes zeigten, dass vor allem Nadelgehölze eine deutlich keimhemmende Wirkung hervorrufen. Nach HARMINDER (1999) bestehen bei einer großen Anzahl von Nadelgehölzen keimhemmende Wirkungen auf eine Reihe untersuchter Kulturpflanzen. Ursächlich dafür sind sekundäre Stoffwechselprodukte der Nadelgehölze wie Tannine, Phenole, Säuren, Lignine und Alkaloide (HILDEBRAND 1979, WALLER 1987).

2. Die Einarbeitung kohlenstoffreicher organischer Düngemittel führt zu einer verstärkten Assimilation von düngebürtigem Kohlenstoff durch die Leguminosen in Form von CO<sub>2</sub> aus mikrobieller Umsetzung sowie zur stärkeren Ertragsbildung und symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierung der Leguminose.
  - Nutzung <sup>13</sup>C-markierter organischer Düngemittel (Stroh) zum Nachweis der Kohlenstoffaufnahme aus den organischen Düngemitteln im Feldversuch

Die Messung der Bodenrespiration in Saatplatterbse 2008 und 2009, in Ackerbohne 2009 und 2010 und in Rotklee 2012 ergab jeweils im Mittel der Messungen signifikant höhere Werte an

entbundenem CO<sub>2</sub> aus dem Boden in den organisch gedüngten Varianten gegenüber der Kontrolle. Daraus lässt sich ableiten, dass ein Teil des Kohlenstoffs im eingearbeiteten organischen Material veratmet wurde und für die Assimilation der Leguminosen verfügbar war. Eine Erhöhung der Bodenrespiration nach regelmäßiger Düngung mit Stallmist zwischen 23 und 100 % gegenüber der Kontrolle ohne Düngung wies auch KRZYSCH (1962) nach. Nachgewiesen wurde von WRIGHT & LEMON (1966) sinkende CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bereits in den frühen Morgenstunden in einem geschlossenen Pflanzenbestand und MOSS (1961) ermittelte die Assimilation von CO<sub>2</sub> aus Bodenatmung durch Getreide insbesondere bei hoher Sonneneinstrahlung. Von einer verstärkten Assimilation von CO<sub>2</sub> aus Bodenrespiration nach Strohdüngung zu Sojabohne und einer positiven Wirkung auf die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung geht auch SHIVASHANKAR (1978) in seinen Untersuchungen aus. Die Quantifizierung der **Aufnahme an Kohlenstoff** aus den gedüngten organischen Materialien konnte in den eigenen Untersuchungen nicht anhand des natürlichen <sup>13</sup>C-Anreicherungsgrades im Spross der Leguminosen nachgewiesen werden (Abbildung 75 und Abbildung 76). Die Delta-<sup>13</sup>C-Werte im Spross der Leguminosen lagen in den gedüngten Varianten zumeist unter dem Wert der Kontrolle, was einen geringeren Anreicherungsgrad mit stabilen <sup>13</sup>C-Isotopen bedeutet. Aus diesem Grund wurde im Jahr 2012 <sup>13</sup>C-markiertes Stroh mit einem Anreicherungsgrad von 9,7 atom% <sup>13</sup>C zu Rotklee appliziert, um strohbürtigen Kohlenstoff im Spross von Rotklee nachweisen zu können. Mit Delta-<sup>13</sup>C-Werten deutlich über -17 lag die Variante mit Düngung von markiertem Stroh hoch signifikant über den Werten der Kontrolle und der Variante mit Düngung von unmarkiertem Stroh (Abbildung 90). Anhand des ermittelten Anreicherungsgrades mit stabilen <sup>13</sup>C-Isotopen wurde eine Aufnahme von 0,55 % des gedüngten Kohlenstoffs aus dem Stroh durch den Rotklee ermittelt. Durch diese Untersuchungen konnte erstmals direkt nachgewiesen werden, dass in Form von organischen Düngemitteln in den Boden eingebrachter Kohlenstoff von nachfolgend angebauten Pflanzen aufgenommen wird.

### 3. Die N-Vorfruchtwirkung der Leguminose zu Getreide wird durch die Einbringung kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zur Leguminose erhöht.

Der Kornertrag des nach Ackerbohne und Rotklee folgenden Winterweizens lag im Jahr 2010 in den organisch gedüngten Varianten teils signifikant über den Werten der Kontrolle und der Variante mit rein mineralischer Düngung (Abbildung 83). Somit konnte eine verbesserte Vorfruchtwirkung durch die organische Düngung zu den Leguminosen gegenüber der Kontrolle, aber auch gegenüber der rein mineralisch gedüngten Variante bereits nach erstmaliger Anwendung organischer Düngemittel aufgezeigt werden. KAHNT (2008) führt eine Reihe positiver Wirkungen auf den Boden vor allem nach Düngung mit unverrottetem Festmist an. Verbunden mit dem Anbau von Körnerleguminosen, dessen Anbau zu einer höheren Aggregatstabilität im Boden führt HAYNES (1997), können die positiven Effekte der organischen Düngung noch verstärkt werden. BRONICK (2005) wies in Untersuchungen einen signifikant höheren Gehalt an organischem Kohlenstoff auf leichten Böden nach regelmäßiger Applikation von Stallmist bereits nach einer fünfjährigen Fruchtfolge nach.

## 4.3 Workpackage 2: Nährstoffinputs, Sekundärrohstoffe, Wirtschaftsdünger – Teil 2 Pflanzengesundheit

### 4.3.1 Einsatz organischer Düngemittel in Gemengen und Reinsaaten zur Verbesserung der Nährstoffflüsse und der Pflanzengesundheit (Versuchsansatz 1)

Versuchsansatz 1 beinhaltete die Versuchsfaktoren organische Düngung (Grüngutkompost, Pferdemist, Kontrolle) und Kultur (Erbsen-Reinsaat und Erbsen-Hafer-Gemenge in den Versuchsjahren 2009-2010, Hafer-Reinsaat im Jahr 2010). Die Versuche wurden in Trenthorst (2009: 1-T09, 2010: 1-T10) und in Frankenhausen (2009: 1-F09, 2010: 1-F10) durchgeführt. In Versuch 1-F11 am Standort Frankenhausen wurde Grüngutkompost in zwei Aufwandmengen (5 t und 10 t C-Äquivalente/ha) zu Erbse und Hafer in Reinsaat und in einem Gemenge untersucht. Als Nachfrucht wurde in den darauffolgenden Jahren auf allen Versuchsflächen Weizen etabliert.

#### 4.3.1.1 Bodenmikrobiologie

Die Ausbringung des organischen Düngemittels Pferdemist führte an den Standorten Trenthorst und Frankenhausen in beiden Versuchsjahren zu einer signifikant oder tendenziell höheren bodenmikrobiologischen Aktivität im Vergleich zur Kontrolle ohne organische Düngung (Tabelle 99 und Tabelle 100). Mit Ausnahme der Fluoresceindiacetat-Aktivität im Jahr 2009 und der Phosphomonoesterase-Aktivität im Jahr 2010 am Standort Frankenhausen wies die Variante mit Grüngutkompost hinsichtlich der bodenmikrobiellen Aktivität eine mittlere Stellung zwischen der Kontrolle und der Variante mit Pferdemist auf. Obwohl bei den organischen Düngemitteln eine äquivalente Menge an gedüngtem C von 10 t/ha ausgebracht wurde, führte die Ausbringung des Pferdemistes mehrheitlich zu einer höheren bodenmikrobiellen Aktivität im Vergleich zum Grüngutkompost. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass Pferdemist höhere Mengen an schnell abbaubaren C-Fractionen aufweist (ROCHETTE et al. 2006) und zum anderen über einen höheren mikrobiellen Biomassegehalt verfügt (GATTINGER et al. 2004). Die Ausbringung von Grüngutkompost in Höhe von 10 t C Äquivalente/ha ergab ebenfalls signifikant höhere  $C_{\text{mik}}$  und  $N_{\text{mik}}$ -Gehalte sowie eine höhere Fluoresceindiacetat-Aktivität im Tiefenbereich 0-10 cm im Vergleich zur Variante mit Grüngutkompost mit 5 t C-Äquivalente/ha sowie insbesondere im Vergleich zur Kontrolle (Tabelle 100). Bei der Fluoresceindiacetat-Aktivität im Tiefenbereich 10-20 cm und der Aktivität der Phosphomonoesterase konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Die am Standort Frankenhausen durchgeführten und kumulierten Messungen der  $\text{CO}_2$ -Konzentration oberhalb der Bodenoberfläche ergaben unabhängig vom Versuchsjahr und der angebauten Kultur signifikant höhere Werte in Parzellen mit organischer Düngung im Vergleich zur Kontrolle ohne organische Düngung (Tabelle 101). Die Ausbringung von Pferdemist führte dabei zu signifikant höheren  $\text{CO}_2$ -Respirationswerten im Vergleich zur Ausbringung von Grüngutkompost in Höhe von 10 t C-Äquivalente/ha. Daraus ist zu schließen, dass Pferdemist eine schnellere Mineralisierungsrate aufweist als Grüngutkompost, was auf die höheren Mengen an schnell abbaubaren C-Fractionen (ROCHETTE et al. 2006) zurückzuführen sein dürfte. Gleichzeitig war beim Vergleich der beiden Ausbringungsmengen von Grüngutkompost im Versuchsjahr 2011 festzustellen, dass die  $\text{CO}_2$ -Respiration in Parzellen mit 10 t C-Äquivalente/ha signifikant über derjenigen von Parzellen mit 5 t C-Äquivalente/ha lag.



**Tabelle 99: Einfluss der Düngungsvarianten (10 t C Äquivalent/ha) auf die bodenmikrobielle Aktivität am Standort Trenthorst**

Parameter	2009			2010		
	Kontrolle	Grüngut-kompost	Pferdemist	Kontrolle	Grüngut-kompost	Pferdemist
C <sub>mik</sub> (0-20 cm) <sup>a</sup>	241,0 c	292,4 b	383,0 a	201,3 b	250,4 b	357,3 a
N <sub>mik</sub> (0-20 cm) <sup>b</sup>	31,7 c	37,3 b	44,6 a	32,2 b	39,0 b	52,3 a
FDA (0-20 cm) <sup>c</sup>	0,232 b	0,294 a	0,328 a	n.b.	n.b.	n.b.
FDA (0-10 cm) <sup>c</sup>	n.b.	n.b.	n.b.	0,315 b	0,376 b	0,603 a
FDA (10-20 cm) <sup>c</sup>	n.b.	n.b.	n.b.	0,348 a	0,355 a	0,408 a
PMA (0-20 cm) <sup>d</sup>	429,6 b	498,6 ab	533,8 a	334,2 a	374,5 a	453,3 a

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Zeile und eines Jahres kennzeichnen signifikante Unterschiede (P<0,05). FDA: Fluoresceindiacetat-Aktivität, PMA: Phosphomonoesterase-Aktivität. <sup>a</sup>µg Cmic g<sup>-1</sup> TS, <sup>b</sup>µg Nmin g<sup>-1</sup> TS, <sup>c</sup>µg Fluorescein g<sup>-1</sup> TS min<sup>-1</sup>, <sup>d</sup>mg Phenol g<sup>-1</sup> TS h<sup>-1</sup>, n.b.: nicht bestimmt

**Tabelle 100: Einfluss der Düngungsvarianten auf die bodenmikrobielle Aktivität am Standort Frankenhausen**

Parameter	2009			2010			2011		
	Kontrolle	Grüngut-kompost 5 t C Äquiv./ha	Pferde-mist 10 t C Äquiv./ha	Kon-trolle	Grüngut-kompost 10 t C Äquiv./ha	Pferde-mist 10 t C Äquiv./ha	Kontrolle	Grüngut-kompost 5 t C Äquiv./ha	Grüngut-kompost 10 t C Äquiv./ha
C <sub>mik</sub> (0-20 cm) <sup>a</sup>	234,2 c	261,2 b	320,0 a	227,0 b	275,0 b	395,7 a	253,9 b	264,0 b	322,9 a
N <sub>mik</sub> (0-20 cm) <sup>b</sup>	38,6 b	39,9 b	52,0 a	35,8 b	43,9 b	63,4 a	36,2 b	40,7 b	48,0 a
FDA (0-20 cm) <sup>c</sup>	0,426 b	0,426 b	0,484 a	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
FDA (0-10 cm) <sup>c</sup>	n.b.	n.b.	n.b.	0,418 b	0,503 ab	0,546 a	0,389 b	0,407 b	0,486 a
FDA (10-20 cm) <sup>c</sup>	n.b.	n.b.	n.b.	0,417 b	0,437 b	0,588 a	0,373 a	0,355 a	0,331 a
PMA (0-20 cm) <sup>d</sup>	507,6 a	536,0 a	556,2 a	454,7 b	549,5 a	539,2 a	419,9 a	416,3 a	443,4 a

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Zeile und eines Jahres kennzeichnen signifikante Unterschiede (P<0,05). FD: Fluoresceindiacetat-Aktivität, PMA: Phosphomonoesterase-Aktivität. <sup>a</sup>µg Cmic g<sup>-1</sup> TS, <sup>b</sup>µg N<sub>min</sub> g<sup>-1</sup> TS, <sup>c</sup>µg Fluorescein g<sup>-1</sup> TS min<sup>-1</sup>, <sup>d</sup>mg Phenol g<sup>-1</sup> TS h<sup>-1</sup>, n.b.: nicht bestimmt

**Tabelle 101: Einfluss der organischen Düngung auf die kumulierte CO<sub>2</sub>-Respiration der Kulturen am Standort Frankenhausen in den Jahren 2009 - 2011**

Kultur	Organische Düngung	Kumulierte CO <sub>2</sub> -Respiration (CO <sub>2</sub> -C g/m <sup>2</sup> )		
		2009	2010	2011
Erbse-Reinsaat	Kontrolle	414,3 c	462,5 c	291,2 c
	Grüngutkompost (5 t C-Äquiv./ha)	534,1 b	n.b.	523,8 b
	Grüngutkompost (10 t C-Äquiv./ha) □	n.b.	656,8 b	853,7 a
	Pferdemist	766,5 a	940,5 a	n.b.
Erbsen-Hafer-Gemenge	Kontrolle	377,2 c	504,2 c	289,0 c
	Grüngutkompost (5 t C-Äquiv./ha)	510,8 b	n.b.	504,1 b
	Grüngutkompost (10 t C-Äquiv./ha) □	n.b.	620,4 b	650,1 a
	Pferdemist	849,7 a	926,7 a	n.b.
Hafer-Reinsaat	Kontrolle	n.b.	451,5 c	353,8 c
	Grüngutkompost (5 t C-Äquiv./ha)	n.b.	n.b.	569,8 b
	Grüngutkompost (10 t C-Äquiv./ha) □	n.b.	625,5 b	773,5 a
	Pferdemist	n.b.	959,7 a	n.b.

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte und einer Kultur kennzeichnen signifikante Unterschiede (P<0,05). n.b.: nicht bestimmt

### 4.3.1.2 Pflanzengesundheit

#### Blatterkrankungen/Läuse

Im Jahr 2009 wurde am Standort Trenthorst ein hohes Auftreten von Blattläusen festgestellt, wobei keine Unterschiede zwischen den Kulturen und den organischen Düngungsvarianten vorlagen. Ebenso wenig konnte eine Differenzierung des Blattlausauftretens zwischen den Varianten im Versuchsjahr 2010 ermittelt werden, wobei der Befall insgesamt nur gering ausfiel. Ein befallsreduzierender Effekt des Gemengeanbaus konnte im Gegensatz zu anderen Versuchen innerhalb des Projektes (Kapitel 4.5.3.5) nicht festgestellt werden, was möglicherweise auch mit der Art der Erfassung in Form einer Bonitur zusammenhängt.

Das Auftreten von Blattkrankheiten der Erbse, verursacht durch den Falschen Mehltau und den Ascochyta-Komplex, war am Standort Trenthorst gering (maximal 0-5 % befallene Blattfläche). Ein Befall mit dem Echten Mehltau, dem Rost und der Weißstängligkeit konnte nicht festgestellt werden. Die nassen Bedingungen im Juli/August 2010 führten vermutlich zu einem verstärkten Auftreten von Grauschimmel. Die Versuchsfaktoren hatten in beiden Jahren keinen Einfluss auf das Krankheitsgeschehen auf Blatt und Hülsen der Erbsen. Vergleichbares ist für den Standort Frankenhausen in beiden Versuchsjahren zu berichten.

#### Wurzelkrankheiten

Die Bonituren der Wurzeln ergaben in den beiden Versuchsjahren zum Versuchsansatz am Standort Trenthorst starke Schädigungen durch Wurzel- und Stängelbasiserreger (Boniturnote 8-9 auf der neungliedrigen Boniturskala), wobei weder hinsichtlich der Läsionsnote noch hinsichtlich des Gewebezustandes signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsfaktoren festgestellt werden konnten. In Frankenhausen lag im Jahr 2009 die Läsionsnote im Mittel bei der Note 5 und im Gewebezustand bei Note 4. Die Einflüsse durch die Kulturform bzw. die

Düngung waren minimal. Ähnliches gilt für die Versuche des Jahres 2010 am Standort Frankenhausen jedoch mit einer höheren Befallsnote (im Mittel 8).

Die Läsionslänge wurde am Standort Trenthorst im Jahr 2009 signifikant von der Kultur (Reinsaat: 144, Gemenge: 128 mm) sowie im Jahr 2010 von der organischen Düngung beeinflusst, wobei die Ausbringung von Pferdemist mit 76,8 mm zur geringsten Läsionslänge und die Variante mit Grüngutkompost zur höchsten Läsionslänge (92,3 mm) aller Varianten geführt hat. Demgegenüber ist eine – wenn auch nicht signifikante - Wechselwirkung ( $p=0.178$ ) im Jahr 2009 zwischen Kulturform und Düngung zu erwähnen: der Kompost bewirkte hier eine deutliche Verbesserung im Gemenge im Vergleich zur Reinsaat. In Frankenhausen dagegen ergab sich für das Jahr 2009 insgesamt eine deutlich geringere Läsionslänge auf den Pflanzen (im Mittel bei 33 mm). Ebenso wie für Läsionsnote und den Gewebezustand waren die Unterschiede in Abhängigkeit von den Versuchsfaktoren aber nur marginal. Auch für das Jahr 2010 ergab sich kein positiver Effekt am Standort Frankenhausen in Abhängigkeit von der Düngung und der Kultur, obwohl im Mittel über die Kulturform der Wert für den Kompost bei 88 mm lag (Kontrolle 95 mm, Pferdemist 106 mm).

Ein positiveres Bild lässt sich anhand der Ergebnisse des Feldversuches der HTW aus dem Jahr 2010 mit Ackerbohnen sowie des Jahres 2011 für einen Erbsenversuch in Frankenhausen erkennen. Insbesondere durch Grüngutkompost lassen sich hier bei den Ackerbohnen Effekte erkennen, da ein etwa 50 % geringerer Befall im Vergleich zur Kontrolle auftritt. Im Fall der Erbsen in Frankenhausen ergibt sich durch den Komposteinsatz ein Effekt von rund 20 % für den Parameter Läsionslänge. Die Effekte lassen sich jedoch in keinem Fall absichern, legt man die 4 Replikate zugrunde. Die Abweichungen zwischen den Blöcken sind zum Teil mit Abweichungen in der Läsionslänge um 80 % vom Mittelwert extrem hoch. Da Blockunterschiede in der ähnlichen Größenordnungen in F- und p-Werten wie bei den Behandlungen auftauchen, lässt sich ableiten, dass ein noch sehr viel höherer Aufwand an Probenahmen hätte betrieben werden müssen, um die Bodenunterschiede und gegebenenfalls auch Inokulumunterschiede im Boden ausgleichen zu können. Dies war aber in den Versuchsanlagen nicht mehr zu leisten.

**Tabelle 102: Einfluss der organischen Düngung auf Wurzelschäden (Läsionslänge (mm)) von Ackerbohnen in Reinsaat am Standort Pillnitz und Erbsen in Reinsaat und Gemenge in Frankenhausen in den Jahren 2010/2011**

Kultur	Organische Düngung	Pillnitz		Frankenhausen	
		2010	2011	2010	2011
Reinsaat	Kontrolle	80,3	32,5		
	Kalk	78,2	n.b.		
	Mineralisch	70,4	n.b.		
	Grünguthäcksel	49,6	n.b.		
	Pferdemist	49,5	n.b.		
	Grüngutkompost (5 t C-Äquiv./ha)	n.b.	27,8		
	Grüngutkompost (10 t C-Äquiv./ha)	38,3	26,2		
Gemenge	Kontrolle		31,1		
	Grüngutkompost (5 t C-Äquiv./ha)		30,5		
	Grüngutkompost (10 t C-Äquiv./ha)		26,1		

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte und einer Kultur kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ). n.b.: nicht bestimmt

Mit Ausnahme von *F. solani* im Jahr 2009, konnten sämtliche Wurzel- und Stängelbaserreger am Standort Trenthorst nachgewiesen werden. Dabei wurden weder zwischen den Kulturen noch zwischen den organischen Düngungsvarianten signifikante Unterschiede hinsichtlich der Anteile befallener Pflanzen mit *M. pinodes*, *P. medicaginis*, *F. oxysporum* in beiden Versuchsjahren und *F. solani* im Jahr 2010 festgestellt. In Frankenhausen dominierten die Erreger *M. pinodes*, *P. medicaginis*. Hier konnte durch den Komposteinsatz nur eine leichte Reduzierung in der Häufigkeit der Pathogene bestimmt werden. Ebenso für den hier gezeigten Versuch aus der HTW konnte zwar eine Reduzierung im Aufkommen von *M. pinodes* mit 45% geringerer Häufigkeit in den Kompostbehandlungen festgestellt werden, jedoch trat demgegenüber *P. medicaginis* stärker als in der Kontrolle auf. Es ist anzunehmen, dass die Erreger stark in ihrem Auftreten vom Jahreslauf, der Witterung und der Schlaggeschichte abhängig sind. Die Ergebnisse stehen damit im Einklang mit den Ergebnissen aus den Praxiserhebungen (Kap. 4.1), nach denen genau diese Einflussfaktoren eine wesentliche Rolle am Aufkommen auf *M. pinodes* und *F. oxysporum* gespielt haben sowie die Läsionslänge als bestimmenden Faktor für den Ertrag gefunden werden konnte. Dies konnte aber in den Versuchen nicht nachgewiesen werden.

Damit hat weder der Gemengeanbau von Erbsen noch die Ausbringung organischer Düngemittel unter den Versuchsbedingungen wesentlich zu einer Verbesserung der Pflanzengesundheit der Erbsen in den Versuchen auf beiden Standorten geführt. Die suppressive Wirkung des Grüngutkompostes auf bodenbürtige Erreger, wie sie insbesondere in Gefäßversuche nachzuweisen ist (NOBLE & COVENTRY 2005), hat sich unter den Feldbedingungen beim Einsatz der gewählten Mengen an organischen Düngern nicht gezeigt. Eine mögliche Ursache hierfür könnte die flächige Ausbringung der Komposte und des Pferdemistes gewesen sein, welche sich als zu schwach in der Wirkung in anderen Versuchen gezeigt hat (siehe Kap. 4.3).

### 4.3.1.3 Feldaufgang und Ertragsleistung

Die Ausbringung des Pferdemistes führte in Trenthorst in beiden Versuchsjahren zu einem signifikant geringeren Feldaufgang der Erbse (2009: 54, 2010: 79 Pflanzen/m<sup>2</sup>) im Vergleich zur Variante mit Grüngutkompost (2009: 70, 2010: 104 Pflanzen/m<sup>2</sup>) und der Kontrolle ohne organische Düngung (2009: 71, 2010: 93 Pflanzen/m<sup>2</sup>). Die festgelegte Applikationsmenge der organischen Düngemittel in Höhe von 10 t C-Äquivalente/ha führte zur Ausbringung hoher Mengen an Pferdemist. Trotz Einarbeitung der organischen Düngemittel mit der Fräse bildete sich beim Pferdemist eine Matte, die möglicherweise eine optimale Ablagetiefe der Erbse erschwert und somit einen guten Wasseranschluss verhindert hat. Der Feldaufgang des Hafers wurde am Standort Trenthorst in beiden Versuchsjahren nicht vom Versuchsfaktor organische Düngung beeinflusst. Am Standort Frankenhausen hatte der Versuchsfaktor organische Düngung in keinem der drei Versuchsjahre einen Einfluss auf den Feldaufgang der Erbse.

Der Anbau des Erbsen-Hafer-Gemenges im Vergleich zum Anbau der Erbse in Reinsaat (Tabelle 103 und Tabelle 104) führte mit Ausnahme der organischen Düngung mit Pferdemist in Trenthorst 2010 und des Feldversuches in Frankenhausen im Versuchsjahr 2011 zu einer signifikant höheren Gesamtertragsleistung der Gemenge. Der Feldaufgang beim Hafer wurde im Jahr 2010 in Trenthorst zwar nicht durch die organische Düngung beeinflusst, die Aufgangsraten lagen mit 58 Pflanzen/m<sup>2</sup> im Gemenge und 222 Pflanzen/m<sup>2</sup> in der Reinsaat allerdings deutlich unter den geplanten Aussaatstärken. Die Pflanzen wiesen in diesem Versuchsjahr zudem eine geringe Bestockung auf, die möglicherweise durch die Ausbringung von Pferdemist nochmals verschlechtert wurde. Dies könnte zu den geringen Hafer-Ertragsanteilen und der schlechten Gesamtertragsleistung des Gemenges in Trenthorst geführt haben. Im Feldversuch in Frankenhausen ist die signifikant geringere Gesamtertragsleistung des Gemenges im Vergleich zur Erbsen-Reinsaat auf eine Reduzierung der Saatstärke des Hafers im Gemenge von 80 Körnern/m<sup>2</sup> in den Vorjahren auf 20 Körnern/m<sup>2</sup> zurückzuführen. In fast allen Feldversuchen war zudem eine Unterdrückung der Erbse durch den Gemengepartner Hafer festzustellen, was zu signifikant geringeren Ertragsleistungen der Erbse im Gemenge im Vergleich zur Reinsaat bei gleicher Saatstärke führte. Lediglich im Versuch am Standort Trenthorst in 2010 führte der Anbau der Erbse in Reinsaat nicht zu einer Reduzierung ihrer Ertragsleistung, was möglicherweise auf die Probleme mit der Ertragsbildung beim Hafer zurückzuführen ist.

Die organische Düngung hat statistisch betrachtet am Standort Frankenhausen in den Jahren 2009 und 2011 weder die Ertragsleistung der Erbse noch die Gesamtertragsleistung der Kulturen beeinflusst (Tabelle 103). Im Jahr 2011 wurde der Ertrag aber durch die Grüngutkomposte um etwa 10 % gesteigert. Am Standort Trenthorst führte die organische Düngung mit Pferdemist im Jahr 2009 zu einer deutlichen Verringerung der Ertragsleistung der Erbse, was sich allerdings nicht auf die Gesamtertragsleistung auswirkte. Dies ist vermutlich auf den schlechten Feldaufgang der Erbse in Parzellen mit Pferdemist zurückzuführen. Die Feldversuche im Jahr 2010 ergaben an beiden Standorten eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Versuchsfaktoren Kultur und organische Düngung. Die Ausbringung von organischen Düngemitteln führte in der Erbsen-Reinsaat und im Erbsen-Hafer-Gemenge an beiden Standorten zu tendenziell oder signifikant höheren Ertragsleistungen der Erbse (Tabelle 104). Die Gesamtertragsleistung der Gemenge war dabei in der Kontrolle ohne organische Düngung und den Varianten mit Grüngutkompost und Pferdemist vergleichbar, wohingegen eine Ausbringung von Pferdemist die Ertragsleistung der Hafer-Reinsaat stärker gefördert hat als die Variante mit Grüngutkompost und insbesondere im Vergleich zur Kontrolle ohne organische Düngung. Trotz positiver Effekte auf die bodenmikrobielle Aktivität führte die Ausbringung von organischen Düngemitteln mit hohem C-Gehalt damit nicht immer zu positiven

Ertragseffekten. Die Ergebnisse des Versuchsstandortes Trenthorst und diejenigen des Versuches in Frankenhausen im Jahr 2011 stimmen damit zu großen Teilen mit denen von JANNOURA et al. 2013 überein.

**Tabelle 103: Einfluss der Kultur und der organischen Düngung auf den Ertrag der Erbse und den Gesamtertrag der Kulturen in den Jahren 2009 und 2011.**

Versuchsfaktor	Faktorstufe	Trenthorst 2009		Frankenhausen 2009		Frankenhausen 2011	
		Ertrag Erbse	Gesamtertrag	Ertrag Erbse	Gesamtertrag	Ertrag Erbse	Gesamtertrag
Kultur	Erbse-Reinsaat	11,9 a	11,9 b	20,9 a	20,9 b	46,3 a	46,3 a
	Erbsen-Hafer-Gemenge	9,8 b	19,8 a	13,2 b	39,8 a	32,7 b	41,1 b
	Hafer-Reinsaat		n.b.		n.b.		27,4 c
Organische Düngung	Kontrolle	12,2 a	15,8 a	18,8 a	32,6 a	36,6 a	36,7 a
	Grüngutkompost (5 t C-Äquiv./ha)	n.b.	n.b.	15,2 a	29,7 a	39,9 a	39,0 a
	Grüngutkompost (10 t C-Äquiv./ha)	12,1 a	17,4 a	n.b.	n.b.	40,6 a	39,1 a
	Pferdemist	8,2 b	14,2 a	17,2 a	28,9 a	n.b.	n.b.

Unterschiedliche Kleinbuchstaben innerhalb derselben Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den Faktorstufen eines Versuchsfaktors. n.b.: nicht bestimmt

**Tabelle 104: Einfluss der organischen Düngung in den einzelnen Kulturen auf den Ertrag der Erbse und den Gesamtertrag der Kulturen im Jahr 2010.**

Kultur	Organische Düngung	Trenthorst 2010		Frankenhausen 2010	
		Ertrag Erbse (dt/ha)	Gesamtertrag (dt/ha)	Ertrag Erbse (dt/ha)	Gesamtertrag (dt/ha)
Erbse-Reinsaat	Kontrolle	9,9 b	9,9 b	33,4 b	33,4 b
	Grüngutkompost	10,0 b	10,0 b	38,2 a	38,2 a
	Pferdemist	15,2 a	15,2 a	38,8 a	38,8 a
Erbsen-Hafer-Gemenge	Kontrolle	12,2 a	14,6 a	13,6 b	46,9 a
	Grüngutkompost	12,1 a	14,4 a	14,7 b	46,9 a
	Pferdemist	14,2 a	15,6 a	23,8 a	45,4 a
Hafer-Reinsaat	Kontrolle		13,7 a		56,3 a
	Grüngutkompost		14,4 a		58,4 a
	Pferdemist		6,7 b		48,6 b

Unterschiedliche Kleinbuchstaben innerhalb derselben Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den organischen Düngemitteln innerhalb derselben Kultur. n.b.: nicht bestimmt.

## Kornqualität

Der P-, K-, Mg- und Proteingehalt der Körner der Erbse am Versuchsstandort Trenthorst wurde in beiden Versuchsjahren weder vom Versuchsfaktor Kultur noch von der organischen Düngung signifikant beeinflusst. Die Körner des Gemengepartners Hafers wiesen im ersten Versuchsjahr ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten auf. Der Phosphorgehalt der Haferkörner lag im Jahr 2010 im Gemenge mit 4,09 g/kg signifikant über dem Wert der Hafer-Reinsaat (3,96 g/kg). Auch die organische Düngung hatte in diesem



Versuchsjahr einen signifikanten Einfluss auf den Korn-P-Gehalt des Hafers, der mit 3,74 g/kg in der Variante mit Grüngutkompost am geringsten und mit 4,06 g/kg in der Variante mit Pferdemist am höchsten ausfiel. Der K- und der Mg-Gehalt der Körner des Hafers wurde im Jahr 2010 weder von der Kultur noch von der organischen Düngung beeinflusst. Der Gemengeanbau des Hafers führte im Jahr 2010 allerdings zu einem signifikant höheren Rohproteingehalt (145,9 g/kg) im Vergleich zum Anbau in Reinsaat (127,6 g/kg). Dies deckt sich mit Ergebnissen weiterer, im Rahmen des Projektes durchgeführter Untersuchungen (Kapitel 4.5.1.10) sowie mit Ergebnissen anderer Autoren (HAUGGAARD-NIELSEN et al. 2008, LAUK & LAUK 2008) und weist damit auf eine höhere Stickstoffverfügbarkeit beim Gemengeanbau des Hafers mit Erbsen hin. Die organische Düngung führte nicht zu einer Veränderung des Rohproteingehalts des im Gemenge angebauten Hafers im Jahr 2010 (Kontrolle: 144,4, Grüngutkompost: 145,3, Pferdemist: 148,1 g/kg), wohingegen in der Hafer-Reinsaat die höchsten Rohproteingehalte in der Variante mit Pferdemist (138,2 g/kg), gefolgt vom Grüngutkompost (125,6 g/kg) und der Kontrolle (119,0 g/kg) festgestellt wurden.

Auch am Standort Frankenhausen wurde der N-Gehalt der Erbsenkörner lediglich im Jahr 2010 vom Versuchsfaktor Kultur beeinflusst, wobei der Anbau der Erbse im Gemenge zu signifikant höheren Korn-N-Gehalten führte im Vergleich zum Anbau in Reinsaat (Tabelle 105). Der Gemengeanbau führte ebenso wie am Standort Trenthorst zu signifikant höheren Korn-N-Gehalten im Vergleich zum Anbau des Hafers in Reinsaat. Der Versuchsfaktor organische Düngung hatte am Standort Frankenhausen nur im Versuchsjahr 2010 einen Effekt auf die Korn-N-Gehalte. Dabei war in Erbsen aus Pferdmist-Parzellen signifikant geringere und beim Hafer signifikant höhere Korn-N-Gehalte vorhanden im Vergleich zur Kontrolle ohne organische Düngung und zur Variante mit Grüngutkompost.

**Tabelle 105 Einfluss der Versuchsfaktoren Kultur und organische Düngung auf den Korn-N-Gehalt von Erbse und Hafer am Standort Frankenhausen**

		Korn N-Gehalt (g/kg)					
		2009		2010		2011	
Versuchs-faktor	Faktorstufe	Erbse	Hafer	Erbse	Hafer	Erbse	Hafer
Kultur	Erbse-Reinsaat	38,6 a		39,9 b		31,4 a	
	Erbsen-Hafer-Gemenge	38,5 a	20,5	41,6 a	22,7 a	30,5 a	19,3 a
	Hafer-Reinsaat		n.b.		19,5 b		14,9 b
Organische Düngung	Kontrolle	38,0 a	20,5 a	41,1 a	20,1 b	30,1 a	17,5 a
	Grüngutkompost (5 t C-Äquiv./ha)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	31,4 a	17,0 a
	Grüngutkompost (10 t C-Äquiv./ha)	38,7 a	20,5 a	41,2 a	21,2 b	31,4 a	16,9 a
	Pferdemist	38,9 a	20,7 a	39,9 b	21,9 a	n.b.	n.b.

Unterschiedliche Kleinbuchstaben innerhalb einer Spalte und eines Versuchsfaktors kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ). n. b.: nicht bestimmt

### **N<sub>min</sub> nach der Ernte und Ertrag der Nachfrucht**

Der N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens nach der Ernte wurde im ersten Versuchsjahr am Standort Trenthorst nicht von den Versuchsfaktoren beeinflusst. Im zweiten Versuchsjahr führte der Anbau einer Erbsen-Reinsaat zum signifikant höchsten N<sub>min</sub>-Gehalt aller Varianten in den Tiefenbereichen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm, gefolgt von dem Erbsen-Hafer-Gemenge und der Hafer-Reinsaat. Am Standort Frankenhausen waren lediglich 2009 im Tiefenbereich 30-60 cm nach der Ausbringung von Pferdemist signifikant höhere Werte (1,1 kg N/ha) im Vergleich zur Kontrolle (0,5 kg N/ha) festzustellen. Ansonsten hatte die organische Düngung keinen Effekt auf die N<sub>min</sub>-Gehalte des Bodens nach der Ernte in den Tiefenbereichen 0-30 cm und 30-60 cm. In Parzellen mit Erbsen-Reinsaat waren im Vergleich zum Erbsen-Hafer-Gemenge und zur Hafer-Reinsaat in allen Versuchsjahren am Standort Frankenhausen signifikant oder tendenziell höhere N<sub>min</sub>-Gehalte nach der Ernte vorhanden.

Der Ertrag der Nachfrucht Weizen nach dem Gemengeversuch des Jahres 2009 am Standort Trenthorst (1-T09N) wurde weder von der Vorfrucht noch vom Versuchsfaktor organische Düngung zur Vorfrucht signifikant beeinflusst. Die Ertragsleistung der Nachfrucht lag im zweiten Versuchsjahr (1-T10N) in Parzellen der Vorfrucht Erbsen-Reinsaat mit 34,3 dt/ha am höchsten, gefolgt von der Vorfrucht Erbsen-Hafer-Gemenge (28,5 dt/ha) und der Hafer-Reinsaat (23,1 dt/ha), was sich mit den N<sub>min</sub>-Gehalten der Varianten nach der Ernte deckt. Die organische Düngung zur Vorfrucht hatte im Jahr 2010 ebenfalls keinen Einfluss auf die Ertragsleistung der Nachfrucht. Somit scheinen positive oder negative Ertragseffekte der organischen Düngemittel, die zur Vorfrucht zu sehen waren, keinen Einfluss auf die Nachfrucht gehabt zu haben.

Die Versuchsergebnisse am Standort Frankenhausen in den Jahren 2010 und 2011 wichen in Teilen von denen am Standort Trenthorst ab. Die Ertragsleistung der Nachfrucht Winterweizen lag in den Kontrollvarianten ohne organische Düngung zur Vorfrucht auf dem niedrigsten Niveau, wohingegen die Ausbringung von Pferdemist zur Vorfrucht zur höchsten Ertragsleistung der Nachfrucht führte (Tabelle 106). Die positiven Effekte der organischen Düngemittel auf die Bodenmikrobiologie, die zu den angebauten Vorfrüchten Erbsen-Reinsaat, Erbsen-Hafer-Gemenge und Hafer-Reinsaat nur teilweise zu erkennen waren, führten damit zu einem positiven Ertragseffekt beim Anbau der Nachfrucht. Nach Angaben von JANNOURA et al. 2013 liegt der Ertrag der Nachfrucht nach Ausbringung von Pferdemist zur Vorfrucht signifikant über

demjenigen nach Grüngutkompost aufgrund der schnelleren Verfügbarkeit des Stickstoffs aus dem Pferdemist sowie einer höheren Mineralisation des Pferdemistes im Vergleich zum Kompost aufgrund der besseren Kohlenstoffverfügbarkeit aus dem Pferdemist für die Bodenmikroorganismen. Im Jahr 2012 konnte allerdings kein Unterschied zwischen der Ausbringung von Grüngutkompost in zwei Ausbringungsmengen zur Vorfrucht und der Kontrolle ohne organische Düngung festgestellt werden. Die im Jahr 2009 und 2010 vorhandenen Standortunterschiede hinsichtlich der Wirkung von organischen C-reichen Düngemitteln zur Vorfrucht deuten darauf hin, dass die Wirkung abhängig vom Boden ist und schwere Böden, wie sie am Standort Trenthorst vorhanden sind, in geringerem Maße reagieren. Die angebauten Vorfrüchte hatten in Frankenhausen ähnliche Effekte wie in Trenthorst. Der Anbau der Erbse in Reinsaat als Vorfrucht führte dabei zu einer signifikant besseren Ertragsleistung der Nachfrucht im Vergleich zum Erbsen-Hafer-Gemenge und insbesondere zur Hafer-Reinsaat. Dies bestätigt die gute Vorfruchtwirkung von Erbsen-Reinsaaten und Erbsen-Hafer-Gemengen.

**Tabelle 106: Einfluss der Vorfrüchte und der organischen Düngung zur Vorfrucht auf den Ertrag der Nachfrucht Winterweizen am Standort Frankenhausen.**

Versuchsfaktor	Faktorstufe	Ertrag der Nachfrucht Weizen (dt/ha)		
		2010	2011	2012
Vorfrucht	Erbse-Reinsaat	60,7 a	65,5 a	33,5 a
	Erbsen-Hafer-Gemenge	55,6 b	59,2 b	29,4 b
	Hafer-Reinsaat	n.b.	51,9 c	20,3 c
Organische Düngung zur Vorfrucht	Kontrolle	56,0 b	52,1 b	27,4 a
	Grüngutkompost (5 t C-Äquiv./ha)	56,8 b	n.b.	28,4 a
	Grüngutkompost (10 t C-Äquiv./ha)	n.b.	58,9 ab	27,4 a
	Pferdemist	61,6 a	65,7 a	n.b.

Unterschiedliche Kleinbuchstaben innerhalb einer Spalte und eines Versuchsfaktors kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ). n. b.: nicht bestimmt.

## 4.4 Workpackage 2: Entwicklung eines innovativen Saat- und Düngerapplikationsverfahrens zur Förderung einer schnellen Jugendentwicklung von Körnerleguminosen (Teil 3)

Die Hypothese, die diesem Arbeitsbereich zugrunde lag, lautete, dass eine gezielte Applikation von Komposten, die suppressive Eigenschaften besitzen, zur deutlichen Verbesserung der Pflanzengesundheit bei Erbsen führt. Das Gesamtpaket bestand in der Entwicklung der Maschine zur Reihenapplikation von Komposten, Tests auf prinzipielle Wirkungen von Komposten gegenüber bodenbürtigen Erregern von Wurzelkrankheiten der Erbse und der Anwendung der Reihenapplikationsmaschine in Feldversuchen.

### 4.4.1 Entwicklung einer Drillmaschinenkombination mit Kompostbunker und Reihenapplikationsaggregaten zur Kompostausbringung

Die Entwicklung einer Reihenapplikationstechnik von Kompost während der Saat gliedert sich von der technischen Seite her in 2 thematische Teilbereiche:

- › Entwicklung einer geeigneten Reihenapplikationstechnik (Teil 1 2009-2011)
- › Entwicklung einer Agglomerationstechnik für Komposte (Teil 2 2012-2013)

Grundsätzlich bauten die durchgeführten Untersuchungen auf Ergebnissen früherer Versuche zur Erhöhung der suppressiven Wirkung von Komposten durch hohe Aufwandmengen (Bruns, Schüler 2002) auf. Dabei wurden positive suppressive Effekte von Komposten mit Aufwandmenge von 10-30 vol.% erzielt. Solche Mengen können grundsätzlich nicht im Feld aufgebracht werden. Vergleichbare Konzentrationen dieser Aufwandmengen können jedoch durch eine Konzentration der Applikationsmenge in der Saatreihe erreicht werden. Die Arbeiten hatten daher zum Ziel, eine speziell für den Körnerleguminosenanbau entwickelte Reihenapplikationstechnik für hochwertige Komposte bereitzustellen und mit einer geeigneten Drillmaschine zu kombinieren. Das Konzept verfolgte eine Konstruktion wie sie in Abbildung 91 schematisch dargestellt ist. So bestand das Konzept in Bunker, Austragsmodulen und Saattechnik.

Demgemäß gliederten sich die Entwicklungsschritte auf die Bereiche Kompost-Bunkerentwicklung und –bau, Entwicklung und Anpassung von Furchenkörpern, Säscharen und Nachläufer sowie im weiteren Verlauf des Projektes der Kontrolle und Anpassung für praktische Belange unter Feldbedingungen.

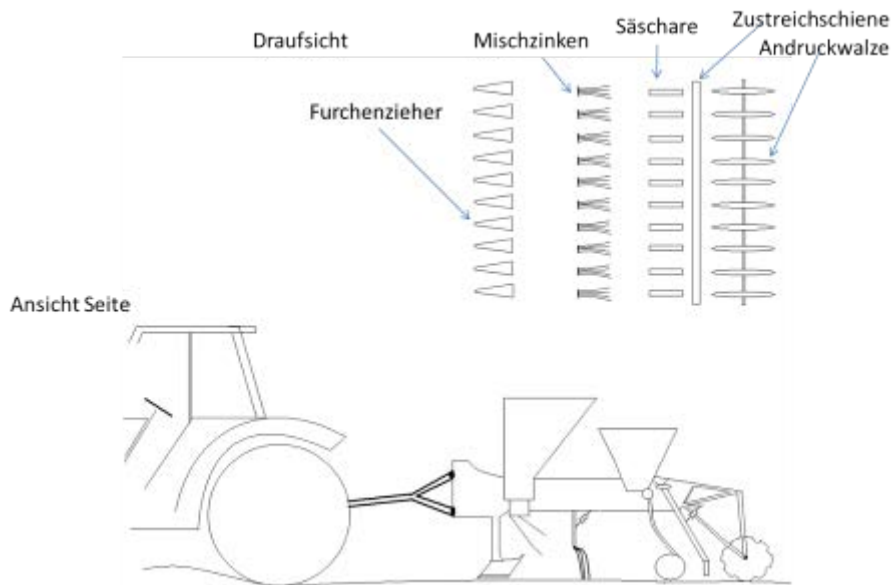


Abbildung 91: Konzept für eine kombinierten Saat- und Kompostapplikationseinheit



In der Anfangsphase stellte sich auch die Frage, warum nicht zwei normale, marktübliche Drillmaschinen kombiniert werden, um eine gleichzeitige Saat und Kompostapplikation über einen umgebauten Saatkasten zu gewährleisten. Das nebenstehende Bild verdeutlicht, was passiert, wenn Kompost in eine Kastendrillmaschine eingefüllt wird: es kommt nur zu einem schwachen Austrag und im Kasten bilden sich Fließtrichter und Brücken, welche den kontinuierlichen Austrag unmöglich machen. Auch die Verwendung eines Kastenstreuers - wie im Antrag präferiert - brachte



nicht den gewünschten Erfolg (Abbildung 92). Es war daher also notwendig, eine vollständig neue Konstruktion zu entwickeln, um den Anforderungen von Kompost gerecht zu werden.

Abbildung 92: Austragsbild von Komposten (oben links) und Brückenbildungen bei Kompost, der direkt in einen Saatkasten (rechts) oder in einen Kastendüngerstreuer (links) gegeben wurde

#### 4.4.1.1 Entwicklung des Kompoststreuers



## Materialeigenschaften der Komposte

Kompost weist eine Schüttdichte auf, welche sich von anderen organischen Düngemitteln wie

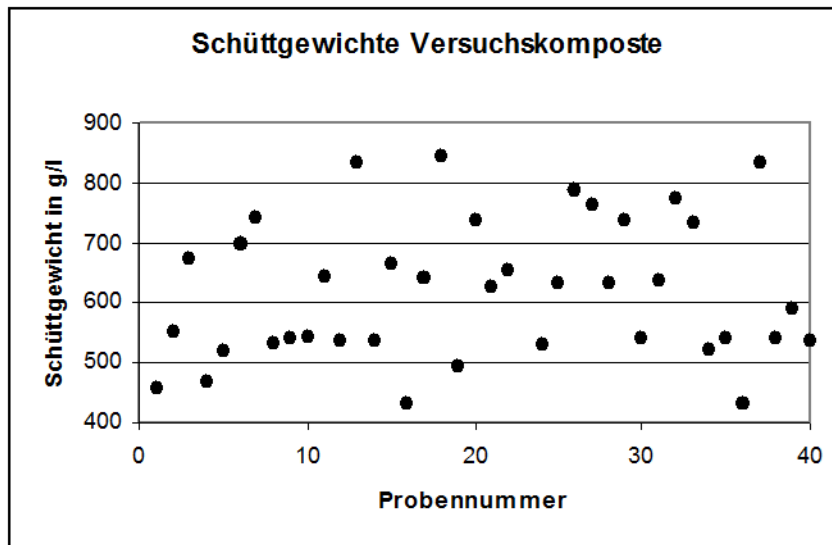


Abbildung 93: Schüttgewichte der Versuchskomposte

Klärschlamm oder Festmist stark unterscheidet. Die Partikel des Komposts neigen bei erhöhter Feuchtigkeit zur Klumpenbildung, welche das Fließ- und Rieserverhalten negativ beeinflussen. Bei den Störungen im Materialfluss ist die Brückenbildung ein bedeutender Faktor. Hierunter versteht man einen stabilen Bogen des Substrates über der Auslauföffnung des Behälters, welche den Materialfluss unterbricht. Zur

Verhinderung solcher Gutbrücken kommen in der Regel Rührwellen, Schwingungen oder das Einblasen von Luft zum Einsatz. Eine weitere wichtige Störung im Gutfluss ist die sog. Schachtbildung (siehe Abbildung 92 unten rechts). Hiervon spricht man, wenn das Gut nur direkt über der Auslauföffnung abläuft und der Rest im Behälter verbleibt.

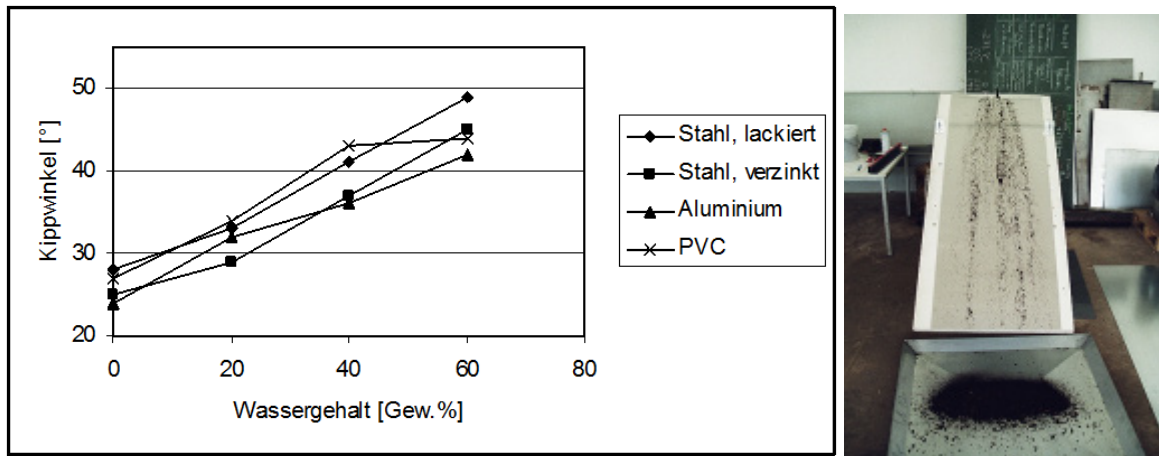
In allen Versuchen und in der Konstruktion wurde daher nur Grüngutkompost in der Absiebung von 10 mm verwendet und berücksichtigt, um hier bereits ein gewisse Standardisierung vorzunehmen. Dennoch lagen die Schüttdichten in einem weiten Bereich zwischen 450 – 800 g/l (Abbildung 93). Die Maschinenkonstruktion musste hierauf Rücksicht nehmen, indem die Maschine an eine große Spannweite von Materialeigenschaften angepasst ist.

Ein weitere wichtige Voraussetzung zur Definition der Materialeigenschaften war es, die Rieseeigenschaften der Komposte zu bestimmen, um die Konstruktion des Bunkers an die besonderen Gegebenheiten der Komposte anzupassen und durch die Konstruktion der Seitenwände des Bunkers negative Einflüsse der Bunkergeometrie auf das Rieserverhalten der Komposte zu vermeiden.

Zu Beginn der Konstruktion wurde daher die Bestimmung der Schüttwinkel der verschiedenen Kompostchargen bestimmt. Hierzu wurde ein Kipptisch konstruiert, mit dem der statische und dynamische Kippwinkel ermittelt werden konnte, d.h. der Winkel, den eine Fläche einnehmen muß, um eine definierte Kompostmenge ins Rieseln zu versetzen (statisch) bzw. der Winkel, der für einem fließenden Kompoststrom auf einer gegebenen Fläche gebraucht wird, um die Bewegung des Kompoststromes nicht zu vermindern (dynamisch). Dabei wurden verschiedene Baustoff-Materialien für Bunkerwände auf dem Kipptisch montiert, um die Gleiteigenschaften der Kompostproben in Abhängigkeit der Ausgangsstoffe für die Wände zu ermitteln. Zusätzlich wurde der Wassergehalt der Komposte variiert. In der Abbildung 94 ist zu erkennen, dass PVC die besten Ergebnisse zeigte, gefolgt von lackiertem Stahlblech, das bis zu einem Wassergehalt von 40% gleichauf mit PVC ist, dagegen aber bei höheren Wassergehalten die Rieseigenschaften des Kompostes oberhalb dieses Wertes deutlich mindert. Der Winkel musste um 10° erhöht werden, um den Kompost ins Rutschen zu bringen, wenn Wassergehalte größer 40% auftraten. Die Ergebnisse des statischen Versuchsansatzes wurden auch beim dynamischen Versuchsansatz bestätigt. Entscheidend ist aber nicht nur die Aufrechterhaltung

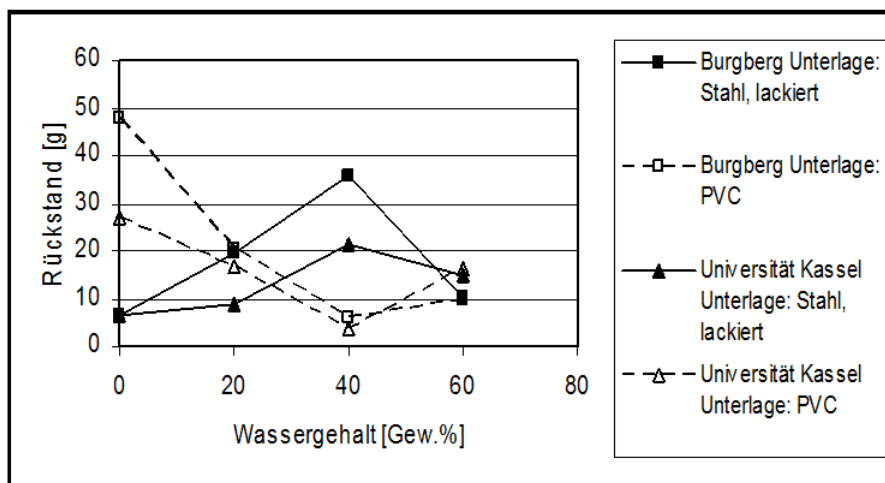


des Stoffstromes sondern vor allem auch, dass möglichst geringe Kompostreste auf der Fläche zurückbleiben.



**Abbildung 94: Kippwinkelbestimmung für Komposte in Abhängigkeit vom Wassergehalt und Untergrundmaterial (statischer Versuchsansatz); rechts: Kipptisch mit abgelaufenem Kompost und Rückständen**

Bei der Wägung der zurückgehaltenen Anteile bei 2 Kompostchargen auf der Gleitfläche ergab sich, dass bei geringen Wassergehalten die Unterlage aus Stahl Vorteile hat, während bei hohen Wassergehalten PVC deutlich geringen Anteile auf Fläche zurückbehält. Legt man man aber nun einen durchaus üblichen Feuchtegehalt von 30 % H<sub>2</sub>O zugrunde, so überschneiden sich die Linien beider Werkstoffe und habe nahezu identische Eigenschaften (Abbildung 95).



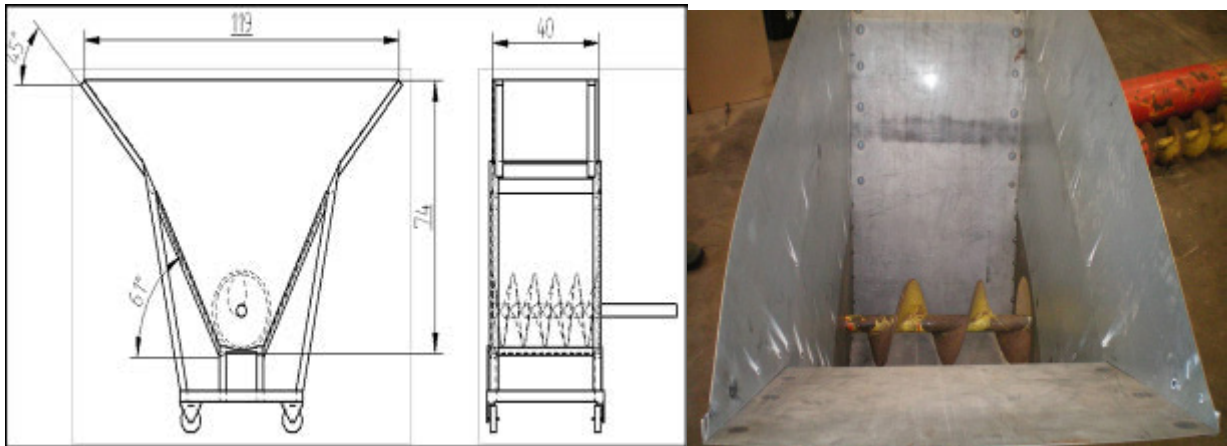
**Abbildung 95: Gemessene Kompostrückstände in Abhängigkeit von der Werkstoff-Unterlage und von unterschiedliche Komposten und Wassergehalten**

Aus diesen Untersuchungen ergaben sich für den nächsten Schritt der Bunkerdimensionierung wichtige Informationen. Die Kompostdefinition orientierte sich daher an den beiden wichtigsten Komposteigenschaften Wassergehalt mit 30 % und Absiebung von 10mm.

### Bunkerdimensionierung

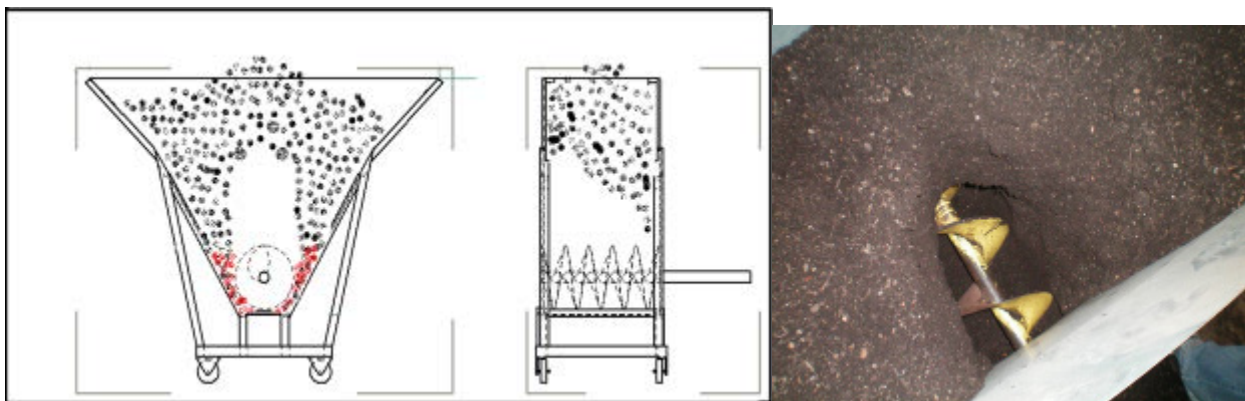
Um die gewonnenen Ergebnisse nun auch auf die Bunkergeometrie übertragen zu können, wurde ein Versuchsbehälter aus Stahlblech gefertigt, dessen Seitenwände im Winkel verstell

werden konnten, um so verschiedene Geometrien und Neigungswinkel abbilden zu können. Zusätzlich wurde dieser Versuchsbunker mit einer Austragsschnecke versehen (Abbildung 96).



**Abbildung 96: Dimensionen für den Versuchsbunkers und Aufsicht mit unten liegender Austragsschnecke**

In nachfolgenden Versuchen ergab sich, dass die ausschließliche Verwendung von einer Austragsschnecke am Bunkergrund nicht ausreichend war, um den Kompost ohne Brückenbildung vollständig aus dem Bunker zu transportieren (Abbildung 97). Die Dosierschnecke zieht das in den Schneckenflügeln befindliche Material ab, das andere Substrat rutsch aber nicht von selber in den Hohlraum nach, der Materialfluss wird unregelmäßiger und kommt schließlich ganz zum Erliegen. Daher lag der Schluss nahe, dass ohne zusätzliche Rührwellen für den konzipierten Kompostbunker mit einer Brücken- und Schachtbildung zu rechnen ist, die bei größeren Einheiten noch deutlich intensiver sein werden. Abhilfe konnten hier Rührwellen schaffen, welche die entstehenden Gutbrücken regelmäßig aufbrechen.



**Abbildung 97: Schematische Darstellung einer Gutbrücke und Aufsicht**

### Einbau von aktiven Hilfen zur Vermeidung einer Brückenbildung im Vorratsbunker

Mehrere Versuchsreihen führten dann letztlich zum Einbau von 3 Rührwellen im Trichterförmigen Bunker. Die Resultate unter der Verwendung von einer Rührwelle direkt über der Dosierschnecke waren wesentlich positiver als ohne Rührwelle. Da jedoch der Aktionsradius durch die Behältergeometrie begrenzt ist, reichte eine Rührwelle nicht aus. Daher wurde in den Versuchen die Anzahl der Rührwellen schrittweise erhöht, solange bis der Antrieb an seiner Belastungsgrenze ankommt. Im Dauerbetrieb ist diese Grenze bei zwei Rührwellen erreicht, im

Kurzzeitbetrieb ist auch der Antrieb einer dritten Welle möglich. Letztendlich können je nach Materialbeschaffenheit bis zu 3 Rührwellen in den Kompostbunker eingebaut werden. Die erste Rührwelle befindet sich 350 mm über der Dosierschnecke. Die zweite Welle 650 mm über der Dosierschnecke und die Dritte 850 mm über der Dosierschnecke und 230 mm in Fahrtrichtung versetzt. Die Rührwellen bestehen aus Metallrohren mit angeschweißten Metallfingern (Länge 80 – 100 mm), welche bei der Drehung der Rührwelle eine Durchmischung und ständige Bewegung des Kompostes erzielen sollen. Die Rührfinger zweier gegenüberliegender Wellen waren so angebracht, dass sie ineinandergriffen. An den Seitenwänden des Kompostbunkers sind die Rührwellen über eingesteckte Zapfen mit Wälzlager drehbar befestigt (Abbildung 98).

Zur Brückenbildung kam es anfangs vor allem über den Abdeckungen der Dosieröffnungen an der Dosierwelle. Diese Situation konnte jedoch durch die Modifikation der 1. Rührwelle über der Dosierschnecke beseitigt werden. Hier wurden spezielle T-förmige Rührfinger angeschweißt.

Während der Versuche wurde mit einem konstanten (5-8 U/min) und einen intervallartigen Antrieb der Rührwellen gearbeitet. Dabei reichte die Wirkung eines intervallartigen Antriebes vollständig aus.



**Abbildung 98: Rührwellen oberhalb der Austragsschnecke im Kompostbunker**

Der Antrieb sowohl von der Dosierschnecke als auch von den Rührwellen erfolgt hydraulisch. Im Falle der Dosierwelle ist ein Schneckengetriebe verbaut, um die Drehzahl auf das gewünschte Maß herabzusetzen und Stromregelventile, um die Drehzahl in einem gewissen Bereich zu variieren. Die Hydraulikmotoren sind mit der Schlepperhydraulik verbunden. Die Rührwellen sind mit einem Kettentrieb mit dem Hydraulikmotor verbunden.

Eine Drehmomentmessung ergab ein Drehmoment von 100 Nm je Rührwelle bei einem Bunkerfüllungsgrad von 100 % und 120 Nm an der Dosierschnecke.

## Prototyp Kompostbunker / Drillmaschine



**Abbildung 99:**  
Kompostbunker montiert  
auf Drillmaschine

Nach den Versuchen erfolgte die Fertigung des trichterförmigen Kompostbunkers mit den oben beschriebenen Rührwellenanordnungen. Der Bunker hat eine Höhe von 1030 mm, eine obere Öffnung von 1070 mm und eine untere Schlitzweite von 200 mm. Die Breite des Bunkers beträgt 1300 mm. Daraus ergibt sich ein Fassungsvermögen von 0,85 m<sup>3</sup>. Der Bunker ist auf eine Drillmaschine mit 4 Austragsreihen aufgesetzt (Reihenabstand 30 cm).

Um eine gleichmäßige Ausbringung des Substrates zu ermöglichen, wurde eine Austragsschnecke mit einem Durchmesser von 180 mm gewählt. Die Schneckenflügel wurden gegenläufig angeordnet und endeten über zwei Auslauföffnungen an der Unterseite des Schnecken troges. Diese Auslässe teilen sich unterhalb des Troges in 2 Teile, so dass 4 Saatreihe beschickt werden können. Über den Auslauföffnungen des Dosieraggregates befinden sich dachförmige Bleche, welche ein Verdichten des Kompostes über den Auslauföffnungen verhindern und ebenso eine ungewolltes und unkontrolliertes Nachrutschen entlang der Schneckenflügel vermeiden.



**Abbildung 100: Dosierschnecken: links mit zusammen laufenden Gängen, rechts: mit frei auslaufenden Gängen**



Die Maße des Schneckenrotes betragen Breite 200 mm Höhe 400 mm Länge 1300 mm. Die Dosiereinheit verfügt über 2 Ausläufe, deren Volumenstrom später geteilt wird, so dass die 4 Saatreihen bedient werden können.

Die Ausbringung und damit die notwendige Drehzahl der Dosierschnecke wurden in Prüfstandsversuchen ermittelt und schließlich in Fahrversuchen überprüft. Eine zufriedenstellende Ausbringung wurde bei einer Drehzahl von 5 U/min erreicht.

**Tabelle 107: Ergebnisse Prüfstandsversuch zur Einstellung der Drehzahl für die Austragsschnecke**

Ausbringung je Reihe (kg/m)	Dosierschneckendrehzahl (U/min)	Ausbringung Arbeitsbreite (kg/m) 4 Ausläufe
0,3	4	1,2
0,6	8	2,4

### **Absicherung der Aggregate**

Zur Vermeidung von Abscherungen durch Verstopfungen war der Einbau von Drehmomenterhaltenden Kupplungen (sog. Reibkupplungen) notwendig und geeignet, da diese beim Überwinden des Hindernisses wieder unmittelbar kraftschlüssig sind. Es wurde eine Rutsnabe mit drehelastischer Kupplung im Drehmomentbereich 50-280 Nm gewählt.

Häufige Überlastungen, die zur Blockade der Sacke führen, sollen jedoch aufgrund der großen Hitzeentwicklung vermieden werden. Bei den hier eher geringen übertragenen Leistungen tritt dieses Phänomen jedoch nicht auf. Sperrkörperkupplungen erzeugen bei Ansprache ein pulsierendes Drehmoment, welches gerade beim Freifahren von Verstopfungen erwünscht ist, aber die Pulsation muss auch vom weiteren Antriebsstrang aufgenommen werden können.

## Konstruktion eines geeigneten Furchenschaars zur Einbringung des Kompostes in den Boden

Um den Kompost dann auch bestmöglich an das Saatgut zu bringen, ist ein optimal konstruiertes Furchenschar unerlässlich. Dazu wurden verschiedene Schartypen entwickelt und diese dann im Versuch auf ihre Eignung hin überprüft. Dazu wurden 3 Typen realisiert (Abbildung 101)



Abbildung 101: 3 realisiert Furchenschare Typ 1 , 2 und 3 (von links)

Typ 1 des Furchenschaars hatte eine Länge von 500 mm, wobei der vordere Scharteil eine Länge von 200 mm hat und die hinteren in der Breite verstellbaren Scharteile 300 mm lang sind. Die Höhe des Schaars beträgt 100 mm. Die Breite der Furche ist in Stufen von 200-240-280 mm verstellbar. Das Furchenschar Typ 2 zeichnet sich durch einen hohlen Werkzeugträger aus, durch dessen 90 mm breite Öffnung der Kompost direkt in die Furche geleitet werden kann. Die Länge des Furchenschaars beträgt 300 mm. Die Höhe ist 200 mm. Die Öffnung der Furche ist nicht verstellbar und beträgt 120mm. Furchenschar Nummer 3 hat ebenfalls einen aus Rohr gefertigten Werkzeugträger aber mit einem Durchmesser von 60 mm, so dass hierdurch kein Kompost appliziert werden kann. Die Länge des Furchenschaars beträgt auch hier 300 mm, die Höhe ebenso 200 mm und die Öffnungsweite 130 mm. Integriert in den Prototyp wurde letztlich Schar Nr. 2, was zu zufriedenstellendem gleichmäßigem Eintrag des Kompostes führte (Abbildung 102).



Abbildung 102: Draufsicht Furchenschare (Nr 2) und Lage des Kompostsubstrates im Boden



Während Normalschare als Säschar genutzt werden konnten, das unmittelbar das Saatgut in den ablaufenden Kompoststrom ablegt, und somit keine Modifikation benötigte, wurden verschiedene Zustreicher zum Schließen der Furche ausprobiert. Letztlich wurden Zustreicher bestehend aus umgebauten gefederten Zinken aus einem Heuwender verwendet, die auch das Säschar führen und mit einer nachlaufenden Druckrolle ausgestattet (Abbildung 103).



**Abbildung 103: Zustreicher und Druckrolle von hinten gesehen**

### Überprüfung der dosierten Mengen und der Verteilgenauigkeit



**Abbildung 104: Endzustand Prototyp Kompost-Reihenapplikation und Drillmaschine**

Auf der Domäne Frankenhausen fand im Juli 2012 ein ein-faktorieller Versuch statt, um die Qualität der Ausbringung des Prototyps bei gleichbleibender Maschineneinstellung, aber unterschiedlichen Kompostsubstraten und unterschiedlichem Feuchtegehalt zu überprüfen. Es wurden drei verschiedene Komposte der Absiebung 10 mm (K1, K3, K6) in jeweils zwei unterschiedlichen Feuchten auf einer Strecke von 20m ausgebracht.

Zur Erreichung eines zweiten Feuchtegehaltes, abweichend vom Grundsubstrat, wurde das Substrat befeuchtet. Dazu wurde der Kompost mit Wasser per Hand vermengt. Nach jeweils 12 Stunden wurde das Substrat gut durchmischt und nach 48 Stunden begann der Versuch.

Im Versuch wurde das ausgebrachte Kompostsubstrat auf einer Strecke zwischen Meter 5 bis 15 zusammengefeigt und gewogen. Diese 10 m wurden ausgewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass sich die Maschine dann im optimalen Betriebszustand befindet.

Zur genaueren Beschreibung der Komposte, wurde eine Korngrößenanalyse durchgeführt. Die Fraktionen betragen

>5 mm, >3,15 mm, >1 mm und < 1 mm (Tabelle 108).

**Tabelle 108: Eigenschaften der verwendeten Komposte (10mm Absiebung)**

Kompost	K1	K3	K6
Lagerungsfeuchte	34,19 %	29,48 %	31,40 %
FM Gewicht (in g)/l	0,45	0,34	0,20
Angefeuchtet	37,75 %	35,95 %	37,79 %
FM Gewicht (in g)/l	0,52	0,41	0,27
<b>Anteil an den Partikelgröße-Fractionen</b>			
10 - 5 mm	14,6 %	12,0 %	26,2 %
5 - 3,15 mm	13,5 %	13,2 %	15,1 %
3,15 - 1 mm	40,1 %	36,6 %	32,2 %
1 - 0 mm	31,7 %	38,2 %	26,5 %

### Ergebnis der Testreihen

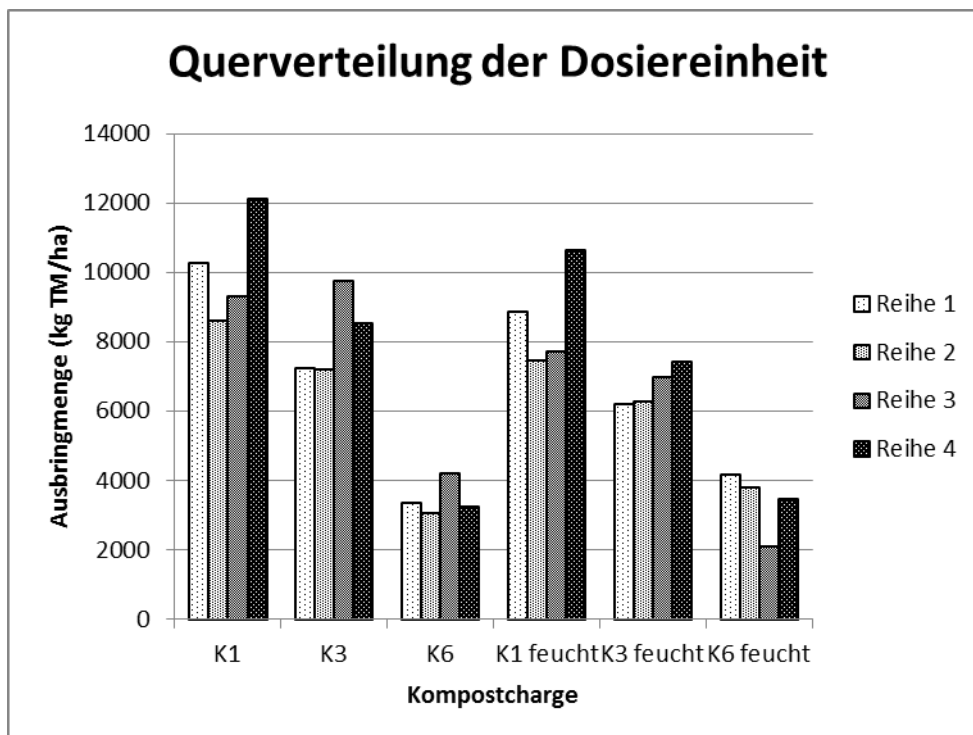
Die Sämaschine wurde von einem Fendt 309c gezogen und hydraulisch angetrieben (2. Kriechgang mit 1040 U/min in einer Geschwindigkeit von 1,1 km/h). Für die Strecke brauchte er 1min10sek. Der Hydraulikmotor an der Maschine war auf 4,5 eingestellt. Die Einstellung der Maschine war für alle Komposte unverändert.

Der Kompostbunker wurde mit 60l- bzw. 90l-Kübeln befüllt, jeweils mit 480 l Kompost. Die Maschine wurde ca. 5 cm über dem Boden gehalten, sodass die Schare bei der Fahrt den Betonboden nicht berührten.

Aus Tabelle 109 und Abbildung 105 geht hervor, dass die Komposte K1 und K3 im Ausgangszustand einen ähnlichen Austrag hatten. Dagegen liegt Kompost K6 in der gewählten Einstellung deutlich tiefer. Daraus folgt, dass immer entsprechende Abdrehproben genommen werden müssen, um eine gleichmäßige Mengenapplikation zu gewährleisten, wenn sich die Eigenschaften der Komposte trotz des Einhaltens der Vorgaben Feuchtigkeit und Absiebung verändern. Dazu wäre noch eine Verbesserung der individuellen Steuerung der Maschine vonnöten; diese Einstellungsmöglichkeit ist derzeit nicht ausreichend vorhanden und war im Projekt nicht mehr zu finanzieren. Der Kompost K6 hat insbesondere in dem Anteil der Siebfraktion von 5-10 mm einen höheren Anteil als die beiden anderen Materialien, was die Unterschiede erklären könnte. Deutlich zu sehen ist die Abhängigkeit der Austragsmenge insbesondere von den leicht unterschiedlichen Verhalten der 4 Dosiereinheiten. Jedoch liegen die Variationskoeffizienten zwischen den Einheiten nach der DLG Bewertungsskala für organische Düngemittel im guten bis sehr guten Bereich. Nur die Charge K6 hatte in der angefeuchteten Variante einen deutlich schlechteren Variationskoeffizienten, was vermutlich auch auf den hohen Anteil grober Bestandteile im Substrat zurückzuführen ist.

**Tabelle 109: Variationskoeffizienten der 4 Dosiereinheiten bei verschiedenen Kompostchargen**

Kompostcharge	Variationskoeffizient cv (%)
K1	15,12
K3	14,95
K6	14,46
K1 feucht	16,63
K3 feucht	8,52
K6 feucht	26,66



**Abbildung 105: Gemessene Querverteilung der Dosiereinheit**

Die Maschine ist im derzeitigen Zustand als Prototyp anzusehen und kann ohne Probleme geeignete Komposte ausbringen. Der Hydraulikmotor für den Antrieb ist etwas überdimensioniert, auch hier konnte aus Kostengründen kein anderer Motor verwendet werden. Eine Dokumentation der Maschine findet sich unter [www.bodenfruchtbarkeit.org](http://www.bodenfruchtbarkeit.org) (<http://www.bodenfruchtbarkeit.org/724.html>, <http://www.bodenfruchtbarkeit.org/725.html>)

#### 4.4.2 Entwicklung einer Agglomerationstechnik für Komposte

Im 2. Teil (2012-2013) des Projektteils ging es darum, aus den Ergebnissen des vorangegangenen Projektteils eine Alternative zur Dosierung von losem Kompost zu entwickeln, um damit die Probleme zu vermeiden, die hinsichtlich der Heterogenität auch bei definierten Komposten entstehen können. Dazu wurde ein Agglomerationsverfahren ausgewählt, bei dem eine Agglomeration (Verpressung) von Kompost möglich ist, ohne die kritische Temperatur von 50-55 °C im Substrat zu überschreiten und so eine Hygienisierung der Komposte und damit Verminderung der suppressiven Wirkung zu vermeiden. Diese besteht im Wesentlichen aufgrund einer hohen mikrobiellen Aktivität in den Komposten. Aufgrund der bereits im 1. Projektteil gemachten Erfahrung mit Agglomeraten, die in einem Extrusionsverfahren verpresst worden waren, hatten sich positive Effekte auch mit den pelletartigen Agglomeraten in Biotests ergeben.

Neben den bisherigen Agglomeratgrößen in Form zylindrisch-pelletartiger Presslinge kann durch die Wahl einer geeigneten Matrize der Kompost auch genau in der Form des Saatgutes (z. B. für Ackerbohne) geformt werden. Damit könnte die Untermischung direkt unter das Saatgut in der Sämaschine erfolgen, wobei der Kompost dann entsprechend des gewählten Mischungsverhältnisses ausgebracht werden könnte. Der Landwirt könnte somit seine bisherige Technik ohne jegliche Änderung und Zusatzausstattungen weiterverwenden. Die Zielsetzung bestand ursprünglich darin, im Rahmen des Projektes eine Pilotanlage zur definierten Agglomeratherstellung im technischen Maßstab zu bauen.

##### Agglomerationsverfahren –Eignung und Auswahl

Mit dem Extrusionsverfahren war es möglich, eine Kaltpressung von Komposten mit verschiedenen Agglomerate-Größen vorzunehmen, jedoch bestand ein großes Problem im hohen Verschleiß der vorgeschalteten Schneckenwellen, so dass dieser bereits im ersten Projektabschnitt verfolgte Weg nicht weiter beschritten werden konnte (siehe Abbildung 106)



**Abbildung 106: Matrizen mit unterschiedlichem Durchmesser und Ansicht eines Pressvorgangs im Extrusionsverfahren (unten links); Mitte und rechts: verschlissene Stahlschnecke nach mehreren Pressungen und Verstopfung der Scheckentunnels aufgrund unzureichender Förderleistung bei verschlissener Schneckenwelle**



Im Gegensatz zu anderen Ausgangsstoffen einer Agglomeration wie z. B. Düngemittel handelt es sich bei Kompost nicht um ein pulverförmiges Substrat. Kompost hat eine heterogene Struktur und enthält neben seinen organischen Bestandteilen auch einen Anteil feinkörniger Gesteine, die zumeist aus Quarz bestehen. Dieses Mineral steht auf der MOHSSchen Härteskala auf Rang 7 von 10. Dies bedeutet, dass nur noch 3 Minerale härter sind (Topas, Korund, Diamant). Dies führt unweigerlich zu einem starken Verschleiß der Presse, eine wirtschaftlich sinnvolle Methode diese Gesteine zu entfernen, fehlt bisher.

Alternativ bieten sich zur Extrusionsagglomeration grundsätzlich Ring- oder Flachmatrizenpressen an. Ringmatrizenpressen sind jedoch aufgrund ihrer Bauart sehr teuer, daher setzt man im Allgemeinen Flachmatrizenpressen ein (Abbildung 107). Die daraus entstehenden Pellets haben in der Regel eine zylindrische Form und einen Durchmesser von 3-30 mm und eine Länge des 4 bis 5-fachen Durchmessers. Die optimale Feucht bei der Pressung von Kompost liegt im Idealfall unter 15 %, aber der Bereich von 15 bis 20 % ist noch



**Abbildung 107: Flachmatrize der Fa. Bauer-Power, Rüsselsheim**

tolerierbar. Bei höherer Gutfeuchte kommt es zu Stauungen zwischen Koller und Matrize, was auch zum Zufahren der Matrize führen kann.

Zur Pressung von Pellets aus Kompost eignen sich Flachmatrizenpressen mit angetriebener Matrize eher als Matrizen mit angetriebenem Koller, da die Drehgeschwindigkeit der Matrize meistens geringer ist als die bei angetriebenem Koller. Eine geringere Drehgeschwindigkeit bedeutet wiederum eine geringere Komposterwärmung, was sich positiv auf die suppressive Wirkung auswirken sollte.

Es ergab sich bereits im Laufe der Recherchen zu geeigneten Bautypen, das eine Reihe von Bautypen für Holzpelletieranlagen im Gebrauch sind, die den Anforderungen einer Kaltpressung entsprechen würden. Daher wurden zwei Standorte in Hessen ausgewählt, die geeignete Pressen entwickeln oder betreiben (Tabelle 110).

**Tabelle 110: Vergleich technischer Daten für die eingesetzten Pressen**

	Fa. Bauer Power	Fa. Ecoworxx
Presskanaldurchmesser (mm)	8	6
Matrizendurchmesser (mm)	800	230
Elektrische Leistung (kW)	75	7,5
Antrieb Presse	Matrize	Koller
Durchsatz (kg/h)	2000-3000	200
Volumenveränderung	1:0,4	
Temperatur Matrize (°C)	35	50-60
Pelletlänge (mm)	variabel	variabel

Von einer Eigenwicklung wurde schließlich Abstand genommen, da die Kosten für den Bau einer Pelletieranlage/Agglomeratanlage doch deutlich höher einzuschätzen waren als

erwartet. Der Bau einer eigenen Matrize, die exakt der Saatgutform von Erbsen oder Ackerbohnen entspricht, hätte alleine mehrere tausend Euro gekostet, was den Kostenrahmen überschritten hätte. Für die Anpassung an die vorhandenen Matrize auf den Anlagen wurden daher zunächst praxisübliche Saatgutpartien von Wintererbse, Sommererbse und Ackerbohne auf ihre Eigenschaften für die Definition eines optimalen Agglomerates untersucht, welches eine Mischung mit dem Saatgut im Saatkasten zulässt. Dabei ergaben sich die in Tabelle 111 dargestellten Maße, die schon sehr individuelle Matrizen erforderlich machen, da die Abweichungen zwischen den Saatguttypen nicht unerheblich sind.

**Tabelle 111: Materialuntersuchungen am eingesetzten Leguminosensaatgut**

Art	Durchmesserfraktionen nach Siebung (%)	Mittlerer Durchmesser (mm)	Verhältnis Länge/Durchmesser
Ackerbohne	> 8 mm: 14 % < 8 mm > 6,3 mm: 83,3 % < 6,3 bis > 4 mm: 2,7 %	Länge Seite 1: 10,25 Länge Seite 2: 6,92	1:0,68
Wintererbse EFB 33	< 8 mm > 6,3 mm: 2,5 % < 6,3 bis > 4 mm: 97,5 %	5,67	1:1
Sommererbse Casablanca	> 8 mm: 0,4 % < 8 mm > 6,3 mm: 98,0 % < 6,3 bis > 4 mm: 1,6 %	7,3	1:1
Sojabohne Gallec	< 8 mm > 6,3 mm: 45,5 % < 6,3 bis > 4 mm: 54,5 %	Länge Seite 1: 6,73 Länge Seite 2: 5,18	1:0,77

Die Vorversuche bei der Fa. Bauer-Power/Rüsselsheim waren sehr vielversprechend, um eine optimale Kombination von Presskanaldurchmesser und Presskanallänge zu bestimmen. Die dann in 2 weiteren Durchgängen von Pressversuchen entstandenen Agglomerate sind auf die allgemeinen Qualitätskriterien Siebrückstand, Staubanteil, Fließneigung und Stabilität überprüft worden, um die Voraussetzungen für die Weiterentwicklung von gebräuchlichen Matrizen zu schaffen. So sollte es möglich sein, die Agglomerate an die Saatgutform anzupassen.

### **Materialuntersuchung der entstandenen Pressagglomerate Kompost-Ausgangsmaterial**

Das Ausgangssubstrat für den Pelletiersversuch bei der Fa. Bauer-Power hatte einen Trockensubstanzgehalt beim Bioabfall von 57,15%, während die verwendeten Grüngutkompostchargen im Mittel einen TS Gehalt von 65,75% hatten (24 h bei 105 °C, 3 Wiederholungen). Damit war der Bioabfall relativ feucht, während der Grüngutkompost einen günstigen Wert aufwies. Die Absiebung war generell 10 mm. Die Schüttdichte betrug im Mittel bei den eingesetzten Komposten lose 0,56 g/cm<sup>3</sup> und gerüttelt 0,67 g/cm<sup>3</sup>.

Um die Partikelgrößen der Ausgangssubstrate (10mm) zu ermitteln, wurde eine Siebung durchgeführt. Die Siebdauer betrug 15 min, die Schwingungsamplitude 45. Die Anzahl der Wiederholungen lag bei 2 (Tabelle 112). Besonders auffällig ist, dass die Bioabfallkompostchargen bei rund 80% der Partikel < 3,15mm lagen, während bei Grüngutkomposte die Werte für die Partikelgröße bei 90% lagen.



**Tabelle 112: Partikelgrößenverteilung des Ausgangsmaterials in % (Test Fa. Bauer-Power)**

Siebfractionen (mm)	Bioabfall 1	Bioabfall 2	Grüngutkompost 3	Grüngutkompost 4
> 8	0,0	0,0	0,0	0,1
< 8 bis > 6,3	1,3	1,6	0,0	0,4
< 6,3 bis > 4	9,0	8,2	2,9	3,9
< 4 bis > 3,15	6,1	7,1	2,8	4,2
< 3,15 bis > 2	14,9	18,3	10,2	13,1
< 2 bis > 1	26,2	38,9	25,4	26,7
< 1	41,3	23,3	56,9	50,2

Der Pelletiersversuch bei der Fa. Ecoworxx fand generell mit Grüngutkompost statt. Dieser lag in Absiebungen von 10 mm (86% TS) und von 6 mm (77% TS) (gemahlen mit einer Retsch Schneidmühle) vor. Die Untersuchung der Schüttdichte (3 Wiederholungen) ergab, dass im Unterschied zu den Bioabfallchargen und nicht vermahlenem Grüngutkompost die Anteile im vermahlenem Kompost sich auf 83 % mit einer Partikelgröße von <1mm verschob.

**Tabelle 113: Siebfractionen der Grüngutkomposte für Tests bei Fa. Ecoworxx**

Siebfractionen (mm)	Grüngutkompost 6 mm	Grüngutkompost 10 mm
> 8	0,0	0,0
< 8 bis > 6,3	0,0	0,3
< 6,3 bis > 4	0,0	4,9
< 4 bis > 3,15	0,0	4,2
< 3,15 bis > 2	0,2	11,9
< 2 bis > 1	14,4	27,1
< 1	83,8	50,8

### Kompostagglomerate

Der Trockensubstanzgehalt der Pellets war im Vergleich zu den Komposten leicht angestiegen, was insbesondere beim Bioabfall im Vergleich zum Ausgangsgehalt auffiel.

**Tabelle 114: Trockensubstanzgehalte der Pelletproben**

Pelletprobe: Herkunft/Pelletform	TS-Gehalt (%)
Bioabfallkompost 1 und 2, /Lang (10mm), 8mm Durchmesser	73
Grüngutkompost 3 und 4, /Lang (10mm), 8mm Durchmesser	79,35
1 Grüngutkomp. 6mm gemahlen/ 7mm lang, 6mm Durchmesser	71,30
2 Grüngutkomp. 10mm, feucht, / 7mm lang, 6mm Durchmesser	63,62
3+ Grüngutkomp. 10mm, trocken, / 17mm lang, 6mm Durchmesser	79,8
5 Grüngutkomp. 6mm gemahlen/ 10mm lang, 6mm Durchmesser	72,55

Eine Siebgrößenanalyse ergab, dass die Agglomerate der Grüngutkomposte sich recht stabil verhielten. Der Anteil mit der Siebfraction > 8mm bzw. in Größen zwischen 8 und 6,3 mm lag

mit 74 % bzw. 5,6 % in einem guten Bereich; ein Anteil von 9,6 % war einer Fraktion von 1mm zuzuordnen. Diese Fraktion ist in Bezug auf die Staubentwicklung besonders zu beachten. Die Bioabfallkompost-Charge verhielt sich dagegen deutlich anders. Mit einem Anteil von 58 % lag der Anteil der Original-Pellets in dieser Fraktion klar tiefer als die Grüngutkompost-Agglomerate. Hier wird deutlich, dass durch die offensichtlich stärkere Trocknung und dem höheren Sand- bzw. Freianteil sich das Ergebnis der Verpressung dieses Materials sowie sein Haltbarkeit deutlich schwieriger darstellt. In diesem Ergebnis sind die Mittelwerte für Agglomerate aus jeweils beiden Bioabfall und Grüngutkompostchargen angegeben.

**Tabelle 115: Anteile von Siebfraktionen (%) der Pellets mit 8 mm Durchmesser Testreihe Fa. Bauer-Power (Siebdauer 15 min Amplitude 47,5. 1000 g. 2 Wiederholungen) (Schlüssel für Pelletchargen siehe Tabelle 114)**

Siebfraktionen (mm)	Bioabfall	Grüngutkompost
> 8	57,7	73,6
< 8 bis > 6,3	27,8	5,6
< 6,3 bis > 4	3,0	2,8
< 4 bis > 3,15	0,9	1,0
< 3,15 bis > 2	1,8	2,4
< 2 bis > 1	0,4	4,9
< 1	6,1	9,6

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung der 6 mm Pellets bestätigte die guten Bedingungen für die Grüngut-Komposte. Zwar gab es auch 14 - 28%, die der Fraktion 8 bis 6,3 mm zufielen, aber mit einem Anteil von 70 – 80 % in der Fraktion 6.3 – 4 mm kann durchaus von einem erfolgreiche Ergebnis gesprochen werden; Staubanteile mit max. 2,7 % lagen dagegen erfreulich niedrig. Von Bedeutung sollte auch sein, dass diese Ergebnisse sich unabhängig von der Vermahlung des Ausgangsmaterials, der Siebgröße (10-6 mm) und dem überprüften Feutigkeitsgehalt der Chargen sehr ähnlich verhielten.

**Tabelle 116: Anteile von Siebfraktionen (%) der Pellets mit 6mm Durchmesser Grüngutkomposte, Test EcoWorxx (Siebdauer 15 min Amplitude 47,5. 1000 g. 2 Wiederholungen) (Schlüssel für Pelletchargen siehe Tabelle 114)**

Siebfraktionen (mm)	Charge 1	Charge 2	Charge 3+	Charge 5
> 8	0,0	0,0	0,0	0,0
< 8 bis > 6,3	24,1	14,3	28,5	20,1
< 6,3 bis > 4	69,5	80,6	70,3	77,9
< 4 bis > 3,15	0,5	0,4	0,0	0,1
< 3,15 bis > 2	1,1	0,8	0,1	0,2
< 2 bis > 1	1,9	1,3	0,2	0,4
< 1	2,7	2,3	0,8	1,2

### Länge, Durchmesser und Schüttdichte der Agglomerate

Zur Messung der Länge und des Durchmessers der Agglomerate der einzelnen Kompostchargen wurde eine Probe von ca. 100 g des Pelletmaterials entnommen und die einzelnen Agglomerate mittels eines Messschiebers vermessen. Die Ergebnisse zeigten

weitgehende Übereinstimmung mit der angestrebten Länge für die Agglomerate (10 mm für Biokompost 1 und 2, Grüngutkompost 3, 4, 1, 2, 5; 17 mm für Grüngutkompost 3+). Auch die angestrebten Durchmesser der Agglomerate wurden mit gemessenen 7,5mm jeweils einheitlich über alle Chargen um rund 7 % im Vergleich zum angestrebten Durchmesser von 8 mm unterschritten. Es ist anzunehmen, dass es sich hierbei um eine systematische, Maschinenbedingte Abweichung handeln dürfte, jedoch wurde dem nicht weiter nachgegangen. Noch besser verhält es sich mit den Agglomeraten, die ein Zielgröße von 6mm hatte: es werden im Mittel über alle Chargen 5,8 mm erreicht (Abweichung 2,4 %). Ähnlich gut lagen auch die Schüttdichten, die zwischen 0,64 bis 0,76 g/m<sup>3</sup> für die Agglomerate lagen. Sie liegen damit in einem vergleichbaren Bereich wie einige der wichtigsten Körnerleguminosen. Ackerbohnen, Sommer-, Wintererbsen und Sojabohnen haben Schüttgewichte von 800-900 g/l.

**Tabelle 117: Abmessungen der Kompostpellets**

Kompostcharge	Mittelwert Länge (mm)	Mittelwert Durchmesser (mm)	Verhältnis Länge/Durchmesser
Biokompost 1	10,65	7,27	1:0,68
Biokompost 2	10,88	7,35	1:0,68
Grüngut 3	9,59	7,46	1:0,78
Grüngut 4	10,99	7,43	1:0,68
Grüngut 1	9,63	5,91	1:0,61
Grüngut 2	9,83	5,88	1:0,60
Grüngut 3+	17,57	5,95	1:0,34
Grüngut 5	10,06	5,96	1:0,59

Schlüssel für die Kompostchargen siehe Tabelle 114

### Abriebverhalten

In einem weiteren Untersuchungsschritt wurde das ASAE S 269.4 Verfahren zur Ermittlung des Abriebverhaltens eines Werkstoffes angewendet, bei dem eine bestimmte Menge Prüfgut einer definierten mechanischen Beanspruchung über eine zuvor festgelegte Zeit unterzogen wird.

Der Abrieb wird als Prozentangabe dargestellt und wird nach der nebenstehenden Formel berechnet

$$Abrieb = \frac{(MasseEinwaage - MasseAuswaage)}{MasseEinwaage} * 100$$

Die Maße des Abriebkastens betragen 300x300x125 mm. Die Probenmenge betrug 500 g, die Umdrehungsgeschwindigkeit ca. 50 U/min und die Untersuchungsdauer 10 min. Um auch wirklich nur den Abrieb zu bestimmen, der durch die Rotation entstanden ist, wurden die Proben vorher mit einem Analysensieb der Maschenweite 3,14 mm gesiebt und nur der Teil > 3,14 mm wurde im Versuch genutzt. Nach der Testdauer wurde die Probe auf ein Analysensieb mit der Maschenweite 3,14 mm geschüttet, die Teilmengen gewogen und der prozentuale Abrieb bestimmt.

Es ergab sich ein vergleichbares Bild der Abriebanteile wie bereits in Tabelle 115 und Tabelle 116 für die Siebfraktionen gezeigt. Die Agglomerate aus dem Bioabfall und aus den Grüngutchargen 3 und 4 lagen zwischen 7 bis 11,4 %, während die kleineren Agglomerate der übrigen Grüngutchargen von 4 - 7 % einen etwas besseren Wert ergaben (Tabelle 118).

**Tabelle 118: Ergebnisse der Abriebüberprüfung bei den Pelletproben**

Kompostcharge	Abrieb (%)
Biotonne 1	10,5
Biotonne 2	9,4
Grüngut 3	11,8
Grüngut 4	7,3
Grüngut 1	7,3
Grüngut 2	4,5
Grüngut 3+	4,1
Grüngut 5	5,2

Schlüssel für die Kompostchargen siehe Tabelle 114

### Schlußfolgerung

In beiden Teilen des Arbeitspaketes, die sich mit den technischen Voraussetzungen für die Entwicklung eines innovativen Saatverfahrens, kombiniert mit einer spezifischen Kompostapplikationseinheit sowie mit der Nutzung von Kompostagglomeraten auseinandergesetzt hat, sind die Ziele weitgehend erreicht worden. Insbesondere der Teil 1, die Entwicklungen einer Drillmaschinenkombination mit Kompostbunker und Reihenapplikationsaggregaten, ist mit der Bereitstellung eines funktionsfähigen Prototyps sehr erfolgreich gewesen. Hier kann in weiteren Schritten zusammen mit der Industrie, daran gegangen werden, den Prototypen entsprechend für die Praxis weiter umzusetzen. Von Seiten der Landwirte ist das Interesse ebenfalls groß, auch für andere Kulturen. Die Wirkung von qualitativ hochwertigen Komposten konnte im Projekt sowohl bzgl. Ertrags der Körnerleguminosen, der verbesserten Pflanzengesundheit als auch in Bezug auf die Nachfrucherträge gezeigt werden. Insbesondere der Ansatz, die suppressiven Effekte der Komposte gegenüber bodenbürtigen Krankheiten im Feld zu optimieren, hat maßgeblich nur über die neue Technologie Erfolg gehabt. Dieses schon seit langem bekannte prinzipielle Phänomen nun auch richtungsweisend in die Praxis gebracht zu haben, ist ein Erfolg dieses Teilbereiches im Projekt gewesen (siehe folgendes Kapitel). Die Applikation von losem Kompost ist für die relativ einfache Definition der Kriterien „10 mm Absiebung und Feuchtigkeitsgehalte von 30 %“ für Kompostanlagen nicht schwer einzuhalten. Das Ziel, eine praxisgerechte Lösung zu finden, ist aber nur über sachgerechte Rezepturen (siehe nächste Kapitel), gute Logistik und enges Vertrauen zwischen Kompostwirtschaft und Bauern bzw. den Verbänden in den Griff zu bekommen. Hier sind die bereits eingeleiteten Initiativen seitens Naturland und Bioland zu erwähnen, sich mit der Kompostwirtschaft näher ins Benehmen zu setzen. Zwar betrifft das zunächst die Qualitätssicherung der Bioabfallkomposte, aber für Komposte, die den Anspruch haben, die Pflanzengesundheit zu verbessern, gilt es im Besonderen.

Im Teil 2 des technischen Schwerpunktes im Arbeitspaket 2 ist mit der Erprobung der Agglomerierung von Komposten in Pellets in Richtung auf den Einsatz saatgutförmige Pellets, ein anderer Ansatz beschrieben worden. Dieser hatte auch den Hintergrund, ggf. die Pflanzengesundheit zu fördern, jedoch stärker stand ein technisch praktischer Aspekt im Zentrum: Saatgut und Kompost sollte in ähnlicher Form und möglichst mit gleicher Technologie appliziert werden. Dieser Ansatz jedoch konnte nicht vollständig umgesetzt werden, denn eine gemeinsame Mischung von Saatgut und Kompost scheint nicht an Problemen bei der Herstellung der Agglomerate zu scheitern, sondern dürfte aufgrund der extrem unterschiedlichen Mengen, die die Saat bzw. der Kompost im Saatgutkasten haben müsste,

nicht realisierbar zu sein. Darüber hinaus verstopfen die Nocken- oder Zellenräder der Drillmaschine sehr schnell (Daten nicht gezeigt). Betrachtet man nur die Materialeigenschaften von Saatgut und Kompost, so erscheint eine Mischung von Saatgut und Kompostpellets durchaus möglich. Zieht man aber die benötigten Mengen in Betracht, so ergibt sich ein anderes Bild. Bei den Kompostpellets wird von einer Ausbringmenge von ca. 5000 kg/ha ausgegangen, bei Erbsen und Ackerbohne ist eine Saatstärke von 150 bis 200 kg/ha üblich. Allein aufgrund dieses Zahlenverhältnisses von 1:25 bzw. 1:30 kann nicht mehr von einer homogenen Mischung ausgegangen werden. Dies macht eine zufriedenstellende Ablagegenauigkeit des Saatgutes nahezu unmöglich.

Jedoch mit dem Nachweis der qualitätsorientierten Pelletierbarkeit von Kompost wird es nun möglich sein, die bereits vor längerem entwickelte Idee der Trennung von Vorratsbehälter und Dosiereinheit umzusetzen. Ein Ansatzpunkt wäre der Einsatz eines neu entwickelten Frontdrucktanks der Fa. Reichert Spezialaufbauten, Obersontheim. Hierbei handelt es sich um einen Vorratstank, welcher im Frontanbau der Schleppers gefahren werden kann. Das Volumen beträgt 400 Liter. Die maximale Förderleistung beträgt bei Dünger 12 t/h, Förderweite 12 m, Durchmesser der Förderleitung 160 mm, die Verteilung auf 2 Verteiler scheint möglich. Der Bunker hat einen Kettendosierer, um ein Zusetzen oder eine Brückenbildung zuverlässig zu verhindern. Es soll unterschiedlichstes Fördergut wie Mineraldünger und biologischer Dünger dosiert werden können. Hier könnte also ein Ansatz sein, die Ergebnisse weiter umzusetzen.

#### 4.4.3 Nachweis der suppressiven Eigenschaften von Komposten gegenüber bodenbürtigen Schaderregern an Erbsen – Biotests

Biotests zur suppressiven Wirkung von Komposten sind eine sehr empfindliche Methode zum Nachweis dieses Phänomens. Die Untersuchungen hatten zum Ziel, prinzipiell Wirkungen der Komposte gegenüber Vertretern von bodenbürtigen Erbsekrankheiten, die die Wurzel und die Keimlinge befallen, unabhängig von Bodeneinflüssen, Erregerkomplexwirkungen oder anderen Einwirkungen nachzuweisen. Bisher gibt es zu den in Frage kommenden Erbsen-Erregern wie *Phoma medicaginis*, *Mycosphaerella pinodes*, *Fusarium solani* und *F. avenaceum* keine uns bekannten Untersuchungen zu diesem Thema. Als Referenz werden hier auch Untersuchungen mit dem Erreger *Pythium ultimum*/Erbse genannt, der als bewährtes System zum Nachweis suppressiver Wirkungen schon seit langem in Gebrauch ist. In den folgenden Abschnitten werden aber nur Ergebnisse mit *P. medicagines* und *P. ultimum* angeführt, da sich für die anderen Erreger vergleichbare Effekte gezeigt haben. Die Systeme beruhen auf der Verwendung hochanfälliger Sorten der Kulturpflanze, hoch virulenten Isolaten der Pilze und dem zu prüfenden Kompost, der normalerweise in den hier beschriebenen Versuchen in Aufwandmengen von 30 vol% zum Einsatz kam. Als Basissubstrat diente steriler Sand. Nähere Informationen auch zu den Komposten, deren Eigenschaften und Codierung, finden sich im Kapitel Material und Methoden.

##### Infektions-Screening (Biotest Nr. 1) System Erbse – *Phoma medicaginis*

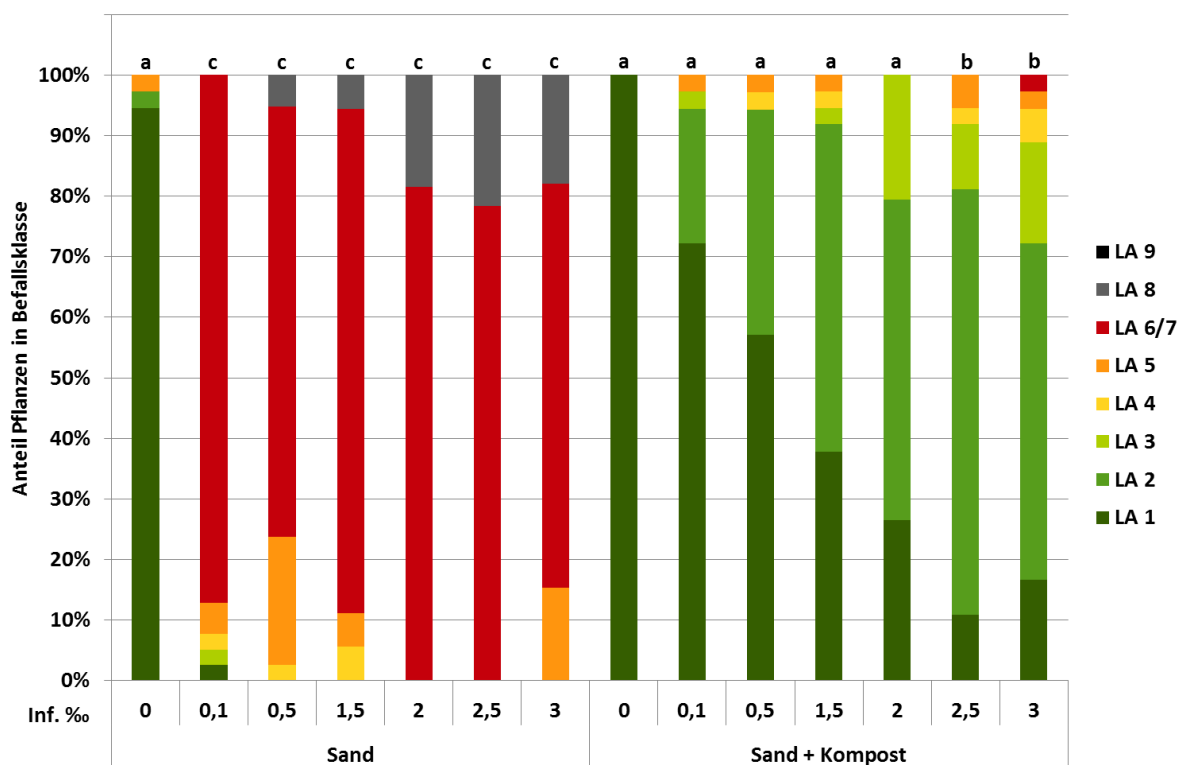
Das Infektionsscreening stand am Anfang der Untersuchungen und diente dazu, eine Inokulummenge des Pilzes zu bestimmen, das voneinander abgrenzbare Befallsstufen verursachte und ferner zu ermitteln, ob mit den erhobenen Parametern (Sproßfrischmasse und Wurzelläsionen) die Befallsituation der einzelnen Infektionsstufen aussagekräftig abgebildet werden konnte. Es lagen für *P. medicaginis* diesbezüglich noch wenige Erfahrungen vor. Verwendet wurde ein Bioabfall-Grüngutkompost (BGK WIZ 09), welcher ausschließlich in Biotests verwendet wurde.

Es zeigte sich, dass die Auswahl des Erregers zu guten Ergebnissen führte. Im Vergleich zu den nicht infizierten Kontrollgefäßen (Infektionsstufe 0 ‰ Pilzmycel), die fast nur gesunde Pflanzen aufweisen (Note 1), verursachte die Inokulation einen beträchtlichen Befallsdruck an den Pflanzen. Aussagekräftig kann man erkennen, dass die Inokulation in den nicht mit Kompost behandelten Varianten bereits einen hohen Befall der Wurzeln bei niedrigem Infektionsdruck verursachte (z. B. Läsionsnote 6/7 an 85 % der Wurzeln aller Pflanzen in Infektionsstufe 0,1 ‰) (Abbildung 108). Der Befallsdruck stieg in den übrigen Stufen weiter an, zu erkennen an der Zunahme an Pflanzen mit Note 8. Durch die Zugabe von Kompost wiesen nahezu alle Pflanzen einen deutlich geringeren Befall der Wurzeln auf. Der Kompost zeigte einen klaren suppressiven Effekt gegenüber diesem Erreger. In Abhängigkeit vom ansteigenden Infektionsdruck nahm der Befall von 70 % gesunden Pflanzen (Note 1 in Stufe 0,1 ‰) auf rund 10-15 % in höchsten Infektionsstufen zu, erkennbar an der Grünfärbung der Säulen. Bemerkenswert war die Treppenstufenartige Zunahme des Befalles mit steigenden Inokulum in den Kompost behandelten Varianten. Insgesamt aber war der Effekt des Kompostes so hoch, dass sich 70-80 % der Pflanzen mit Note 1-2 eingestuft werden konnten. Alle Behandlungen mit Kompost waren signifikant unterscheidbar von den infizierten Varianten ohne Kompost.

Das System konnte damit als Standardsystem genutzt werden, da die Voraussetzung und Ziele erreicht worden waren, ein empfindliches System zu etablieren, dass differenzierte Ergebnisse



zuließ. Vergleichbar mit dem Boniturergebnis verhielt es sich mit dem Parameter Sproßfrischmasse.



**Abbildung 108: Einfluss zunehmender Infektionsstufen (%) auf die Läsionsausbreitung an Wurzel und Epikotyl (LA-Note) bei Infektion mit *Phoma medicaginis* im sterilen Sand und bei loser Applikation von 30 v/v % Bioabfall-Grüngutkompost. Biotest Nr. 1, n=5 (=40 Pflanzen pro Infektionsstufe), unterschiedliche Kleinbuchstaben geben die Signifikanzen der Paarvergleiche zwischen allen Varianten an (KruskalWallis,  $p \leq 0,05$ )**

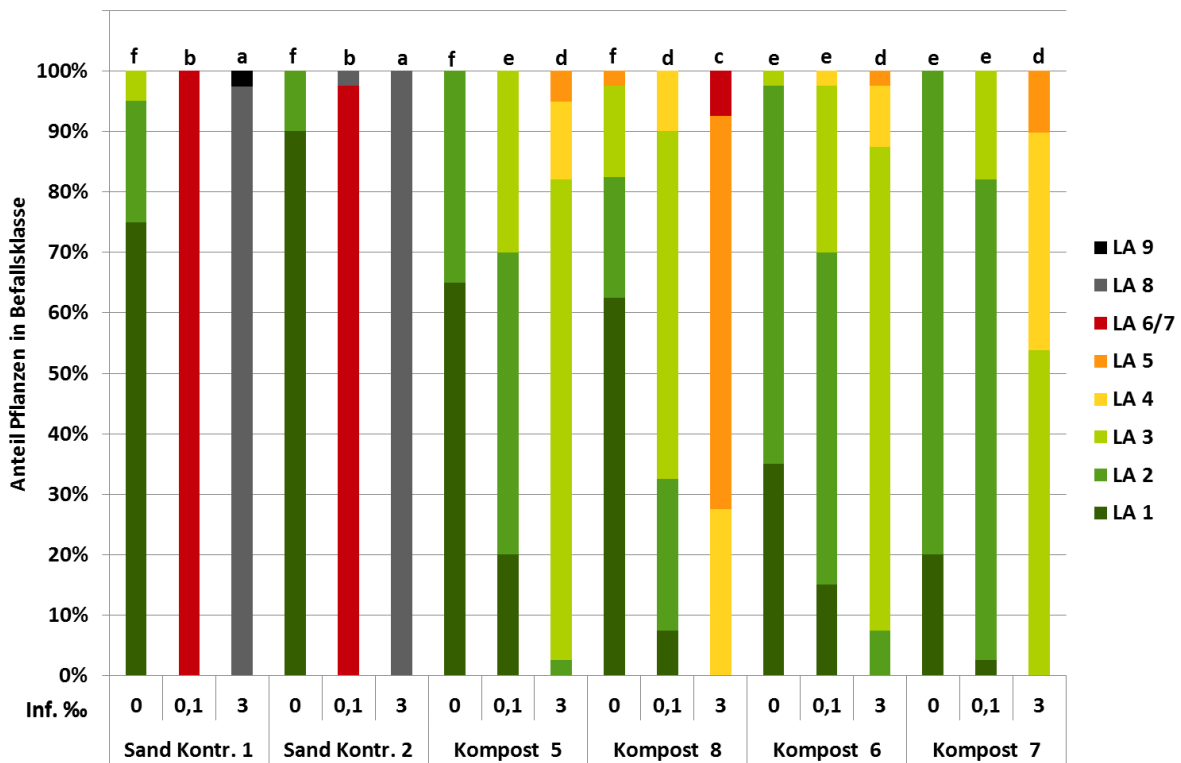
### Kompost-Screenings mit *P. ultimum* (Referenzsystem) und *P. medicaginis* (Biotest Nr. 2, 3, 4, 5)

In den Kompostscreenings wurden verschiedene Komposte, die auch in den Feldversuchen 5-E11, 6-E11, 7-F12 und 7-E12 zum Einsatz kamen, auf ihr suppressives Potential getestet. Eine Ausnahme war Biotest Nr. 2 (*P. medicaginis*), bei dem zusätzlich zum Bioabfall/Grüngutkompost aus Biotest 1 auch Komposte geprüft wurden, die nicht in Feldversuchen eingesetzt worden waren (Ergebnisse nicht dargestellt). Hier konnten die Effekte, die oben beschrieben wurden, für den bereits geprüften Kompost reproduziert werden und die 2 anderen Komposte in ähnlicher Weise ihr Potential zeigen. Das Gleiche war der Fall in Biotest Nr. 5 (*P. ultimum*): die Komposte zeigten signifikante suppressive Effekte; sie wurden in den Feldversuchen 7-F12 und 7-E12 angewendet und werden im nächsten Kapitel besprochen.

Ziel der Kompostscreenings unter kontrollierten Bedingungen war es, unabhängig von äußeren Einflüssen, die Wirkung der Komposte abzuschätzen und sie mit den Ergebnissen im Feld zu vergleichen.

Die Ergebnisse für die beiden Beispiele zeigten sowohl für den Wurzelbefall (im System mit *P. medicaginis* siehe Abbildung 109 für Biotest Nr. 4) als auch für den oberirdischen Aufwuchs (siehe Tabelle 119 beispielhaft für die Biotests Nr. 3 und 4) eindrucksvoll das suppressive Potential der eingesetzten Komposte.

Während die Boniturwerte der Wurzeln in der Kontrollvariante ohne Kompost alle in Stufe 6 bis 8 lagen, bewirkten die Komposte überwiegend eine Reduzierung des Befalls auf die Noten 2-3, im Fall des Kompostes 8 trat aber auch eine signifikant schwächere Wirkung in der Infektionsstufe 2 (3,0 ‰) auf. Daran wird deutlich, dass eine Wirkung der Komposte von der Qualität und vom Inokulum abhängig ist. Statistisch zeigten sich diese Befunde auch deutlich: alle Komposte sind besser als die Kontrolle ohne Kompost. Die meisten der Komposte in den niedrigen Infektionsstufen zeigten den gleichen Befallsgrad wie die nicht infizierten Kompostvarianten. Nur Kompost 8 zeigte klare Schwächen in der Wirkung und reiht sich in der Gruppe der Komposte schon in der ersten Infektionsstufe (0,1 ‰) in die Infektionsstufe mit 3 ‰ ein.



**Abbildung 109: Einfluss des suppressiven Potentials von vier Grüngutkomposten (30 v/v %) auf die Läsionsausbreitung (LA-Note; Wurzel und Epikotyl) im Vergleich zu sterilem Sand bei geringer (0,1‰) und hoher (3,0‰) Infektion mit *P. medicaginis*. Biotest Nr. 4, n=5 (=40 Pflanzen pro Infektionsstufe), unterschiedliche Kleinbuchstaben geben die Signifikanzen der Paarvergleiche zwischen allen Varianten an (KruskalWallis,  $p \leq 0,05$ )**

Die Ergebnisse der oberirdischen Sproß-Biomasse zeigte eine enge Übereinstimmung zwischen den beiden Systemen (Tabelle 119). Auch zu den Bonitur-Ergebnissen lassen sich gute Übereinstimmungen festmachen. Das System mit *P. ultimum* ist härter als das System mit *P. medicaginis*. In den hohen Infektionsstufen im System mit *P. medicaginis* zeigten alle Komposte im Vergleich zur Kontrolle noch signifikante Effekte, wobei Kompost 6 und 7 die besten Werte aufwiesen. Die Wirkungen der Komposte differenzierten sich aber im System mit *P. ultimum* stärker aus. So wies nur noch Kompost 7 als einziger Kompost signifikante Effekte in der hohen Infektionsstufe im Vergleich zur Kontrolle auf. Kompost 8 zeigte bereits in der niedrigen Infektionsstufe keinen signifikanten Effekt mehr.

**Tabelle 119: durchschnittliche Sproßfrischmasse (g) bei hoher und geringer Infektion mit *P. ultimum* (Biotest Nr. 3) und *P. medicaginis* (Biotest Nr. 4) bei vier eingesetzten Grüngutkomposten (30 v/v %) im Vergleich zu sterilem Sand. n=5, unterschiedliche Buchstaben geben statistische Unterschiede an (Tukey p < 0.05)**

Variante	Infektions-Stufe	Durchschnittliche Sproßfrischmasse (g)	
		<i>P. ultimum</i>	<i>P. medicaginis</i>
Sand Kontr. 1	0	11,1 cde	12,0 abcd
	1	5,5 gh	5,0 f
	2	4,2 h	0,7 g
Sand Kontr. 2	0	11,0 cde	12,4 abcd
	1	5,9 gh	4,8 f
	2	4,1 h	0,7 g
Kompost 5	0	11,3 bcd	11,6 abcde
	1	8,7 ef	10,8 cde
	2	6,2 gh	10,2 de
Kompost 8	0	13,9 a	13,9 a
	1	6,2 gh	13,7 ab
	2	5,1 gh	9,2 e
Kompost 6	0	12,2 abc	12,3 abcd
	1	9,7 de	12,3 abcd
	2	6,9 fg	11,3 bcde
Kompost 7	0	13,5 ab	13,6 ab
	1	12,3 abc	13,3 abc
	2	10,8 cde	11,3 bcde

In Abbildung 111 und Abbildung 111 sind die oben beschriebenen Effekte sehr gut im Bild zu sehen. In zwei kleineren Demonstrationsversuchen (Biotest Nr. 6 und 7), wovon einer auch auf der Grünen Woche im Januar 2013 zu sehen war, wurde ein Kompost (Nr. 9) eingesetzt, der in Feldversuch 6-F12 zum Einsatz kam und recht positive Effekt zeigte.



**Abbildung 110: Erbsen im Biotest Nr. 7: Block links ohne Kompost, Block rechts mit 30 Vol. % Kompost, jeweils mit zunehmender Phoma-Infektion (0 / 0,1 % / 3,0 %)**





**Abbildung 111 : Die Fotos zeigen die Wurzeln und Epikotyle sowie die Stängelbasis der Erbsenpflanzen aus Biotest Nr. 7 in Abbildung 110.**

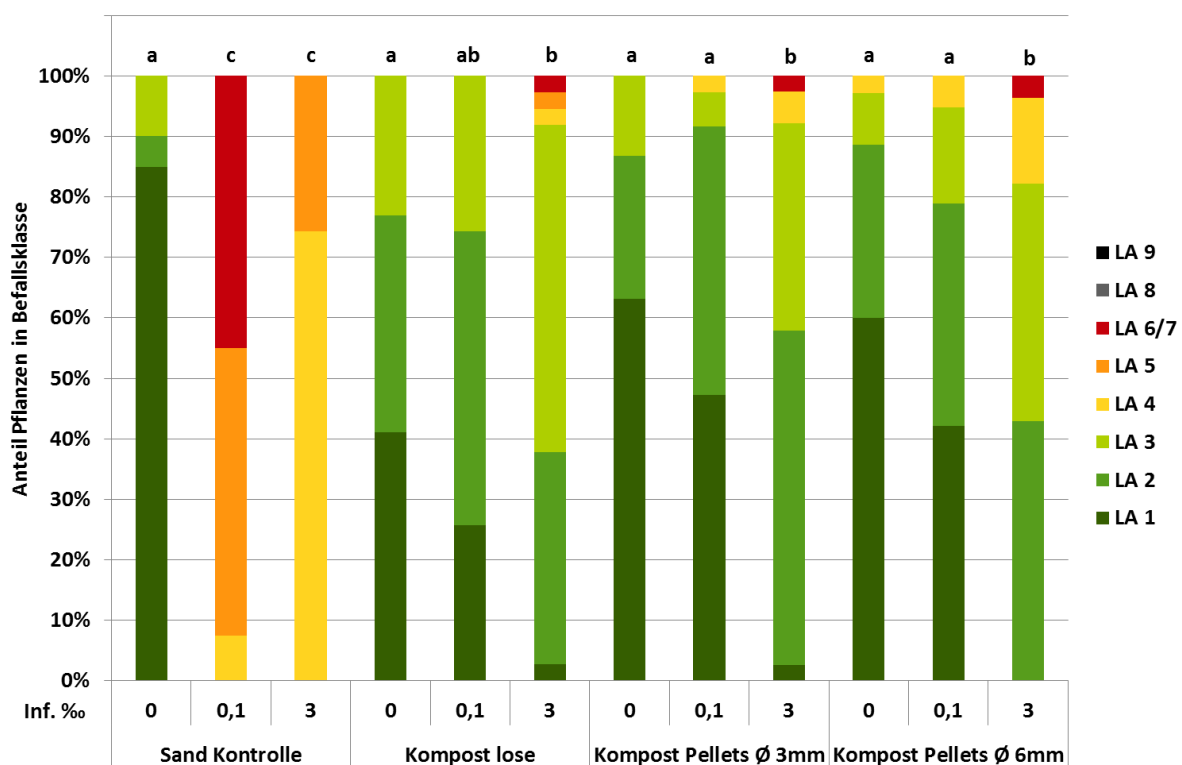
**Kontrollvarianten (oben), geringe Infektion (Mitte), hohe Infektion (unten); in der linken Spalte die Testeinheit ohne Kompost, rechts mit Kompost.**

### **Einfluss der Applikationsform auf die suppressive Wirkung von Kompost (Biotest Nr. 8, 9, 10)**

Im Rahmen der Biotests wurden auch Untersuchungen zur Wirkung von pelletierten Komposten durchgeführt (siehe vorhergehendes Kapitel). Drei dazu angelegte Versuche wurden mit einem Bioabfall-Grüngutkompost (siehe auch Biotest Nr. 1) durchgeführt. Die Tests erfolgten sowohl mit dem Schaderreger *P. ultimum* als auch mit *P. medicaginis*. In den Versuchen 9 (*P. ultimum*)

und 10 (*P. medicaginis*) wurde bei gleichem Testdesign die suppressive Wirkung von loser Applikation (30 v/v%) im Vergleich zu Kompostpellets mit Durchmessern von 3 mm und 6 mm getestet. Die Kompostpellets wurden als Gewichtsäquivalent zu der vor Herstellung ausgelitterten Menge von 30 % (v/v) losem Kompost hinzu gegeben.

Die Ergebnisse der Sproßfrischmasse bei zunehmender Infektion mit *P. ultimum* (Biotest Nr. 10) zeigten nur für den lose applizierten Kompost eine Befallsverminderung, während die Frischgewichte bei pelletierter Anwendung in beiden Infektionsstufen auf das Niveau der durchschnittlichen Frischgewichte der infizierten Sandkontrolle abfielen. In den Kontrollvarianten ohne Infektion erreichten sie das durchschnittliche Frischgewicht der Kontrollvariante bei loser Kompostapplikation. In Biotest Nr. 8 mit dem gleichen Schaderreger dagegen erreichte die Pellets-Kontrolle das Frischgewicht der lose applizierten Kontrolle nicht und zeigte mit zunehmender Infektion kein eindeutiges Muster hinsichtlich einer suppressiven Wirkung (Ergebnisse nicht dargestellt). Bei Infektion mit *P. medicaginis* (Biotest Nr. 9) dagegen war eine befallsvermindernde Wirkung auch bei der Applikation mit den Kompostpellets zu sehen (Abbildung 112). Hier mag das etwas „schwächere“ System mit *Phoma medicaginis* eine gewisse Rolle gespielt haben. Deutlich zeigte sich die suppressive Wirkung auch bei pelletierter Anwendung im Wurzelbereich.



**Abbildung 112: Einfluss des suppressiven Potentials eines Bioabfall-Grüngutkompostes auf die Läsionsausbreitung (LA-Note; Wurzel und Epikotyl) bei loser und pelletierter Applikationsform mit geringer (0,1‰) und hoher (3,0‰) Infektion von *P. medicaginis* im Vergleich zu sterilem Sand. Durchmesser der Pellets: 3mm und 6mm. Menge der Pellets als Gewichtsäquivalent zu 30 v/v% lose appliziertem Kompost. Biotest Nr. 9, n=5 (=40 Pflanzen pro Infektionsstufe), unterschiedliche Kleinbuchstaben geben die Signifikanzen der Paarvergleiche zwischen allen Varianten an (KruskalWallis, p ≤ 0,05).**

Interessant sind einige Beobachtungen zu den Pellets. So zerstörte das Wurzelwachstum im Topfversuch weder die Pellets, noch lösten sie sich auf. Die Pellets wurden von den Wurzeln



auch nicht durchbohrt. Nur an stark eingerissenen Stellen kam es vor, dass eine Wurzel etwas tiefer in das Agglomerat eindrang. Deutlich war jedoch zu sehen, wie die Wurzeln mit ihren zahlreichen feinen Wurzelhärchen an der Oberfläche der Pellets entlang wuchsen (Abbildung 113).



**Abbildung 113: Erbsenwurzeln im Sandsubstrat mit Kompostpellets nach 21 Tagen im Topfversuch**

### **Suppressive Wirkung von lose und pelletiert applizierten Grüngutkomposten in natürlich hochbelastetem Boden bei simulierter Reihenapplikation (Biotest Nr. 11 „Kastenversuch“)**

Mittels dieses Versuchsansatzes sollte die Brücke vom sterilen Biotest-System zum Feldversuch mit gezielter Kompostapplikation in die Saatreihe geschlagen werden. Als Basissubstrat wurde natürlich hochinfizierter Boden des Feldschlages Saurasen eingesetzt. Dieser Boden wurde auch in den Differenzialtests eingesetzt und kann als „Leguminosenermüder“ Boden gelten. Es wurden zwei Komposte (Nr. 1 und 2) in jeweils zwei Aufwandmengen (30 v/v% und 5 t TM/ha) sowie lose und pelletiert verwendet. Um die im Feld vorgesehene Reihenapplikation des Komposts simulieren zu können, fiel die Topfwahl auf Blumenkästen (Innenmaße 56x14x15, Volumen bis Gießrand 9 l).

Zur Bewerkstellung der Reihenapplikation wurde ein Metallrahmen angefertigt (Innenmaße 50x10x5 cm). Es wurde von einer Einarbeitungstiefe von 6cm ausgegangen und die benötigten Kompostmengen für die Rahmenmaße entsprechend berechnet. Die Kompost-Pellets entsprachen, wie im sterilen System, dem Gewichtsäquivalent des lose applizierten Komposts. Die Befüllung der Kästen wurde folgendermaßen vorgenommen: es wurde zunächst so viel Boden in den Kasten gegeben, dass mit dem Rest eine Füllhöhe von 6cm erreicht werden konnte. Die Oberfläche der ersten Lage Boden wurde sorgfältig begradigt, darauf mittig der Rahmen gestellt und die äußeren Ränder mit der entsprechenden Menge an Boden befüllt. Der für den Rahmen vorgesehene Boden wurde mit den jeweiligen Mengen an Kompost vermischt und ebenfalls eingefüllt. Nach der Befüllung wurde der Rahmen herausgezogen.

Die Aussaatmenge wurde den Feldbedingungen angepasst: ausgegangen wurde von 80 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup>, was bei gegebener Keimfähigkeit und einem Reihenabstand im Feld von 30cm einer Menge von 15 Samenkörner je 50 cm Reihenlänge entsprach. Die Erbsen wurden nicht oberflächensterilisiert, sondern nur die beschädigten, deformierten und sehr kleinen aussortiert. Die Saattiefe betrug 2,5 cm. Gegossen wurde nach Gewichtsverlust nach

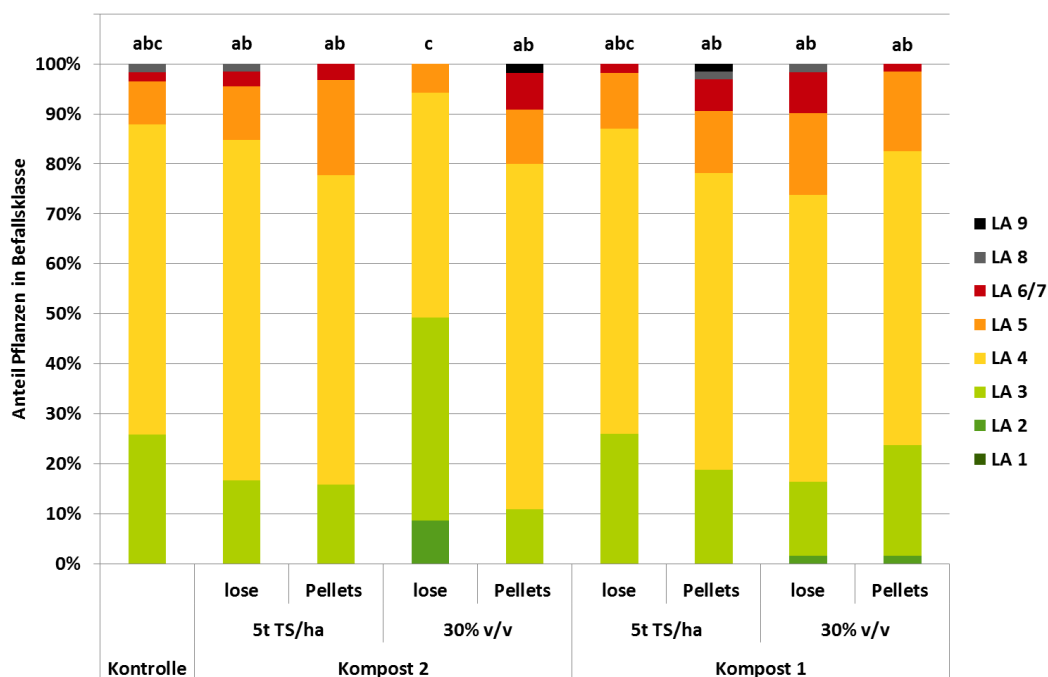
vorheriger Einstellung des Substrates auf den gewünschten Wassergehalt. Eine Schwierigkeit stellte die extreme Verschlammungsneigung des Bodens dar.

Die Kästen wurden in einer klimatisierten Gewächshauskabine (20 °C tags, 16 °C nachts) bei natürlichem Hell-Dunkel-Rhythmus (Monat Juli) als randomisierte Blockanlage aufgestellt. Um einen möglichen Einfluss durch die örtlich unterschiedliche Sonneneinstrahlung zu vermeiden, wurden die Tische zusätzlich alle zwei Tage gedreht und seitenvertauscht.

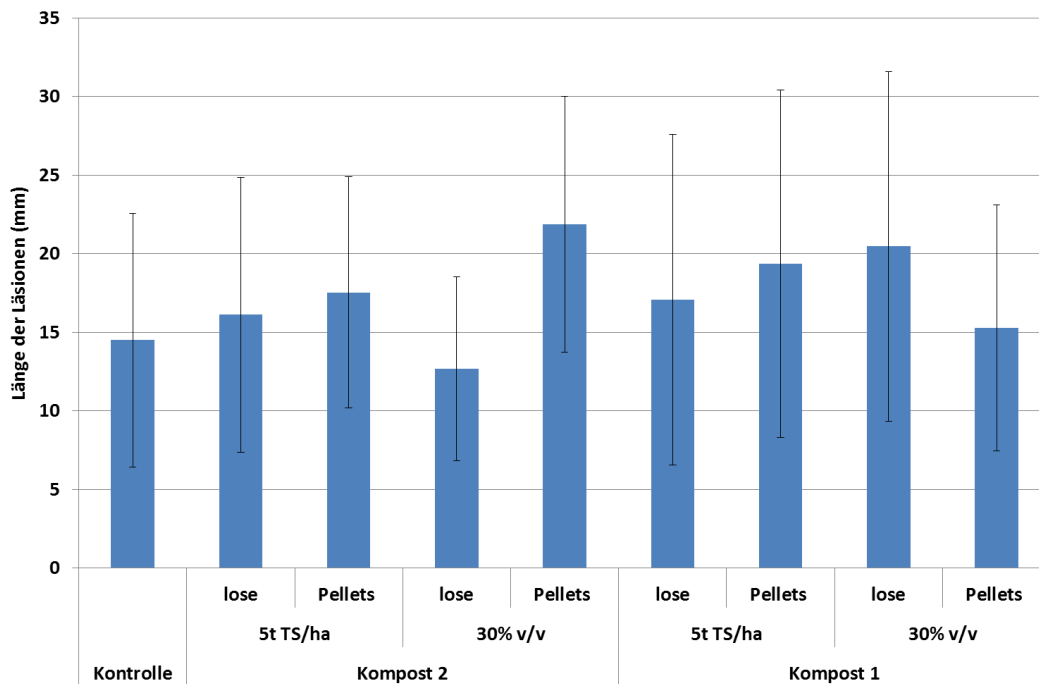
Bei fortgeschrittener Pflanzenentwicklung wurden zur Stabilisierung der Erbsenpflanzen jeweils zwei Tonkinstäbe in die Saatreihe gesteckt.

Die Versuchsdauer betrug 34 Tage. Die Bonituren wurden zu diesem Zeitpunkt durchgeführt.

Die Ergebnisse der Wurzelbonitur (Läsionsausbreitung) sind in Abbildung 114 und die Läsionslänge in Abbildung 115 abgetragen. Die Auswirkungen des hohen Infektionsdrucks zeigten sich im Versuchsergebnis deutlich. So bewirkte nur eine der Kompostvarianten eine Verbesserung der Wurzelgesundheit. Mit einem Anteil von 30 vol % von Kompost 2 konnte eine bessere und absicherbar geringere Läsionsausbreitung festgestellt werden. In der Tendenz zeigte sich dieses Ergebnis auch bei den Läsionslängen. Das Ergebnis war aber aufgrund der hohen Streuungen nicht abzusichern. Pellets hatten weder im 5 t Äquivalent noch mit 30 vol % eine positive Wirkung.



**Abbildung 114: Läsionsausbreitung (LA-Note, Wurzel und Epikotyl) bei simulierter Reihenapplikation von losen und pelletierten Komposten in zwei verschiedenen Aufwandmengen im Vergleich zu Boden ohne Kompostapplikation (natürliche Erregerbelastung). Biotest Nr. 11, n=5 (75 Pflanzen pro Variante), unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede (KruskalWallis,  $p \leq 0,05$ )**



**Abbildung 115: Läsionslänge (mm) bei simulierter Reihenapplikation von losen und pelletierten Komposten in zwei verschiedenen Aufwandmengen im Vergleich zu Boden ohne Kompostapplikation (natürliche Erregerbelastung). Biotest Nr. 11, n=5 (75 Pflanzen pro Variante), Fehlerbalken geben die Standardabweichung an**

### **Suppressive Wirkung von Kompost in natürlich und künstlich infiziertem Boden (Biotest Nr. 12, 13, 14)**

In einem weiteren Testsystem wurde die suppressive Wirkung von Kompost in natürlich und künstlich infiziertem Boden (Biotest Nr. 12, 13, 14) getestet. Es wurde ein sehr gesunder Boden (Holzbeck, Domäne Frankenhausen) eingesetzt, der künstlich sowohl mit dem Erreger *P. ultimum* als auch *P. medicaginis* inokuliert wurde und mit einem Kompostanteil von 30 vol % aufgemischt war. Nach drei Wochen zeigte die oberirdische Biomasse keine Reaktion auf die Infektion mit den jeweiligen Erregern, jedoch wiesen die Wurzeln in dem mit *P. medicaginis* infizierten Biotest (Nr. 14) gut erkennbare Unterschiede in Stärke und Größe der Läsionen zwischen Kompostbeimischung und Kontrollvariante auf (Abbildung 116).

Die Unterschiede zwischen den Wurzeln der infizierten Variante mit Kompostzugabe zeigten im Vergleich zu den Varianten ohne Kompost gute Ergebnisse. So waren die Unterschiede bis auf die höchste Infektionsstufe zwischen den Behandlungen signifikant. Auch in der höchsten Infektionsstufe zeigte sich ein deutlich höherer Anteil von Pflanzen in der Klasse LA 2, jedoch auch einzelne Pflanzen mit höherem Befall, so dass es zu einer stärkeren Streuung kam.

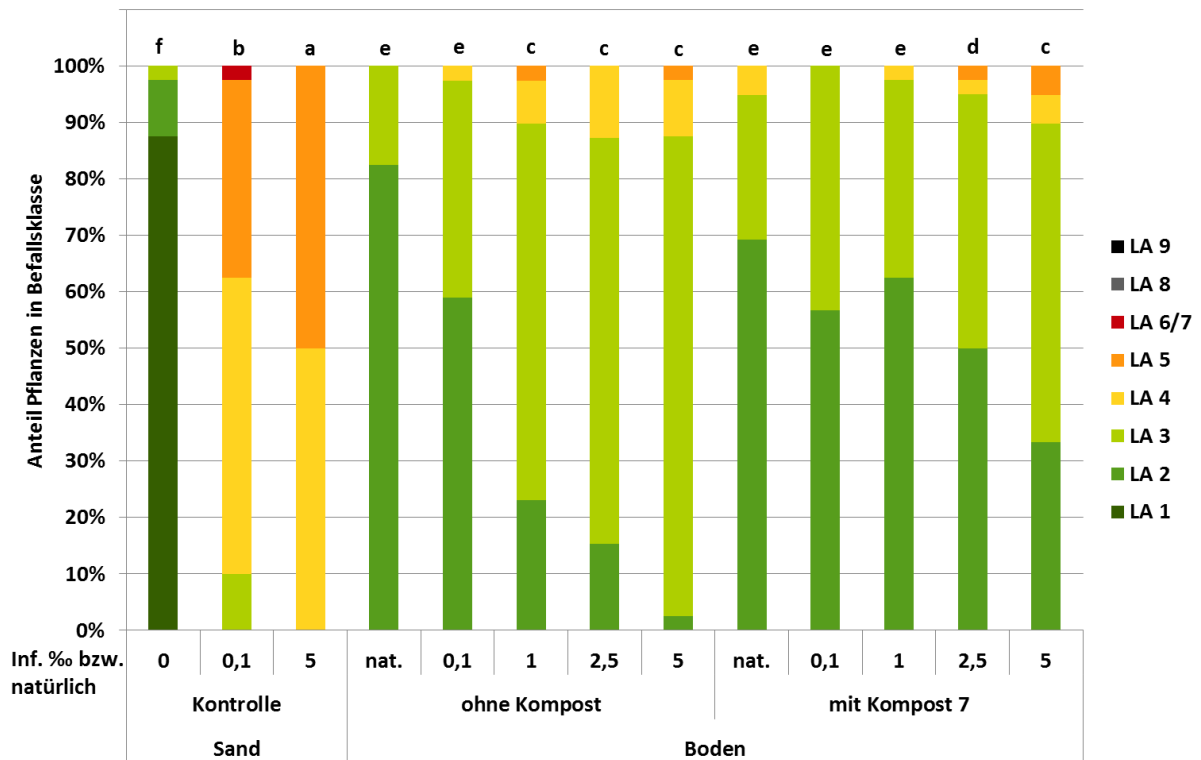


Abbildung 116: Einfluss des suppressiven Potentials eines lose applizierten Bioabfall-Grüngutkompostes (30 v/v%) auf die Läsionsausbreitung (LA-Note; Wurzel und Epikotyl) in vier künstlichen Infektionsstufen mit *P. medicaginis* im Vergleich zur natürlichen Erregerbelastung und zu sterilem Sand. Biotest Nr. 14, n=5 (=40 Pflanzen pro Infektionsstufe), unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede (KruskalWallis,  $p \leq 0,05$ ).

#### 4.4.4 Nachweis des suppressiven Potentials von Komposten in Reihenapplikation in Feldversuchen

Zur Untersuchung der Wirkung von gezielt in die Saatreihe ausgebrachten Komposten (Reihenapplikation) auf den Befall von bodenbürtigen Krankheiten an Erbsen wurden an den Standorten Domäne Frankenhausen und Neu-Eichenberg insgesamt sechs Feldversuche angelegt (Tabelle in Kapitel Material und Methode: Übersicht über die Parzellen-Feldversuche mit Schwerpunkt organische Düngung (Versuchsansätze 1-7). In den ersten beiden Feldversuchen wurde die Kompostapplikation in die maschinell vorgezogenen Saatfurchen von Hand durchgeführt (5-E10 und 5-E11), alle weiteren Versuche wurden mit der vom Fachgebiet Agrartechnik entwickelten Maschine zur Kompostausbringung mit praxisüblicher Drilltechnik angelegt. In zwei der Maschinenversuche wurde die suppressive Wirkung der eingesetzten Komposte an Sommererbsen (6-E11 und 6-F12) und in den anderen beiden an Wintererbsen (7-E12 und 7-F12) getestet.

##### Feldversuch 5-E10

Der Versuch wurde als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen auf dem Schlag Saurasen in Neu-Eichenberg angelegt. Eingesetzt wurden vier Grüngutkomposte (Kompost Nr. 1, 2, 3, 4) in je zwei Aufwandmengen (2,5 und 5 t TM/ha) die von Hand in die maschinell vorgezogenen Saatfurchen eingebracht wurden. Die Sommererbsensorte Santana wurde anschließend mit Parzellentechnik ausgesät (80 Körner/m<sup>2</sup>). Der Versuch wurde sehr spät, am 09.07.2010, angelegt. Eine Wurzelbonitur erfolgte am 17.08.2010 zu Beginn der Blüte (BBCH 62). Aufgrund der späten Versuchsanlage wurde keine Ertragserhebung durchgeführt.

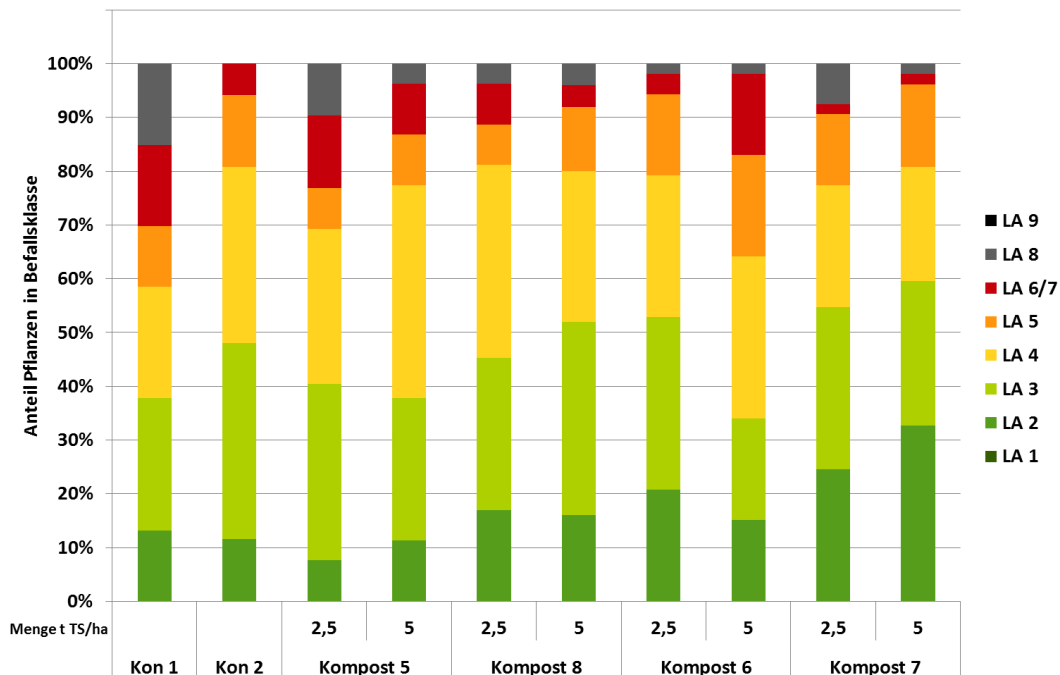
Der Feldschlag Saurasen gehört zu den stark mit bodenbürtigen Krankheiten infizierten Flächen (siehe Kap. 4.2.3.3 Biotest Nr. 11). Die Ergebnisse der Wurzelbonitur zeigten keine eindeutige Wirkung der eingesetzten Komposte. Lediglich in zwei Wiederholungen der hohen Aufwandmenge (5 t TM/ha) des Komposten Nr. 1 sowie in jeweils einer Wiederholung beider Aufwandmengen des Kompostes Nr. 3 wurden gesunde Pflanzen mit Anteilen zwischen rund 5 % und 14,3 % gefunden (statistisch nicht absicherbar). Betrachtet man jedoch die Lage der Parzellen in den gesünderen Wiederholungen, so scheint der Haupteinfluss von den standörtlichen Gegebenheiten auszugehen.

##### Feldversuche 5-E11 (Teilanger 2) und 6-E11 (Maschinenversuch, Teilanger 7)

Im Jahr 2011 wurden am Standort Neu-Eichenberg zwei weitere Feldversuche zur Untersuchung des suppressiven Potentials von Komposten in Reihenapplikation mit Sommererbsen angelegt. Der erste Versuch (5-E11) wurde auf dem Feldschlag Teilanger 2 als randomisierte Blockanlage mit fünf Wiederholungen angelegt. Eingesetzt wurden vier Grüngutkomposte (Kompost Nr. 5, 6, 7, 8) in je zwei Aufwandmengen (2,5 und 5 t TM/ha) die wie 2010 von Hand in die maschinell vorgezogenen Saatfurchen eingebracht wurden. Die Sommererbsensorte Santana wurde mit Parzellentechnik ausgesät (80 Körner/m<sup>2</sup>). Die Anzahl der Kontrollen wurde auf 10 verdoppelt, insgesamt umfasste der Versuch 50 Kleinparzellen à 1,5 x 4,75 m. Der zweite Versuch (6-E11) wurde mit der vom Fachgebiet Agrartechnik entwickelten Maschine zur Kompostausbringung mit praxisüblicher Sätechnik auf dem Feldschlag Teilanger 7 angelegt. Es kam ein Kompost (Kompost Nr. 8) in der höheren Aufwandmenge von 5 t TM/ha zum Einsatz. Der Versuch wurde als randomisierte Blockanlage mit acht Wiederholungen und insgesamt 16 Parzellen (1,7 x 12 m) angelegt. Ursprünglich waren zwei Komposte in zwei Aufwandmengen geplant, was aber aus maschinentechnischen

Gründen vor Ort nicht realisiert werden konnte. Der Krankheitsdruck mit pilzlichen Fußkrankheitserregern von Erbsen war auf beiden Standorten moderat bis hoch.

Die Feldversuche in Neu-Eichenberg wurden am 27.04.2011 (5-E11) und am 26.05.2011 (6-E11) angelegt. In Versuch 5-E11 wurden am 28.06.2011 aus jeder Parzelle und in 6-E11 am 17.08.2011 aus je vier Kompost- und Kontroll-Parzellen Pflanzenproben für die Krankheitsbonitur im Wurzelbereich gezogen. Die Pflanzenentwicklung befand sich an beiden Probennahmetermen im Stadium der abgehenden Blüte. Die Haupternte zur Erfassung der Erträge und weiterer Ernteparameter erfolgte in Versuch 5-E11 per Hand auf einer Fläche von 0,6 m<sup>2</sup> pro Parzelle. Der Maschinenversuch wurde aufgrund der späten Aussaat nicht beerntet.

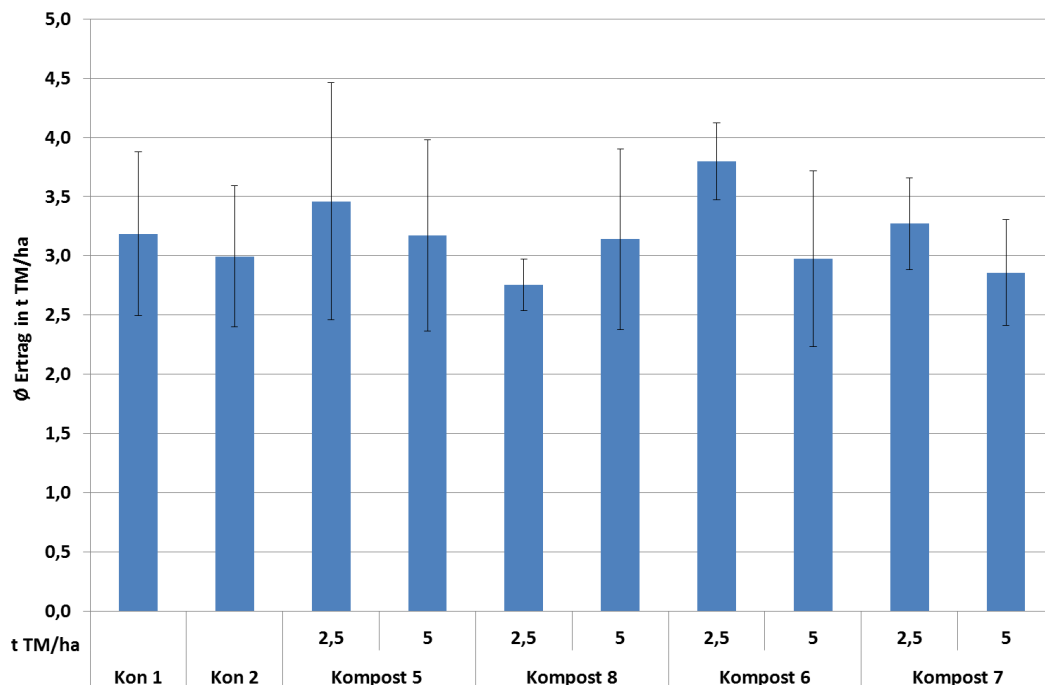


**Abbildung 117: Läsionsausbreitung an Erbsenwurzeln und Epikotyl in Abhängigkeit von Kompostart und Aufwandmenge (2,5 und 5 t TM/ha) als Reihenapplikation ausgebracht. Kon1 und 2 = Kontrolle ohne Kompost, K1 bis K4 = 4 verschiedene Grüngutkomposte unterschiedlichen Alters und Herkunft. Versuch 5-E11, (n = 5)**

Der Standort Teilerger 2 gehört zu den stark mit bodenbürtigen Krankheiten infizierten Flächen. Die Infektionsherde treten aber nicht gleichmäßig auf sondern oftmals Nesterweise. Wie schon zum vorhergehenden Versuch erläutert, kommt es daher oft zu sehr starken Streuung zwischen den Blöcken. Dies zeigt sich auch anhand der Kontrollvariante 1 (Abbildung 117) es wird aber außerdem deutlich, dass kleinräumige Verhältnisse den Befall beeinflussen können wie sich dies aus der Kontrolle 2 ergibt. Diese zusätzliche Kontrolle wurde mit in den Versuch aufgenommen, da damit ein besseres Design des Versuches verwirklicht werden konnte. Beide Kontrollen unterscheiden sich insbesondere in den Klassen 5 – 8, die Kontrolle 2 repräsentiert gesündere Parzellen als teilweise auch in den Kompostvarianten. Im Vergleich der Komposte zeigt insbesondere der Kompost Nr. 7 eine Verbesserung gegenüber Kontrolle 1 und in Bezug auf die deutlich höhere Anzahl von Pflanzen in Klasse 2 und 3, während die übrigen Komposte auf dem Niveau der Kontrolle 1 liegen. Dies korrespondierte mit dem Ergebnis aus dem Kompostscreening unter kontrollierten Bedingungen, das den Kompost 7 als sehr guten Kompost ausgewiesen hatte. Eine gewisse Ausnahme machen Kompost Nr. 8 mit 5 t TM/ha sowie Kompost Nr. 6 in der geringeren Aufwandmenge (2,5 t TM/ha). Kompost Nr. 6 ist aber in



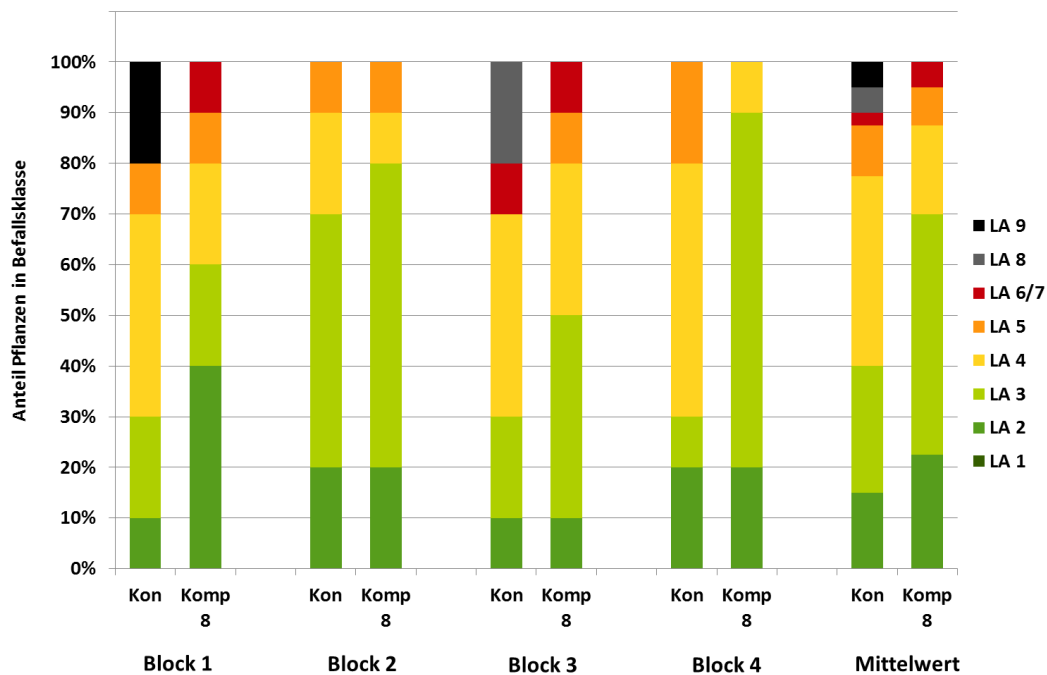
seiner Wirkung inkonsistent, da der Kompost in der höheren Menge keinen Effekt zeigte. Die Erträge konnten durch die Kompostbehandlung nicht nennenswert verbessert werden; es zeigen sich teilweise auch widersprüchliche Verhältnisse bzw. die Ertragswerte liegen im Bereich der Streuung (Abbildung 118).



**Abbildung 118: Erbsenerträge in Abhängigkeit von Kompostart und Aufwandmenge (2,5 und 5 t TM/ha) als Reihenapplikation ausgebracht. Kon1 und 2 = Kontrolle ohne Kompost, K1 bis K4 = 4 verschiedene Grüngutkomposte unterschiedlichen Alters und Herkunft. Versuch 5-E11 (n=5), die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an.**

Die per Hand ausgebrachten Komposte in vorgezogenen Furchen entsprachen nicht der späteren Technik mit der Reihenapplikationsmaschine, die erst im Sommer 2011 soweit erfolgreich entwickelt war, dass eine maschinelle Versuchsanlage erfolgen konnte. Insofern kamen in den Jahren 2010 und 2011 mehrere ungünstige Punkte zusammen (Schlagheterogenität bei hohem Inokulum, unzulängliche Applikationstechnik) die letztlich mit zu den geringen Erfolgen geführt haben dürften.

In dem weiteren Feldversuch 6-E11 auf dem Schlag Teilanger in Eichenberg wurde die vom Fachgebiet Agrartechnik entwickelte Maschine zur Reihenapplikation von Komposten erstmals eingesetzt (siehe Kapitel 4.4.1). Im Gegensatz zu dem Ergebnis des o. g. Feldversuches, bei welchem die Reihenapplikation per Hand vorgenommen werden musste und das Säschar im Zuge der Aussaat durch das Kompostbett streift, wird das Saatkorn im Fall der maschinellen Applikation des Kompostes nach der bisher vorliegenden Technik in das Kompostbett gelegt und keimt dort, ohne dass es zunächst mit dem Boden in Berührung kommt. Offensichtlich hatte der Kompost, derart exakt und konzentriert ausgebracht, einen klaren Effekt auf den Gesundheitszustand der Wurzeln. Dies geht aus der Abbildung 119 hervor. Sowohl im Mittel als auch bezogen auf die einzelnen Blöcke zeigt sich der Komposteinfluss deutlich. Allerdings werden auch der Standorteinfluss bzw. die starken kleinräumigen Einflüsse in den einzelnen Blöcken offenbar. Daher war es eine geeignete Maßnahme, die Kontroll- und Kompostparzellen paarweise anzulegen und damit einen direkten Vergleich zwischen Kompost und Kontrolle vorzunehmen.



**Abbildung 119: Läsionsausbreitung an Erbsenwurzeln und Epikotyl in Abhängigkeit der Reihenapplikation von Kompost mit einer Aufwandmenge von 5 t TM/ha. Ergebnisse aus Transekten aus 4 Blöcken und deren Mittelwert. Versuch 6-E11 (n=4)**

### Feldversuch 7-E12 – Demonstrationsversuch mit Wintererbsen

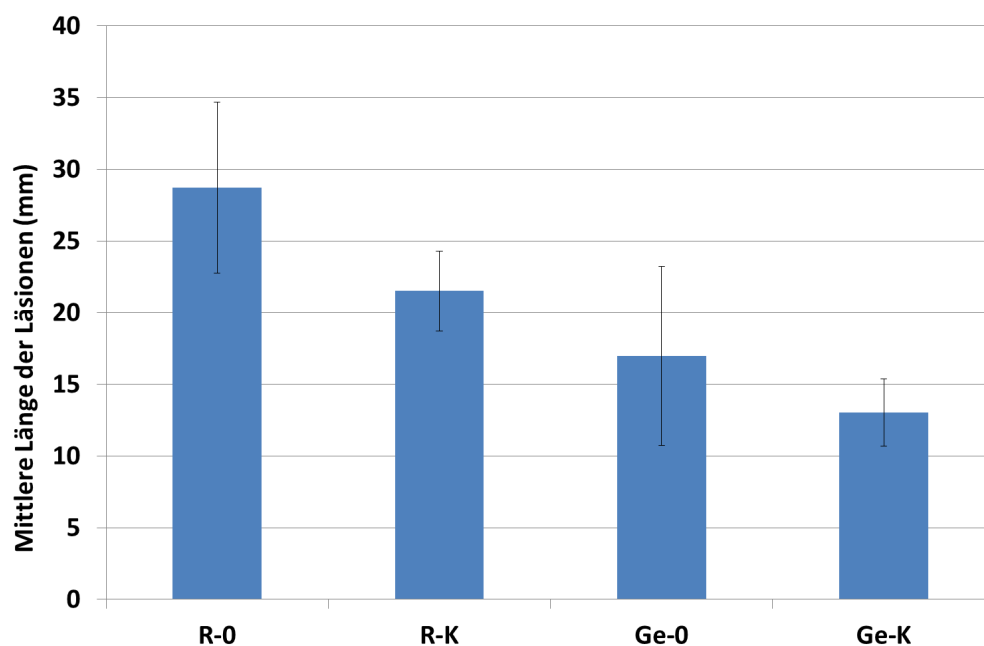
Im Rahmen der Projektverlängerung im Jahr 2012 erfolgte die Anlage eines Demonstrationsversuches mit Wintererbsen im Herbst 2011. Ziel dieses Versuches war es, die Wirkung von gezielt in die Saatreihe ausgebrachtem Grüngutkompost (Reihenapplikation) auf den Befall von bodenbürtigen Krankheiten und den Ertrag bei Wintererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Triticale zu überprüfen, um die positiven Eigenschaften der Kompostapplikation mit einer geringeren Anfälligkeit von Wintererbsen zu kombinieren.

Der Praxisversuch in Eichenberg wurde als 2-faktorielle Spaltanlage in vierfacher Wiederholung angelegt (Faktor A: Kultur (A1: Wintererbse Reinsaat, A2: Wintererbse-Triticale-Gemenge), Faktor B: Kompost (B1: kein Kompost, B2: 5 t TM/ha in Saatreihe) und umfasste 16 Parzellen mit einer Größe von 10 m x 1,5 m (17 m<sup>2</sup>). Die Reihenapplikation des Grüngutkompostes (Kompost Nr. 11) bei zeitgleicher Aussaat wurde mit der vom Fachgebiet Agrartechnik entwickelten Maschine mit praxisüblicher Drilltechnik bewerkstelligt. Der Versuch wurde am 05.10.2011 mit einer Aussaatstärke in Reinsaat von 80 Körner/m<sup>2</sup> angelegt; im Gemenge wurden 50 Körner/m<sup>2</sup> Wintererbsen und 100 Körner/m<sup>2</sup> Triticale ausgesät. Der Reihenabstand betrug 37,5 cm. Gedroschen wurde am 03.08.2012 auf je einer Teilfläche von 9 m<sup>2</sup>.

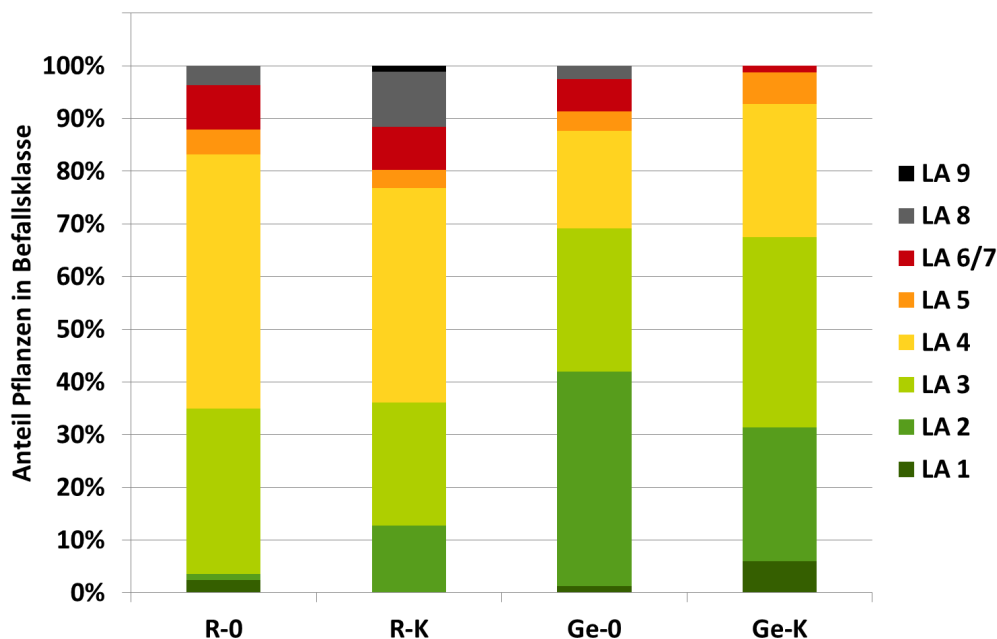
Kennzeichnend für das späte Frühjahr 2012 waren extreme Kahlfröste, welche zu fast 100 %-igen Auswinterungsschäden in den Reinsaaten des Feldversuchs geführt haben. Auf die Ertragsbildung hatte dies zur Folge, dass die Erbsenpflanzen im Gemenge mit Triticale besser vor dem Frost geschützt waren und gegenüber der Reinsaat Mehrerträge zwischen 16,6 und 17,0 dt/ha unabhängig Komposteinsatz erzielt haben. Die Erträge in Reinsaat lagen auf sehr geringem Niveau (3,4 dt/ha in den Kontrollen, 2,5 dt/ha in den Kompostparzellen). Die Kompostapplikation hatte weder in Reinsaat noch im Gemenge einen Einfluss auf den Ertrag.

Interessanterweise zeigten sich aber Komposteffekte im Befallsstatus mit bodenbürtigen Krankheitserregern an den Wurzeln. Die Länge der Wurzelläsionen war durch den Komposteinsatz deutlich kürzer; zusätzlich waren die Wurzeln der Erbsen im Gemenge gesünder als in der Reinsaat (Abbildung 120), wobei aufgrund des extremen Frostes im Frühjahr 2012 die Pflanzen auch durch abiotische Schäden stark angegriffen waren und Sekundärinfektionen herbeiführten. So waren auch die Boniturnoten für die Wurzelschäden nicht konsistent und auch nicht in enger Beziehung zu den Läsionslängen. Während für das Gemenge mit Kompost gesündere Pflanzen im Vergleich zu den Kontrollen gefunden werden konnten, ergab sich für die Reinsaat mit Kompost ein höherer Anteil stark geschädigter Wurzeln als in den Kontrollen (Abbildung 121).

Inwieweit sich gesündere Wurzeln auf bessere N-Fixierungsleistungen und damit auch ggf. auf höhere Erträge in den Nachfrüchten auswirken kann, konnte nicht untersucht werden. An dieser Stelle soll aber bemerkt werden, dass durchaus Ertragsteigerungen in den Versuchen mit Winterweizen-Nachfrucht nach Flächenapplikation von organischen Düngern zu Leguminosen ermittelt werden konnten (siehe in Kapitel 4.3.1), obwohl keine Unterschiede im Ertrag der Leguminose zwischen organischer Düngung und Kontrolle erzielt werden konnten.



**Abbildung 120: Läsionslängen (mm) an Erbsenwurzeln und Epikotyl in Abhängigkeit der Reihenapplikation von Kompost mit einer Aufwandmenge von 5 t TM/ha bei Wintererbse-Reinsaat (R) und Wintererbse im Gemenge mit Triticale (Ge). 0 = Kontrolle, K = mit Kompost. Versuch 7-E12, n=4**



**Abbildung 121: Läsionsausbreitung an Erbsenwurzeln und Epikotyl in Abhängigkeit der Reihenapplikation von Kompost mit einer Aufwandmenge von 5 t TM/ha bei Wintererbse-Reinsaat (R) und Wintererbse im Gemenge mit Triticale (Ge). 0 = Kontrolle, K = mit Kompost. Versuch 7-E12, n=4**

### Feldversuch 7-F12 – Einsatz von Grüngutkompost in Reihen- versus Flächenapplikation zur Kontrolle bodenbürtiger Krankheiten bei Wintererbse

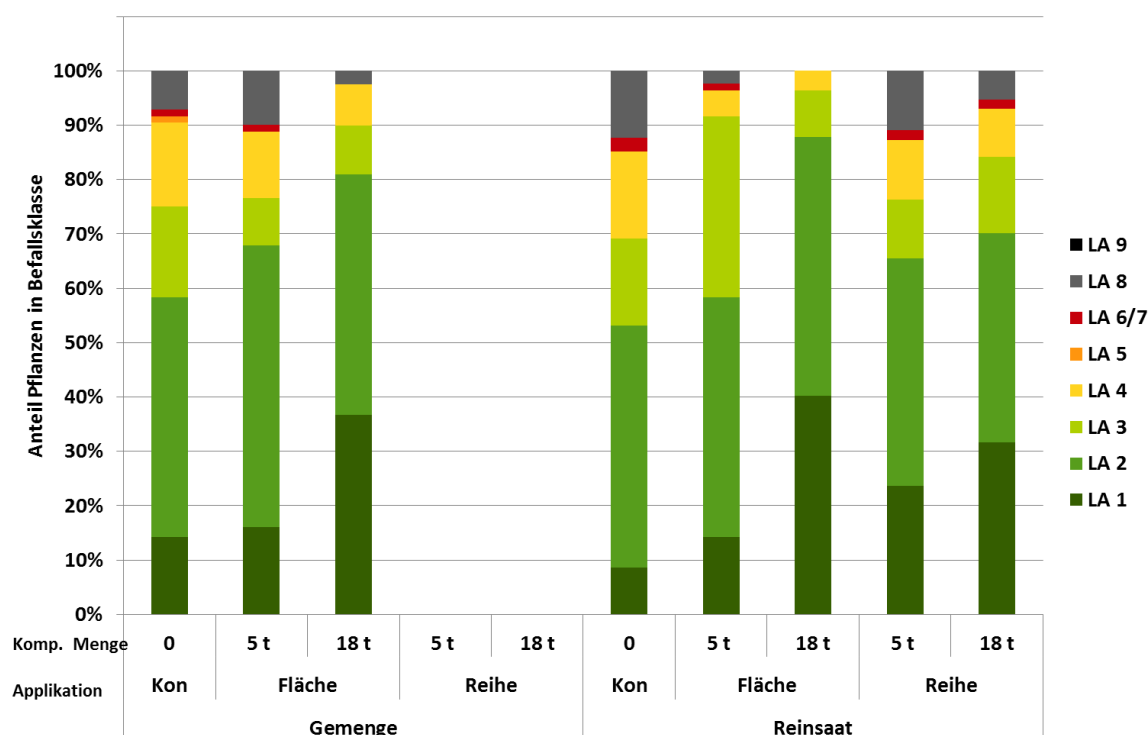
Unter ähnlich schlechten Voraussetzungen wie für Versuch 7-E12 beschrieben, erfolgte die Anlage des Feldversuches 7-F12; es sollte die Wirkung von Grüngutkompost in unterschiedlichen Aufwandmengen auf den Befall von bodenbürtigen Krankheiten und Ertrag bei Wintererbse in Reinsaat und im Gemenge mit Triticale geklärt werden und zwar sowohl bei flächiger als auch bei gezielter Düngung in die Saatreihe.

Der Feldversuch wurde in Frankenhausen relativ spät nach einer 14-tägigen Regenperiode am 17.10.2011 als 2-faktorielle Spaltanlage mit vier Wiederholungen angelegt werden (Faktor A: Kultur (A1: Wintererbse Reinsaat. A2: Wintererbse-Triticale-Gemenge), Faktor B: Kompost (B1: kein Kompost, B2: 5 t TM/ha flächig, B3: 18 t TM/ha flächig, B4: 5 t TM/ha in Saatreihe, B5: 18 t TM/ha in Saatreihe). Der Versuch umfasste 40 Parzellen die aus platztechnischen Gründen nur mit einer Größe von jeweils 9 x 1,5 m (15,3 m<sup>2</sup>) realisiert werden konnten. Die flächige Ausbringung des Grüngutkompostes erfolgte von Hand und wurde vor der Aussaat mit der Kreiselegge flach (ca. 10 cm) eingearbeitet. Eingesetzt wurde Kompost Nr. 10.

Die Reihenapplikation des Kompostes wurde mit der vom Fachgebiet Agrartechnik entwickelten Maschine parallel zur Aussaat mit praxisüblicher Drilltechnik durchgeführt. Die Aussaatstärke betrug in Reinsaat 80 Körner/m<sup>2</sup>, im Gemenge 50 Körner/m<sup>2</sup> Wintererbse und 100 Körner/m<sup>2</sup> Triticale. Der Reihenabstand betrug 37,5 cm. Die Aussaat auf den Parzellen mit flächig ausgebrachtem Kompost erfolgte mit derselben Maschine nur ohne Kompostzulauf. Leider ging im Zuge der Aussaat der Antrieb für die Dosierschnecke zu Bruch. Da eine schnelle Reparatur aufgrund von Schwierigkeiten bei der Beschaffung des Antriebes sowie ein Aufschub aufgrund der Wetterbedingungen nicht möglich war, konnte die Reihenapplikation im Gemenge sowie für die vierte Wiederholung bei Reinsaat nicht erfolgen. Eine Ausgleichsdüngung der Kontrollparzellen wurde nicht vorgenommen. Die Ernte erfolgte am 01.08.2012 per Hand.

Die Kahlfröste im Frühjahr 2012 wirkten sich sehr negativ auf den Ertrag der Wintererbse insbesondere in der Reinsaat aus. Es wurden Erträge von nicht einmal 10 dt/ ha erzielt, eine positive Tendenz durch die Kompostapplikation zeigte sich, wobei die Flächenapplikation sich günstiger als die Reihenapplikation auswirkte. Im Gemenge wurden Triticaleerträge von nur 35 dt/ha gedroschen, was etwa nur die Hälfte der Erträge eines normalen Jahres am Standort Frankenhausen beträgt. Die Erbsenerträge lagen zwischen 10 dt/ha (Kontrolle) bis 12 dt/ha (18 t Kompost/ha). Signifikante Effekte konnten nicht ermittelt werden.

Zumindest zeigten sich in den Bonituren der Wurzeln bei allen Vorbehalten aufgrund der schlechten Voraussetzungen positive Effekte hinsichtlich der Kompostmenge sowohl im Gemenge als auch in der Reinsaat. Warum sich in der Reihenapplikation ca. 10 % hochbefallenen Pflanzen befanden, war nicht zu klären. Hier könnten Stressfaktoren wie die Kahlfröste oder Unverträglichkeiten durch eine zu hohe Kompostkonzentration die Ursache gewesen sein. Dies zu klären muss aber weiteren Arbeiten vorbehalten bleiben.



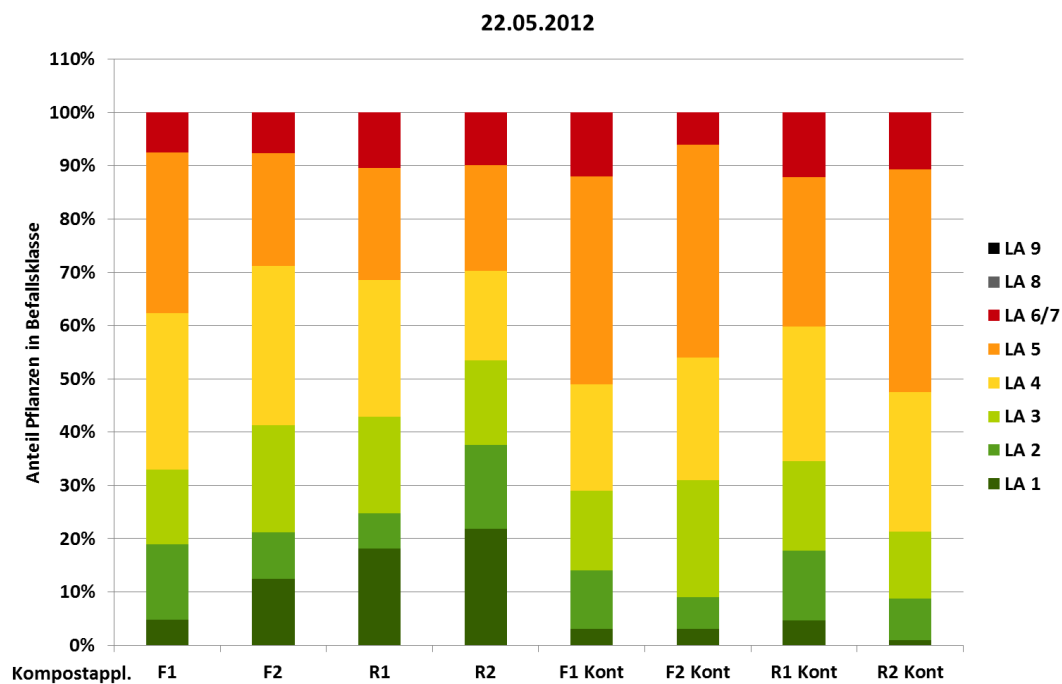
**Abbildung 122: Läsionsausbreitung an Erbsenwurzeln und Epikotyl in Abhängigkeit von einer Reihen- oder Flächenapplikation von Kompost mit einer Aufwandmenge von 5 t TM/ha bzw. 18 t TM/ha bei Wintererbse-Reinsaat (R) und Wintererbse im Gemenge mit Triticale (Ge). 0 = Kontrolle, K = mit Kompost.**

### Feldversuch 6-F12 – Einsatz von Grüngutkompost in Reihen- versus Flächenapplikation zur Kontrolle bodenbürtiger Krankheiten bei Sommererbse

Aufgrund des Maschinenschadens bei der Anlage des Wintererbseversuchs in Frankenhausen (7-F12), dadurch bedingter Variantenausfälle sowie der Schäden, die durch die massiven Kahlfröste im Frühjahr 2012 an den Wintererbse auftraten, wurde kurzfristig ein weiterer Feldversuch mit Sommererbse in das Programm aufgenommen, um die Datengrundlage nicht zu gefährden. Angelegt wurde dieser 3-faktorielle Feldversuch als Lateinisches Rechteck in vierfacher Wiederholung mit 32 Parzellen à 9 x 1,5 m (Faktor A: Ausbringart des Kompostes (Fläche, Reihe), Faktor B: Kompostmenge (5 t/ha, 18 t/ha), Faktor C: Kontrolle (ja = min.

Düngung äquivalent zum jeweiligen P&K-Transfer über den Kompost, nein = Kompost), d. h., jede Parzelle mit Kompostanwendung erhielt eine direkte Nachbarparzelle ohne Kompost (Kontrolle) mit entsprechender P&K-Aufdüngung. Dadurch ist es möglich, die durchaus kleinräumig auftretenden Unterschiede der Wurzelschädigungen durch bodenbürtige Schaderreger aussagekräftig auf die Kompostwirkung der entsprechenden Varianten zu beziehen. Die Kompostapplikation und Aussaat erfolgte wie im Feldversuch 7-F12. Die Ernte wurde am 27.07.2012 von Hand durchgeführt.

Die Ergebnisse dieses Versuches zeigten eine Abhängigkeit von der Kompostapplikation. In der Bonitur vom 22.5.2012 ergab sich, dass im Vergleich zu den jeweiligen Kontrollen ohne Kompost ein Anstieg in der Anzahl gesunder Pflanzen mit zunehmender Kompostmenge und mit der Applikationsart auftrat. Die Reihenapplikation hat hier deutliche Vorteile und konnte den Anteil der gesunden Pflanzen im Vergleich zu den Kontrollen um ca. 30 % steigern, im Vergleich zur Flächenapplikation um 10 % (Abbildung 123). Ein Monat später hatten sich diese Effekte abgeschwächt, waren aber in der Tendenz noch zu erkennen (Abbildung 124). Die Ertragswirkung war nicht sehr hoch sondern lag bei etwa 10 % durch die Kompostapplikation im Vergleich zur Kontrolle, die Reihenapplikation erzielte in der niedrigen Aufwandmenge einen höheren Ertrag als in der hohen Menge. Es müsste dahingehend untersucht werden, ob ggf. eine Unverträglichkeit des Kompostes in dieser hohen Menge die Ursache gewesen ist.



**Abbildung 123: Läsionsausbreitung an Erbsenwurzeln und Epikotyl in Abhängigkeit von einer Reihen- (R) oder Flächenapplikation (F) von Kompost in 2 Aufwandmengen (5 t TM/ha (1) und 18t TM/ha (2)) verglichen mit unbehandelten Kontrolle (Kont); die Kontrollparzellen lagen in unmittelbarer Nachbarschaft zur jeweiligen Behandlung (n=4); Boniturtermin 1**



22.06.2012

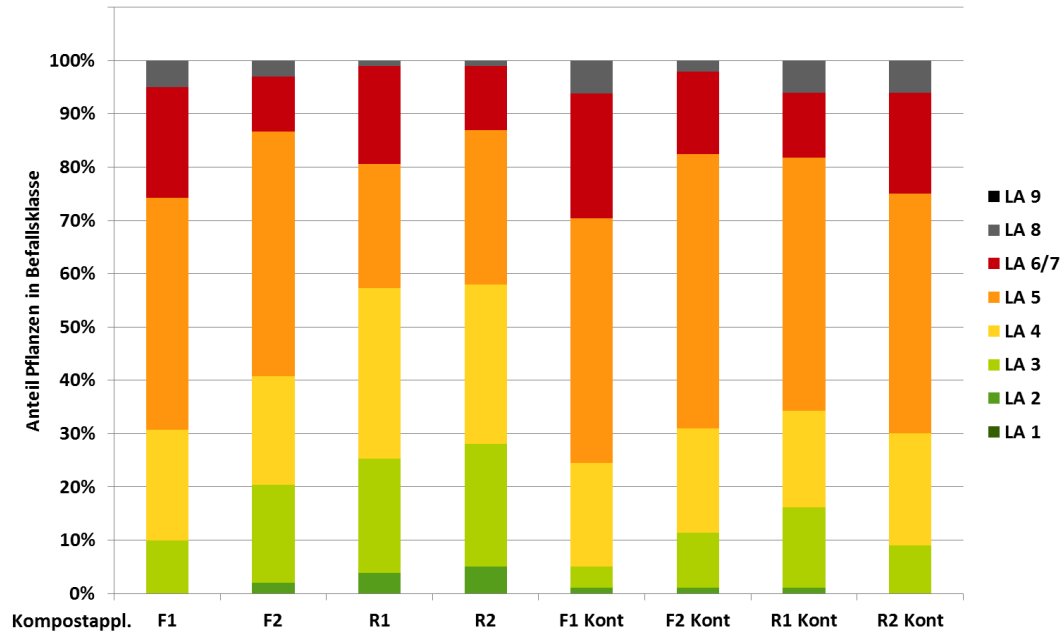


Abbildung 124: Läsionsausbreitung an Erbsenwurzeln und Epikotyl in Abhängigkeit von einer Reihen- (R) oder Flächenapplikation (F) von Kompost in 2 Aufwandmengen (5 t TM/ha (1) und 18t TM/ha (2)) verglichen mit unbehandelten Kontrolle (Kont); die Kontrollparzellen lagen in unmittelbarer Nachbarschaft zur jeweiligen Behandlung (n=4); Boniturtermin 2

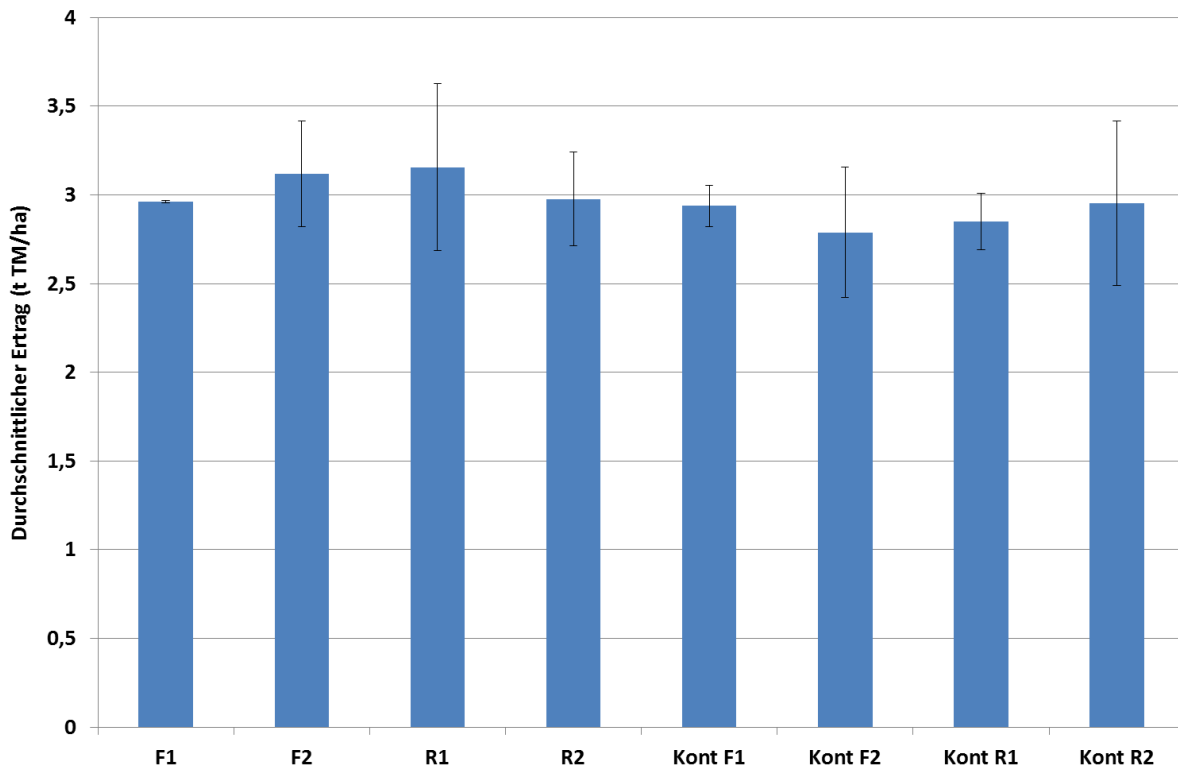


Abbildung 125: Erträge von Erbsen in Abhängigkeit von einer Reihen- (R) oder Flächenapplikation (F) von Kompost in 2 Aufwandmengen (5 t TM/ha (1) und 18t TM/ha (2)) verglichen mit unbehandelten Kontrolle (Kont); die Kontrollparzellen lagen in unmittelbarer Nachbarschaft zur jeweiligen Behandlung (n=4)

## Schlußfolgerung

Die Untersuchungen zu suppressiven Effekten von Komposten gegenüber bodenbürtigen Krankheiten an der Erbse haben unter kontrollierten Bedingungen zu sehr positiven Ergebnissen geführt, die gezeigt haben, dass Komposte ein hohes Potential zur Kontrolle dieser Krankheiten besitzen. Prinzipielle suppressive Wirkungen von Komposten zeigten sich gegenüber Vertretern des Ascochyta-Komplexes (*Phoma medicaginis*, *Mycosphaerella pinodes*) sowie Fusarien. Positive Effekte zur Krankheitskontrolle unter Feldbedingungen zeigten sich insbesondere bei gezielter Ausbringung am „Hot spot“. Die Entwicklung und Erprobung der Reihenapplikation hat hier positive Effekte deutlich machen können. Die Komposte zeigten aber in diesen Untersuchungen nicht immer klare Ertragseffekte, sondern aus anderen Versuchen, die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden, kann abgeleitet werden, dass auch bei relative geringen Ertragswirkungen in den Leguminosen, gute Ertragswirkungen in den Nachfrüchten erzielt werden. Dies ist offenbar eng mit guter Etablierung der Erbsen oder guten N-Fixierungsraten verbunden, was sich nur bei entsprechen gute Bodenbedingungen realisieren lässt. Dazu gehören sicherlich die möglichst geringe Belastung der Wurzel und gute Voraussetzungen für eine hohe Nodulationsrate der Leguminose. Das macht deutlich, dass Kompostwirkungen sehr vielschichtig sind. Für die Kontrolle von bodenbürtigen Krankheiten sind neben ein gute Versorgung mit organischer Substanz vor allem die Beachtung der Anbaupausen zu nennen. Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich Indikatoren für suppressive Komposte (Herstellung, Kompostierungsprozess, Anwendung).

## 4.5 Workpackage 3: Gemengeanbau und Bodenbearbeitung

### 4.5.1 Gemengeanbau von Sommererbsen bei flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung und mechanischer Bodenbelastung (Versuchsansätze: 8 + 9)

Die Versuchsansätze 8 + 9 beinhalteten die Faktoren Gemengeanbau von Sommererbsen (Sommererbsen Reinsaat, Sommererbsen-Hafer-Gemenge und Hafer-Reinsaat), mechanische Bodenbelastung (0 t; 2,6 t und 4,6 t in Versuchsansatz 8 bzw. 0 t und 4,6 t in Versuchsansatz 9) sowie Bodenbearbeitung (flach- und tiefwendend). Die Versuche von Versuchsansatz 8 wurden gleichzeitig an den Standorten Trenthorst (8-T09, 8-T10) und Köllitsch (8-K09, 8-K10) in den Jahren 2009 und 2010 durchgeführt. Versuchsansatz 9 wurde in denselben Jahren am Standort Trenthorst untersucht (9-T09, 9-T19). Als Nachfrucht wurde auf allen Versuchsflächen Weizen angebaut.

#### 4.5.1.1 Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren 2009 und 2010

Die Witterungsbedingungen an den beiden Standorten wichen während der Vegetationsperioden 2009 und 2010 deutlich vom langjährigen Mittel ab. Während die Monate Juni 2009 und Mai 2010 kälter als das langjährige Mittel waren, lagen die Durchschnittstemperaturen in allen anderen Monaten bis zur Ernte über dem langjährigen Durchschnitt (Tabelle 120). Der Zeitraum von Saat bis Ernte war damit deutlich wärmer als normal, mit Ausnahme des Standortes Köllitsch im Jahr 2010. Die Niederschlagsmengen fielen am Standort Köllitsch in beiden Versuchsjahren im Vergleich zum langjährigen Mittel etwas geringer aus. Am Standort Trenthorst hingegen war das Jahr 2009 deutlich trockener und das Jahr 2010 bedingt durch extreme Regenmengen im August deutlich nasser als üblich.

**Tabelle 120: Witterungsbedingungen während der Vegetationsperioden 2009 und 2010 und ihre Abweichung vom langjährigen Mittel am Standort Köllitsch und Trenthorst**

Jahr	Monat/ Periode	Köllitsch				Trenthorst			
		Luft- temperatur °C		Niederschlag mm		Luft- temperatur °C		Niederschlag mm	
		Mittel	Abwei- chung	Ge- samt	Abwei- chung	Mittel	Abwei- chung	Ge- samt	Abwei- chung
2009	April	12.2	+3.8	9	- 27	11.5	+3.8	10	- 33
	Mai	14.4	+0.7	54	+ 1	12.8	+0.4	35	- 6
	Juni	15.6	-0.9	45	- 9	14.1	-0.9	54	- 18
	Juli	19.0	+0.6	91	+ 25	18.2	+0.9	72	- 13
	August	19.7	+1.6	75	+ 9	18.9	+2.0	19	- 58
	Saat- Ernte	15.8	+1.5	199	- 12	15.2	+1.1	168	-151
2010	April	8.9	+0.5	31	- 5	10.6	+2.9	19	- 25
	Mai	11.3	-2.4	100	+ 46	11.3	-1.1	97	+ 56
	Juni	16.6	+0.1	11	- 43	15.5	+0.5	73	0
	Juli	21.4	+3.0	63	- 4	19.8	+2.5	11	- 74
	August	17.9	-0.2	180	+114	17.1	+0.2	189	+112
	Saat- Ernte	14.4	+0.1	197	- 14	15.7	+1.6	375	+ 56

## 4.5.1.2 Physikalische und biologische Bodenbedingungen

### Lagerungsdichte und Luftkapazität

Der Standort Köllitsch wies in beiden Versuchsjahren eine signifikant höhere Lagerungsdichte und eine geringere Luftkapazität auf als der Standort Trenthorst (Tabelle 121), was die unterschiedlichen Bodenbedingungen an den Standorten widerspiegelt. Die flachwendende Bodenbearbeitung führte im Jahr 2009 zu einer signifikant höheren Lagerungsdichte, während 2010 keine Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen festzustellen waren. Die Luftkapazität hingegen war im Jahr 2009 in der Tendenz geringer, im Jahr 2010 aber signifikant höher nach flachwendender Bodenbearbeitung. Diese uneinheitlichen Effekte der Bodenbearbeitung auf die Lagerungsdichte decken sich mit Ergebnissen von BØRRESEN & NJØS (1994), die im Tiefenbereich 13-17 cm signifikant höhere, geringere oder gleiche Lagerungsdichten nach flachwendender Bearbeitung bis in zwölf cm Bodentiefe im Vergleich zur tiefwendenden Bodenbearbeitung bis in 24 cm Bodentiefe fanden. Die Ergebnisse anderer Autoren zeigen ebenfalls keine signifikanten Unterschiede der Lagerungsdichte und der Luftkapazität im Bereich 13-17 cm nach flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung bis in eine Tiefe von 10 bzw. 30 cm (RILEY & EKEBERG 1998). Eine Zunahme der mechanischen Bodenbelastung bewirkte einen Anstieg der Lagerungsdichte sowie eine tendenzielle (2009) oder signifikante (2010) Abnahme der Luftkapazität. Dennoch lagen die Werte der Lagerungsdichte und der Luftkapazität in allen Kombinationen von Bodenbearbeitung und Bodenbelastung unterhalb einer Lagerungsdichte von 1,75-1,80 g/cm<sup>3</sup> in lehmigen Sand- bzw. 1,60-1,70 g/cm<sup>3</sup> in sandigen Lehmböden und oberhalb einer Luftkapazität von 10 %, die jeweils für das Pflanzenwachstum als kritisch angesehen werden (HAZELTON & MURPHY 2007; USDA-NRCS 1996). Lediglich die Luftkapazität am Standort Köllitsch im Jahr 2010 lag mit 7,6 % in einem kritischen Bereich. Die Ergebnisse des Versuchsansatzes 9 am Standort Trenthorst (9-T09, 9-T10) decken sich mit denen der Versuche 8-T09 und 8-T10.

**Tabelle 121: Einfluss von Standort, Bodenbearbeitung und mechanischer Bodenbelastung auf die Lagerungsdichte und die Luftkapazität im Tiefenbereich 10-15 cm in 2009 (Versuche 8-T09, 8-K09) und 2010 (Versuche 8-T10, 8-K10).**

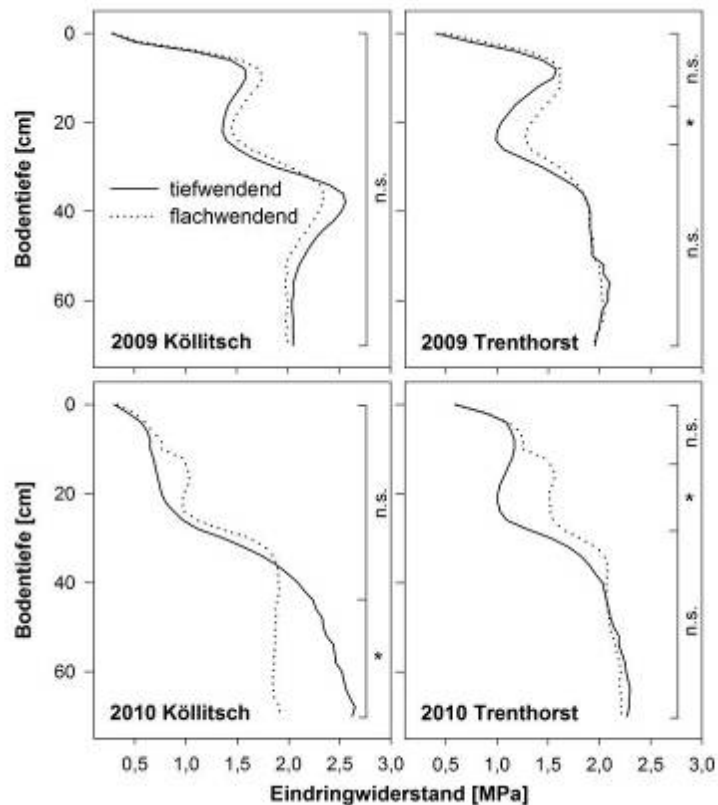
Versuchsfaktor	Faktorstufe	2009		2010	
		Lagerungsdichte (g/cm <sup>3</sup> )	Luftkapazität % (v/v)	Lagerungsdichte (g/cm <sup>3</sup> )	Luftkapazität % (v/v)
Standort	Köllitsch	1,58 a	13,0 b	1,59 a	7,6 b
	Trenthorst	1,44 b	15,7 a	1,42 b	17,1 a
Bodenbearbeitung	tiefwendend	1,46 b	15,8 a	1,48 a	13,0 b
	flachwendend	1,51 a	13,8 a	1,47 a	14,8 a
Bodenbelastung	0 t	1,45 b	16,2 a	1,45 b	16,0 a
	2,6 t	1,48 ab	15,4 a	1,48 ab	13,5 b
	4,6 t	1,54 a	12,8 a	1,49 a	12,3 b

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte und eines Versuchsfaktors kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ )

### Eindringwiderstand

Die Tiefenverläufe des Eindringwiderstandes waren in der flach- und der tiefwendenden Bodenbearbeitung in Abhängigkeit des Standortes unterschiedlich. Während die flachwendende Bearbeitung am Standort Trenthorst in beiden Versuchsjahren (Versuche 8-T09, 8-T10) zu einem signifikanten Anstieg des Eindringwiderstandes im Tiefenbereich 16 – 24 cm führte,

waren am Standort Köllitsch (Versuche 8-K09, 8-K10) im Oberboden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen vorhanden oder nur in der Tendenz höhere Werte nach flachwendender Bearbeitung vorhanden (Abbildung 126). Auffällig war allerdings der signifikant höhere Eindringwiderstand nach tiefwendender Bodenbearbeitung im Unterboden in Köllitsch im Jahr 2010, der vermutlich auf heterogene Unterbodenbedingungen des ehemaligen Elbaue-Standortes zurückzuführen ist. Auch in den Versuchen 9-T09 und 9-T10 am Standort Trenthorst waren im Bereich zwischen den beiden Bodenbearbeitungstiefen signifikant höhere Werte nach flachwendender Bearbeitung vorhanden. Ein signifikant höherer Eindringwiderstand wurde auch in anderen Veröffentlichungen im Bereich zwischen den Arbeitstiefen der flach- und der tiefwendenden Bearbeitung gefunden (KOUWENHOVEN et al. 2002, BAKKEN et al. 2009). Der für das Pflanzenwachstum beginnende kritische Bereich des Eindringwiderstands von 2 bis 3 MPa (HORN & FLEIGE 2009, LIPIEC & HÅKANSSON 2000) wurde nur in seltenen Fällen im Bereich der Pflugsohle und des Unterbodens erreicht. Der Versuchsfaktor mechanische Bodenbelastung hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Eindringwiderstand des Bodens in beiden Versuchsjahren. Die parallel zum Eindringwiderstand gemessene Bodenfeuchte ergab keine Unterschiede zwischen den Varianten der Bodenbearbeitung und der mechanischen Bodenbelastung in den einzelnen Versuchen.



**Abbildung 126: Tiefenverlauf des Eindringwiderstandes an den Standorten Köllitsch und Trenthorst in den Jahren 2009 (Versuche 8-K09, 8-T09) und 2010 (Versuche 8-K10, 8-T10). Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen. n.s.: nicht signifikant ( $P < 0,05$ )**

## Bodentemperatur

Messungen der Bodentemperaturen in den ersten drei Wochen nach der Saat zeigten in 4 cm Bodentiefe in beiden Versuchsjahren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten oder den Stufen der mechanischen Bodenbelastung in den Versuchen an den Standorten Köllitsch und Trenthorst. Auch die Bodentemperaturen in 10 cm Tiefe, die am Standort Trenthorst gemessen wurden, wurden nicht signifikant von den Versuchsfaktoren Bodenbearbeitung und mechanische Bodenbelastung beeinflusst.

## Bodenmikrobiologische Parameter

Mit Ausnahme einer signifikant höheren Aktivität der Dehydrogenase in der flachwendenden Bearbeitung im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung in Versuch 8-T09 konnten keine signifikanten Unterschiede der Enzymaktivität zwischen den Bodenbearbeitungen nach der Ernte festgestellt werden (Tabelle 122). In der Tendenz lagen die Aktivitätswerte der Protease und der Dehydrogenase in allen Versuchen über den Werten der tiefwendenden Bearbeitung. Dies verweist auf eine etwas höhere mikrobielle Aktivität nach flachwendender Bodenbearbeitung im Oberboden, worauf es auch Hinweise in anderen Untersuchungen gibt (CURCI et al. 1997). Der Versuchsfaktor mechanische Bodenbelastung hat die Aktivität der Bodenenzyme nicht signifikant beeinflusst.

**Tabelle 122: Einfluss der Versuchsfaktoren Bodenbearbeitung und Bodenbelastung auf die Aktivität der Bodenenzyme Dehydrogenase und Protease in 0-20 cm nach der Ernte am Standort Trenthorst (Versuche 8-T09 und 8-T10)**

Versuchsfaktor		Aktivität Dehydrogenase ( $\mu\text{g TPF/g TM und 24 h}$ )		Aktivität Protease ( $\mu\text{g Tyrosinäquivalente/g TM und 2 h}$ )	
		2009	2010	2009	2010
Bodenbearbeitung	tiefwendend	160,4 b	134,9 a	332,6 a	383,5 a
	flachwendend	187,5 a	140,5 a	339,0 a	390,5 a
Bodenbelastung	0 t	173,1 a	139,1 a	327,5 a	374,6 a
	2,6 t	175,1 a	130,5 a	334,2 a	393,9 a
	4,6 t	173,7 a	143,5 a	345,8 a	392,5 a

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte und eines Versuchsfaktors kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ )

Die Erfassung weiterer bodenmikrobiologischer Parameter wie etwa der Phosphomonoesterase-Aktivität, der mikrobiellen Biomasse sowie der Fluresceindiacetat-Hydrolyserate an den Standorten Köllitsch (8-K09, 8-K10) und Trenthorst (8-T09, 8-T10) im Oberboden hat lediglich eine höhere mikrobielle Aktivität am Standort Trenthorst gegenüber dem Standort Köllitsch ergeben. Die mechanische Bodenbelastung hat sich in beiden Versuchsjahren hingegen nicht auf diese bodenmikrobiologischen Parameter ausgewirkt.



### 4.5.1.3 Unkraut

#### Unkrautdeckungsgrad und Leitunkräuter

Die Erbsen-Reinsaaten wiesen zum Zeitpunkt des Längenwachstums der Erbsen den höchsten und die Hafer-Reinsaaten den niedrigsten Unkrautdeckungsgrad auf (Tabelle 123). Signifikante Unterschiede zwischen der Erbsen-Reinsaat und dem Erbsen-Hafer-Gemenge waren nur in Ausnahmefällen vorhanden. Mit Ausnahme der Erbsen-Reinsaat im Jahr 2010 führte die flachwendende Bearbeitung zu einem signifikant höheren Unkrautdeckungsgrad im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung. Die mechanische Bodenbelastung hatte an allen Standorten keinen signifikanten Einfluss auf den Unkrautdeckungsgrad. Die Ergebnisse anderer Autoren zeigen hingegen sowohl eine Erhöhung (JURIK & ZHANG 1999) als auch eine Reduzierung des Aufkommens von Unkräutern (VLEESHOUWERS 1997) in verdichteten Böden. Leitunkräuter am Versuchsstandort in Köllitsch waren der Weiße Gänsefuß (*C. album* L.), der Vogel-Knöterich (*P. aviculare* L.), die Vogelmiere (*S. media* (L.) Vill.) und die Rote Taubnessel (*L. purpureum* L.). In Trenthorst dagegen dominierte die Vogelmiere, gefolgt von der Roten Taubnessel und dem Hirtentäschel (*C. bursa-pastoris* (L.) Medik.).

**Tabelle 123: Unkrautdeckungsgrad zum Ende des Längenwachstums der Erbsen in der Erbsen-Reinsaat, dem Erbsen-Hafer-Gemenge und der Hafer-Reinsaat in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung verrechnet über die Standorte Köllitsch und Trenthorst.**

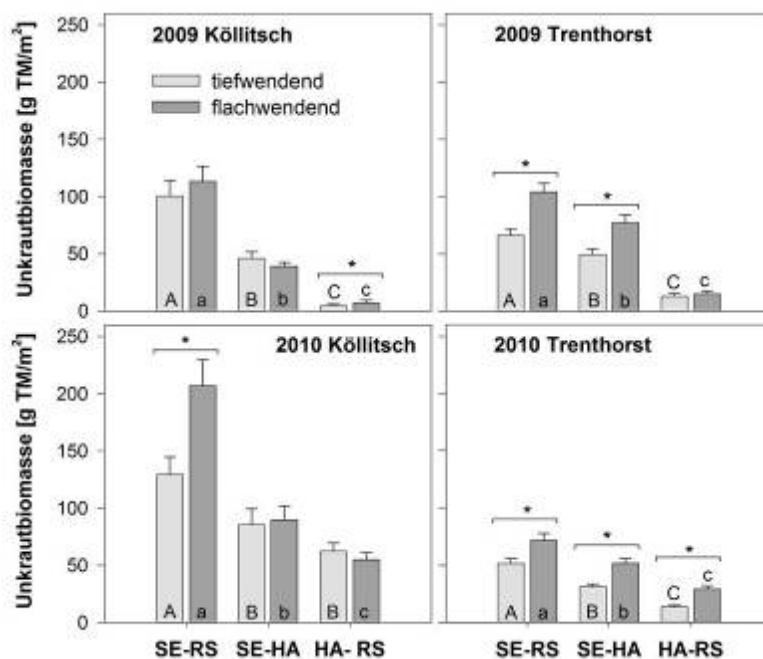
Kultur	Bodenbearbeitung	Unkrautdeckungsgrad (%)	
		2009	2010
Sommererbsen-Reinsaat	tiefwendend	8,7 Ab	26,8 Aa
	flachwendend	14,3 Aa	29,4 Aa
Sommererbsen-Hafer-Gemenge	tiefwendend	7,0 Ab	20,0 Bb
	flachwendend	11,7 Aa	26,8 ABa
Hafer-Reinsaat	tiefwendend	4,4 Bb	15,0 Cb
	flachwendend	5,9 Ba	25,1 Ba

Unterschiedliche Großbuchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den Kulturen innerhalb derselben Bodenbearbeitung. Unterschiedliche Kleinbuchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen innerhalb derselben Kultur.

#### Unkrautbiomasse

Die annuelle Unkrautbiomasse war an beiden Standorten und in beiden Jahren sowohl zur Blüte als auch zur Reife der Erbsen unabhängig von der Bodenbearbeitung in den Erbsen-Reinsaaten am höchsten und in den Hafer-Reinsaaten am niedrigsten (Abbildung 127). Der Anbau des Erbsen-Hafer-Gemenges führte zu einem signifikant geringeren Unkrautauftreten im Vergleich zu den Erbsen-Reinsaaten. Die Ergebnisse des zweiten Feldversuches am Standort Trenthorst (9-T09, 9-T10) decken sich dabei mit denen des Ersten (8-T09, 8-T10). Dies zeigt die gute unkrautunterdrückende Wirkung des Erbsen-Hafer-Gemengeanbaus und bestätigt damit entsprechende Ergebnisse anderer Autoren (KIMPEL-FREUND et al. 1998, BEGNA et al. 2011, CORRE-HELLOU et al. 2011). Die Ergebnisse des Unkrautdeckungsgrades, dessen Erfassung zu einem früheren Zeitpunkt erfolgt ist und der nur in der Tendenz ein geringeres Unkrautauftreten im Erbsen-Hafer-Gemenge gezeigt hat, deuten darauf hin, dass die Unkraut unterdrückende Wirkung mit zunehmender Pflanzenentwicklung zunimmt. Eine Ursache für das höhere Unkrautauftreten in Erbsen-Reinsaaten im Vergleich zu Erbsen-

Hafer-Gemengen könnte eine langsamere Jugendentwicklung der Erbse im Vergleich zum Hafer (HAUGGAARD-NIELSEN et al. 2001) und damit eine frühere und stärkere Beschattung des Bodens im Gemenge sein. KIMPEL-FREUND et al. (1998) haben gezeigt, dass Erbsen-Reinsaaten zu Beginn der Pflanzenentwicklung mehr photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) zum Unkrautbestand transmittieren als Erbsen-Hafer-Gemenge. Damit steht Unkräutern zu Beginn der Pflanzenentwicklung mehr Licht zur Verfügung. Dies konnte auch bei den PAR-Messungen in den aktuellen Feldversuchen nachgewiesen werden. Als weitere Ursachen, die mit zunehmender Pflanzenentwicklung an Bedeutung zunehmen, kommen eine stärkere Konkurrenz zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen um Wasser und oder Nährstoffe sowie eine Abgabe von wachstumshemmenden phenolischen Substanzen des Hafers über Wurzelexsudation in Frage (BAGHESTANI et al. 1999).



**Abbildung 127: Unkrautbiomasse in der Sommererbsen-Reinsaat (SE-RS), dem Sommererbsen-Hafer-Gemenge (SE-HA) und der Hafer-Reinsaat (HA-RS) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung an den Standorten Köllitsch und Trenthorst in den Jahren 2009 (Versuche 8-K09, 8-T09) und 2010 (Versuche 8-K10, 8-T10) gemittelt über zwei Probenahmeterminen (Blüte der Erbsen, Ernte). Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den Kulturen nach tiefwendender Bodenbearbeitung, während unterschiedliche Kleinbuchstaben signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen nach flachwendender Bodenbearbeitung wiedergeben. Mit Sternchen sind signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen innerhalb derselben Kultur gekennzeichnet.**

Viele Untersuchungen zum Unkrautauftreten nach flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung zeigen ein höheres annuelles und perennierendes Unkrautauftreten nach flachwendender Bodenbearbeitung (BRANDSÆTER et al. 2011, GRUBER & CLAUPEIN 2009, HÅKANSSON et al. 1998, BØRRESEN & NJØS 1994). Dies konnte in Abhängigkeit von der Kultur und dem Versuchsstandort auch in den aktuellen Versuchen festgestellt werden. Der Anbau von Erbsen in Reinsaat nach flachwendender Bearbeitung führte zu einem in der Tendenz (Köllitsch 2009) oder zu einem signifikant höherem Unkrautauftreten im Vergleich zur tiefwendenden Bodenbearbeitung (Abbildung 127). Während am Standort Köllitsch keine signifikanten Unterschiede des Unkrautauftretens zwischen der flach- und der tiefwendenden Bearbeitung in den Erbsen-Hafer-Gemengen vorhanden war, lag das Unkrautauftreten im Erbsen-Hafer-

Gemenge am Standort Trenthorst nach flachwendender Bearbeitung signifikant über demjenigen nach tiefwendender Bearbeitung. Das Unkrautauftreten in den Hafer-Reinsaaten reagierte uneinheitlich auf die flach- und tiefwendende Bodenbearbeitung. Die Ergebnisse von Versuch 9-T10 decken sich mit denjenigen aus Versuch 8-T10, wohingegen im Jahr 2009 in Versuch 9-T09 am Standort Trenthorst in allen Kulturen keine signifikanten Unterschiede der Bodenbearbeitung vorhanden waren. So konnte die Arbeitshypothese, dass der Gemengeanbau das höhere Unkrautauftreten nach flachwendender Bodenbearbeitung ausgleichen kann, nur zum Teil bestätigt werden. Deutlich wurden jedoch standortspezifische Unterschiede. Es kann daher vermutet werden, dass die Unkrautzusammensetzung am Standort und das Niveau des Unkrautdrucks darüber entscheiden, ob die unkrautunterdrückende Wirkung des Gemengeanbaus in der Lage ist, ein höheres Unkrautauftreten nach flachwendender Bodenbearbeitung zu kompensieren. Die Biomasse annualer Unkräuter wurde nicht eindeutig von dem Versuchsfaktor mechanische Bodenbelastung beeinflusst.

#### 4.5.1.4 Schädlings- und Krankheitsbefall

Der Befall mit Blattläusen fiel am Standort Trenthorst im Jahr 2009 an den Erbsen stärker aus als im Jahr 2010. In beiden Versuchsjahren konnte auch ein geringer Befall mit dem Blattrandkäfer festgestellt werden. Bei den tierischen Schaderregern konnte in der Tendenz ein geringerer Befall in den Erbsen aus Gemengebeständen festgestellt werden. An den Blättern und Ranken der Erbsen war zur Blüte ein Befall mit dem Falschen Mehltau und dem Ascochyta-Komplex vorhanden. Betroffen war davon jeweils eine Fläche von etwa 1 % der Pflanzenorgane unabhängig von Kultur, Bodenbearbeitung und mechanischer Bodenbelastung. An den Hülsen trat zur Ernte ein Befall mit Grauschimmel auf, der 5 % der Hülsenoberfläche betraf. Weder die Kultur und Bodenbearbeitung noch die Bodenbelastung hatten einen Effekt auf den Befall mit Blattkrankheiten. Die Erbsen an den Standorten Trenthorst und Krummesse wiesen in beiden Versuchsjahren zur Blüte einen starken Befall mit Fußkrankheiten auf, der zum Erreichen der höchsten Boniturnoten hinsichtlich Schädigungen an der Stängelbasis und am Gewebe führte. Dabei konnten sämtliche Erreger der Wurzel- und Stängelbasis an den Erbsen nachgewiesen werden. Es waren keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Stärke und Länge der Schädigung sowie hinsichtlich des Erregerauftretens zwischen den Kulturen, den Bodenbearbeitungen und den Varianten der Bodenbelastung vorhanden.

#### 4.5.1.5 Biomasse der Kulturpflanzen

Hafer-Reinsaaten bildeten 2009 zum Zeitpunkt der Erbsen-Blüte die höchste Biomasse, gefolgt von den Erbsen-Hafer-Gemengen und der Erbsen-Reinsaat, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen vorhanden waren (Abbildung 128). Ähnliche Verhältnisse zwischen den Kulturen traten auch in Köllitsch im Jahr 2010 (8-K10) auf, während in Trenthorst in 2010 (8-T10) in der Erbsen-Reinsaat (tiefwendende Bearbeitung) bzw. im Erbsen-Hafer-Gemenge (flachwendende Bearbeitung) der höchste Gesamt-Biomasseaufwuchs erzielt wurde. Aufgrund eines deutlich besseren Feldaufgangs des Hafers nach flachwendender Bearbeitung, der zu einer signifikant höheren Anzahl Pflanzen nach flachwendender (170 Pflanzen/m<sup>2</sup>) im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung (155 Pflanzen/m<sup>2</sup>) geführt hat, lag die Kulturpflanzenbiomasse in den Hafer-Reinsaaten nach flachwendender Bearbeitung an beiden Standorten im Jahr 2010 signifikant über derjenigen der tiefwendenden Bearbeitung. Im Gemenge gab es hier allerdings keine Unterschiede. Die Erbsen-Reinsaat in Versuch 8-T10 hat dagegen negativ auf die flachwendende Bearbeitung reagiert. Erbsen haben insbesondere am

Standort Köllitsch mit einer reduzierten Biomasseproduktion auf den Anbau mit dem Gemengepartner Hafer reagiert.

Im Gegensatz zum Versuchsjahr 2009, in dem die mechanische Bodenbelastung keinen Einfluss auf die Erbsen-, Hafer- und gesamte oberirdische Kulturpflanzenbiomasse hatte, wurde im zweiten Versuchsjahr der oberirdische Kulturpflanzenaufwuchs in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung von der mechanischen Bodenbelastung beeinflusst. Während die mechanische Bodenbelastung in der tiefwendenden Bearbeitung zu einer kontinuierlichen Abnahme der oberirdischen Kulturpflanzenbiomasse geführt hat, die in der dritten Belastungsstufe signifikant ausfiel, waren in der flachwendenden Bearbeitung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Belastungsstufen an beiden Versuchsstandorten vorhanden (Tabelle 124). Die Jahresunterschiede sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass der Boden zum Zeitpunkt der Bodenbelastung im zweiten Versuchsjahr feuchter und damit verdichtungsanfälliger war im Vergleich zum ersten Versuchsjahr. Die geringere Reaktion der Kulturpflanzen auf eine mechanische Bodenbelastung nach flachwendender Bearbeitung könnte mit dem höheren Eindringwiderstand und damit einer höheren Bodenfestigkeit zusammenhängen (4.5.1.2). Auch andere Untersuchungen kommen zu dem Schluss, dass reduziert bearbeitete Böden einer mechanischen Bodenbelastung mehr Widerstand bieten als tiefwendend bearbeitete Böden und damit eine Möglichkeit zur Reduzierung von Unterbodenverdichtungen darstellen (WIERMANN et al. 2000, YAVUZCAN et al. 2005).

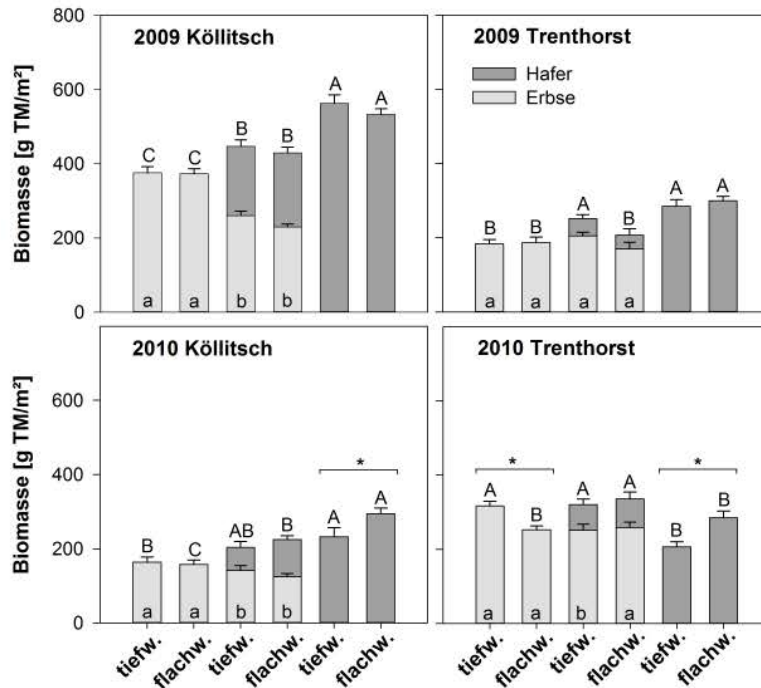


Abbildung 128: Kulturpflanzenbiomasse in der Erbsen-Reinsaat, im Erbsen-Hafer-Gemenge und der Hafer-Reinsaat in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung an den Standorten Trenthorst und Köllitsch in den Jahren 2009 (8-T09, 8-K09) und 2010 (8-T10, 8-K10). Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) des Gesamtbiosseaufwuchses zwischen den Kulturen innerhalb derselben Bodenbearbeitung. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede der Erbsen-Biosseproduktion in Reinsaat und Gemenge innerhalb derselben Bodenbearbeitung. Mit Sternchen sind signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen innerhalb derselben Kultur gekennzeichnet.

Tabelle 124: Einfluss der mechanischen Bodenbelastung in der flach- und tiefwendenden Bodenbearbeitung auf die gesamte oberirdische Kulturpflanzenbiomasse

Bodenbearbeitung	Bodenbelastung	Kulturpflanzenbiomasse (g TM/m²)	
		2009	2010
tiefwendend	0 t	117,4 a	260,9 a
	2,6 t	132,4 a	255,3 a
	4,6 t	159,0 a	209,0 b
flachwendend	0 t	116,4 a	254,5 a
	2,6 t	139,0 a	262,0 a
	4,6 t	109,2 a	258,5 a

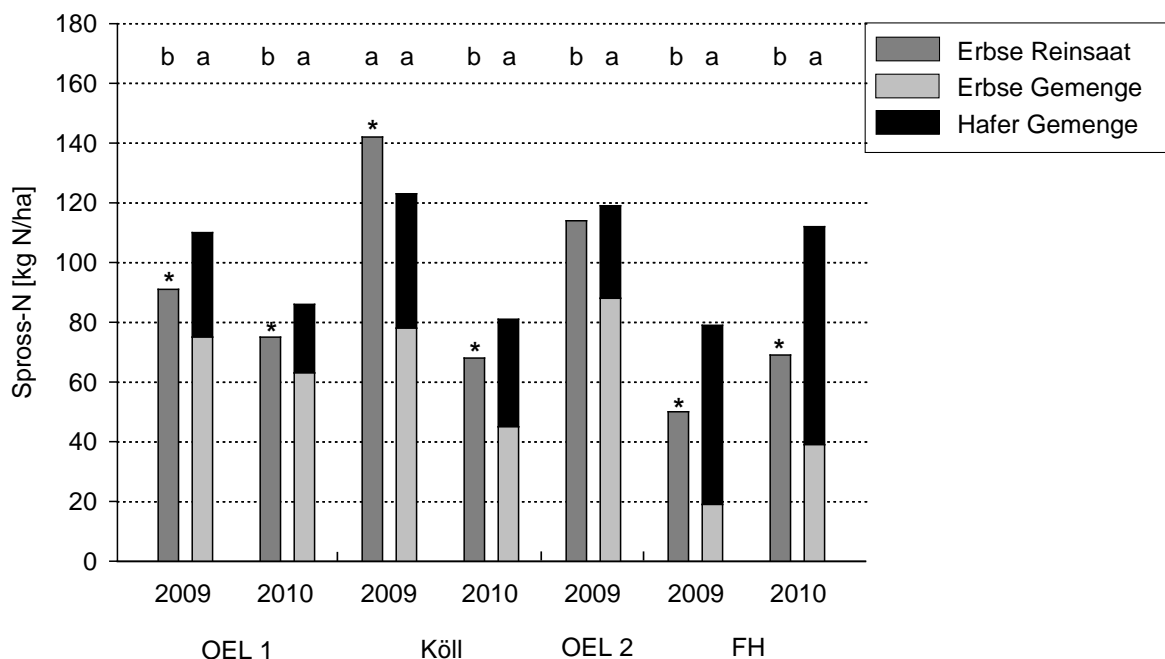
Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den Belastungsstufen innerhalb derselben Bodenbearbeitung

#### 4.5.1.6 Spross-N und symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung

Zusätzlich zu den Versuchen in Trenthorst und Köllitsch wurde in diesem Kapitel auch der Bodenbelastungsversuch in Frankenhausen (10-F09, 10-F10) berücksichtigt.

Die aufgenommenen Mengen an Stickstoff durch die Erbse in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer wurden für die Jahre 2009 und 2010 für die Standorte Trenthorst (OEL1: 8-T09, 8-T10; OEL2: 9-T nur 2009), Köllitsch (Köll, 8-K09, 8-K10) und Kassel-Frankenhausen (FH, 10-F09, 10-F10) bestimmt. Die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Erbse wurde für die Jahre 2009 und 2010 für die Standorte Trenthorst (OEL1, 8-T09, 8-T10) und Köllitsch (8-K09, 8K10) bestimmt.

Die im Spross von Erbse in Reinsaat ermittelten N-Mengen lagen im Mittel der Faktorstufen von Bodenbearbeitung und Bodenbelastung in Abhängigkeit vom Standort zwischen 50 und 142 kg N/ha (Abbildung 129). Die Menge an Spross-N von Erbse im Gemenge erreichte im Mittel 67 % des Wertes der Reinsaat und lag in den Jahren 2009 und 2010 an allen Standorten signifikant unter dem Wert der Erbse in Reinsaat und unter dem Wert des Gesamtertrages aus Erbse und Hafer. Die N-Menge im Spross von Erbse und Hafer im Gemenge lag im Mittel 17 % über dem Wert von Erbse in Reinsaat (signifikant mit Ausnahme der Standorte Köll und OEL2 im Jahr 2009).



**Abbildung 129: Spross-N von Erbse in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer in den Jahren 2009 und 2010 an den Standorten Trenthorst (OEL1, OEL2), Köllitsch (Köll) und Frankenhausen (FH), \* kennzeichnet signifikante Unterschiede (P < 0,05) zwischen Erbse in Reinsaat und im Gemenge**

Im Mittel der Belastungsstufen wurden hinsichtlich des Spross-N von Erbse in Reinsaat und im Gemenge in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung vor der Saat an keinem Standort signifikante Unterschiede festgestellt (Tabelle 125). Am Standort OEL1 im Jahr 2010 (8-T10) wurde bei Hafer in Reinsaat und im Gemenge in der Variante mit flachwendender Bodenbearbeitung ein signifikant höherer Anteil an Spross-N ermittelt. An fast allen Standorten wurde mit zunehmender Radlast bei der Bodenbelastung vor der Saat ein geringeres Spross-N von Erbse in Reinsaat und im Gemenge ersichtlich (Tabelle 126). Ein signifikant geringerer N-Ertrag mit zunehmender Bodenbelastung wurde im Jahr 2010 an den Standorten Köllitsch und



Frankenhausen ermittelt. Im Mittel der Standorte und Jahre lag der Spross-N von Erbse in Reinsaat in der Variante mit 4,6 t Radlast um 16 % und im Gemenge um 10 % unter dem Wert der Kontrolle ohne Belastung. Die N-Mengen von Hafer in Reinsaat zeigten mit Ausnahme des Standortes OEL1 im Jahr 2009 (9-T09) keine Abhängigkeit von der Bodenbelastung.

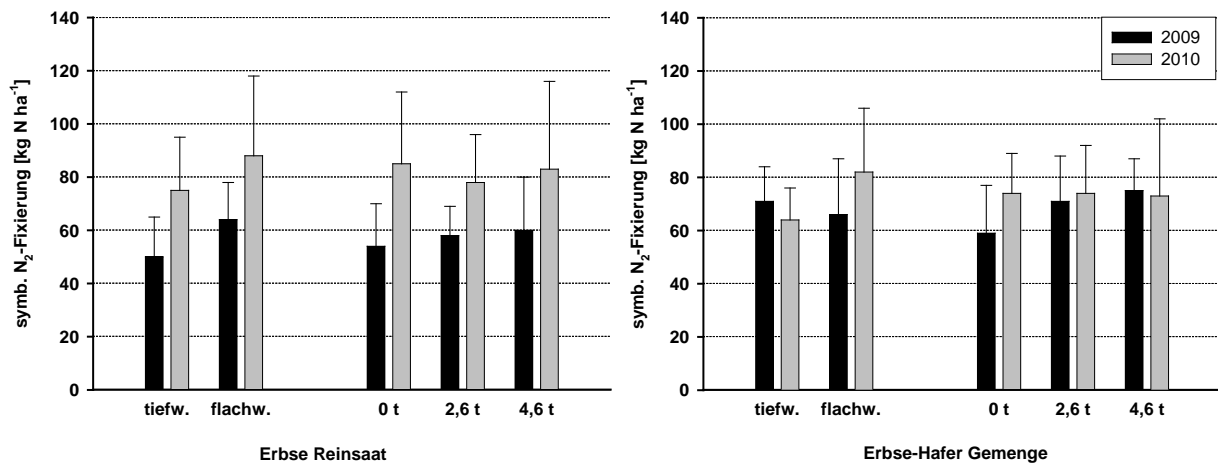
**Tabelle 125: Spross-N von Erbse und Hafer in Abhängigkeit von Anbauform und Bodenbearbeitung vor der Saat**

Standort	Jahr	Bodenbearbeitung	Erbsen-Reinsaat	Erbse Gemenge	Hafer-Reinsaat	Erbse/Hafer Gemenge
			[kg N/ha]			
OEL 1	2009	tiefw.	87	75	65	114
		flachw.	95	72	62	105
	2010	tiefw.	72	60	38 b	80 b
		flachw.	78	67	45 a	93 a
Köll	2009	tiefw.	147	82	93	123
		flachw.	137	74	94	124
	2010	tiefw.	65	44	50	73
		flachw.	70	48	56	92
OEL 2	2009	tiefw.	112	91	66	120
		flachw.	115	86	63	118

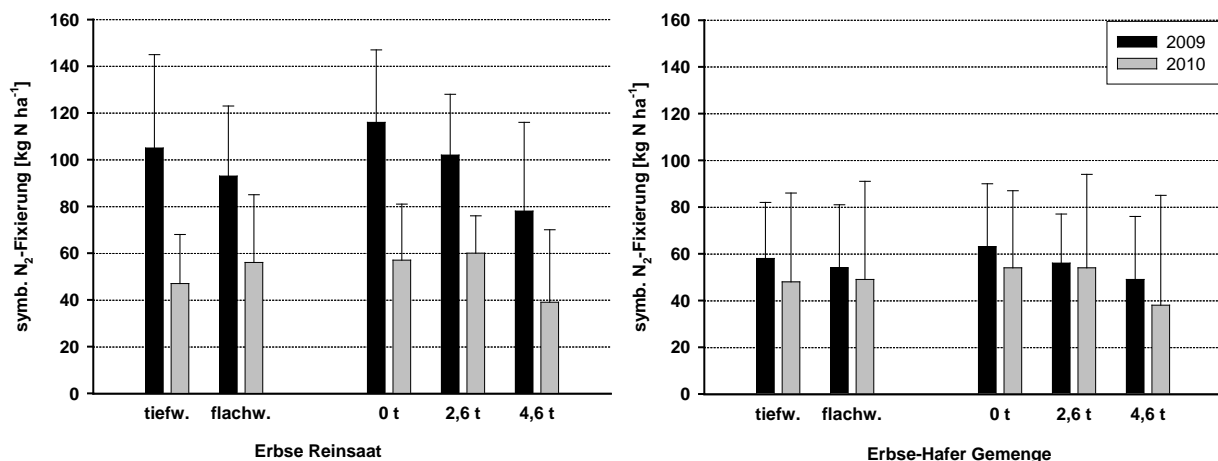
**Tabelle 126: Spross-N von Erbse und Hafer in Abhängigkeit von Anbauform und Bodenbelastung vor der Saat**

Standort	Jahr	Bodenbelastung	Erbsen-Reinsaat	Erbse Gemenge	Hafer-Reinsaat	Erbse/Hafer Gemenge
			[kg N/ha]			
OEL 1	2009	0 t	90	70	71 a	105
		2,6 t	91	77	63 ab	110
		4,6 t	91	78	57 b	114
	2010	0 t	81	67	43	90
		2,6 t	76	64	41	88
		4,6 t	70	59	41	82
Köll	2009	0 t	161	81	87	128
		2,6 t	139	73	97	122
		4,6 t	127	80	97	120
	2010	0 t	85 a	60 a	58	105 a
		2,6 t	62 b	44 ab	47	75 ab
		4,6 t	56 b	33 b	54	68 b
OEL 2	2009	0 t	116	91	65	120
		4,6 t	111	86	64	118
FH	2009	0 t	61	22	95	76
		2,6 t	46	18	88	80
		4,6 t	43	18	99	81
	2010	0 t	70 a	40	93	110
		2,6 t	78 ab	40	100	114
		4,6 t	60 b	35	97	112

Die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Erbse in Reinsaat lag am Standort Trenthorst im Jahr 2009 im Mittel der Varianten bei 57 kg N/ha und im Jahr 2010 bei 82 kg N/ha (Abbildung 130). Die Fixierleistung von Erbse in Reinsaat lag im Jahr 2010 in der Variante mit flachwendender Bodenbearbeitung signifikant über der Variante mit tiefwendender Bodenbearbeitung. Die N<sub>2</sub>-Fixierung von Erbse im Gemenge mit Hafer am Standort Trenthorst betrug im Jahr 2009 im Mittel der Varianten 68 kg N/ha und 74 kg N/ha im Jahr 2010. Eine signifikant höhere Menge an Spross-N wurde im Jahr 2009 in der Variante mit 4,6 t Radlast gegenüber der Kontrolle ermittelt. Am Standort Köllitsch betrug die N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Erbse in Reinsaat 99 kg N/ha im Jahr 2009 und 52 kg N/ha im Jahr 2010 (Abbildung 131). Die N<sub>2</sub>-Fixierung von Erbse im Gemenge mit Hafer betrug im Jahr 2009 im Mittel der Varianten 56 kg N/ha und 48 kg N/ha im Jahr 2010. Weder in der Reinsaat noch im Gemenge konnten signifikante Unterschiede der N<sub>2</sub>-Fixierung zwischen den Varianten ermittelt werden.



**Abbildung 130:** N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Erbse in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und mechanischer Bodenbelastung zur Saat in den Jahren 2009 und 2010 am Standort Trenthorst



**Abbildung 131:** N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Erbse in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und mechanischer Bodenbelastung zur Saat in den Jahren 2009 und 2010 am Standort Köllitsch

Mit Ausnahme des Standortes Köllitsch im Jahr 2010 lag die Menge an Stickstoff im Spross von Erbse in Reinsaat im Bereich zwischen 50 und 147 kg N/ha und im Vergleich der Standorte und Jahre größtenteils signifikant über dem Spross-N von Erbse im Gemenge. Die Erbse im Gemenge, mit identischer Aussaatstärke von Erbse-Reinsaat, konnte erwartungsgemäß aufgrund der Konkurrenz des Gemengepartners Hafer weniger Sprossmasse bilden und damit eine geringere Menge Stickstoff aufnehmen. Dies wurde durch den Gemengepartner Hafer ausgeglichen bzw. lag die aufgenommene Menge an Stickstoff von Erbse und Hafer zusammen größtenteils signifikant über dem Wert der Erbse in Reinsaat. REITER et al. (2002) gibt in ihren Untersuchungen zur N-Aufnahme von Erbse bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren Spross-N Werte zwischen 110 und 137 kg N/ha an, wobei der Anteil der fixierten Menge an Stickstoff am Spross-N bei reduzierter Bodenbearbeitung steigt. WHEATLEY et al. (1995) ermittelten bei Untersuchungen zu Sojabohnen eine 17 % höhere N<sub>2</sub>-Fixierung bei reduzierter Bodenbearbeitung. In einigen Fällen, aber nicht generell, konnte auch anhand der vorliegenden Ergebnisse eine leicht höhere N<sub>2</sub>-Fixierung der Erbse bei flach wendender

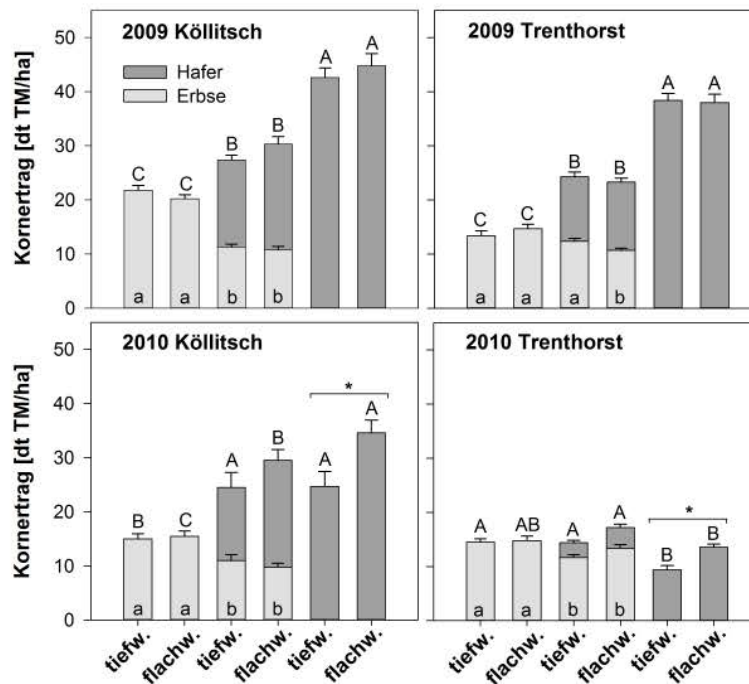
Bodenbearbeitung festgestellt werden, die im Jahr 2010 am Standort Trenthorst signifikant ausfiel. Die Abhängigkeit der N<sub>2</sub>-Fixierung von der mechanischen Belastung des Bodens vor der Saat von Erbse wurde anhand der ermittelten Ergebnisse nicht eindeutig ersichtlich.

#### 4.5.1.7 Ertragsanteile und Kornertragsleistung

Der Gesamtertrag lag im Jahr 2009 in den Feldversuchen 8 und 9 in der Hafer-Reinsaat signifikant über demjenigen des Erbsen-Hafer-Gemenges, das wiederum einen signifikant höheren Ertrag aufwies als die Erbsen-Reinsaat (Abbildung 132). Die Ertragsleistung des Hafers war unabhängig vom Versuchsstandort im Jahr 2010 deutlich geringer im Vergleich zu 2009, was an beiden Standorten auf Probleme mit der Bestockung des Hafers zurückgeführt werden konnte. Am Standort Köllitsch war trotz der Probleme mit der Ertragsbildung des Hafers auch im Jahr 2010 im Gemenge ein signifikant höherer Ertrag im Vergleich zur Erbsen-Reinsaat vorhanden, was in Trenthorst nicht der Fall war.

Der Anbau der Erbse im Gemenge mit Hafer führte in der Regel zu einer signifikant geringeren Ertragsleistung im Vergleich zum Anbau der Erbse in Reinsaat. Dies war am Standort Köllitsch deutlich ausgeprägter als am Standort Trenthorst, was vermutlich auf die bessere Ertragsleistung des Hafers im Gemenge und damit auf eine möglicherweise stärkere Konkurrenz zwischen den Gemengepartnern zurückgeführt werden kann. Ergebnisse anderer Untersuchungen bestätigen ebenfalls die Unterdrückung der Erbse im Gemenge mit Hafer und führen dies auf ein höheres Konkurrenzvermögen des Hafers zurück (NEUMANN et al. 2007, KONTTURI et al. 2011).

Während im Jahr 2009 keine signifikanten Unterschiede zwischen der flach- und der tiefwendenden Bodenbearbeitung festgestellt werden konnten, lag im Jahr 2010 der Ertrag der Hafer-Reinsaat in der flachwendenden Variante signifikant über demjenigen der tiefwendenden Variante unabhängig vom Versuchsstandort. Dies ist auf einen signifikant höheren Feldaufgang (tiefwendend: 155, flachwendend: 170 Pflanzen/m<sup>2</sup> gemittelt über Reinsaat und Gemenge) und auf eine höhere Anzahl Körner/Rispe (tiefwendend: 21, flachwendend: 24) zurückzuführen. Andere Untersuchungen zum Anbau von Erbsen in Reinsaat nach flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung mit zu dieser Untersuchung vergleichbaren Bearbeitungstiefen ergaben signifikant höhere Erträge der Erbse nach tiefwendender Bearbeitung, was zum Teil auf eine höhere Verunkrautung zurückgeführt werden konnte (BAIGYS et al. 2006, PRANAİTIS & MARCINKONIS 2005). NEUMANN et al. (2007) fanden dagegen beim Anbau von Erbsen und Hafer in Reinsaat und im Gemenge keine signifikanten Unterschiede der Ertragsleistung zwischen einer herkömmlichen Bearbeitung mit dem Pflug und einer Bearbeitung mit der Kreiselegge bis zu einer Bodentiefe von 8-12 cm unter konventionellen Anbaubedingungen. Die negative Auswirkung der flachwendenden Bearbeitung auf die Biomasseproduktion der Erbse (4.5.1.5) in Versuch 8-T10 war in der Ertragsleistung nicht mehr erkennbar.



**Abbildung 132: Kernerträge der Erbsen-Reinsaat, des Erbsen-Hafer-Gemenges und der Hafer-Reinsaat in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung an den Standorten Köllitsch und Trenthorst in den Jahren 2009 (8-T09, 8-K09) und 2010 (8-T10, 8-K10). Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen dem Gesamtertrag der Kulturen innerhalb derselben Bodenbearbeitung. Mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikante Unterschiede der Ertragsleistung der Erbsen zwischen Reinsaat und Gemenge innerhalb derselben Bodenbearbeitung gekennzeichnet. Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen innerhalb derselben Kultur.**

Im Jahr 2009 konnte kein Effekt der mechanischen Bodenbelastung auf den Ertrag der Erbsen und des Hafers festgestellt werden, was möglicherweise auf trockene Bedingungen zum Zeitpunkt der Durchführung der Bodenbelastung zurückgeführt werden kann. Im zweiten Versuchsjahr, das durch eine höhere Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der mechanischen Bodenbelastung gekennzeichnet war, reduzierte eine mechanische Bodenbelastung die Ertragsleistung der Erbsen um 12,1 % (2,6 t) und 20,8 % (4,6 t) im Vergleich zur unbelasteten Kontrolle, während der Hafer nicht auf die mechanische Bodenbelastung an beiden Versuchsstandorten reagiert hat (Tabelle 127). Erbsen aus Reinsaat- und aus Gemengebeständen reagierten dabei vergleichbar auf die mechanische Bodenbelastung, was zeigt, dass ein Anbau von Erbsen im Gemenge eine unsachgemäße Befahrung des Bodens nicht ausgleichen kann. Die erfassten Ertragsrückgänge der Erbsen bedingt durch eine mechanische Bodenbelastung lagen dabei in der Größenordnung anderer Untersuchungen, die Rückgänge zwischen 6 und 43 % bei zum Teil höheren mechanischen Belastungen festgestellt haben (HENDERSON 1991, VOCANSON & JEUFFROY 2008). Der Unterschied in der Reaktion der Kulturen im Jahr 2010 ist ein Hinweis darauf, dass Erbsen empfindlicher auf verdichtete Böden reagieren als Getreidearten wie etwa Hafer. Andere Autoren konnten jedoch keine Unterschiede in der Reaktion von Erbsen und Getreidearten auf moderate Bodenverdichtungen hinsichtlich ihrer Ertragsleistung nachweisen (GRATH & ARVIDSSON 1997, HENDERSON 1991).

**Tabelle 127: Einfluss der mechanischen Bodenbelastung auf den Kornertrag der Erbse und des Hafers gemittelt über Reinsaat und Gemenge am Standort Köllitsch und Trenthorst**

	Kornertrag (dt/ha)			
	2009		2010	
Bodenbelastung	Erbse	Hafer	Erbse	Hafer
0 t	14,5 a	28,4 a	14,9 a	15,0 a
2,6 t	14,4 a	27,7 a	13,1 b	13,6 a
4,6 t	14,3 a	27,8 a	11,8 c	14,6 a

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den Belastungsstufen innerhalb einer Spalte

Wie bei der Biomasseproduktion der Kulturpflanzen, so hat sich auch bei der Ertragsleistung im Jahr 2010 ein Zusammenhang zwischen Bodenbearbeitung und mechanischer Bodenbelastung ergeben. Eine zunehmende mechanische Bodenbelastung führte zu einer kontinuierlichen Abnahme der Ertragsleistung in der tiefwendenden Bearbeitung, während in der flachwendenden Bearbeitung kein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollvariante und den Varianten mit mechanischer Bodenbelastung vorhanden war (Tabelle 128). Bei der Erfassung der bodenphysikalischen Parameter konnte kein Zusammenhang zwischen Bodenbearbeitung und Bodenbelastung festgestellt werden. Dies legt die Vermutung nahe, dass aktuelle Witterungsbedingungen wie etwa die Wasserversorgung während der Vegetationsperiode eine große Rolle spielen und über die Auswirkung von bodenphysikalischen Bedingungen auf das Pflanzenwachstum entscheiden. Im Jahr 2009 konnte dagegen in keinem der durchgeführten Versuche ein Unterschied zwischen den Bodenbearbeitungen hinsichtlich der Auswirkungen der mechanischen Bodenbelastung festgestellt werden.

**Tabelle 128: Einfluss der mechanischen Bodenbelastung in der flach- und tiefwendenden Bodenbearbeitung auf den Gesamtertrag der Kulturen am Standort Köllitsch und Trenthorst**

Bodenbearbeitung	Bodenbelastung	Kornertrag (dt/ha)	
		2009	2010
tiefwendend	0 t	28,3 a	19,1 a
	2,6 t	27,6 a	16,4 a
	4,6 t	28,0 a	14,4 b
flachwendend	0 t	29,0 a	20,5 a
	2,6 t	28,5 a	19,5 a
	4,6 t	28,2 a	20,7 a

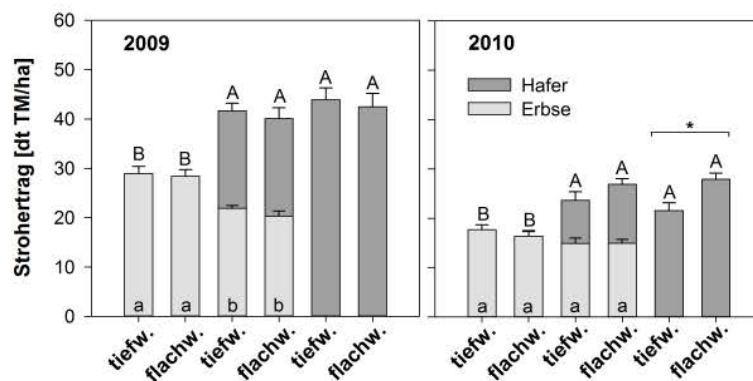
Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den Belastungsstufen innerhalb einer Bodenbearbeitung und eines Versuchsjahres

#### 4.5.1.8 Rückführung von Ernterückständen

Die Auswertung der Rückführung von Ernterückständen ergab in beiden Versuchsjahren den geringsten Strohertrag in der Erbsen-Reinsaat und den höchsten Wert im Erbsen-Hafer-Gemenge und der Hafer-Reinsaat (Abbildung 133) unabhängig vom Versuchsstandort und der Bodenbearbeitung. Der Strohertrag der Erbse lag im ersten Jahr im Gemenge signifikant unter



dem der Erbsen-Reinsaat, während im zweiten Versuchsjahr keine signifikanten Unterschiede zwischen Reinsaat und Gemenge vorhanden waren. Dieser Jahresunterschied ist vermutlich auf die bessere Ertragsbildung und damit auf eine stärkere Konkurrenz des Hafers im Jahr 2009 im Vergleich zum Jahr 2010 zurückzuführen. Der Strohertrag lag am Standort Köllitsch im Jahr 2009 in allen Kulturen signifikant über demjenigen von Trenthorst. Im Jahr 2010 wiesen die Erbsen-Reinsaat und das Erbsen-Hafer-Gemenge in Trenthorst dagegen einen signifikant höheren Strohertrag im Vergleich zum Standort Köllitsch auf. In der Hafer-Reinsaat waren im zweiten Versuchsjahr keine Standort-Unterschiede festzustellen. Neben dem Kornertrag (4.5.1.7) wurde auch der Strohertrag der Hafer-Reinsaat im Jahr 2010 von der Bodenbearbeitung beeinflusst, mit signifikant höheren Werten nach flachwendender Bearbeitung. Ansonsten hatte die Bodenbearbeitung keinen gesicherten Einfluss auf die Höhe des Strohertrags. Eine zunehmende mechanische Bodenbelastung hat im Jahr 2010 zu einer kontinuierlichen Abnahme des Strohertrags von Erbsen aus Reinsaat und Gemenge (0 t: 17,1 dt/ha, 2,6 t: 16,4 dt/ha, 4,6 t: 14,6 dt/ha) geführt, was sich mit dem Ergebnis der Korn-ertragsleistung deckt. Der Hafer hat in beiden Versuchsjahren ebenso wenig wie die Erbse im Jahr 2009 auf die mechanische Bodenbelastung reagiert.



**Abbildung 133: Strohertäge der Erbsen-Reinsaat, des Erbsen-Hafer-Gemenges und der Hafer-Reinsaat in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung in den Jahren 2009 (8-T09, 8-K09) und 2010 (8-T10, 8-K10). Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen dem Gesamtstrohertrag der Kulturen innerhalb derselben Bodenbearbeitung. Mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikante Unterschiede der Strohertragsleistung der Erbse zwischen Reinsaat und Gemenge innerhalb derselben Bodenbearbeitung gekennzeichnet. Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen innerhalb derselben Kultur.**

#### 4.5.1.9 Gehalte und Entzüge der Makronährstoffe P, K und Mg mit dem Korn

Der Entzug der Nährstoffe P und K mit dem Korn war im Jahr 2009 in den Versuchen am Standort Trenthorst (8-T09, 9-T09) in Hafer-Reinsaaten am höchsten und in Erbsen-Reinsaaten am niedrigsten (Tabelle 129). Der Mg-Entzug hingegen wies im Erbsen-Hafer-Gemenge den höchsten Wert auf. Im Jahr 2010 ergaben sich die höchsten Nährstoffentzüge dagegen im Erbsen-Hafer-Gemenge oder in der Erbsen-Reinsaat. Die geringen Nährstoffentzüge des Hafers im Jahr 2010 sind bei den Nährstoffen P und Mg vor allem auf die niedrigere Ertragsleistung des Hafers zurückzuführen, während bei K neben der geringen Ertragsleistung die deutlich geringeren Nährstoffgehalte im Korn (Tabelle 130) ursächlich sind.

Der Versuchsfaktor Bodenbearbeitung hat den Nährstoffentzug im Jahr 2009 nicht beeinflusst (Tabelle 129). Dagegen führte eine flachwendende Bodenbearbeitung im Jahr 2010 zu einem signifikant höheren P-Entzug aller Kulturen, was im Falle des Hafers insbesondere auf die

bessere Ertragsleistung und bei der Erbse auf signifikant höhere Gehalte (tiefwendend: 3,84 g/kg, flachwendend: 4,42 g/kg) zurückführbar ist. Auch hinsichtlich des K-Gehaltes konnten signifikant höhere Werte nach flachwendender Bodenbearbeitung im Gemenge und in der Hafer-Reinsaat festgestellt werden. Dagegen waren bei Mg keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen zu verzeichnen. Möglicherweise hängen die höheren Gehalte nach flachwendender Bearbeitung mit Unterschieden in der Verteilung der Nährstoffe im Boden zusammen. Eine flachwendende Bearbeitung führt im Vergleich zu einer tiefwendenden Bodenbearbeitung häufig zu einer Anreicherung von P und teilweise auch von K in der oberen bearbeiteten Bodenschicht, wobei der Gesamtgehalt der Nährstoffe sich in der flach- und der tiefwendenden Bearbeitung in der Regel nicht unterscheidet (ELLMER et al. 2000, Børresen & Njøs 1994, RILEY & EKEBERG 1998). Bei Mg konnte eine solche Verteilung dagegen nicht festgestellt werden.

**Tabelle 129: Entzug der Nährstoffe P, K und Mg mit dem Korn in der Erbsen Reinsaat (SE-RS), dem Erbsen-Hafer-Gemenge (SE-HA) und der Hafer-Reinsaat (HA-RS) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung am Standort Trenthorst**

		Nährstoffentzug mit dem Korn (kg/ha)					
		2009			2010		
Kultur	Bodenbearbeitung	P	K	Mg	P	K	Mg
SE-RS	tiefwendend	6,6 Ac	18,3 Ab	4,9 Ab	5,5 Ba	17,5 Aa	2,8 Ac
	flachwendend	7,7 Ac	19,9 Ab	4,6 Aab	6,3 Ab	17,1 Aa	2,9 Ac
SE-HA	tiefwendend	11,1 Ab	26,5 Aa	6,2 Aa	5,7 Ba	16,0 Ba	4,1 Aa
	flachwendend	10,4 Ab	21,5 Ab	5,5 Aa	7,5 Aa	20,0 Aa	4,7 Aa
HA-RS	tiefwendend	12,5 Aa	29,1 Aa	4,0 Ab	3,2 Bb	4,2 Bb	3,4 Ab
	flachwendend	12,8 Aa	28,8 Aa	4,2 Ab	4,6 Ac	6,0 Ab	3,7 Ab

Unterschiedliche Großbuchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den Bodenbearbeitungen innerhalb derselben Kultur. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen innerhalb derselben Bodenbearbeitung

Der Anbau der Erbse im Gemenge mit Hafer führte nur in Einzelfällen zu einem geringeren Entzug der Nährstoffe P, K und Mg, was in diesen Fällen auf eine signifikant geringere Kornertragsleistung der Erbse im Gemenge zurückgeführt werden kann. Mit Ausnahme von P im Jahr 2009 lagen die Nährstoffgehalte der Erbse im Gemenge tendenziell oder signifikant über denen der Reinsaat (Tabelle 130). Auch beim Hafer lagen die Nährstoffgehalte im Gemenge mehrheitlich signifikant über denen der Reinsaat.

**Tabelle 130: Einfluss der Anbauform auf den Nährstoffgehalt von P, K und Mg im Korn von Erbse und Hafer am Standort Trenthorst**

		Nährstoffgehalt Korn (g/kg TM)					
		Erbse			Hafer		
Jahr	Anbauform	P	K	Mg	P	K	Mg
2009	Reinsaat	5,12 a	11,72 a	1,75 b	3,32 b	6,42 a	1,24 b
	Gemenge	5,12 a	11,96 a	1,87 a	3,97 a	6,43 a	1,39 a
2010	Reinsaat	4,05 b	9,91 a	1,46 b	3,47 b	2,93 b	1,52 b
	Gemenge	4,21 a	10,19 a	1,52 a	4,05 a	3,43 a	1,59 a

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte und eines Anbaujahres kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den Anbauformen

Die mechanische Bodenbelastung hat den Entzug und den Gehalt der Nährstoffe P, K und Mg nicht negativ beeinflusst. GRATH & ARVIDSSON (1997) konnten bei diesen Nährstoffen ebenfalls keine signifikanten Unterschiede im Korn von Erbsen aus unbelasteten und mechanisch belasteten Varianten finden, während bei Gerste in der höchsten untersuchten Belastungsstufe signifikant geringere Nährstoffgehalte festzustellen waren. Andere Autoren ermittelten allerdings auch bei Erbsen eine Abnahme der Nährstoffgehalte und -aufnahmen in verdichteten Böden (CROZAT et al. 1992, CASTILLO et al. 1982).

#### 4.5.1.10 Rohproteingehalt und -ertrag der Körner

Die Rohproteingehalte der Erbsen lagen im ersten Versuchsjahr in Köllitsch in der Reinsaat (253 g/kg) signifikant unter denen des Gemenges (260 g/kg), während am Standort Trenthorst keine signifikanten Unterschiede zwischen den Anbauformen vorhanden waren (Reinsaat: 247 g/kg, Gemenge: 245 g/kg). Im Jahr 2010 war dagegen in keinem der Feldversuche ein signifikanter Unterschied zwischen Reinsaat und Gemenge nachweisbar. Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen damit Ergebnisse anderer Untersuchungen, die signifikant höhere Rohprotein-/Stickstoffgehalte von Erbsen aus Gemengebeständen oder keine Unterschiede zwischen den Anbauformen feststellen konnten (HAUGGAARD-NIELSEN et al. 2001, 2008, NEUMANN et al. 2007). Beim Rohproteingehalt wurde in beiden Jahren eine signifikante Wechselwirkung zwischen mechanischer Bodenbelastung und Standort ermittelt. In Trenthorst hatte der Versuchsfaktor mechanische Bodenbelastung, im Gegensatz zu Köllitsch, keinen Einfluss auf den Rohproteingehalt der Erbse. Die 2,6 t Belastung führte am Standort Köllitsch im Jahr 2009 zu einem signifikant höheren Rohproteingehalt der Erbse im Vergleich zur Variante ohne Bodenbelastung und zur 4,6 t-Variante (0 t: 255, 2,6 t: 260, 4,6 t: 254 g/kg), während eine zunehmende mechanische Belastung im Jahr 2010 zu einer kontinuierlichen Abnahme des Rohproteingehalts der Erbse geführt hat (0 t: 234, 2,6 t: 224, 4,6 t: 214 g/kg). Im Gegensatz zu den Rohproteingehalten wurde der Ertrag der Erbse sowohl in Köllitsch als auch in Trenthorst negativ von der Bodenbelastung im Jahr 2010 beeinflusst (4.5.1.7). Die Standortunterschiede könnten möglicherweise darauf zurückgeführt werden, dass der Standort Köllitsch eine höhere Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Durchführung der mechanischen Bodenbelastung, eine höhere Lagerungsdichte und eine unzureichende Durchlüftung im Jahr 2010 (4.5.1.2) aufwies. Da sich verdichtete Bodenstrukturen und eine schlechte Durchlüftung negativ auf die Stickstofffixierung von Erbsen auswirken (GRATH & HÅKANSSON 1992, GRATH &

ARVIDSSON 1997), könnte eine ausreichende Stickstoff-Versorgung am Standort Köllitsch problematischer als am Standort Trenthorst gewesen sein. Der Rohproteingehalt der Erbse wurde 2009 nicht von der Bodenbearbeitung, im Jahr 2010 aber von einer signifikanten Wechselwirkung von Bodenbearbeitung und mechanischer Bodenbelastung beeinflusst. Dabei führte eine mechanische Bodenbelastung nach tiefwendender Bearbeitung zu einer signifikanten Reduzierung der Gehalte an Rohprotein, während nach flachwendender Bodenbearbeitung keine signifikanten Unterschiede vorhanden waren (Tabelle 131). Dadurch bedingt lagen die Gehalte in der 4,6 t-Variante nach tiefwendender Bearbeitung auch signifikant unter denjenigen nach flachwendender Bearbeitung. In den anderen beiden Belastungsvarianten konnten hier keine Unterschiede festgestellt werden. NEUMANN et al. (2007) fanden nach reduzierter Bearbeitung signifikant höhere Korn-Stickstoffgehalte bei Erbsen aus Reinsaat und aus Erbsen-Hafer-Gemengen im Vergleich zu einer tiefwendenden Pflug-Bearbeitung, was nur in Teilen von den Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigt werden kann.

Die Rohproteingehalte des Hafers lag im Gemenge signifikant (8-K09, 8-T09/10, 9-T09/10) oder tendenziell (8-K10) über dem der Hafer-Reinsaat. Dies deckt sich mit Ergebnissen anderer Untersuchungen (HAUGGAARD-NIELSEN et al. 2001, 2008, LAUK & LAUK 2008, NEUMANN et al. 2007). Höhere Rohprotein-/Stickstoffgehalte von im Gemenge mit Erbsen angebauten Getreidearten können auf eine höhere Stickstoffverfügbarkeit zurückgeführt werden (HAUGGAARD-NIELSEN et al. 2008). Auch eine geringere intraspezifische Konkurrenz aufgrund einer geringeren Getreide-Saatstärke kommt als Ursache in Frage. Die flachwendende Bodenbearbeitung führte im Jahr 2009 zu einem signifikant geringeren Rohproteingehalt des Hafers im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung (tiefwendend: 118,8; flachwendend: 115,3 g/kg), während im Jahr 2010 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden konnten (tiefwendend: 129,6; flachwendend: 127,8 g/kg). In anderen Untersuchungen wurden bei Getreidearten keine Unterschiede im Proteingehalt zwischen einer flach- und einer tiefwendenden Bodenbearbeitung unter ökologischen Anbaubedingungen gefunden (BAKKEN et al. 2009, BRANDSTÄDTER et al. 2011). Die mechanische Bodenbelastung hat sich in der Regel nicht auf die Höhe der Rohproteingehalte des Hafers ausgewirkt.

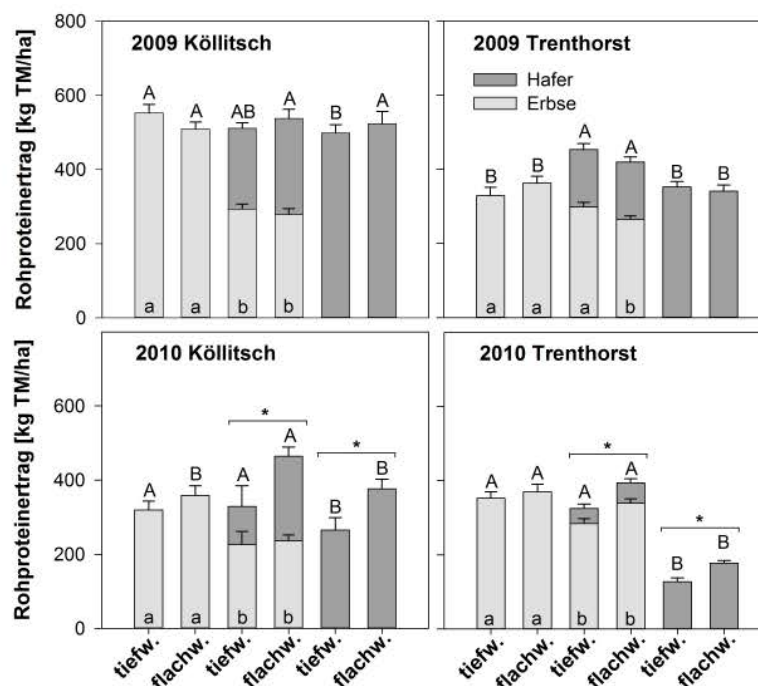
**Tabelle 131: Einfluss der mechanischen Bodenbelastung in der flach- und tiefwendenden Bodenbearbeitung auf den Rohproteingehalt der Erbsen und den Gesamt-Rohproteinertrag**

Bodenbearbeitung	Bodenbelastung	Rohproteingehalt Erbse (g/kg TM)		Gesamt-Rohproteinertrag (kg TM/ha)	
		2009	2010	2009	2010
tiefwendend	0 t	252,0 a	242,8 a	465 a	331 a
	2,6 t	251,0 a	234,7 b	437 a	290 b
	4,6 t	248,6 a	224,7 c	444 a	232 c
flachwendend	0 t	250,9 a	238,0 a	446 a	373 a
	2,6 t	253,8 a	234,4 a	453 a	346 a
	4,6 t	250,0 a	236,1 a	446 a	335 a

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den Belastungsstufen innerhalb einer Bodenbearbeitung

Der Rohproteinertrag der angebauten Kulturen lag am Standort Köllitsch im Jahr 2009 (8-K09) in allen Kulturen nach flachwendender Bearbeitung auf vergleichbarem Niveau, während in der tiefwendenden Bearbeitung der Rohproteinertrag in der Erbsen-Reinsaat am höchsten und in der Hafer-Reinsaat am niedrigsten war ( Abbildung 134). In Trenthorst wies in beiden Feldver-

suchen im Jahr 2009 (8-T09, 9-T09) das Erbsen-Hafer-Gemenge einen signifikant höheren Rohproteintrag als die Erbsen- und die Hafer-Reinsaat unabhängig von der Bodenbearbeitung auf. Im zweiten Versuchsjahr hingegen wurden sowohl in Köllitsch als auch in Trenthorst nach tiefwendender Bearbeitung in der Hafer-Reinsaat der signifikant geringste Rohproteintrag und keine signifikanten Unterschiede zwischen Erbsen-Reinsaat und Erbsen-Hafer-Gemenge festgestellt. Gleiche Verhältnisse ergaben sich am Standort Trenthorst auch nach flachwendender Bodenbearbeitung. Die flachwendende Bearbeitung am Standort Köllitsch führte in der Hafer- und der Erbsen-Reinsaat zu vergleichbaren Werten und ergab im Erbsen-Hafer-Gemenge den signifikant höchsten Rohproteintrag der Kulturen. Ähnliche Ergebnisse wurden auch von NEUMANN et al. (2007) und von LAUK & LAUK (2008) berichtet. Im Gemenge angebaute Erbsen erzielten insbesondere am Standort Köllitsch deutlich geringere Rohproteinträge im Vergleich zu Erbsen-Reinsaaten, was auf die schlechtere Ertragsleistung zurückzuführen ist. Der Versuchsfaktor Bodenbearbeitung hat den Rohproteintrag der Kulturen im Jahr 2009 nicht beeinflusst. Im Jahr 2010 wurde aufgrund einer besseren Ertragsleistung des Hafers nach flachwendender Bearbeitung (4.5.1.7), signifikant höhere Rohproteinträge im Erbsen-Hafer-Gemenge und in der Hafer-Reinsaat nach flachwendender Bodenbearbeitung erzielt. Während die mechanische Bodenbelastung sich im Jahr 2009 nicht auf die Rohproteinträge ausgewirkt hat, war im Jahr 2010 auch bei diesem Parameter eine deutliche Reduzierung der Rohproteinträge mit zunehmender Bodenbelastung nach tiefwendender Bodenbearbeitung festzustellen. Dies steht im Zusammenhang mit ähnlichen Effekten bei der Ertragsleistung und den Rohproteingehalten. Nach flachwendender Bodenbearbeitung waren allerdings keine signifikanten Unterschiede vorhanden (Tabelle 131).



**Abbildung 134: Rohproteinträge der Erbsen-Reinsaat, des Erbsen-Hafer-Gemenges und der Hafer-Reinsaat in Abhängigkeit der Bodenbearbeitung am Standort Köllitsch und Trenthorst in den Jahren 2009 (8-T09, 8-K09) und 2010 (8-T10, 8-K10). Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) der Gesamt-Rohproteinträge innerhalb derselben Bodenbearbeitung. Mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikante Unterschiede der Rohproteinträge der Erbse zwischen Reinsaat und Gemenge innerhalb derselben Bodenbearbeitung gekennzeichnet. Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen innerhalb derselben Kultur.**



#### 4.5.1.11 Ertrag der Nachfrucht Winterweizen

Der höchste Ertrag der Nachfrucht Winterweizen wurde in Köllitsch 2010 (8-K09N) und in Trenthorst 2011 (8-T10N) nach den Vorfrüchten Erbsen-Reinsaat und Erbsen-Hafer-Gemenge erzielt (Tabelle 132). Nach Vorfrucht Hafer-Reinsaat wurden im Vergleich dazu signifikant geringere Winterweizen-Erträge ermittelt, was die gute Vorfruchtwirkung von Erbsen-Reinsaat und Erbsen-Hafer-Gemenge verdeutlicht. Im Nachfruchtversuch Köllitsch 2011 (8-K10N) hat sich dagegen kein Unterschied in der Ertragsleistung der Nachfrucht Winterweizen zwischen den Varianten ergeben. Dies könnte auf eine deutlich schlechtere N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Vorfrucht Erbse insbesondere in der Reinsaat zurückzuführen sein (4.5.1.6). Auch in Versuch 9-T10N hat die Vorfrucht Hafer-Reinsaat mehrheitlich nur in der Tendenz schlechter abgeschnitten als die Erbsen-Reinsaat oder das Erbsen-Hafer-Gemenge. Ursächlich könnte hier ein schlechtes Wachstum der Erbsen vermutlich bedingt durch Fußkrankheiten sein. Mit Ausnahme einer signifikant geringeren Ertragsleistung der Nachfrucht Winterweizen nach flachwendender Bearbeitung in Parzellen mit Vorfrucht Erbsen- und Hafer-Reinsaat in Versuch 9-T10N, hat die Bodenbearbeitung die Ertragsleistung des Winterweizens nicht signifikant beeinflusst. Die mechanische Bodenbelastung hat sich in Abhängigkeit der Vorfrüchte uneinheitlich auf den Ertrag der Nachfrucht in Versuch 8-K09N und 9-T10N ausgewirkt, während in allen anderen Versuchen kein Effekt der mechanischen Bodenbelastung auf die Höhe der Ertragsleistung der Nachfrucht festzustellen war.

**Tabelle 132: Einfluss der Vorfrucht auf den Ertrag der Nachfrucht Winterweizen**

Vorfrucht	Ertrag der Nachfrucht Winterweizen (dt/ha)		
	Köllitsch 2010 8-K09N	Köllitsch 2011 8-K10N	Trenthorst 2011 8-T10N
Sommererbsen-Reinsaat	37,6 a	21,7 a	30,2 a
Sommererbsen-Hafer-Gemenge	33,9 a	23,5 a	26,2 a
Hafer-Reinsaat	27,7 b	23,0 a	20,8 b

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen den Vorfrüchten

#### 4.5.1.12 Dieserverbrauch und Materialverschleiß bei den untersuchten Bodenbearbeitungsverfahren

Am Standort Trenthorst wurden im Herbst 2009 und 2010 der Dieserverbrauch bei der tiefwendenden Bodenbearbeitung mit dem Pflug und der flachwendenden Bearbeitung mit dem Stoppelhobel unter Praxisbedingungen erfasst. Beim tiefwendenden Bodenbearbeitungsverfahren ergab sich für die Stoppelbearbeitung mit dem Grubber ein Dieserverbrauch von 7 l/ha und für die Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug ein Verbrauch in Höhe von 33 l/ha. Für die Bearbeitung des Bodens mit dem Stoppelhobel bei der Stoppel- und der Grundbodenbearbeitung wurde jeweils ein Verbrauch von 13 l/ha ermittelt. Ohne Berücksichtigung des Energieaufwandes für Saatbettbereitung und Saat, die in beiden Bodenbearbeitungsverfahren identisch durchgeführt wurden, ergibt sich damit für die flachwendende Bodenbearbeitung ein um 35 % geringerer Dieserverbrauch. Sollte bei der flachwendenden Bearbeitung vor der Grundbodenbearbeitung noch ein flaches Kreiseln zur Einebnung notwendig sein, so verringert sich der Dieserverbrauch gegenüber der tiefwendenden Bodenbearbeitung um 15 %. Die



Abnutzung der Schare erfolgte beim Stoppelhobel in einzelnen Jahren bereits nach 40-50 ha und damit deutlich früher als beim Einsatz des Pfluges in der tiefwendenden Bodenbearbeitung.

#### **4.5.2 Gemengeanbau von Sommererbsen bei flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung nach Brassicaceen-Zwischenfrüchten (Versuchsansatz 12)**

Der Versuchsansatz 12 beinhaltete die Faktoren Gemengeanbau von Sommererbsen (Sommererbsen-Reinsaat, Sommererbsen-Hafer-Gemenge und Hafer-Reinsaat), den Anbau von Brassicaceen-Zwischenfrüchten mit genotypisch unterschiedlich hohen Gehalten an Glucosinolaten zur Biofumigation sowie Bodenbearbeitung (flach- und tiefwendend). Die Versuche von Versuchsansatz 12 wurden am Standort Neu-Eichenberg durchgeführt (12-E09, 12-E10, 12-E11). Als Nachfrucht wurde auf allen Versuchen Weizen angebaut. Der erste Versuchsdurchgang (12-E09) scheiterte, weil eine massive Bodenmüdigkeit zum Totalausfall der Erbsen führte. Als Ersatz wurde 12-E11 durchgeführt.

##### **4.5.2.1 Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren 2009-2012**

Die Witterungsbedingungen wichen in allen Jahren zum Teil stark vom langjährigen Mittel ab (Abbildung 135). Der Winter 2010/11 war vergleichsweise sehr trocken mit starken Auswirkungen auf die Hauptfrüchte Erbsen und Hafer im zweiten Jahr und die Winterweizennachfrucht des ersten Durchgangs. In allen drei Wintern gab es extreme Kälteperioden. Im Februar 2012 gefror der Boden bis zu 50 cm tief nach einem plötzlichen schneefreien Kälteeinbruch, gefolgt von fast sechs Wochen ohne Regen. Dies führte zu starken Auswinterungsschäden in der Winterweizennachfrucht des zweiten Durchgangs.

Bedingt durch die stark unterschiedlichen Witterungsbedingungen erfolgte die Aussaat der Hauptfrüchte 2010 erst am 24. April, 2011 bereits am 24. März. Im Jahr 2010 war die Witterung nach der Aussaat deutlich kühler als erwartet, der April 2011 war deutlich wärmer als gewöhnlich. Dies führte zu insgesamt sehr unterschiedlichen Entwicklungen in den beiden Versuchsjahren.

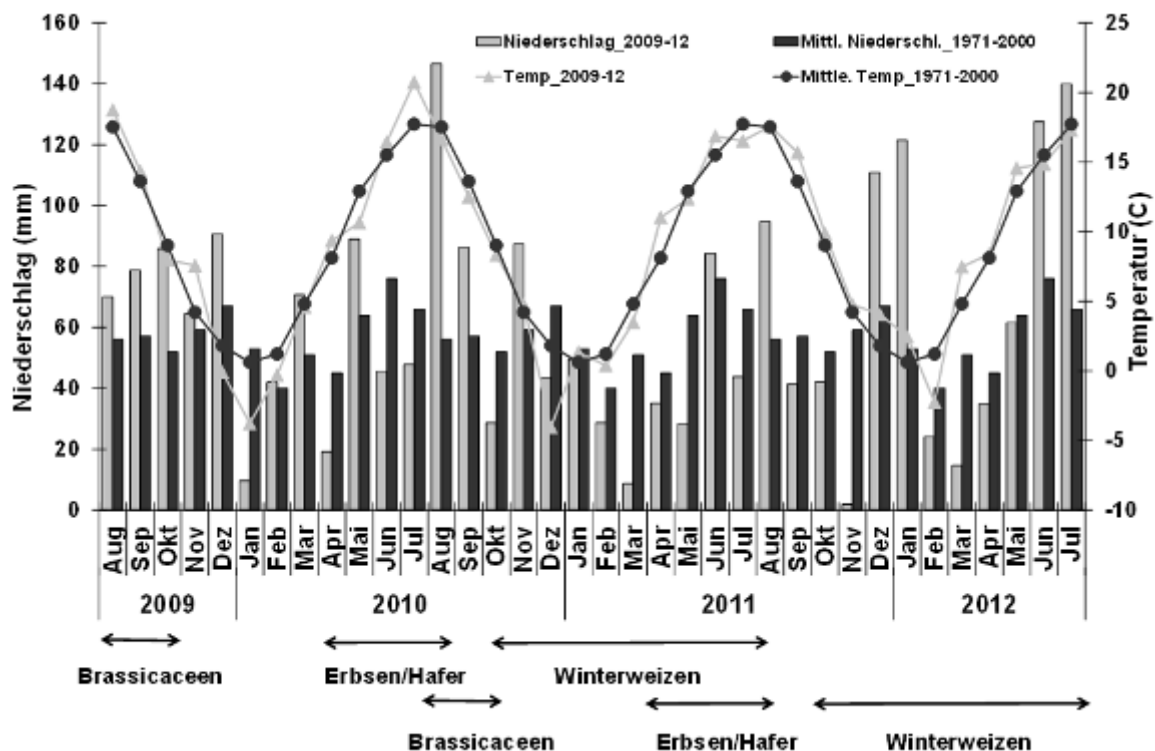


Abbildung 135: Witterungsverlauf in Neu-Eichenberg von August 2008 bis Juli 2012. Die Anbauzeiträume der unterschiedlichen Früchte in den beiden Versuchsdurchgängen sind ebenfalls angegeben.

#### 4.5.2.2 Boden N-Dynamik

Im Frühjahr 2010 vor der Erbsenaussaat unterschieden sich die  $N_{\min}$  Werte in 0-60 cm zwischen dem gepflügten Teil mit durchschnittlich 93 kg/ha und nach Stoppelhobel-Bearbeitung mit 101 kg/ha nicht signifikant. Die Werte waren 2011 in den gepflügten Parzellen mit 112 kg/ha statistisch absicherbar höher als nach Stoppelhobel-Bearbeitung (89 kg/ha) (Tabelle 133). In beiden Jahren waren nach der Ernte absicherbare Unterschiede zwischen den Anbausystemen zu finden. Die Werte waren nach Erbsen immer am höchsten. Unterschiede zwischen Hafer und den Mischungen waren nicht absicherbar (Tabelle 133). Die Brassicaceen hatten keinen Einfluss auf die  $N_{\min}$  Werte (Daten nicht gezeigt). Im Jahr 2011 wurden die  $N_{\min}$  Werte zusätzlich zur Blüte erhoben. Bereits zu diesem Zeitpunkt waren Unterschiede zwischen den Anbausystemen sichtbar.

Die  $N_{\min}$  Werte im Weizen wurden im Mai 2011 vor der Blüte ermittelt. Dies war wegen der Trockenheit im Jahr 2012 nicht möglich und die Werte wurden kurz vor der Abreife im Juli 2012 ermittelt. Zu beiden Zeitpunkten lagen die  $N_{\min}$  Werte von 0 - 60 cm zwischen 14 - 18 kg/ha ohne absicherbare Behandlungsunterschiede (Daten nicht gezeigt).

Tabelle 133: N<sub>min</sub><sup>1</sup>- Werte (kg/ha) in zwei Tiefen zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien

		N <sub>min</sub> (kg/ha)			
		2010		2011	
		0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
Zwei-drei Wochen nach Aussaat <sup>1,2</sup>	Bodenbearbeitung				
	Pflug	60a <sup>2</sup>	33a	77a	34a
	Stoppelhobel	65a	36a	67b	22b
Blüte	Anbausystem				
	Hafer	---	---	14c	5c
	Erbsen	---	---	32a	14a
	Artenmischung	---	---	25b	10b
	Bodenbearbeitung				
	Pflug	---	---	24	12a
	Stoppelhobel	---	---	24	7b
Nach Ernte	Anbausystem				
	Hafer	11b	5b	15a	7b
	Erbsen	17a	14a	19a	14a
	Artenmischung	13b	7b	17a	9b
	Bodenbearbeitung				
	Pflug	13a	8a	18a	12a
	Stoppelhobel	14a	8a	16a	8b

<sup>1</sup> 17. Mai 2010 bzw. 4. Apr. 2011

<sup>2</sup> Werte innerhalb eines Haupteffektes, die mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet sind waren statistisch absicherbar unterschiedlich (Tukey test < 0,05).

#### 4.5.2.3 Pflanzenentwicklung und Biomasseerträge ohne Korn Erbsen und Hafer

Erbsen und Hafer liefen in beiden Jahren zu über 90 % auf ohne absicherbare Unterschiede zwischen Reinbeständen und Mischungen. Eine zweite Zählung der Erbsen 40 Tage nach der Aussaat im Jahr 2011 ergab, dass sich die Anzahl Erbsenpflanzen zwischen 5 und 10 % reduziert hatte. Zu diesem Zeitpunkt standen signifikant weniger Erbsenpflanzen in den Mischungen als in den Reinbeständen (71 im Vergleich zu 76 Pflanzen/m). In den gepflügten Parzellen standen signifikant mehr Pflanzen/m als in den mit Stoppelhobel bearbeiteten Parzellen (77 im Vergleich zu 69 Pflanzen/m, P < 0,05 in beiden Fällen). Die Höhe der Erbsenbestände betrug 2010 ca. 65 cm, 2011 nur ca. 48 cm. Dies reflektierte die Trockenheit im April und Mai 2011. Die Pflanzenhöhe des Hafers betrug 78 bzw. 90 cm in den beiden Jahren. Artenmischungen hatten keinen Einfluss auf die Pflanzenhöhe. Die Biomasseproduktion war grundsätzlich am geringsten in Erbsenreinbeständen und am höchsten in den Haferreinbeständen. Eine Ausnahme bildete die Artenmischung zur Blüte 2010 mit der höchsten Biomasse (Tabelle 134). Der größte Einflussfaktor auf die Biomasseproduktion (Frisch- und Trockenmasse) war der Mischanbau. In beiden Jahren wurde die Erbsenbiomasse durch Mischanbau mit Hafer zu beiden Beerntungszeitpunkten um ca. ein Drittel reduziert (Tabelle 134). Im Unterschied dazu waren die Biomasseerträge des Hafers immer deutlich höher als erwartet. Da die Saatmenge des Hafers in den Mischungen nur 20 % der Reinbestände betrug, muss der Erwartungswert entsprechend angepasst werden. Die Biomasseerträge des Hafers in Mischungen lagen im Vergleich zu diesen Erwartungswerten abhängig von Jahr und Erntezeitpunkt zwischen 186 % und 341 %.

**Tabelle 134: Frischmasseertrag (kg/ha) von Erbsen und Hafer in Reinsaat und in Mischung Anfang Juni und zur Reife (ohne Hülsen und Rispen) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und dem Zwischenfruchtanbau<sup>1</sup>.**

	2010						2011					
	Frischmasse (kg/ha)						Frischmasse (kg/ha)					
BBCH	65	52		99	97		72	59		97	93	
Art	Erbsen	Hafer	Gesamt	Erbsen	Hafer	Gesamt	Erbsen	Hafer	Gesamt	Erbsen	<sup>2</sup> Hafer	<sup>2</sup> Gesamt
Anbausystem												
Hafer		12490	12490b		8230	8230a		20918	20918a		12577	12577a
Erbsen	12423a		12423b	2932a		2932c	9669a		9669c	1578a		1578c
Mischung	8778b	6082	14860a	2168b	4820	6988b	6370b	7766	14136b	988b	8577	9565b
<b>Bodenbearbeitung</b>												
Pflug	10855	9063	13279	2824	6890	6476	9018a	14320	15559	1475a	10662	8091
Stoppelh.	10346	9510	13237	2277	6160	5624	7021b	14364	14256	1091b	10491	7722
<b>Zwischenfrucht</b>												
<i>S. alba</i>	9928	8351	12186	2453	6061	5676	8029	14479	15006	1378	9941	7547
<i>B. juncea</i>	11237	9706	13962	2599	6846	6297	8273	14540	15209	1330	11349	8453
<i>R. sativus</i>	10638	9801	13625	2598	6666	6176	7757	14006	14509	1141	10439	7720

<sup>1</sup> Werte innerhalb eines Haupteffektes, die mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet sind, waren statistisch absicherbar unterschiedlich (Tukey test < 0,05).

<sup>2</sup> Keine absicherbaren Interaktionen zwischen den Hauptfaktoren im Jahr 2010. Im Jahr 2011 gab es eine geringe aber absicherbare Dreifachinteraktion bei Hafer und Gesamtfrischmasseertrag (siehe Abbildung 136).

Weder die Bodenbearbeitung noch die Brassicaceen-Zwischenfrüchte wirkten sich auf die Biomasseerträge aus. Eine Ausnahme war eine dreifache Interaktion zur Abreife 2011 (Abbildung 136). In den Artenmischungen änderten sich die Biomasseerträge in Reaktion auf die Bodenbearbeitung und die Brassicaceen-Zwischenfrüchte.

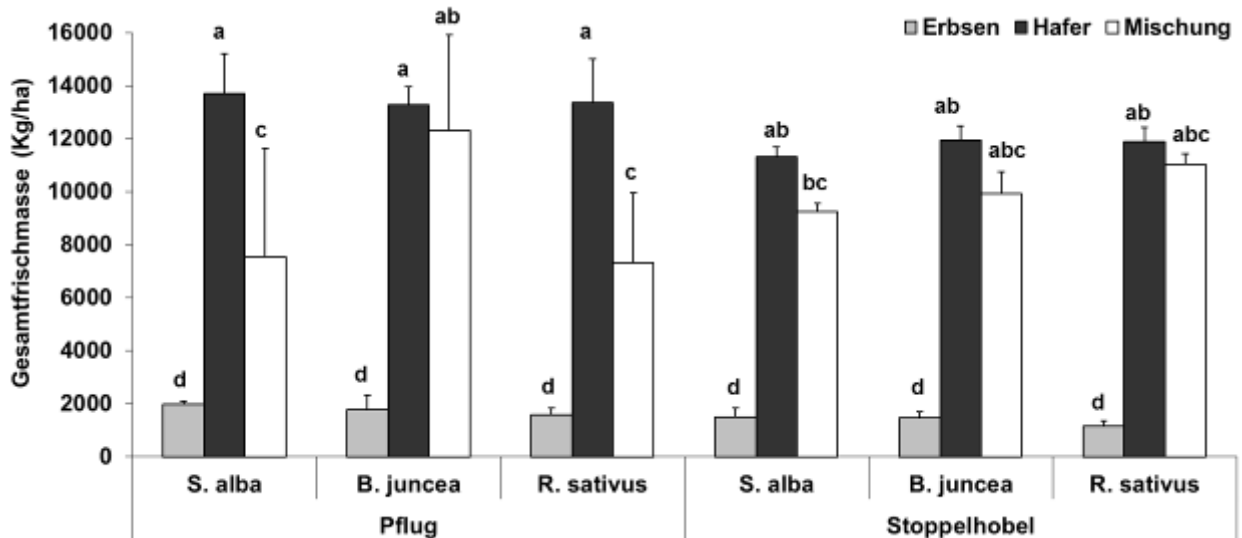


Abbildung 136: Gesamtfrischmasse (kg/ha) ohne Hülsen und Rispen in Reinbeständen und Gemengen von Erbsen und Hafer zur Abreife 2011. Die Dreifachinteraktion von Bodenbearbeitung, Zwischenfrucht und Anbau in Reinsaat oder Gemenge war statistisch absicherbar. Balken, die mit verschiedenen Buchstaben markiert sind waren statistisch absicherbar unterschiedlich (Tukey test < 0,05).

#### 4.5.2.4 Beikrautaufkommen

Das für 2010-2012 gewählte Feld hatte ein unerwartet hohes Auftreten von Senf im Jahr 2011 (Abbildung 137). Entsprechend war die Beikrautbiomasse in Erbsenreinbeständen 2011 2,5 Mal so hoch wie 2010 (Tabelle 136). Im Vergleich zu den Erbsenreinbeständen war die Beikrautbiomasse in den Artenmischungen zu allen Probenahmeterminen um ca. 50 % reduziert. In den Haferreinbeständen betrug die Reduktionen 2010 im Mittel 70 % und 2011 89 %. Bodenbearbeitung und Anbausystem interagierten im Jahr 2010 (Tabelle 135). In den Erbsenreinbeständen war die Beikrautbiomasse in der Stoppelhobel-Bearbeitung signifikant höher als bei der Bearbeitung mit dem Pflug. In den Artenmischungen oder Haferreinbeständen gab es keine Bearbeitungsunterschiede.

**Tabelle 135: Beikrautfrischmasse<sup>1</sup> (kg/ha) in Erbsen und Haferreinbeständen und Gemengen Anfang Juni und zur Abreife in zwei Jahren (in Klammern Standardabweichungen) in 2010 (Interaktion von Anbau und Bodenbearbeitung)**

	Anfang Juni		Abreife	
Anbau	Pflug	Stoppelhobel	Pflug	Stoppelhobel
Hafer	836(±238)de	653(±384)e	1028(±399)d	566(±194)d
Erbsen	2571(±679)b	3348(±1045)a	3994(±1001)b	5099(±1163)a
Gemenge	1558(±534)c	1350(±479)cd	2505(±1113)c	2200(±713)c

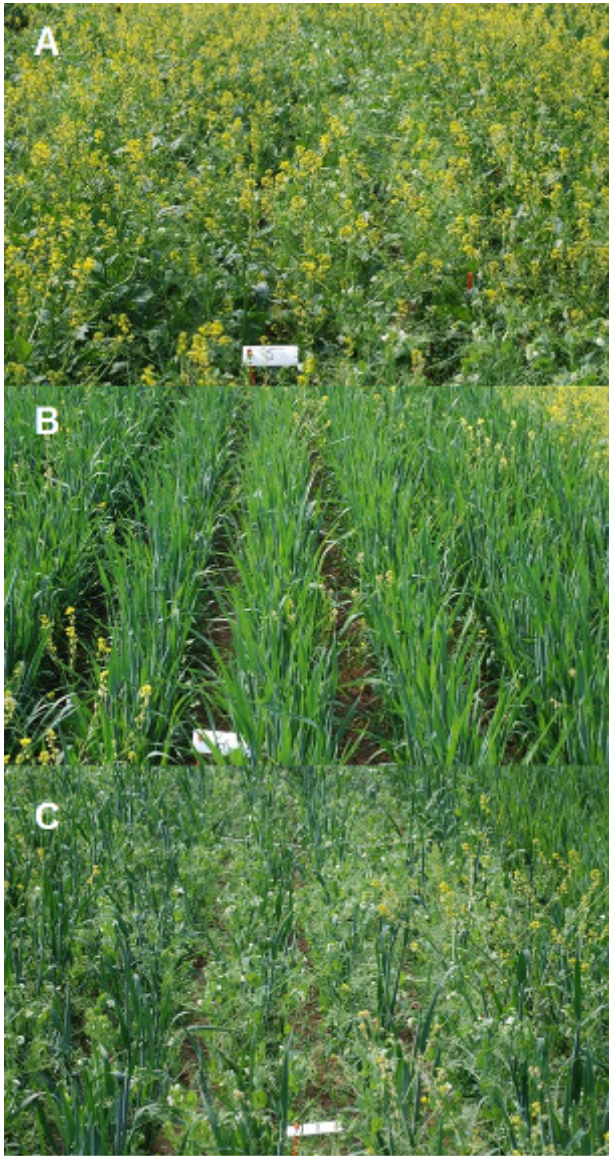
<sup>1</sup> Werte innerhalb eines Haupteffektes, die mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet sind, waren statistisch absicherbar unterschiedlich P < 0.05 (Tukey test).

**Tabelle 136: Beikrautfrischmasse (kg/ha) in Erbsen und Haferreinbeständen und Gemengen Anfang Juni und zur Abreife in zwei Jahren (in Klammern Standardabweichungen) in 2011 (keine Interaktion von Anbau und Bodenbearbeitung)**

		Anfang Juni	Abreife
Anbausystem	Hafer	843(±759)c	752(±1110)c
	Erbsen	6110(±3406)a	9472(±5607)a
	Gemenge	3251(±2859)b	3565(±3602)b
Bodenbearbeitung	Pflug	3138(±3389)	4900(±5667)
	Stoppelhobel	3665(±3359)	4292(±4985)
Zwischenfrucht	<i>S. alba</i>	3540(±3473)	4215(±4127)
	<i>B. juncea</i>	2999(±3260)	4477(±5737)
	<i>R. sativus</i>	3665(±3452)	5098(±6050)

<sup>1</sup> Werte innerhalb eines Haupteffektes, die mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet sind, waren statistisch absicherbar unterschiedlich P < 0.05 (Tukey test).





**Abbildung 137: Natürliches Auftreten von Senf im Versuch 2011. (A) Erbsen Reinbestand, (B) Hafer Reinbestand (C) Gemenge (31. Mai 2011).**

#### 4.5.2.5 Krankheiten und Schadinsekten

Fast alle Erbsenwurzeln und Stängelbasen wiesen in beiden Jahren äußerlich schwarze Läsionen auf, die über das erste Blatt hinaus reichten bzw. >3 cm der Pfahlwurzel bedeckten (Note 8 auf einer Skala von 1 (gesund) bis 9 (abgestorben)). Es wurden keine toten Pflanzen gefunden. Nur etwa 10 % der Pflanzen im Jahr 2010 und fast keine im Jahr 2011 hatten die Boniturnote 4 oder weniger (nur Braunfärbung) (Abbildung 138). Im Gegensatz dazu waren die internen Läsionen in den Wurzeln in beiden Jahren deutlich weniger stark ausgeprägt (Abbildung 138). Die Läsionsausprägung wurde durch keine der Behandlungen statistisch signifikant beeinflusst.

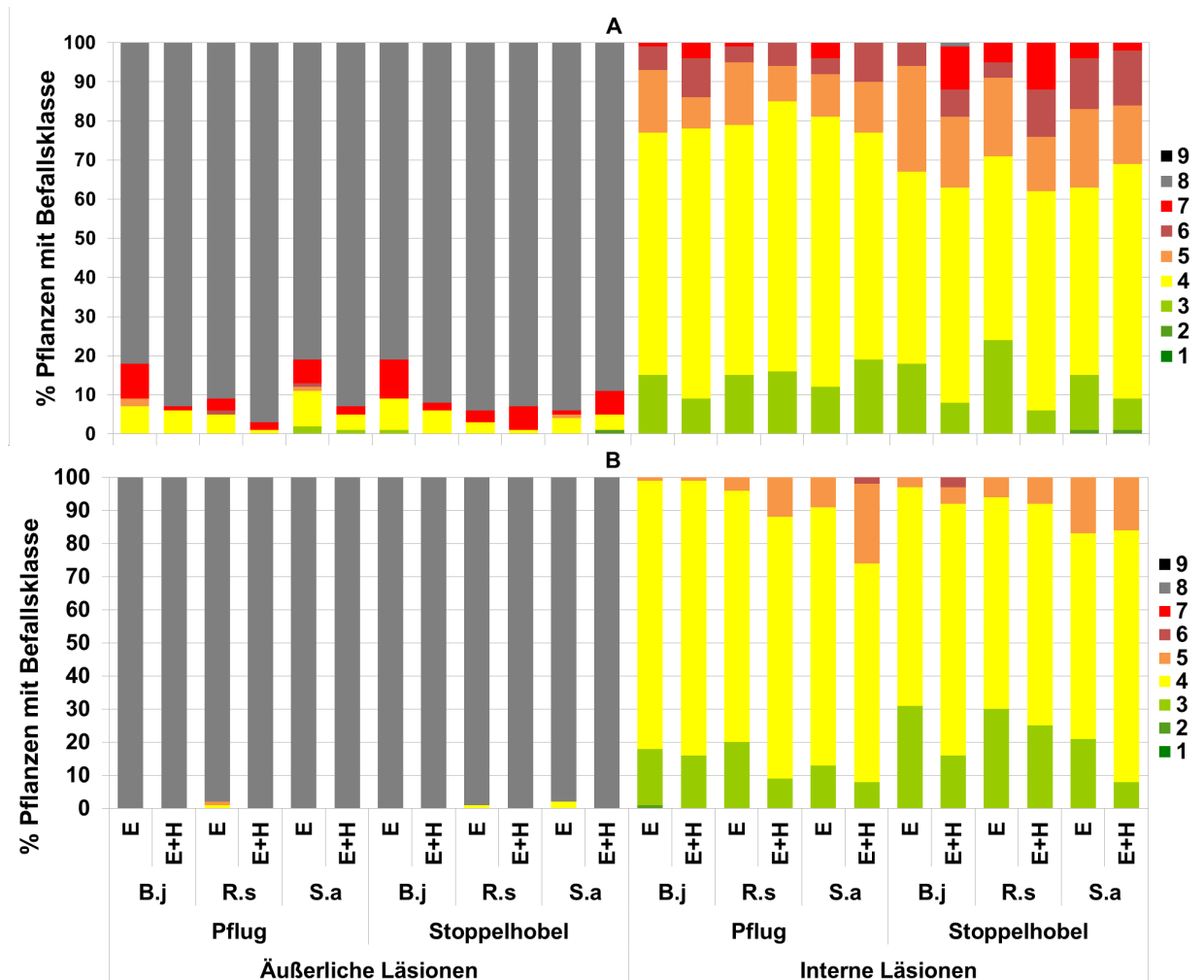
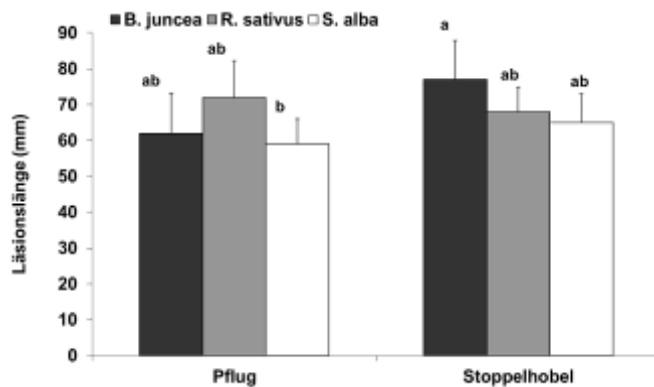


Abbildung 138: Äußerliche und interne Läsionen (Klassen 1=gesund bis 9=abgestorben) auf Erbsenwurzeln und Epicotyl im Jahr 2010 (A) und 2011 (B). Der Prozentsatz an bonitierten Pflanzen pro Befallsklasse ist dargestellt. Es sind alle Behandlungen gezeigt. Die Zwischenfrüchte sind folgendermaßen abgekürzt: B.j= *Brassica juncea*, R.s= *Raphanus sativus*, S.a= *Sinapis alba*. E= Erbsen, E+H = Gemengeanbau mit Hafer.

Trotz der insgesamt geringeren Schwere der internen Läsionen im Jahr 2011 war die Läsionslänge mit 120 mm fast doppelt so lang wie 2010 mit 69 mm. Die Läsionslänge an den Erbsenwurzeln war 2010 und 2011 in den Artenmischungen um 4 bzw. 9 mm höher als in

Reinbeständen. Der Unterschied war 2011 statistisch absicherbar. Im Jahr 2010, aber nicht 2011 interagierten Bodenbearbeitung und Brassicaceen-Zwischenfrüchte. Die längsten Läsionen wurden nach Stoppelhobel mit Zwischenfrucht *B. juncea* gemessen, die kürzesten nach Pflug mit Zwischenfrucht *S. alba* (Abbildung 139). Insgesamt waren die Unterschiede aber gering.



**Abbildung 139: Auswirkungen der Zwischenfrüchte und der Bodenbearbeitung auf die Läsionslänge der Erbsen im Stadium BBCH 74 im Jahr 2010. Die Daten waren normalverteilt. Balken, die mit verschiedenen Buchstaben markiert sind, waren statistisch absicherbar unterschiedlich (Tukey test <math><0.05</math>). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar.**

Von den Wurzeln wurden *P. medicaginis* zusammen mit *M. pinodes* und in seltenen Fällen auch *A. pisi* isoliert. Vor allem *P. medicaginis* und *M. pinodes* traten als Mischinfektionen auf. Fusarium-Arten wurden nur selten gefunden (Abbildung 140). Fast 80 % der Pflanzen waren 2010 mit *P. medicaginis* infiziert und nur wenige mit *M. pinodes* und Fusarien. Im Gegensatz dazu waren 2011 ca. 50 % mit *P. medicaginis* und 30 % mit *M. pinodes* infiziert. Das Auftreten anderer Pilze war insgesamt gering.

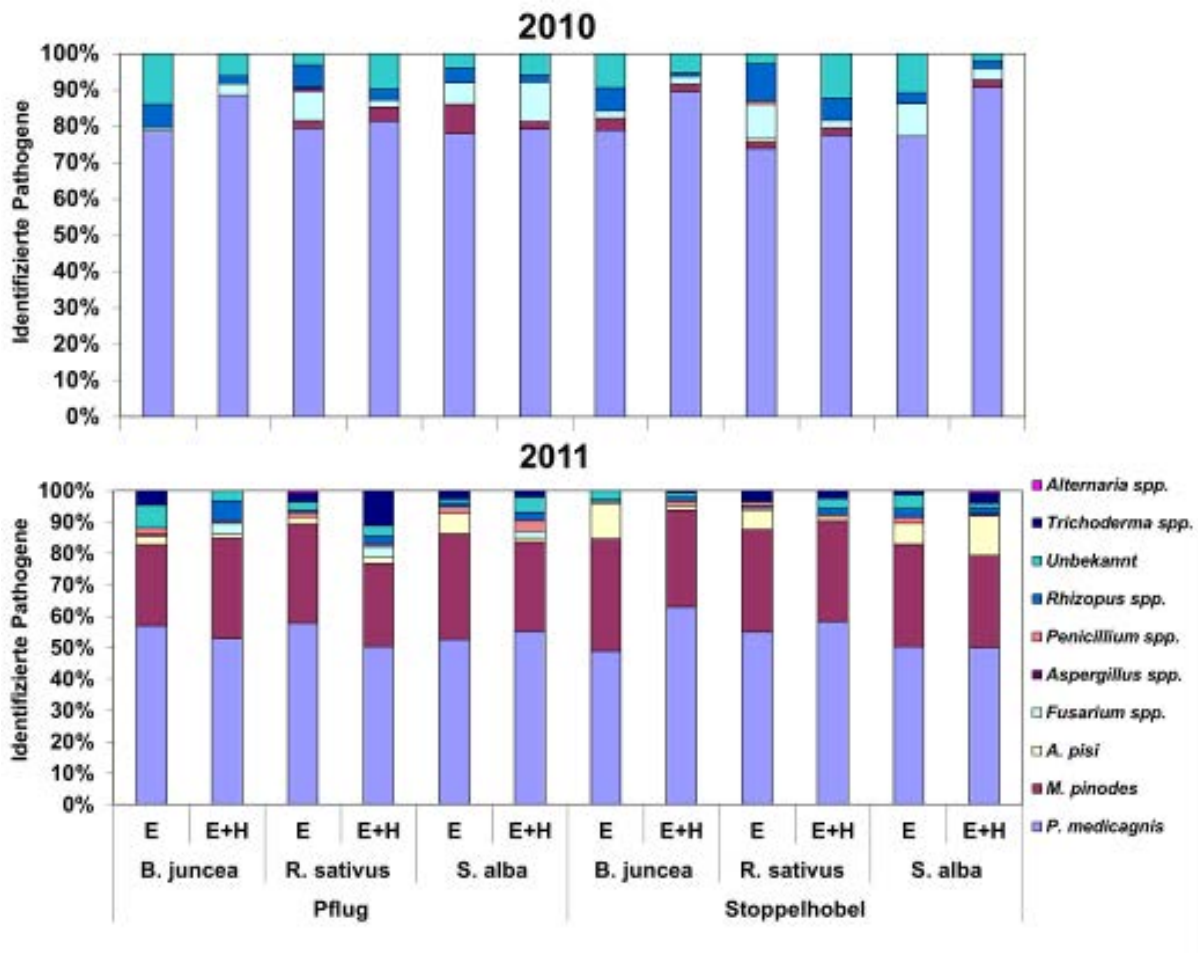
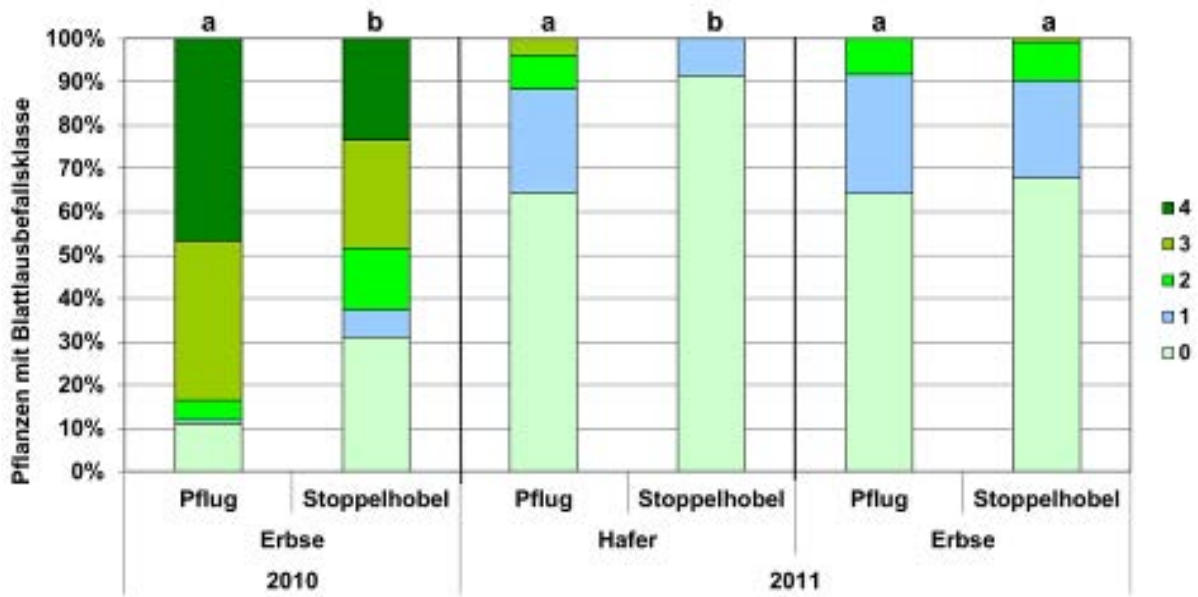


Abbildung 140: Identifizierte Pathogene auf Erbsenwurzeln in Abhängigkeit der Zwischenfrucht und der Bodenbearbeitung beim Anbau als Erbsenreinbestand (E) oder im Gemenge mit Hafer (E+H) 2010 (A) und 2011 (B).

Die Befallsschwere und die Häufigkeit des Befalls mit Blattkrankheiten waren insgesamt mit < 4 % bzw. < 3 % sehr niedrig. Eine Ausnahme bildete eine Befallshäufigkeit von 36 % beim falschen Mehltau (*P. pisi*) im Jahr 2010 und 9 % bei *P. medicaginis* im Jahr 2011 an den Erbsen bei einer geringen Befallsschwere. Es wurden jedoch keine statistisch absicherbaren Unterschiede gefunden (Daten nicht gezeigt).

Im Jahr 2010 war die Befallshäufigkeit mit Blattläusen (*A. pisum*) bei Erbsen 79 % bei einer hohen Befallsschwere mit Median Note 3. Keine Blattläuse traten beim Hafer auf. Die Befallshäufigkeit und -schwere war 2011 an den Erbsen deutlich geringer, auch am Hafer traten in diesem Jahr Blattläuse auf. Die Befallshäufigkeiten lagen bei Erbsen bei 54 % und beim Hafer bei 37 %. Die Mediane der Noten betrug jedoch in beiden Fällen 0. Die Befallsschwere war in beiden Versuchsjahren bei der Erbse und im Jahr 2011 beim Hafer in den mit Stoppelhobel bearbeiteten Parzellen deutlich reduziert (Abbildung 141). Die Unterschiede waren statistisch signifikant für Erbsen 2010 und für Hafer 2011 ( $P < 0,01$ , Wilcoxon Mann-Whitney rank sum test).



**Abbildung 141: Befallsschwere mit Blattläusen (Klassen 0=kein Befall bis 4=sehr starker Befall, siehe Methoden) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Balken, die mit verschiedenen Buchstaben markiert sind, waren statistisch absicherbar unterschiedlich (Friedmann Test).**

Im Mittel wiesen 2010 77 % und 2011 86 % der Erbsenpflanzen Fraßschäden durch Blattrandkäfer (*S. lineatus*) auf und 45 % bzw. 35 % der Pflanzen waren durch Blattminierer (*L. huidobrensis*) befallen (Daten nicht gezeigt). Der Saatgutbefall durch den Erbsenwickler (*L. nigricana*) war 2010 mit ca. 25 % deutlich höher als 2011 (ca. 14 %). Im Jahr 2011 gab es keine Behandlungsunterschiede, im Gegensatz dazu waren im Jahr 2010 in den Artenmischungen 28 % der Erbsenkörner durch Erbsenwickler-Larven geschädigt, im Gegensatz zu 22 % in den Reinbeständen. Der Unterschied war statistisch absicherbar. Keine der anderen Behandlungen führte zu Unterschieden im Befall.

Die erwarteten Effekte von *B. juncea* oder *R. sativus* im Vergleich zu *S. alba* auf die Gesundheit der Erbsen konnten in diesen Versuchen nicht erzielt werden. Gründe dafür können vielfältig sein. Einerseits lag ein langer zeitlicher Abstand zwischen der Biofumigation durch Mulchen und Einarbeiten im Oktober und der Erbsenaussaat im März/ April der Folgejahre. Etwaige Effekte auf die Bodenmikrobiologie sind dann möglicherweise nicht mehr vorhanden. Es ist aber auch möglich, dass Brassicaceen keine Auswirkungen auf die Hauptpathogene *P. medicaginis* und *M. pinodes* haben. Dies müsste unter kontrollierten Bedingungen untersucht werden. Unklar bleibt auch, ob der Krankheitsdruck ohne Brassicaceen-Zwischenfrucht anders gewesen wäre. Die Schwierigkeit liegt hier im Versuchsdesign. Eine Kontrolle ohne Zwischenfrucht hätte deutlich reduzierten Input an organischem Material und damit wieder eine deutlich verschiedene Bodenbiologie bedeutet. Eine andere Zwischenfrucht, wie z. B. Phacelia wäre u. U. als Kontrolle sinnvoll gewesen. Aber auch bei Phacelia sind Biofumigationseffekte bekannt (THODEN et al. 2009). Somit ist eine Negativkontrolle prinzipiell schwierig. Aus diesem Grund wurde eine Brassicaceae mit geringem Gehalt an Glucosinolaten gewählt.

Auch durch den Misanbau mit Hafer oder eine reduzierte Bodenbearbeitung wurden keine größeren Veränderungen im Krankheitsgeschehen bei Erbsen oder Hafer verursacht. Die längeren Läsionen 2011 vor allem in den Artenmischungen können durch den höheren



Krankheitsdruck kombiniert mit stärkeren Konkurrenzeffekten wegen der Trockenheit im Frühjahr 2011 erklärt werden. Entsprechend reduziert waren die Erbsenerträge 2011 (siehe 4.5.2.6). Es ist auch möglich, dass das stärkere Auftreten von *M. pinodes* 2011 stärker ertragswirksam war als *P. medicaginis* im Jahr 2010, die fast alleine auftrat. Erste Ergebnisse aus Topfversuchen legen nahe, dass *M. pinodes* wichtiger ist als *P. medicaginis* (BACANOVIC, FINCKH et al., unveröffentlicht).

#### 4.5.2.6 Kornerträge

Die Handernterträge waren 2010 30 % und 2011 20 % höher als bei der Maschinenernte. In beiden Jahren wurde die Maschinenernte durch nasses Wetter verzögert. Die relativen Erträge der Erbsen und des Hafers waren jedoch ähnlich bei beiden Erntemethoden (Tabelle 137). Da weniger Verluste bei der Handerte zu erwarten sind werden für Erbsen und Hafer diese Daten im Detail diskutiert. Für Weizen stehen nur Daten für die Maschinenernte zur Verfügung (Tabelle 137b).

**Tabelle 137: Kornerträge (kg/ha) Handerte (a) und Maschinenernte (b) in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung, Gemengeanbau und Zwischenfrucht.**

##### a) Handerte

		2010/11			2011/12		
		Kornertrag <sup>1</sup> (kg/ha)			Kornertrag (kg/ha)		
		Erbsen	Hafer	Gesamt	Erbsen	Hafer <sup>2</sup>	Gesamt
Anbausystem	Hafer		3102	3102a		5141	5141a
	Erbsen	2278a		2278b	2206a		2206c
	Gemenge	1555b	1403	2958a	1029b	2488	3517b
Bodenbearbeitung	Pflug	2137	2185	2881	1888a	3694	3721
	Stoppelhobe I	1697	2320	2678	1347b	3935	3521
Zwischenfrucht	S. alba	2085a	2081	2777	1840a	3729	3712
	B. juncea	2013a	2327	2893	1686ab	3925	3740
	R. sativus	1652b	2350	2668	1326b	3790	3411
Mittelwert		1917	2252	2779	1617	3815	3621



## b) Maschinenernte

2010/11						
		Kornertrag (kg/ha)				
		Erbse	Hafer	Erbse + Hafer	Weizen	Fruchtfolge
<b>Anbausystem</b>	Hafer		2529	2529a	3073c	<b>5602b</b>
	Erbsen	1937a		1937b	3961a	<b>5898ab</b>
	Gemenge	1358b	1259	2616a	3554b	<b>6170a</b>
<b>Bodenbearbeitung</b>	Pflug	1781	1906	2423	3823a	<b>6246a</b>
	Stoppelhobel	1514	1909	2304	3235b	<b>5539b</b>
<b>Zwischenfrucht</b>	<i>S. alba</i>	1581	1780	2241	3481	<b>5722</b>
	<i>B. juncea</i>	1638	1917	2402	3644	<b>6046</b>
	<i>R. sativus</i>	1728	2033	2453	3462	<b>5915</b>
<b>Mittelwert</b>		<b>1648</b>	<b>1905</b>	<b>2363</b>	<b>3529</b>	<b>5892</b>
2011/12						
		Kornertrag (kg/ha)				
		Erbse	Hafer	Erbse + Hafer	Weizen	Fruchtfolge
<b>Anbausystem</b>	Hafer		4674	4674a	4013	<b>8687a</b>
	Erbsen	1749a		1749c	4087	<b>5836c</b>
	Gemenge	859b	2140	2999b	4031	<b>7030b</b>
<b>Bodenbearbeitung</b>	Pflug	1503a	3384	3258	4069	<b>7327</b>
	Stoppelhobel	1105b	3429	3023	4019	<b>7042</b>
<b>Zwischenfrucht</b>	<i>S. alba</i>	1274	3074b	2899	4011	<b>6910</b>
	<i>B. juncea</i>	1423	3589a	3341	4010	<b>7351</b>
	<i>R. sativus</i>	1215	3556a	3181	4111	<b>7292</b>
<b>Mittelwert</b>		<b>1304</b>	<b>3407</b>	<b>3140</b>	<b>4044</b>	<b>7184</b>

<sup>1</sup> Feuchte auf 14% berechnet

<sup>2</sup> Werte innerhalb eines Haupteffektes, die mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet sind waren statistisch absicherbar unterschiedlich  $P < 0,05$  (Tukey test).

Die Erbsenerträge in den Reinbeständen waren in beiden Jahren sehr ähnlich (Tabelle 137). Auch die TKGs waren fast gleich mit 238 g und 247 g in 2010 bzw. 2011. Allerdings reagierten die Erbsen sehr unterschiedlich auf den Hafer im Mischbau. Die Ertragsverluste bei Erbsen durch den Mischbau betragen 2010 ca. 30 % und 2011 mehr als 50 %. Die TKGs in den Mischungen waren in den beiden Jahren statistisch absicherbar um 6 % bzw. 9 % reduziert im Vergleich zu den Reinbeständen. Die Erbsenerträge waren ebenfalls bei den Stoppelhobelvarianten reduziert. Die Unterschiede waren nur bei Maschinenernte statistisch signifikant.

Die Hafererträge waren 2011 fast doppelt so hoch wie 2010 bei TKGs von 37 g bzw. 39 g. Sie betragen in den Mischungen zwischen 45 und 50 % der Reinbestände obwohl der Hafer nur mit 20 % der Aussaatstärke gesät worden war. Die Bodenbearbeitung hatte insgesamt keinen Einfluss auf die Hafererträge (Tabelle 137). Im Jahr 2011 gab es jedoch eine

statistisch absicherbare Interaktion zwischen Bodenbearbeitung und Anbausystem. Die Erträge der Haferreinbestände lagen bei 48 dt/ha nach Pflug und 45 dt/ha nach Stoppelhobel. In den Mischungen war die Reihenfolge umgekehrt mit 19 dt/ha nach Pflug und 23 dt/ha nach Stoppelhobel. Die Interaktion beruhte auf der Änderung der Reihung (Daten nicht gezeigt).

In beiden Jahren waren die Gesamterträge der Artenmischungen absicherbar höher als die der Erbsen im Reinbestand. Im Jahr 2011 übertraf der Hafer im Reinbestand allerdings die Artenmischung. Die Gesamterträge waren nach Stoppelhobel 7 % geringer als nach Pflug; die Unterschiede waren nicht statistisch absicherbar (Tabelle 137).

Die Anzahl Ährentragende Halme/m<sup>2</sup> bei Weizen betrug 2011 387, nach dem extremen Kahlfröst im Februar 2012 jedoch nur 196. Trotz der Auswinterung waren die Weizenerträge 2012 im Mittel 5,1 dt/ha höher als 2011. Dies ist auf die beeindruckende Fähigkeit zur Kompensation bei Weizen einerseits und die deutlich bessere Bodengüte des Schlages im Jahr 2012 zurückzuführen. Im Jahr 2011 betrug die Anzahl Körner pro Ähre 16,8 bei einem TKG von 55,5 g, d. h. ein Ertrag von 0,93 g pro Ähre. Mit 42,3 Körnern pro Ähre bei einem nur wenig reduzierten TKG von 51,0 g im Jahr 2012 betrug der Ertrag pro Ähre 2,2 g, also mehr als doppelt so viel. Weizenerträge waren 2011 absicherbar höher nach Erbsen gefolgt von den Mischungen im Vergleich zu den Haferreinbeständen. Keine Unterschiede waren 2012 zu messen (Tabelle 137b). Die Erträge im Jahr 2011 in den gepflügten Varianten waren signifikant höher als nach Stoppelhobel-Bearbeitung, während die Brassicaceen keinen Einfluss hatten. Im Jahr 2012 hatte keiner der Faktoren einen Einfluss auf die Weizenerträge.

Der Gesamtertrag der Fruchtfolge war 2010/11 am höchsten in der Variante mit der Artenmischung mit 61,7 dt/ha, 2011/12 in der Varianten mit Hafer mit 86,9 dt/ha (Tabelle 137b). Die geringsten Erträge wurden immer in der Variante mit Erbsen-Reinsaat erzielt. In beiden Jahren waren die Gesamterträge nach Pflug höher (2011 statistisch absicherbar) als nach Stoppelhobel. Es gab keine absicherbaren Einflüsse der Brassicaceen auf die Gesamterträge. In der Tendenz waren die Erträge nach *S. alba* jedoch etwas geringer.

Daten über den Proteintrag wurden nicht erhoben. Aus den Daten von Trenthorst (Versuch 9-T09 und 9-T10) kann aber angenommen werden, dass der Gesamtproteintrag in den Fruchtfolgen mit der Artenmischung insgesamt am höchsten war.

Betrachtet man das Gesamtsystem mit seinen Auswirkungen auf den Beikrautdruck, das Krankheitsgeschehen und die Ertragssicherheit ergibt sich folgendes Bild: Wenn Erbsen produziert werden sollen, ist ein Mischbau mit Hafer in Bezug auf ein langfristiges Beikrautmanagement eine wirkungsvolle Strategie. Die Aussaatstärke des Hafers muss deutlich eingeschränkt sein und es könnte insgesamt interessant sein, unterschiedliche Hafersorten zu testen, um die negativen Konkurrenzeffekte auf die Erbsen zu minimieren. Das Krankheitsgeschehen auf Erbsen konnte durch keine der Versuchsvarianten verändert werden und war starken Jahres- und Bodeneinflüssen unterworfen. Es wäre sehr interessant, Experimente auf Schlägen unterschiedlicher Bodengüte parallel durchzuführen, um die Fragen nach Interaktionen der Klimabedingungen mit dem Erregerpotential und der Bodengüte besser abbilden zu können. Solche Fragen sind möglicherweise aber insgesamt besser durch Ansätze wie im WP 1 beschrieben zu beantworten. Die Ertragsreduktionen in den ersten zwei Jahren einer reduzierten Bodenbearbeitung waren nur gering. Es bleibt zu untersuchen, wie sich ein solches System über längere Zeit auswirkt.

### 4.5.3 Gemengeanbau von Wintererbsen in Kombination mit flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung (Versuchsansatz: 13)

Der Versuchsansatz 13 beinhaltete die Faktoren Gemengeanbau von Wintererbsen (Tabelle 10) und Bodenbearbeitung (flach- und tiefwendend). Die Versuche wurden in den Jahren 2008/09 (13-T09), 2009/10 (13-T10) und 2010/11 (13-T11) am Standort Trenthorst durchgeführt. Als Nachfrucht wurde Weizen angebaut. Die Untersuchungen erfolgten in allen Jahren an der normalblättrig, buntblühenden Wintererbsen-Sorte 'E.F.B. 33' (kurz: 'EFB') und zusätzlich in den Jahren 2009/10 und 2010/11 auch an der halbblattlosen, weißblühenden Wintererbsen-Sorte 'James'. Die Abkürzungen der untersuchten Varianten einschließlich der Saatstärkenverhältnisse ist in Tabelle 10 aufgelistet.

#### 4.5.3.1 Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren

Der Winter 2008/09 war mit Maximalfrosttemperaturen von -10,7°C und 11 Eistagen deutlich milder im Vergleich zu 2009/10 (-14,6 °C) und 2010/11 (-14,4 °C). Das Versuchsjahr 2009/10 war mit Ausnahme des Monats Mai und der Wintermonate wärmer als normal (Tabelle 138). Die Monate Januar bis April 2010 erwiesen sich allerdings als deutlich trockener im Vergleich zum Mittel der Jahre 1987-2007, während die Niederschlagsmengen im Mai 2011, das langjährige Mittel um 56 mm überschritten. Die hohen Niederschlagsmengen im August und September 2010 mit 112 bzw. 23 mm über dem langjährigen Mittel (Tabelle 138) haben zu einer Verzögerung der Aussaat des Versuchsjahres 2010/11 in den Oktober geführt, was eine kompletten Auswinterung des Rapses und damit einen kompletten Ausfall der Varianten mit Raps bedingte. Auch das Frühjahr 2011 war im Vergleich zum langjährigen Mittel zu trocken und zu warm.

**Tabelle 138: Witterungsbedingungen während der Versuchsjahre 2008/09, 2009/10 und 2010/11 am Standort Trenthorst**

	2008/09				2009/10				2010/11			
	Lufttemperatur (°C)		Anzahl Eistage <sup>1)</sup>	Niederschläge (mm)	Lufttemperatur (°C)		Anzahl Eistage	Niederschläge (mm)	Lufttemperatur (°C)		Anzahl Eistage	Niederschläge (mm)
	Mittel	Min.			Mittel	Min.			Mittel	Min.		
<b>September</b>	13,7	4,3	0	26	15,0	5,1	0	27	13,2	4,1	0	94
<b>Oktober</b>	9,9	0,3	0	62	8,1	-1,3	0	57	9,2	0,8	0	41
<b>November</b>	6,4	-2,1	0	28	8,0	0,7	0	78	4,2	-9,4	0	98
<b>Dezember</b>	2,6	-7,4	2	20	0,5	-12,4	8	56	-7,0	-14,4	23	24
<b>Januar</b>	0,1	-10,7	8	15	-4,1	-14,6	12	8	1,8	-7,5	4	21
<b>Februar</b>	1,2	-8,7	1	29	-0,8	-8,0	8	14	0,9	-10,1	8	51
<b>März</b>	5,0	-2,4	0	46	4,0	-11,2	0	11	4,3	-4,8	1	10
<b>April</b>	11,2	-1,7	0	13	8,4	-1,2	0	19	11,7	1,1	0	10
<b>Mai</b>	12,7	0,6	0	32	9,9	-1,1	0	97	13,4	-0,3	0	24
<b>Juni</b>	14,1	0,7	0	57	15,5	6,9	0	73	16,4	5,5	0	77
<b>Juli</b>	18,3	9,4	0	83	20,8	7,2	0	11	16,8	9,5	0	50

1) Eistage: Anzahl der Tage mit Temperaturmaximum unter 0°C

### 4.5.3.2 Auswinterung

Die Auswinterungsrate der Wintererbsen-Sorte 'EFB' fiel mit Werten zwischen 6,2 und 13,6 % gering aus (Tabelle 139) und lag dabei auf vergleichbarem Niveau mit Ergebnissen von URBATZKA et al. (2012). Ein Anbau mit dem Mischungspartner Triticale führte lediglich im Jahr 2008/09 zu einer signifikanten Reduzierung der Auswinterungsrate. Der Anbau mit dem Mischungspartner Raps (RA) führte ebenfalls nur im Versuchsjahr 2008/09 in den Varianten 'EFB'-RA-MS2 (6,9 %) und 'EFB'-RA-MS3 (5,3 %) zu einer signifikanten Reduzierung der Auswinterungsrate der Wintererbsen, während die Variante 'EFB'-RA-MS3 (2008/09) mit 16,0 % und die Variante 'EFB'-RA-MS4 (2009/10) mit 3,6 % sich nicht oder nur tendenziell in der Auswinterungsrate von der Reinsaat unterschieden. Andere Untersuchungen berichten von einer Reduzierung der Auswinterungsrate von Wintererbsen von 4-8 % in Folge des Gemengeanbaus mit Getreide (MURRAY et al. 1985). Die Auswinterungsrate der Wintererbsen-Sorte 'EFB' lag dabei in den ersten beiden Jahren auf vergleichbarem Niveau mit derjenigen der Triticale (2008/09: 14,2 %, 2009/10: 11,3 %), während im dritten Versuchsjahr eine signifikant höhere Auswinterungsrate der Wintererbse 'EFB' im Vergleich zur Triticale (0,3 %) ermittelt wurde.

Die Wintererbsen-Sorte 'James' wies in Versuch 2009/10 eine signifikant höhere Auswinterungsrate auf als die Sorte 'EFB', was sich im Jahr 2010/11 nicht bestätigt hat. Auch bei 'James' konnte ein Gemengeanbau mit Triticale oder Raps (Auswinterungsrate: 32,4 %) nicht zu einer wesentlichen Verbesserung der Auswinterung beitragen. Die höhere Auswinterungsrate von 'James' im Jahr 2009/10 im Vergleich zur Sorte 'EFB' ist vermutlich auf eine fortgeschrittenere Vorwinterentwicklung ('James': 6-7 Ranken, 'EFB': 4-5 Laubblätter vor Winter) bedingt durch einen frühen Saattermin (10. September) zurückzuführen. Beide Wintererbsen wiesen dagegen bei einer Saat am 11. Oktober im Versuchsjahr 2010/11 eine identische Vorwinterentwicklung (beide Sorten: 1-2 Laubblätter/Ranken) und ähnliche Auswinterungsverluste auf. Geringere Auswinterungsraten bei normalblättrigen Wintererbsen im Vergleich zu halbblattlosen Wintererbsen können aber auch auf einen besseren Schutz der Sprossspitze durch nicht entfaltete Blätter im Vergleich zu halbblattlosen Wintererbsen zurückgeführt werden (ETÉVÉ 1985, MURRAY & SWENSEN 1991).

**Tabelle 139: Auswinterungsraten der Wintererbsen-Sorten 'EFB' und 'James' in Reinsaat und in Mischsaat mit Triticale (TR)**

	Auswinterungsrate der Wintererbsen (%)		
	2008/09	2009/10	2010/11
<b>EFB-Reinsaat</b>	13,5 a	8,6 b	10,0 a
<b>EFB-TR-Mischsaat</b>	6,2 b	10,9 b	13,6 a
<b>James-Reinsaat</b>		31,7 a	8,5 a
<b>James-TR-Mischsaat</b>		28,5 a	14,5 a

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ )

### 4.5.3.3 Standfestigkeit

Die Reinsaat-Bestände der Wintererbsen-Sorte 'EFB' haben ab dem Blütezeitpunkt starke Lagererscheinungen gezeigt, was sich in einem niedrigen HEB-Index zwischen 0,21 und 0,24 widerspiegelt (Tabelle 140). Die geringe Standfestigkeit der normalblättrigen Sorte

konnte durch einen Anbau mit dem Mischungspartner Triticale tendenziell oder signifikant verbessert werden, was auch andere Untersuchungen zum Gemengeanbau von normalblättrigen Wintererbsen mit Getreidepartnern bestätigen (MURRAY & SWENSEN 1985, URBATZKA et al. 2011a). Auch ein Anbau mit dem Mischungspartner Raps führte mit Ausnahme der Variante 'EFB'-RA-MS1 im Jahr 2008/09 (HEB-Index: 0,26) in allen Jahren zu einer signifikanten Verbesserung der Standfestigkeit der Wintererbsen-Sorte 'EFB'. Ursächlich für die geringe Stützfruchtwirkung des Rapses in dieser Variante ist vermutlich die niedrige Raps-Saatstärke.

Die Sorte 'James' zeigte im Vergleich zur normalblättrigen, langwüchsigen Sorte 'EFB' weder in Reinsaat noch in Mischsaat mit Raps oder Triticale Lagererscheinungen. Dies zeigt auch der deutlich über 1 liegende HEB-Index dieser Sorte (Tabelle 140). Ursächlich für die bessere Standfestigkeit der Wintererbsen-Sorte 'James' sind ihr halbblattloser Wuchstyp und ihre Kurzstrohigkeit.

**Tabelle 140: Standfestigkeit der Wintererbsen-Sorten 'EFB' und 'James' in Reinsaat und in Mischsaat mit Triticale**

	HEB-Index		
	2008/09 13-T09	2009/10 13-T10	2010/11 13-T11
<b>EFB-Reinsaat</b>	0,23 b	0,21 c	0,24 c
<b>EFB-TR-Mischsaat</b>	0,31 a	0,36 c	0,70 b
<b>James-Reinsaat</b>		2,61 a	1,24 a
<b>James-TR-Mischsaat</b>		2,07 b	1,05 a

HEB-Index: Bestandeshöhe zur Blüte/ Bestandeshöhe zur Ernte (abgeändert nach SAUERMAN 2013). Bei einem HEB-Index  $\geq 1$  sind keine Lagererscheinungen vorhanden. Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ).

#### 4.5.3.4 Unkrautauflkommen und photosynthetisch aktive Strahlung

Das Unkrautauflkommen in Beständen der normalblättrigen Wintererbsen-Sorte 'EFB' zur Blüte und Ernte lag in der Reinsaat in einem Bereich zwischen 7,4 und 85,9 g/m<sup>2</sup> und damit auf einem Niveau, das überwiegend mit dem einer Triticale-Reinsaat vergleichbar ist (Tabelle 141). Ein Anbau mit dem Mischungspartner Triticale führte meist zu einem Unkrautauflkommen, das mit dem der 'EFB'-Reinsaat vergleichbar war. Nur in Ausnahmefällen konnte in der Mischsaat mit Triticale ein signifikant geringeres Unkrautauflkommen nachgewiesen werden. In den Mischsaaten von 'EFB' und Raps hingegen wurde in allen untersuchten Varianten ein signifikant höheres Unkrautauflkommen in den 'EFB'-Raps-Mischsaaten festgestellt. Dies zeigt, dass der Mischungspartner Getreide in einer Mischsaat mit halber Reinsaatstärke der Erbse effizienter Unkräuter unterdrückt als der Mischungspartner Raps.

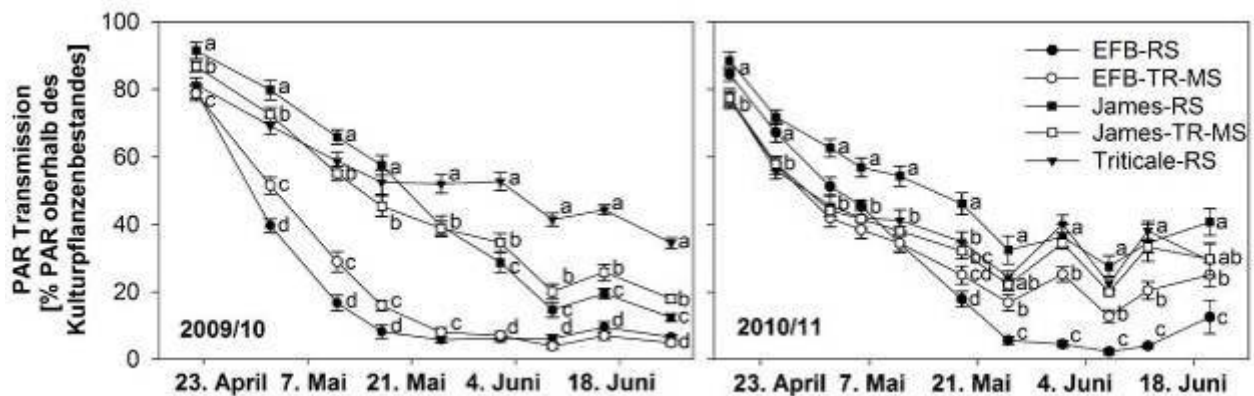
**Tabelle 141: Unkrautbiomasse in den Wintererbsen-Reinsaaten, den Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten und der Triticale-Reinsaat zum Zeitpunkt der Blüte und der Ernte**

	Unkrautbiomasse (g TM/m <sup>2</sup> )					
	2008/09		2009/10		2010/11	
	Blüte	Ernte	Blüte	Ernte	Blüte	Ernte
<b>EFB-RS</b>	58,1 a	26,3 a	7,4 d	9,1 c	85,9 b	21,1 b
<b>EFB-TR-MS</b>	35,6 a	1,6 b	6,0 d	6,0 c	47,4 c	25,6 b
<b>James-RS</b>			96,4 a	76,4 a	186,3 a	202,3 a
<b>James-TR-MS</b>			37,4 b	32,0 b	37,1 c	34,5 b
<b>Triticale-RS</b>			13,2 c	24,4 b	49,8 c	23,8 b

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ )

In den Reinsaatbeständen der Wintererbsen-Sorte 'James' lag das Unkrautauftreten zur Blüte und zur Ernte signifikant über dem Wert der entsprechenden Varianten mit 'EFB' (Tabelle 141). Besonders hoch fiel das Unkrautauftreten bei 'James' im Jahr 2010/11 auf, was an dem dominanten Auftreten von Klettenlabkraut lag. Da die Sorte kurzwüchsig ist, wurden die Reinsaatbestände von 'James' fast vollständig von Klettenlabkraut überwuchert. Der Gemengeanbau von 'James' und Triticale konnte in allen Fällen das Unkrautauftreten im Vergleich zur 'James'-Reinsaat signifikant und in der Regel auf ein mit einer Triticale-Reinsaat vergleichbares Niveau reduzieren (Tabelle 141). Der Anbau mit dem Mischungspartner Raps im Jahr 2009/10 führte mit 85,0 g/m<sup>2</sup> zur Blüte zu einem signifikant geringerem Unkrautauftreten im Vergleich zur Reinsaat. Zur Ernte hingegen wurde mit 126,4 g/m<sup>2</sup> ein vierfach so hohes Unkrautauftreten wie in der 'James'-Triticale-Mischsaat festgestellt, das das Unkrautauftreten in den 'James'-Reinsaaten signifikant überstieg. Damit bestätigt sich auch bei der Sorte 'James', dass Raps als Mischungspartner weniger effizient hinsichtlich einer Unkrautunterdrückung ist als Triticale. Das geringere Unkrautauftreten in Beständen der Wintererbsen-Sorte 'EFB' im Vergleich zu 'James' ist vermutlich auf eine geringere Lichttransmission zum Unkrautbestand zurückzuführen, die mit zunehmender Pflanzenentwicklung deutlich geringer im Vergleich mit einer Triticale-Reinsaat ausfiel (Abbildung 142). Dies ist bedingt durch den normalblättrigen Wuchstyp der Erbse. Auch das signifikant geringere Unkrautauftreten in 'James'-Triticale-Mischsaaten im Vergleich zu 'James'-Reinsaaten ist vermutlich teilweise durch eine signifikant geringe Lichttransmission zum Unkrautbestand verursacht. Die Tatsache, dass normalblättrige Wintererbsen Unkräuter stärker unterdrücken als halbblattlose Wintererbsen ist auch in anderen Untersuchungen nachgewiesen worden (URBATZKA 2010, URBATZKA et al. 2011a).



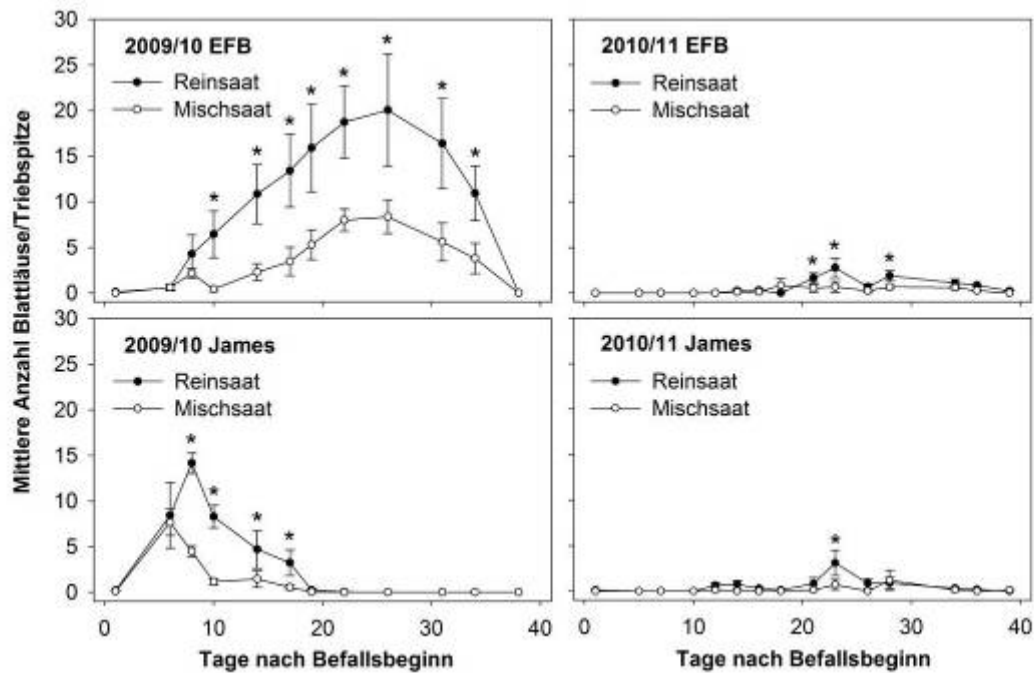


**Abbildung 142:** Anteil der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR), die zum Unkrautbestand transmittiert wird, in den Wintererbsen-Reinsaaten ('EFB'-RS, 'James'-RS), den Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten ('EFB'-TR-MS, 'James'-TR-MS) und der Triticale-Reinsaat in den Versuchsjahren 2009/10 und 2010/11. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) der PAR-Transmission am gleichen Messtermin.

Die flach- und tiefwendende Bodenbearbeitung hat in allen drei Versuchsjahren unabhängig von der Kultur, der Wintererbsen-Sorte, der Anbauform oder dem Mischungspartner zu einem vergleichbaren Unkrautauflaufen geführt. Dies widerspricht damit in Teilen den Ergebnissen, die bei Sommererbsen erzielt wurden (4.5.1.3). Die Unkrautartenzusammensetzung war am Standort Trenthorst in den Versuchen zum Anbau von Sommer- und Wintererbsen ebenso wie der Termin der Grundbodenbearbeitung vergleichbar. Möglicherweise hängen die unterschiedlichen Auswirkungen des Versuchsfaktors Bodenbearbeitung auf das Unkrautauflaufen bei den Sommer- und Wintererbsen mit den unterschiedlichen Terminen der Saatbettbereitung und Saat zusammen.

#### 4.5.3.5 Blattlausbefall

Die im Jahr 2009/10 durchgeführten Blattlauszählungen ergaben deutliche Unterschiede im Befallsverlauf zwischen den beiden Wintererbsen-Sorten. Zum Zeitpunkt des Befallsbeginns am 5. Juni hatte 'James' bereits das Stadium der abgehenden Blüte erreicht, während die Sorte 'EFB' erst mit der Blüte begonnen hat. Aus diesem Grund zeigte 'James' nur einen rasch an- und wieder absteigenden Befall, wohingegen der Befall bei 'EFB' langsam begann und über einen deutlich längeren Zeitraum anhielt (Abbildung 143). Der Maximalbefall lag bei 'James' mit 14 Blattläusen/Trieb unter dem Wert von 20 Blattläusen/Trieb bei 'EFB'. Vergleichende Zählungen an Sommererbsen aus Reinsaatbeständen haben mit 28 Blattläusen/Trieb deutlich höhere Werte im Vergleich zu den Wintererbsen-Reinsaaten ergeben.



**Abbildung 143: Verlauf des Befalls der Wintererbsen-Sorten 'EFB' und 'James' in Reinsaat und in Mischsaat mit Triticale in den Versuchsjahren 2009/10 und 2009/10. Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) der Befallshöhe zwischen Rein- und Mischsaat.**

Im Jahr 2009/10 waren beide Wintererbsen-Sorten in Mischsaaten mit Triticale signifikant geringer mit der Grünen Erbsenblattlaus (*A. pisum*) befallen im Vergleich zu Erbsen aus Reinsaatbeständen (Abbildung 143). Auch die untersuchte Mischsaat mit Raps führte zu einem signifikant geringeren Blattlausbefall im Vergleich zur Reinsaat, wobei zwischen dem Befall von Wintererbsen-Raps- und Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten kein signifikanter Unterschied vorhanden war. Signifikant geringere Blattlauszahlen in Wintererbsen-Mischsaaten könnten mit einem signifikant geringeren Stickstoffgehalt der Wintererbsen-Biomasse zusammenhängen (Tabelle 142). Andere Untersuchungen konnten in Gemengebeständen von Erbsen ebenfalls geringere Blattlauszahlen oder eine schnellere Abnahme der Befallswerte feststellen und führten dies auf eine Barrierewirkung des Getreidepartners oder auf eine höhere Anzahl und schnellere Vermehrung natürlicher Gegenspieler der Blattlaus zurück (SEIDENGLANZ et al. 2011, BEDOUSSAC 2009). Die Barrierewirkung konnte in der vorliegenden Untersuchung allerdings nicht als Ursache nachgewiesen werden, weil der Befall in Reinsaat und Mischsaat zu Beginn identisch ausfiel (Abbildung 143).

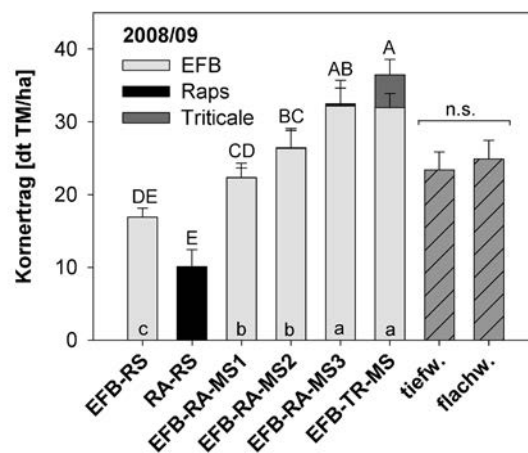
**Tabelle 142: Stickstoffgehalt der Biomasse der Wintererbsen aus Reinsaat- und Gemengebeständen mit Triticale zum Zeitpunkt des Blattlausbefalls**

	N-Gehalt Erbsenbiomasse (%)	
	2009/10	2010/11
<b>EFB-Reinsaat</b>	3,00 a	2,78 a
<b>EFB-TR-Mischsaat</b>	2,78 b	2,60 b
<b>James-Reinsaat</b>	3,10 a	2,51 bc
<b>James-TR-Mischsaat</b>	2,60 b	2,39 c

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ )

Im Untersuchungsjahr 2010/11 fiel der Blattlausbefall insgesamt sehr gering aus, was eine Differenzierung zwischen den Varianten schwierig machte. Allerdings konnten auch in diesem Jahr an einzelnen Zählterminen signifikant geringere Blattlauswerte in den Mischsaaten von Wintererbsen und Triticale erfasst werden (Abbildung 143). Aufgrund der kompletten Auswinterung des Rapses im Winter 2010/11 konnten in den Wintererbsen-Raps-Mischsaaten keine Blattlauszahlen ermittelt werden.

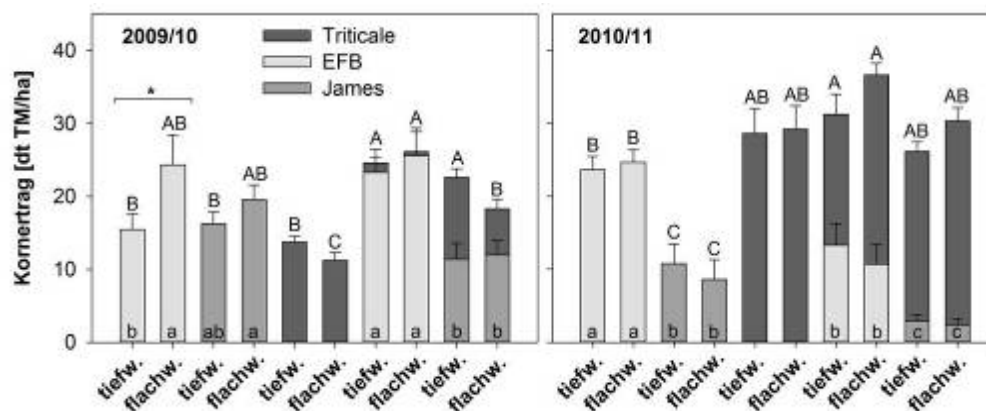
Die Gesamt-Ertragsleistung der Mischsaaten von 'EFB' und Raps oder Triticale lag im Versuchsjahr 2008/09 mit Ausnahme der 'EFB'-RA-MS1 signifikant über derjenigen der 'EFB'-Reinsaat (Abbildung 144). Trotz geringerer Saatstärke der Wintererbsen, wies 'EFB' eine signifikant höhere Ertragsleistung in den Mischsaaten im Vergleich zur Reinsaat auf. Dabei war festzustellen, dass die Ertragsleistung der Erbse in der Mischsaat sich mit abnehmender Saatstärke verbesserte. Die Ertragsanteile des Rapses in den Mischsaaten fielen sehr gering aus. Der Versuchsfaktor Bodenbearbeitung hat die Ertragsleistung der Kulturen nicht signifikant beeinflusst.



**Abbildung 144: Ertragsleistung der 'EFB' und der Raps Rein- und Mischsaaten und der 'EFB'-Triticale-Mischsaat sowie aller Kulturen in der flach- und tiefwendenden Bodenbearbeitung im Versuchsjahr 2008/09. Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen dem Gesamtertrag der Kulturen innerhalb derselben Bodenbearbeitung. Mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikante Unterschiede der Ertragsleistung der Erbse zwischen Rein- und Mischsaat innerhalb derselben Bodenbearbeitung gekennzeichnet. n.s. = nicht signifikant.**

In der tiefwendenden Bodenbearbeitung lagen sowohl im Jahr 2009/10 als auch im Jahr 2010/11 die Gesamterträge der Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten signifikant über den Werten der entsprechenden Wintererbsen-Reinsaaten (Abbildung 145). Untersuchungen von URBATZKA (2010) bestätigen höhere Gesamtertragsleistungen beim Gemengeanbau von Wintererbsen und Getreidearten im Vergleich zum Reinsaatbau. Dieser Zusammenhang konnte auch in der flachwendenden Bodenbearbeitung im Jahr 2010/11 festgestellt werden. In der flachwendenden Bearbeitung im Jahr 2009/10 hingegen waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Wintererbsen-Reinsaaten und der Gesamtertragsleistung der Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten festzustellen. Dies ist auf eine signifikant ('EFB') bzw. tendenziell ('James') bessere Ertragsleistung der Wintererbsen-Reinsaaten nach flachwen-

dender Bodenbearbeitung zurückzuführen. In den Mischsaaten lagen hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen vor. Auch im Jahr 2010/11 konnten keinerlei signifikante Unterschiede zwischen der flach- und der tiefwendenden Bodenbearbeitung festgestellt werden. Dies zeigt, dass die flachwendende Bodenbearbeitung nicht zu einer Verringerung der Ertragsleistung in Wintererbsen Rein- und Mischsaaten führt, was die Ergebnisse bei den Sommererbsen bestätigt und damit zum Teil den Versuchsergebnissen anderer Autoren widerspricht (BAIGYS et al. 2006, PRANAİTIS & MARCINKONIS 2005). Die Triticale hat 2009/10 bedingt durch Probleme bei Aufgang und Überwinterung sowie durch einen starken Befall mit Braunrost eine sehr geringe Ertragsleistung gezeigt. Die Wintererbsen-Sorte 'EFB' wies im Jahr 2009/10 eine vergleichbare oder bessere Ertragsleistung im Vergleich zur Reinsaat auf, während die Sorte 'James' tendenziell oder signifikant geringere Werte in der Mischsaat bei halber Reinsaatstärke aufwies. Normalblättrige Wintererbsen scheinen daher in Mischsaaten mit Triticale konkurrenzfähiger zu sein als halbblatlose Wintererbsen, wobei 'EFB' hier insbesondere von der schlechten Ertragsbildung der Triticale profitiert hat. Auch andere Untersuchungen haben gezeigt, dass normalblättrige, langwüchsige Wintererbsen aufgrund ihres indeterminierten Wuchstyps in von Erbsen dominierten Gemengen konkurrenzstärker sind als die Getreidepartner (MURRAY & SWENSEN 1985). Eine Trockenheit in den Monaten März bis Mai 2011 (Tabelle 138) führte zu einem Konkurrenzvorteil der Triticale gegenüber den Wintererbsen, was eine deutliche Unterdrückung der Wintererbsen in den Mischsaaten verursacht hat. Aus diesem Grund lagen die Erträge der Wintererbsen in den Mischsaaten mit Triticale signifikant unter den Werten der Wintererbsen-Reinsaaten. Besonders deutlich war der Effekt wiederum bei der halbblatlosen Wintererbsen-Sorte 'James'.



**Abbildung 145:** Ertragsleistung der Wintererbsen und Triticale in Rein- und Mischsaat in den Versuchsjahren 2009/10 und 2010/11. Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ ) zwischen dem Gesamtertrag der Kulturen innerhalb derselben Bodenbearbeitung. Mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikante Unterschiede der Ertragsleistung der Erbse zwischen Rein- und Mischsaat innerhalb derselben Bodenbearbeitung gekennzeichnet. Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen innerhalb derselben Kultur

Die Wintererbsen-Raps-Mischsaat im Versuchsjahr 2009/10 lag bei der Wintererbsen-Sorte 'EFB' mit 23,0 dt/ha höher im Vergleich zur Reinsaat mit 19,9 dt/ha, während in der 'James'-Raps-Mischsaat geringere Werte (14,7 dt/ha) im Vergleich zur Reinsaat mit 17,9 dt/ha erzielt wurden. In beiden Fällen waren keine signifikanten Unterschiede zwischen der Gesamtertragsleistung der Reinsaat und der Mischsaat vorhanden. Auch hier waren die Ertrags-

anteile des Rapses in der Mischsaat vernachlässigbar. Aufgrund des Komplettausfalls des Rapses über Winter wurde 2010/11 kein Raps geerntet.

#### 4.5.3.6 Qualität

Analysen der Korninhaltsstoffe haben bei der Wintererbsen-Sorte 'EFB' tendenziell oder signifikant höhere Gehalte an Rohprotein und Rohfaser im Vergleich zu 'James' ergeben, wohingegen 'James' signifikant höhere Rohfett-, Stärke- und Zuckergehalte aufwies (Tabelle 143). Dabei war kein Unterschied zwischen dem Anbau in Reinsaat oder in Mischsaat festzustellen. Im Vergleich zur Triticale enthielten die Körner von Wintererbsen signifikant mehr Rohprotein, -faser, -asche und Zucker aber signifikant weniger Rohfett und Stärke. Die unterschiedliche Zusammensetzung der Korninhaltsstoffe der beiden Wintererbsen-Sorten ist auf ihre Blütenfarbe zurückzuführen, wobei sich die Werte von 'EFB' mit denen von buntblühenden Erbsen und die von 'James' mit denen von weißblühenden Erbsen in anderen Untersuchungen decken (BASTIANELLI et al. 1998, CANBOLAT et al. 2007). Die höheren Rohfasergehalte in buntblühenden Erbsen können nach Angaben von BASTIANELLI et al. (1998) auf die kleinere Korngröße zurückgeführt werden. Die signifikant geringere Tausendkornmasse von 'EFB' (94,7-137,5 g) im Vergleich zu 'James' (164,5-183,2 g) bestätigt diese Vermutung. Die buntblühende Wintererbsen-Sorte 'EFB' wies höhere Gehalte an Phosphor, Kalium und Magnesium in den Körner auf als die Wintererbsen-Sorte 'James'. Andere Untersuchungen zeigen hierzu sehr unterschiedliche Ergebnisse mit identischen, höheren oder geringeren Mineralstoffgehalten in buntblühenden Erbsen im Vergleich zu weißblühenden Erbsen (IGBASAN et al. 1997, BASTIANELLI et al. 1998).

**Tabelle 143: Korninhaltsstoffe in Reinsaaten von 'EFB', 'James' und Triticale**

	Korninhaltsstoffe (g/kg)					
	2009/10			2010/11		
	EFB	James	Triticale	EFB	James	Triticale
<b>Rohprotein</b>	237,2 a	224,9 a	100,8 b	236,3 a	208,7 b	84,3 c
<b>Rohfett</b>	16,8 c	18,7 b	19,5 a	17,0 b	19,5 a	19,5 a
<b>Rohfaser</b>	75,7 a	72,2 b	24,2 c	79,2 a	74,5 a	25,7 b
<b>Rohasche</b>	29,5 a	30,0 a	19,7 b	31,9 a	30,2 b	21,0 c
<b>Stärke</b>	498,4 c	523,2 b	687,2 a	490,4 c	524,5 b	676,6 a
<b>Zucker</b>	68,4 b	71,0 a	48,3 c	68,0 b	72,5 a	42,9 c
<b>Phosphor</b>	4,88 a	4,47 b	4,12 c	4,12 a	3,09 c	3,73 b
<b>Kalium</b>	12,35 a	11,63 a	6,12 b	12,82 a	11,55 b	6,07 c
<b>Magnesium</b>	1,41 a	1,27 b	1,33 ab	1,59 a	1,28 b	1,56 a

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Zeile und eines Versuchsjahres kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ )

Verdauungsexperimente ergaben bei buntblühenden Erbsen signifikant geringere Gehalte an Metabolischer Energie im Vergleich zu weißblühenden Erbsen (CANBOLAT et al. 2007, GROSJEAN et al. 1998, HLÖDVERSSON et al. 1987). Dies ist auf den höheren Rohfasergehalt und auf den Gehalt an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, wie etwa kondensierten Tanninen, zurückzuführen (GDALA et al. 1992, GROSJEAN et al. 1998). Auch die errechneten Gehalte an



Metabolischer Energie für 'EFB' haben signifikant geringere Werte ergeben im Vergleich zu 'James' unabhängig vom Anbau in Rein- oder Mischsaat (Tabelle 144). Eine Triticale-Reinsaat hat ebenfalls einen signifikant höheren Energiegehalt aufgewiesen im Vergleich zu einer 'EFB'-Reinsaat, während 'James'-Reinsaaten in beiden Versuchsjahren signifikant höhere Gehalte an Metabolischer Energie als Triticale-Reinsaaten aufwiesen. Dementsprechend lagen die Energiegehalte des gesamten Erntegutes in den 'EFB'-Triticale-Mischsaaten signifikant unter dem Wert der 'James'-Triticale-Mischsaaten.

**Tabelle 144: Gehalte an Metabolischer Energie (Schweine) im Erntegut von Wintererbsen und im gesamten Erntegut der Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten**

	Gehalt an Metabolischer Energie (MJ/kg)			
	2009/10		2010/11	
	Wintererbse	Gesamt	Wintererbse	Gesamt
<b>EFB-Reinsaat</b>	13,30 b	13,30 d	13,25 c	13,25 d
<b>EFB-TR-Mischsaat</b>	13,32 b	13,35 d	13,32 b	13,45 c
<b>James-Reinsaat</b>	15,29 a	15,29 a	15,18 a	15,18 a
<b>James-TR-Mischsaat</b>	15,25 a	14,68 b	15,22 a	13,67 b
<b>Triticale-Reinsaat</b>		14,05 c		13,46 c

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede (P < 0,05)

Der Versuchsfaktor Bodenbearbeitung hat den Gehalt an Korninhaltsstoffen und den Gehalt an Metabolischer Energie nur in wenigen Fällen signifikant beeinflusst. Eine flachwendende Bearbeitung hat in beiden Versuchsjahren zu einem signifikant geringeren Zuckergehalt im Korn (tiefwendend: 58,0-70,1, flachwendend: 56,4-68,5 g/kg) und zu signifikant höheren Gehalten an Metabolischer Energie im Jahr 2010/11 (tiefwendend: 13,79-14,22, flachwendend: 13,82-14,26) geführt, unabhängig davon ob nur die Wintererbse oder das gesamte Erntegut betrachtet wurde.

#### 4.5.3.7 N<sub>2</sub>-Fixierleistung und N<sub>min</sub> nach Ernte

Die N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Wintererbse 'EFB' übertraf die Fixierleistung der Sommererbsen (4.5.1.6) in den Versuchsjahren 2008/09 und 2009/10 um das 1,5- bis 2-fache. Dabei waren in beiden Jahren keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Anbau in Reinsaat und in der Mischsaat mit Triticale (Tabelle 145) sowie in den Varianten mit Raps festzustellen. Für das Versuchsjahr 2010/11 konnten bedingt durch die Trockenheit und das unterschiedliche Wachstum von Wintererbsen und Nichtleguminose die N-Differenzmethode nicht angewendet und daher die N<sub>2</sub>-Fixierleistung nicht abgeschätzt werden. Im Jahr 2009/10 wies die halbblattlose Wintererbsen-Sorte 'James' eine signifikant geringere N<sub>2</sub>-Fixierleistung auf im Vergleich zur Wintererbsen-Sorte 'EFB' und erzielte Werte, die mit denen von halbblattlosen Sommererbsen zu vergleichen waren. Dies macht die Überlegenheit von normalblättrigen Wintererbsen hinsichtlich ihrer N<sub>2</sub>-Fixierleistung deutlich, die auch in anderen Untersuchungen nachgewiesen wurde (URBATZKA et al. 2011b). Die flachwendende Bodenbearbeitung hat zu einer tendenziell oder signifikant höheren N<sub>2</sub>-Fixierleistung geführt, was die Ergebnisse in anderen Untersuchungen zum Einfluss einer reduzierten Bodenbearbeitung auf die N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Erbsen bestätigt (REITER et al. 2002).



Die normalblättrige Wintererbsen-Sorte 'EFB' hat vermutlich bedingt durch ihre hohe N<sub>2</sub>-Fixierleistung signifikant (2009/10) oder tendenziell (2010/11) höhere N<sub>min</sub>-Gehalte im Boden hinterlassen im Vergleich zur Sorte 'James' (Tabelle 145). Dabei waren nach dem Anbau von Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten mit Ausnahme der 'James'-Triticale-Mischsaat signifikant geringere N<sub>min</sub>-Gehalte im Boden festzustellen im Vergleich zu den entsprechenden Reinsaaten. Die Wintererbsen-Triticale- und die Wintererbsen-Raps-Mischsaaten hinterließen aber unabhängig von ihrer Zusammensetzung vergleichbare N<sub>min</sub>-Mengen im Boden. Auffällig sind die geringen und zur Triticale-Reinsaat vergleichbaren Werte der Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten im Jahr 2010/11, die auf die starke Unterdrückung der Wintererbsen durch die Triticale zurückzuführen sind. Die N<sub>min</sub>-Mengen im Boden nach der Ernte waren in der flach- und tiefwendenden Bodenbearbeitung vergleichbar (Tabelle 145).

**Tabelle 145: Einfluss der Versuchsfaktoren Kultur und Bodenbearbeitung auf die N<sub>2</sub>-Fixierleistung und den N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens nach der Ernte**

Versuchsfaktor		N <sub>2</sub> -Fixierleistung (kg/ha)		N <sub>min</sub> nach Ernte (kg/ha in 0-90 cm)		
		2008/09	2009/10	2008/09	2009/10	2010/11
Kultur	EFB-Reinsaat	161,7 a	168,8 a	70,5 a	57,4 a	39,2 a
	EFB-TR-Mischsaat	175,5 a	151,6 a	49,9 b	34,4 b	10,8 b
	James-Reinsaat	-	66,4 b	-	21,6 c	12,0 b
	James-TR-Mischsaat	-	30,4 b	-	14,2 d	8,7 b
	Triticale-Reinsaat	-	-	-	12,5 d	13,2 b
Bodenbearbeitung	tiefwendend	152,5 b	96,9 a	46,7 a	26,2 a	13,5 a
	flachwendend	184,8 a	117,5 a	44,9 a	27,8 a	20,0 a

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte und eines Versuchsfaktors kennzeichnen signifikante Unterschiede (P < 0,05)

#### 4.5.3.8 Ertrag der Nachfrucht Winterweizen

Der Ertrag der Nachfrucht Winterweizen im Jahr 2011 lag in den 'EFB'-Rein- und Mischsaaten signifikant über den Werten der Varianten mit 'James', die wiederum höhere Werte aufwiesen als die Triticale-Reinsaat (Tabelle 146). Dabei waren keine signifikanten Unterschiede der Ertragsleistung der Nachfrucht Winterweizen zwischen den Rein- und Mischsaaten festzustellen. Im Jahr 2012 hingegen konnten nur in der Tendenz höhere Werte nach Anbau der Wintererbsen-Sorte 'EFB' im Vergleich zur Sorte 'James' gefunden werden. Beide Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten zeigten dabei eine signifikant schlechtere Vorfruchtwirkung im Vergleich zu den entsprechenden Wintererbsen-Reinsaaten. Dies kann auf die Frühjahrstrockenheit in 2011 und die dadurch bedingte starke Unterdrückung der Wintererbsen in der Mischsaat mit Triticale zurückgeführt werden. Die schlechte Ertragsbildung des Winterweizens im Jahr 2012 ist ebenfalls durch fehlende Niederschläge in den Monaten März bis Juni bedingt. Dies könnte ebenso wie eine möglicherweise höhere Verunkrautung die signifikant schlechtere Ertragsbildung in der flachwendenden Bodenbearbeitung beeinflusst haben, die im Vorjahr nicht festzustellen war (Tabelle 146). Möglicherweise hängen die geringeren Erträge nach flachwendender Bodenbearbeitung aber auch mit einem signifikant höheren Eindringwiderstand zusammen.

**Tabelle 146: Einfluss der Versuchsfaktoren Vorfrucht und Bodenbearbeitung auf den Ertrag der Nachfrucht Winterweizen (dt TM/ha)**

Versuchsfaktor	Faktorstufe	2011	2012
Vorfrucht	EFB-Reinsaat	36,9 a	24,0 a
	EFB-TR-Mischsaat	34,9 a	16,1 b
	James-Reinsaat	26,1 b	20,8 a
	James-TR-Mischsaat	21,5 bc	12,6 bc
	Trticale-Reinsaat	19,2 c	10,0 c
Bodenbearbeitung	tiefwendend	26,6 a	20,5 a
	flachwendend	28,8 a	12,9 b

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte und eines Versuchsfaktors kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ )

#### 4.5.4 Gemengeanbau von halb- und normalblättrigen Wintererbsen in unterschiedlichen Gemengezusammensetzungen mit Triticale (Versuchsansatz: 14)

Der Versuchsansatz 14 beinhaltete die Versuchsfaktoren Kultur (Wintererbsen-Reinsaat und 6 Gemenge mit Triticale, Tabelle 10) und Wintererbsen-Sorte ('EFB': normalblättrig, buntblühend sowie 'James': halbblattlos, weißblühend). Die Versuche wurden gleichzeitig an den Standorten Trenthorst (14-T12) und Krummesse (14-K12) durchgeführt.

##### 4.5.4.1 Witterungsbedingungen

Die Witterungsbedingungen im Versuchsjahr 2011/12 waren gekennzeichnet durch starke Frostereignisse Anfang Februar mit Maximalwerten von  $-16,6^{\circ}\text{C}$  am Standort Trenthorst und  $-19,3^{\circ}\text{C}$  am Standort Krummesse. In Krummesse war dabei eine leichte Schneebedeckung der Bestände vorhanden, während am Standort Trenthorst aufgrund der exponierten Lage des Versuchs keine Schneebedeckung vorhanden war. Dies führte zu einer kompletten Auswinterung der halbblattlosen Wintererbsen-Sorte 'James' am Standort Trenthorst. Das Frühjahr 2012 war durch höhere Temperaturen und deutlich geringere Niederschlagsmengen im Vergleich zum langjährigen Mittel an beiden Standorten gekennzeichnet.

##### 4.5.4.2 Auswinterung

Weder am Standort Krummesse noch am Standort Trenthorst konnten signifikante Unterschiede der Auswinterung der Wintererbsen im Reinsaatbau und in den unterschiedlichen Gemengen mit Triticale gefunden werden. Am Standort Krummesse lagen die Auswinterungsraten der Wintererbsen zwischen 7,1 und 17,6 %, wobei keine signifikanten Unterschiede in der Auswinterung zwischen der halbblattlosen, weißblühenden Sorte 'James' (Auswinterung: 12,4 %) und der normalblättrig, buntblühenden Sorte 'EFB' (Auswinterung: 13,7 %) festgestellt werden konnten. Die ungeschützte Lage führte am Standort Trenthorst trotz geringerer Maximalfröste zu einer kompletten Auswinterung der Wintererbsen-Sorte 'James' und zu Auswinterungsraten von 20,2 % bei 'EFB'. Die

Auswinterungsraten der Triticale lagen mit Werten von 26,7 % in Krummesse signifikant über denen der Wintererbsen. Am Standort Trenthorst waren dagegen keine Unterschiede zwischen 'EFB' und Triticale (Auswinterungsrate: 21,4 %) hinsichtlich von Auswinterungsverlusten festzustellen.

#### 4.5.4.3 Unkrautufkommen

Leitunkräuter am Standort Krummesse waren Hirtentäschel (*C. bursa-pastoris* (L.) Medik.), Echte Kamille (*M. chamomilla* L.) und Vogelmiere (*S. media* (L.) Vill.), wobei ab Juni die Rauhaarige Wicke (*V. hirsuta* (L.) Gray) als dominierende Unkrautart auftrat. In Trenthorst waren die Vogelmiere und die Echte Kamille Hauptunkrautarten. Der Unkrautdeckungsgrad im Frühjahr lag in den Wintererbsen-Reinsaaten in Krummesse in der Tendenz über den Werten der unterschiedlichen Gemenge. Allerdings wurden weder zwischen der Anbauform noch zwischen den Wintererbsen-Sorten signifikante Unterschiede in der Höhe des Unkrautdeckungsgrades im Frühjahr festgestellt. In Trenthorst wurde dagegen ein signifikant höherer Deckungsgrad in der 'EFB'-Reinsaat (35 %) im Vergleich zu den 'EFB'-Triticale-Mischsaaten (14-20 %) erfasst, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Gemengen bzw. zwischen Gemengen und der Triticale-Reinsaat (11 %) festgestellt werden konnten.

Der Unkrautdruck am Standort Krummesse war insbesondere zur Blüte der Erbsen sehr hoch. Dabei wiesen die Erbsen-Reinsaaten das höchste und die Wintererbsen-Triticale-Gemenge 1 und 3 das geringste Unkrautufkommen zur Blüte auf (Tabelle 147). Eine höhere Triticale-Saatstärke bei gleicher Wintererbsen-Saatstärke führte dabei zu einem tendenziell oder signifikant geringeren Unkrautufkommen. Zur Ernte war das Unkrautufkommen in den Gemengen mit geringer Wintererbsen-Saatstärke und in der Erbsen-Reinsaat auf sehr hohem Niveau. Auch das Wintererbsen-Triticale-Gemenge 1 führte trotz des geringsten Wertes zur Blüte zu einem sehr hohen Unkrautufkommen. Am besten unterdrückten die Gemenge 2 und 3 annuelle Unkräuter. Als Variante mit einem geringen Unkrautniveau sowohl zur Blüte als auch zur Ernte hat sich demnach eine Kombination von 40 Körnern Wintererbse und 150 Körnern Triticale/m<sup>2</sup> erwiesen. Das Unkrautufkommen in der Triticale-Reinsaat lag mit 202 g/m<sup>2</sup> zur Blüte und mit 137,3 g/m<sup>2</sup> zur Ernte auf einem Niveau, das teilweise mit den Gemengen und den Wintererbsen-Reinsaaten vergleichbar war. Dies ist vermutlich auf die starke Auswinterung der Triticale zurückzuführen. Am Standort Trenthorst war der Unkrautdruck geringer und führte zu einem Unkrautufkommen zur Ernte von 191,0 g/m<sup>2</sup> in der 'EFB'-Reinsaat und von 33,9 g/m<sup>2</sup> in der Triticale-Reinsaat. Die Gemenge wiesen ein tendenziell oder signifikant geringeres Unkrautufkommen im Vergleich zur 'EFB'-Reinsaat auf.

**Tabelle 147: Einfluss der Versuchsfaktoren Kultur und Wintererbsen-Sorte auf das Unkrautauftreten am Standort Krummesse**

Versuchsfaktor		Unkrautauftreten (g TM/m <sup>2</sup> )			
		Saatstärke Wintererbse	Saatstärke Triticale	Blüte der Erbsen	Ernte der Erbsen
Kultur	WE-Reinsaat	80	0	308,1 a	124,0 ab
	WE-TR1	60	150	115,4 c	157,5 a
	WE-TR2	60	75	148,7 bc	99,3 b
	WE-TR3	40	150	125,9 c	93,9 b
	WE-TR4	40	75	215,5 ab	124,7 ab
	WE-TR5	20	150	153,3 b	123,0 ab
	WE-TR6	20	75	246,6 a	138,4 a
Wintererbsen-Sorte	EFB			146,7 b	56,4 b
	James			228,6 a	189,6 a

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte und eines Versuchsfaktors kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $P < 0,05$ )

Der Anbau einer normalblättrigen Wintererbse hat zu einem signifikant geringeren Unkrautauftreten geführt im Vergleich zum Anbau einer halbblattlosen Wintererbsen, was sich mit den Ergebnissen der anderen durchgeführten Wintererbsen-Versuche (4.5.3.4) deckt und auch den Ergebnissen anderer Untersuchungen entspricht (SPIES et al. 2011). Dies kann mit einer insbesondere zur Ernte zunehmend signifikant geringeren Transmission der photosynthetisch aktiven Strahlung zum Unkrautbestand in Beständen mit normalblättrigen Wintererbsen in Verbindung gebracht werden.

#### 4.5.4.4 Blattlausbefall

Der Blattlausbefall fiel im Versuchsjahr 2011/12 sehr gering aus mit maximal 7,9 Blattlauseinheiten in den Wintererbsen-Reinsaaten und erzielte damit deutlich geringere Werte im Vergleich zum Befall in den Wintererbsen-Versuchen in 2009/10 (56-400 Blattlauseinheiten) und 2010/11 (11-29 Blattlauseinheiten). Aus diesem Grund konnte lediglich ein in der Tendenz höherer Befall in den Wintererbsen-Reinsaaten im Vergleich zu den Gemengen und ein tendenziell höherer Befall in Parzellen der normalblättrigen im Vergleich zur halbblattlosen Wintererbsen-Sorte festgestellt werden (Tabelle 148). Dies ist ein Hinweis auf ähnliche Ergebnisse wie in den Versuchsjahren zuvor. Ein etwas höherer Befall von 'EFB' hängt möglicherweise mit einem signifikant höheren Stickstoff-Gehalt in der Biomasse zum Zeitpunkt der Blüte der Wintererbsen und damit einer höheren Attraktivität für Blattläuse zusammen (Tabelle 148). Zu Beginn der Blüte konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Reinsaat und den unterschiedlichen Wintererbsen-Triticale-Gemengen hinsichtlich des N-Gehalts der Erbsenbiomasse festgestellt werden, was sich zu Mitte bis Ende der Blüte der Wintererbsen änderte. Ein Anbau von Wintererbsen in Reinsaat führte dabei zu einem signifikant höheren N-Gehalt in der Biomasse im Vergleich zum Anbau im Gemenge mit Triticale, wobei bei gleicher Wintererbsen-Saatstärke ein höherer N-Gehalt der Wintererbsen bei einer Triticale-Saatstärke von 75 Körnern/m<sup>2</sup> im Vergleich zu 150 Kör-

ner/m<sup>2</sup> ermittelt wurde. Eine Ursache hierfür könnte eine stärkere Konkurrenz um Stickstoff in den Gemengen insbesondere bei einer hohen Saatstärke der Triticale sein.

**Tabelle 148: Einfluss der Versuchsfaktoren Kultur und Wintererbsen-Sorte auf die kumulierten Blattlaustage und den N-Gehalt der Erbsenbiomasse während der Blattlausbefallsphase**

Versuchsfaktor	Faktorstufe	Saatstärke Wintererbse (Körner/m <sup>2</sup> )	Saatstärke Triticale (Körner/m <sup>2</sup> )	Kumulierte Blattlaustage	N-Gehalt Erbsenbiomasse (%)	
					Beginn Blüte	Mitte-Ende Blüte
Kultur	WE-Reinsaat	80	0	7,9 a	4,86 a	4,53 a
	WE-TR1	60	150	4,1 a	4,92 a	3,86 d
	WE-TR2	60	75	5,7 a	4,88 a	3,95 cd
	WE-TR3	40	150	4,6 a	4,90 a	3,98 cd
	WE-TR4	40	75	3,2 a	4,91 a	4,12 bc
	WE-TR5	20	150	3,4 a	4,75 a	4,12 bc
	WE-TR6	20	75	4,8 a	4,67 a	4,27 b
Wintererbsen-Sorte	EFB			5,6 a	5,31 a	4,95 a
	James			4,1 a	4,38 b	3,28 b

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte und eines Versuchsfaktors kennzeichnen signifikante Unterschiede (P < 0,05)

#### 4.5.4.5 Wurzelkrankheiten

Die halbblattlose Wintererbsen-Sorte 'James' (93,9 mm) wies eine signifikant größere Läsionslänge verursacht durch Wurzelkrankheiten auf als die normalblättrige Wintererbsen-Sorte 'EFB' (79,0 mm). Dies kann möglicherweise auf die unterschiedliche Morphologie von normalblättrigen und halbblattlosen Wintererbsen zurückgeführt werden. Zwischen dem Anbau in Reinsaat und in den unterschiedlichen Gemengen mit Triticale konnten allerdings keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Der Anteil mit bestimmten Erregern im Bestand befallenen Pflanzen ergab keine signifikanten Unterschiede weder zwischen dem Anbau in Reinsaat und im Gemenge noch zwischen den beiden Wintererbsen-Sorten. Es wurden bis auf *A. pisi* sämtliche Erreger von Fuß- und Wurzelkrankheiten an den Wintererbsen nachgewiesen.

#### 4.5.4.6 Korn- und Strohertrag

Die Gesamterträge der Wintererbsen-Triticale-Gemenge lagen am Standort Krummesse signifikant über den Erträgen der Wintererbsen-Reinsaat, wobei die Varianten mit der normalblättrigen Wintererbsen-Sorte 'EFB' eine signifikant bessere Ertragsleistung gezeigt haben im Vergleich zu Varianten mit der halbblattlosen Wintererbsen-Sorte 'James' (Tabelle 149). Dies ist zu großen Teilen auf eine bessere Ertragsleistung der normalblättrigen Wintererbse im Vergleich zu 'James' zurückzuführen. Trotz der geringeren Saatstärke der Wintererbsen in allen Gemengen mit Triticale führte der Anbau im Gemenge mehrheitlich zu einer signifikant höheren Ertragsleistung der Wintererbse im Vergleich zum Anbau in

Reinsaat. Dies ist vermutlich auch auf ein geringes Ertragsbildungsvermögen der Triticale zurückzuführen, die in Reinsaat nur eine Ertragsleistung von 11,6 dt/ha und in den Gemengen zwischen 1,9 und 10,6 dt/ha erzielte. Eine Reduzierung der Saatstärke der Triticale im Gemenge führte zu einer signifikant oder tendenziellen Verringerung der Gesamtertragsleistung des Gemenges, wobei mit Ausnahme der Variante mit 20 Körner Wintererbsen/m<sup>2</sup> keine signifikanten Unterschiede im Ertrag der Wintererbse festgestellt werden konnten. Alle Wintererbsen-Triticale-Gemengen wiesen einen signifikant höheren Strohertrag im Vergleich zur Reinsaat auf, wobei auch hier höhere Werte in allen Varianten mit der Wintererbsen-Sorte 'EFB' festgestellt wurden. Die Ertragsleistung der Wintererbsen-Sorte 'EFB' am Standort Trenthorst war in Reinsaat mit 5,6 dt/ha gering. Die Gesamterträge aller Gemenge mit 'EFB' erzielten mit Werten zwischen 17,1 und 22,5 dt/ha signifikant höhere Erträge im Vergleich zur Reinsaat, wobei die Ertragsanteile der Wintererbse im Gemenge in der Regel sich nicht signifikant von denen der Reinsaat unterschieden. Die Gesamt-Stroherträge der Varianten fielen in Trenthorst mit Werten zwischen 31,5 und 48,7 dt/ha ausgenommen der 'EFB'-Reinsaat (9,9 dt/ha) höher aus als am Standort Krummesse. Die insgesamt geringe Ertragsleistung der Wintererbsen insbesondere am Standort Trenthorst ist auf die Frühjahrstrockenheit und dadurch bedingte Probleme mit der Ertragsbildung zurückzuführen.

**Tabelle 149: Einfluss der Versuchsfaktoren Kultur und Wintererbsen-Sorte auf den Korn- und den Strohertrag (Standort Krummesse)**

Versuchsfaktor		Saatstärke Wintererbse (Körner/m <sup>2</sup> )	Saatstärke Triticale (Körner/m <sup>2</sup> )	Kornertrag (dt TM/ha)		Strohertrag (dt TM/ha)
				Erbse	Gesamt	Gesamt
<b>Kultur</b>	<b>WE-Reinsaat</b>	80	0	8,0 b	8,0 d	12,7 c
	<b>WE-TR1</b>	60	150	10,0 a	16,3 ab	32,7 a
	<b>WE-TR2</b>	60	75	9,9 a	15,3 b	26,5 ab
	<b>WE-TR3</b>	40	150	10,3 a	18,3 a	29,3 ab
	<b>WE-TR4</b>	40	75	10,5 a	15,4 b	24,4 b
	<b>WE-TR5</b>	20	150	10,1 a	18,2 a	33,8 a
	<b>WE-TR6</b>	20	75	8,2 b	12,6 c	25,6 b
<b>Wintererbsen-Sorte</b>	<b>EFB</b>			17,9 a	21,2 a	29,5 a
	<b>James</b>			1,2 b	8,6 b	23,3 b

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Spalte und eines Versuchsfaktors kennzeichnen signifikante Unterschiede (P < 0,05)

#### 4.5.4.7 N<sub>2</sub>-Fixierleistung

Die N<sub>2</sub>-Fixierleistung der normalblättrigen Wintererbsen-Sorte 'EFB' lag am Standort Krummesse (14-K12) in der Reinsaat bei 190 kg/ha und in dem Gemenge bestehend aus 40 Körnern Wintererbse und 150 Körnern Triticale/m<sup>2</sup> (WE-TR3) bei 263 kg/ha und damit auf hohem Niveau, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen dem Anbau in Reinsaat und im Gemenge festgestellt werden konnte. Bedingt durch hohe Auswinterungsverluste der Wintererbse 'James' und durch eine Frühjahrstrockenheit, die zu einer einseitigen Konkurrenzverschiebung zu Gunsten des Gemengepartners Triticale geführt hat, konnte die



N-Differenzmethode nicht angewendet und daher die N<sub>2</sub>-Fixierleistung nicht für 'James' und zusätzlich in Trenthorst (14-T12) auch nicht für die Sorte 'EFB' abgeschätzt werden.

#### 4.5.4.8 Kornqualität

Der Anbau der Wintererbsen in Reinsaat oder in unterschiedlichen Gemengen mit Triticale hat die Korninhaltsstoffe der Wintererbsen-Sorten 'EFB' und 'James' mit Ausnahme des Stärkegehaltes nicht beeinflusst. Der Stärkegehalt der Erbsen-Körner lag dagegen in den Gemengen mit Triticale tendenziell oder signifikant über den Werten der Wintererbsen-Reinsaaten. Beide Wintererbsen-Sorten unterschieden sich in ihrer Korninhaltsstoff-Zusammensetzung. Die weißblühende Sorte 'James' wies signifikant höhere Zucker-, Rohprotein-, Rohfett- und Rohaschegehalte im Vergleich zu 'EFB' auf, wohingegen der Rohfasergehalt bei 'EFB' höher war (Tabelle 150). Beim Stärkegehalt waren zwischen den beiden Sorten dagegen keine Unterschiede festzustellen. Damit unterschied sich die Korninhaltsstoff-Zusammensetzung der am Standort Krummesse angebauten Wintererbsen der Sorten 'James' und 'EFB' im Jahr 2011/12 insbesondere beim Rohprotein- und beim Stärkegehalt deutlich von derjenigen der Sorten 'EFB' und 'James' am Standort Trenthorst in den Jahren 2009/10 und 2010/11 (4.5.3.6). Dort wurden höhere Rohproteingehalte und signifikant geringere Stärkegehalte bei 'EFB' im Vergleich zu 'James' gefunden. Dies ist vermutlich auf die unterschiedlichen Standortbedingungen zurückzuführen. Die Triticale wies, unabhängig davon ob sie in Reinsaat oder in unterschiedlichen Gemengen mit Wintererbsen angebaut wurde, eine identische Korninhaltsstoff-Zusammensetzung auf. Die als Gemeengepartner gewählte Wintererbsen-Sorte hatte jedoch einen signifikanten Effekt auf die Korninhaltsstoff-Zusammensetzung der Triticale, wobei die Triticale in den Gemengen mit 'EFB' mit Ausnahme der Rohasche und der Stärke signifikant höhere Gehalte aufwies.

**Tabelle 150: Korninhaltsstoffe der Wintererbsen-Sorten 'EFB' und 'James' am Standort Krummesse (14-K12) in 2011/12**

	Korninhaltsstoffe (g/kg)	
	EFB	James
<b>Rohprotein</b>	257,4 b	278,3 a
<b>Rohfett</b>	18,0 b	19,5 a
<b>Rohfaser</b>	79,2 a	72,9 b
<b>Rohasche</b>	35,4 b	36,9 a
<b>Stärke</b>	474,7 a	477,5 a
<b>Zucker</b>	67,5 b	70,1 a

Unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede (P < 0,05)

#### 4.5.5 Praxisversuche zum vergleichenden Anbau von Sommererbsen-Gersten und Wintererbsen-Triticale-Gemengen

In den Praxisversuchen wurde vergleichend der Anbau eines Wintererbsen-Triticale-Gemenges und eines Sommererbsen-Gersten-Gemenges auf vier Praxisflächen in drei Regionen in Deutschland im Versuchsjahr 2011/12 durchgeführt.

## Auswinterung

Die Auswinterungsraten der Wintererbsen fielen in den drei Regionen unterschiedlich aus. Während in Sachsen mit 69 % (PVM-1) eine sehr hohe Auswinterung der Wintererbsen vorhanden war, haben die Wintererbsen in Bayern keinerlei Auswinterung gezeigt (Tabelle 151). Dies kann auf die unterschiedlichen Bedingungen während des Winters 2011/12 zurückgeführt werden. In Sachsen trat bei fehlender Schneebedeckung Fröste von mindestens -15°C auf, die wie auch die Kahlfröste zwischen -17 und -19°C an den Standorten Trenthorst und Krummesse zu sehr hohen Auswinterungsraten der Wintererbsen geführt haben. Die Bedingungen führten allerdings auch bei den angebauten Getreidepartnern zu hohen Auswinterungsraten. In Bayern waren die Wintererbsen dagegen durch eine leichte Schneebedeckung über Winter geschützt.

**Tabelle 151: Auswinterungsrate der Wintererbse und der Triticale in den Praxisversuchen**

	Standort	Auswinterungsrate (%)	
		Wintererbse	Triticale
PVM-1	Dürröhrsdorf	69	51
PVM-2	Jedenhofen	0	0
PVM-3	Trenthorst	31	36
PVM-4	Krummesse	40	28

## Verunkrautung

Das Unkrautauflkommen lag in den Praxisversuchen PVM-1 und PVM-3 trotz des Anbaus einer normalblättrigen Wintererbse deutlich über den Werten des halbblattlosen Sommererbsen-Gemenges. Dies ist in Versuch PVM-1 vermutlich auf die hohe Auswinterung der Wintererbsen zurückzuführen, während in Versuch PVM-3 eine hohe Auswinterung und die Frühjahrstrockenheit in 2012 zu einer schlechten Entwicklung insbesondere der Wintererbsen-Triticale-Bestände geführt hat. In Versuch PVM-4 hingegen wurde das hohe Unkrautauflkommen in den normalblättrigen Wintererbsen-Triticale-Gemengen insbesondere im Frühjahr deutlich besser unterdrückt als in dem halbblattlosen Sommererbsen-Gersten-Gemenge, was auf die starke Verunkrautung der Bestände mit Sommererbsen-Gersten-Gemenge mit Knötericharten zurückzuführen ist. In PVM-2 war das Unkrautauflkommen in den Beständen von halbblattlosen Winter- und Sommererbsen-Gemengen dagegen vergleichbar.

**Tabelle 152: Unkrautdeckungsgrad im Frühjahr und Unkrautbiomasse zur Ernte in den Praxisversuchen**

	Standort	Unkrautdeckungsgrad Frühjahr (%)		Unkrautbiomasse zur Ernte (dt TM/ha)	
		Wintererbsen-Triticale-Gemenge	Sommererbsen-Gersten-Gemenge	Wintererbsen-Triticale-Gemenge	Sommererbsen-Gersten-Gemengen
PVM-1	Dürröhrsdorf	-	24,5	19,0	7,3
PVM-2	Jedenhofen	22,5	28,1	-	-
PVM-3	Trenthorst	37,5	15,0	3,6	2,2
PVM-4	Krummesse	9,4	29,4	10,2	11,2

## Ertrag und Ertragsanteile

In den Praxisversuchen in Sachsen und Bayern waren die Sommererbsen-Gersten-Gemenge den Wintererbsen-Triticale-Gemengen ertraglich überlegen, während an den Standorten in Schleswig-Holstein die Gesamt-Ertragsleistung der Wintererbsen-Triticale-Gemenge über denjenigen der Sommererbsen-Gersten-Gemenge lag (Tabelle 153). Die Ertragsanteile der Wintererbsen fiel in PVM-1 sehr gering aus, was auf die hohe Auswinterungsrate zurückgeführt werden kann. Auch im Versuch PVM-3 waren die Erträge sowohl der Sommer- als auch der Wintererbsen sehr gering, wofür einerseits eine hohe Auswinterung und andererseits die Frühjahrstrockenheit ursächlich sein könnten. Die Sommererbsen in PVM-2 waren zu Ernte aufgrund eines Wildschadens vollständig verschwunden, so dass kein Erbsenertrag erzielt werden konnte. In allen anderen Gemengen dominierten dagegen die Erbsen.

**Tabelle 153: Ertragsanteile der Erbse und Gesamtertrag in den Gemengen von Winter- oder Sommererbsen und Getreidepartnern**

	Standort	Wintererbsen-Triticale-Gemenge		Sommererbsen-Gersten-Gemenge	
		Ertrag Wintererbse	Gesamtertrag Wintererbsen-Triticale-Gemenge	Ertrag Sommererbse	Gesamtertrag Sommererbsen-Gersten-Gemenge
PVM-1	Dürröhrsdorf	2,9	28,7	20,2	33,6
PVM-2	Jedenhofen	19,5	24,2	0,0	32,0
PVM-3	Trenthorst	6,1	36,8	5,0	34,5
PVM-4	Krummesse	18,1	34,4	17,6	21,7

## 4.6 Workpackage 4: Bodenverdichtung und Bodenbearbeitung

### 4.6.1 Ergebnisse der Parzellenversuche (“Belastungsversuche“)

Die Ergebnisse Belastungsversuche 8-T, 8-K, 10-M, 10-P und 10-F in Trenthorst (nur Pflugvariante), Köllitsch (nur Pflugvariante), Mammendorf, Petershausen, Eichenberg und Frankenhausen in den Jahren 2009 bis 2012 werden im Folgenden zusammen ausgewertet und dargestellt. Die Auswertung der Parameter über alle Jahre und Standorte hinweg birgt einerseits den Nachteil in sich, dass Jahres- und Standortseinflüsse, wie in Material und Methoden beschrieben, nicht direkt berücksichtigt werden, sie hat allerdings den Vorteil, dass Effekte, die trotz dieser Verallgemeinerung sichtbar werden (signifikant sind), eine generelle (standort- und jahresunabhängige) Aussagekraft haben.

#### 4.6.1.1 Bodenchemie

Die Versuchsstandorte waren aus Sicht der Bodenchemie im Mittel gut versorgt wie in Tabelle 2 dargestellt. Die pH-Werte reichten von 5,7 bis 6,6. Die P-, K- und Mg-Werte nach  $\text{CaCl}_2$ -Aufschluss lagen meistens in einer optimalen Gehaltsstufe (WENDLAND et al. 2011).

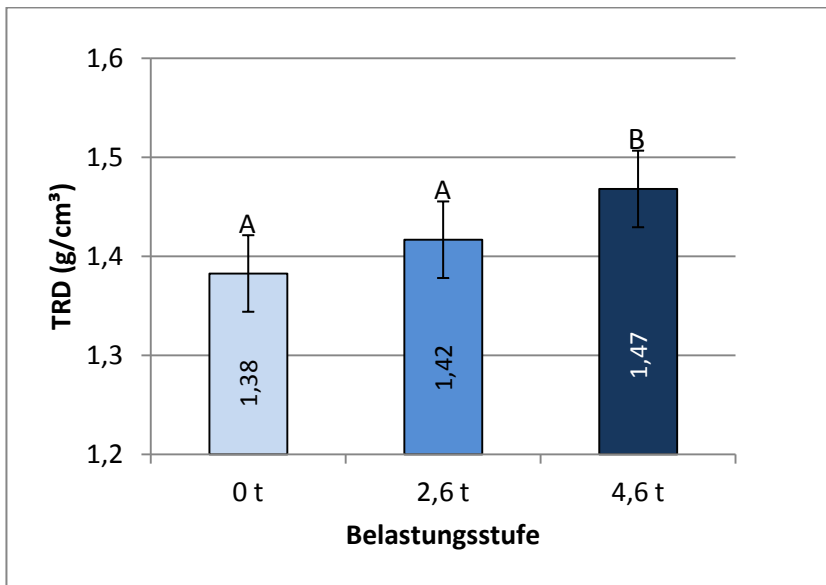
#### 4.6.1.2 Bodenphysik

Zur Analyse bodenphysikalischer Parameter wurden aus jeder Parzelle der Belastungsversuche 2 ungestörte Proben (Stechzylinder) aus 10-15 cm Tiefe (unterhalb der Saatbettbearbeitung) und je eine gestörte Probe zur Texturanalyse entnommen. Im Labor der LfL wurden folgende bodenphysikalischen Parameter dieser Proben ermittelt: Trockenrohddichte, Festsubstanzdichte, Porenvolumen, Luftkapazität, Feldkapazität, Totwasseranteil, nutzbare Feldkapazität, Pneumatische Leitfähigkeit und Textur. Im Folgenden werden die ausgewählten, aussagekräftigsten Parameter dargestellt.

#### Trockenrohddichte (TRD)

Einzelergebnisse aus den Jahren 2009 – 2012 zeigen auf allen Standorten, dass mit steigender Radlast die Trockenrohddichte (TRD) in der Krume (10 – 15 cm) zunimmt (Probennahme zwei bis vier Wochen nach der Saat; ohne Abbildung). Auf 4 von 5 Standorten trat ein signifikanter Unterschied der TRD zwischen der unbelasteten Kontrolle und der Belastung mit 4,6 t auf. Einzig auf dem Standort in Köllitsch und texturbedingt (lehmgiger Sand) hoher TRD zeigt sich kein signifikanter Einfluss der Belastung.

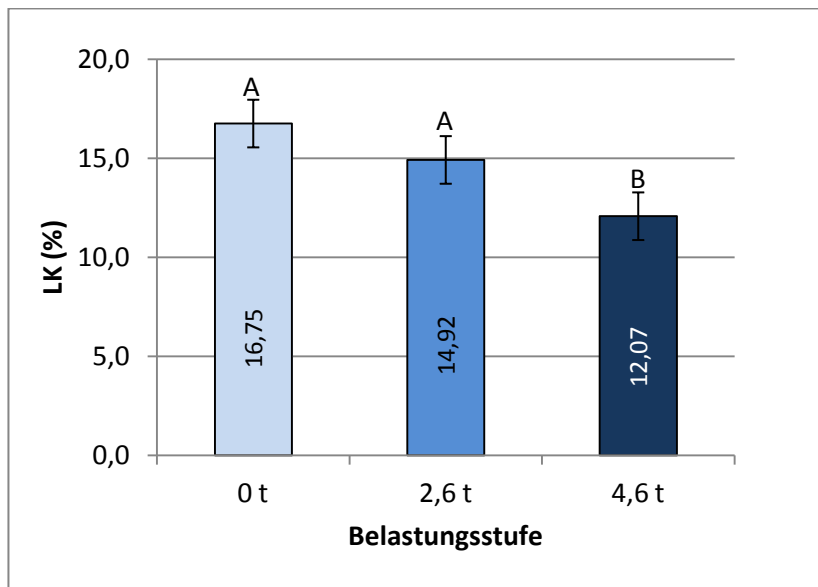
Trotz unterschiedlicher Bodenarten zeigt auch die gemeinsame Auswertung über alle Standorte und Jahre einen deutlichen Anstieg der TRD mit steigender Radlast (Abbildung 146). Es konnte ein signifikanter Effekt der Belastung mit 4,6 t im Vergleich zu einer Belastung mit 0 t oder 2,6 t nachgewiesen werden ( $p \leq 0,05$ ).



**Abbildung 146: Trockenrohddichte (TRD) in einer Tiefe von 10 – 15 cm im unbelasteten Zustand (0 t) und nach Überrollung mit 2,6 t und 4,6 t Radlast. Mittelwerte der Jahre 2009 – 2012  $\pm$  SE gerechnet über alle fünf Versuchsstandorte (n = 360). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey,  $p < 0.05$ ).**

## Luftkapazität (LK)

Die Luftkapazität (LK) sank mit steigender Belastung auf allen Standorten – auf vier von fünf Standorten signifikant bei einer Belastung mit 4,6 t im Vergleich zu 0 t. Über alle Standorte und Jahre gerechnet, zeigt sich ebenso ein signifikanter Abfall der LK bei einer Belastung mit 4,6 t und ein Rückgang der LK um über 4 % (Abbildung 147). Die LK entspricht dem Anteil an schnell drainenden Grobporen, die bei Feldkapazität ( $pF=1,8$ ) noch mit Luft gefüllt sind. Diese Grobporen sind bei einer Überrollung am einfachsten zu komprimieren und zeigen daher am deutlichsten eine mechanische Beanspruchung des Bodens an.



**Abbildung 147: Luftkapazität (LK) in einer Tiefe von 10 - 15 cm im unbelasteten Zustand (0 t) und nach Überrollung mit 2,6 t und 4,6 t Radlast. Mittelwerte der Jahre 2009 – 2012  $\pm$  SE gerechnet über alle fünf Versuchsstandorte (n = 360). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey,  $p<0.05$ ).**



## Porenvolumen (PV)

Auch das Porenvolumen (PV), der relative Anteil an mit Luft oder Wasser gefüllten Poren eines Bodenvolumens, nahm bei Belastung von 4,6 t im Vergleich zur unbefahrenen Variante signifikant ab (Abbildung 148). Da sich der Rückgang des PV in einer ähnlichen Größenordnung wie bei der LK bewegt, ist anzunehmen, dass bei der Belastung in erster Linie die Grobporen zerstört wurden, was zu vermindertem Wasserinfiltrationsvermögen (siehe nächster Punkt) und eingeschränkter Drainfähigkeit der Böden führt.

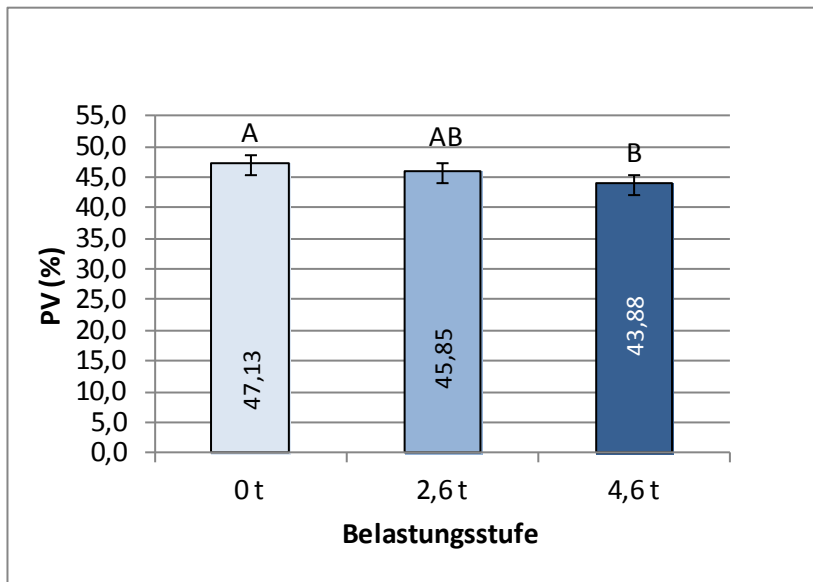
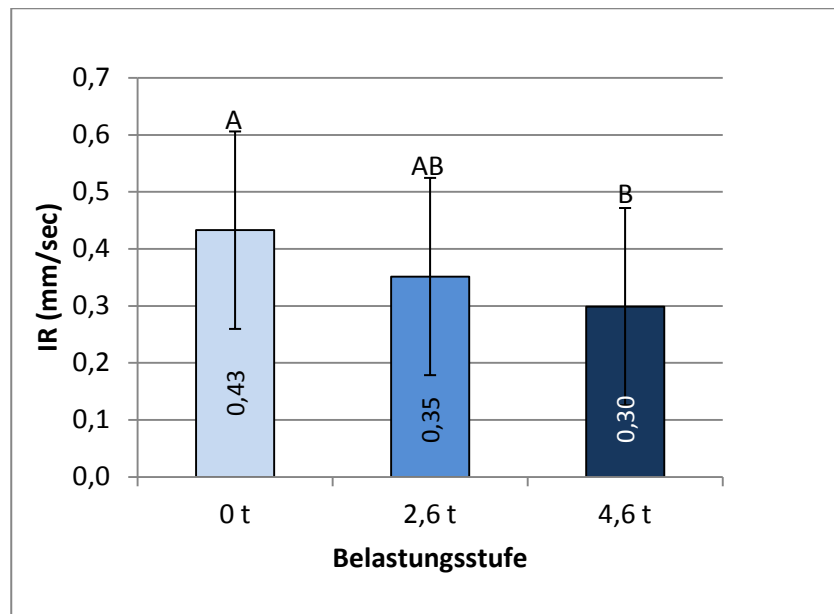


Abbildung 148: Porenvolumen in einer Tiefe von 10 - 15 cm im unbelasteten Zustand (0 t) und nach Überrollung mit 2,6 t und 4,6 t Radlast. Mittelwerte der Jahre 2009 – 2012  $\pm$  SE gerechnet über alle fünf Versuchsstandorte (n = 360). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey,  $p < 0.05$ ).

## Infiltrationsrate (IR)

Die Infiltrationsrate (IR) sank auf allen fünf Standorten bei einer Belastung mit 4,6 t im Vergleich zu 0 t, auf zwei von fünf Standorten signifikant. Über alle Standorte betrachtet, zeigt sich ein deutlicher Rückgang der IR mit steigender Belastung, welcher signifikant bei einer Belastung mit 4,6 t im Vergleich zu 0 t war. Der Rückgang der IR durch eine Bodenbelastung lässt sich durch die Zerstörung der luftführenden Poren, v. a. der Grobporen (LK), erklären. Bei diesem Parameter machten sich die unterschiedlichen Bodenarten und Bodeneigenschaften zum Zeitpunkt der Probenahme am stärksten bemerkbar. Dies erklärt die vergleichsweise große Streuung in den Daten.



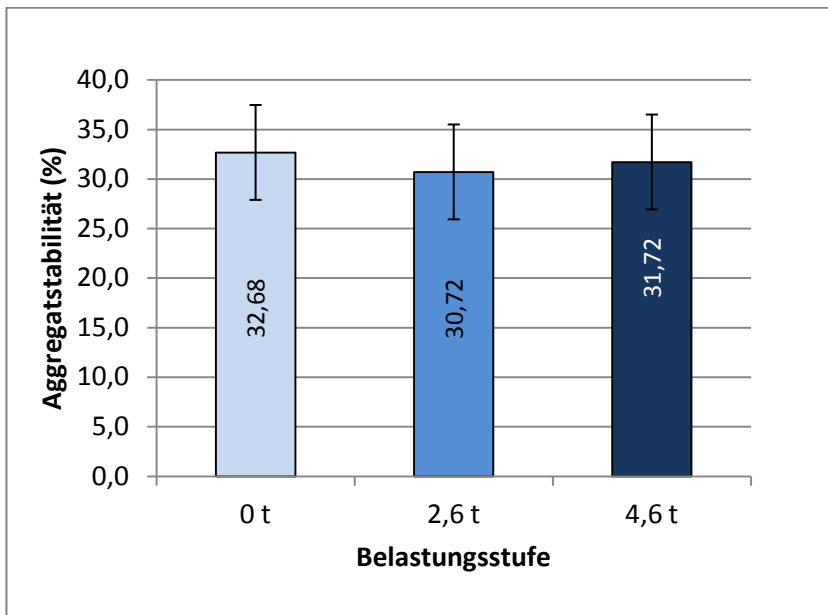
**Abbildung 149: Infiltrationsrate im unbelasteten Zustand (0 t) und nach Überrollung mit 2,6 t und 4,6 t Radlast. Mittelwerte der Jahre 2009 – 2012  $\pm$  SE gerechnet über alle fünf Versuchsstandorte (n = 144). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey,  $p < 0.05$ ).**

## Textur der Standorte

Siehe Beschreibung der Standorte in Kapitel 3.1.2.1.

## Aggregatstabilität (AS)

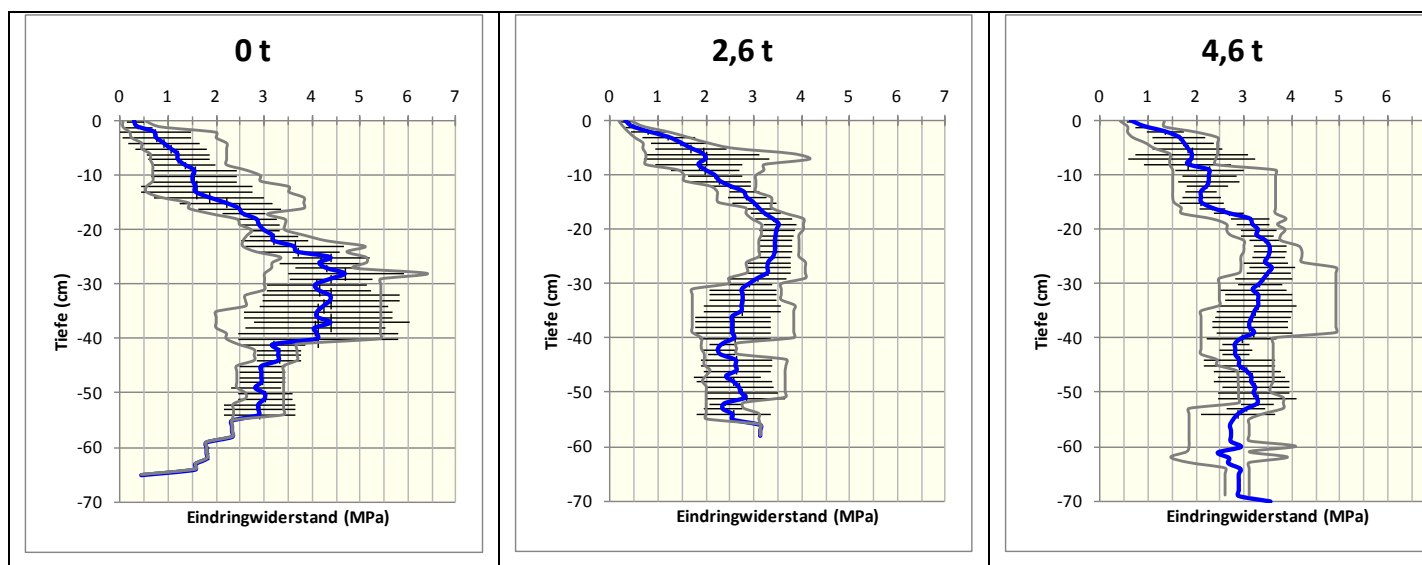
Die Aggregatstabilität (AS) als Parameter für die Verschlämmungsneigung eines Standorts, variierte auf allen Standorten stark. Es ist keine einheitliche Reaktion auf die Bodenbelastung auf den fünf Standorten erkennbar (Abbildung 150). Dementsprechend ist auch bei der gemeinsamen Verrechnung aller Standorte keine Tendenz erkennbar. In diesem Zusammenhang muss bedacht werden, dass die Reaktionszeit der AS auf veränderte Belastungen deutlich länger ist als bei vielen anderen bodenphysikalischen Parametern.



**Abbildung 150: Aggregatstabilität der Parzellen im unbelasteten Zustand (0 t) und nach Überrollung mit 2,6 t und 4,6 t Radlast. Mittelwerte der Jahre 2009 – 2012  $\pm$  SE gerechnet über alle fünf Versuchsstandorte (n = 144). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey,  $p < 0.05$ ).**

### Penetrologger-Messungen

Die Penetrologger-Messungen in den Belastungsversuchen 10-M und 10-P waren durch den hohen Steinanteil des Bodens nur bedingt auswertbar. Eine Verrechnung über die verschiedenen Belastungsvarianten erschien auf Grund der hohen Streuung nicht sinnvoll. Abbildung 151 zeigt beispielhaft Messungen aus drei Parzellen mit 0 t, 2,6 t und 4,6 t Radlast.



**Abbildung 151; Eindringwiderstände gemessen mit dem Penetrologger nach dem Setzen der Belastung und vor Saat der Erbse im Jahr 2009 auf dem Standort Mammendorf. Die blaue Linie stellt den Mittelwert aus fünf Messungen dar, die Fehlerbalken die Minimum- und Maximumwerte.**

Trotz hoher Streuung ist in den kurz vor der Saat befahrenen Parzellen (2,6 t und 4,6 t Radlast) ein höherer Eindringwiderstand in den oberen 10-15 cm sichtbar, was direkt als Effekt der Überrollung gewertet werden kann. Dies bestätigt die Ergebnisse der Messungen der Trockenrohdichte in 10 - 15 cm (Abbildung 146).

Unterschiedliche Auswirkungen der Radlasten von 2,6 und 4,6 t auf tiefere Bodenschichten sind auf Grund der starken Streuung nicht nachweisbar. Die Pflugsohle wurde durch Aufgraben bei ca. 20 cm Tiefe gefunden. Bei den Penetrologger-Messungen der befahrenen Parzellen zeichnet sich ab etwa 20 cm ebenso ein stärker verdichteter Bereich ab. In der unbefahrenen Parzelle ist diese verdichtete Zone durch Störeinflüsse weniger deutlich zu erkennen. Ein Vergleich des Eindringwiderstands zu Beginn der Pflugsohle bei 20 cm zeigt allerdings einen gering niedrigeren Eindringwiderstand in der Kontrollparzelle als in den beiden befahrenen Varianten. Im Bereich der sich über die Jahre gebildeten Pflugsohle konnte kein Unterschied zwischen einer Radlast von 2,6 und 4,6 t festgestellt werden.

#### 4.6.1.3 Verdichtungsrisiko

Das Verdichtungsrisiko der einzelnen Standorte wurde mit Hilfe der Software TASC (Tyres, Tracks and Soil Compaction, Agroscope Reckenholz-Tänikon, Schweiz) auf den einzelnen Versuchsstandorten simuliert. Eingangsgrößen für die Simulation waren die Bodenart, die Oberbodenfestigkeit (ermittelt anhand des Eindringwiderstands mit einem speziellen, gefederten Schraubenzieher), die Bodenfeuchte, die Reifengröße und –spezifikation, die Radlast und der Reifeninnendruck. Das Verdichtungsrisiko wurde für jeden Standort individuell ermittelt (Tabelle 154). Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Simulation mit TASC auf allen Standorten zum Ergebnis kam, dass es mit einem Standard-Radialreifen (650 / 65 R 38) und einer Radlast von 4,6 t zu Saatbedingungen bis tiefer als 25 cm zu Schadverdichtungen kommen kann, d. h. dass die Bodenstruktur langfristig geschädigt werden kann. Eine Radlast von 2,6 t zeigte auf keinem Standort - außer auf dem mittel sandigen Lehm in Trenthorst – ein Verdichtungsrisiko an, das zu einer Schadverdichtung hätte führen können.

**Tabelle 154: Simulation der Schadverdichtungsgefahr auf den Versuchsstandorten bei einer Belastung mit 2,6 t und 4,6 t Radlast und einem Reifeninnendruck von dementsprechend 0,6 bar oder 1,6 bar mit TASC.**

Standort	Bodenart	Radlast (t)	Reifeninnendruck (bar)	Oberbodenfestigkeit	Schadverdichtungs- - gefahr bis ...cm Tiefe
Frankenhausen	mittel toniger Schluff	2,6	0,6	weich	0
		4,6	1,6	weich	25
Köllitsch	schwach lehmiger Sand	2,6	0,6	weich	0
		4,6	1,6	weich	25
Mammendorf	schluffiger Lehm	2,6	0,6	weich	0
		4,6	1,6	weich	25
Trenthorst	mittel sandiger Lehm	2,6	0,6	weich	12
		4,6	1,6	weich	32
Petershausen	schluffiger Lehm	2,6	0,6	weich	0
		4,6	1,6	weich	30

#### 4.6.1.4 Bodentemperatur

Bei den Versuchen 10-M09 und 10-M10 wurden zur Messung der Bodentemperatur Thermologger in Form eines Zylinders (2 cm x 10 cm) in Tiefen von 5 cm und 10 cm direkt nach dem Setzen der Belastung eingegraben. Beim Vergraben wurde darauf geachtet, dass die Bodenstruktur oberhalb der Thermologger ungestört blieb. Es wurden jeweils die Minimum- und die Maximumtemperaturen anhand eines Rangsummentests zwischen den Belastungsstufen verglichen. Wie aus Tabelle 155 ersichtlich ist, bestand in jedem Jahr und in jeder Tiefe ein signifikanter Unterschied zwischen den Belastungsstufen. Tendenziell ist ersichtlich, dass es in einer Tiefe von 5 cm mit steigender Belastung sowohl wärmer als auch kälter ist, als ohne Belastung. Das heißt, der Boden erwärmt sich vormittags schneller, kühlt aber während der Nacht auch schneller aus, je dichter er lagert. Dies hängt mit dem Fehlen von isolierenden luftgefüllten Poren zusammen.

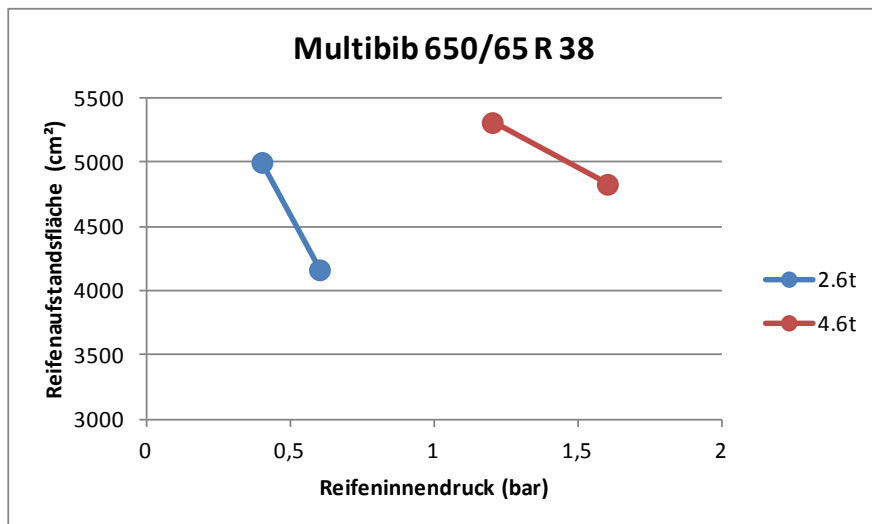
**Tabelle 155: Mittelwerte der Bodentemperatur in 5 cm und 10cm Tiefe in den Belastungsstufen 0 t, 2,6 t und 4,6 t vom Zeitpunkt der Saat bis zur Ernte in den Jahren 2009 und 2010 auf dem Versuchsstandort Mammendorf. \* kennzeichnet einen signifikanten Unterschied (Friedman - und Nemenyi-RangsummenTest, P<0,05).**

Tiefe	Min/Max	Varianten	2009		2010	
5cm Tiefe	min	Unterschied generell	*	Mittelwert	*	Mittelwert
		0t - 2t	*	14,15	*	17,33
		0t - 4t	*	14,14	ns	17,25
		2t - 4t	ns	14,13	*	17,16
	max.	Unterschied generell	*		*	
		0t - 2t	*	22,02	*	22,30
		0t - 4t	*	22,18	ns	21,74
		2t - 4t	*	22,55	*	22,13
10cm Tiefe	min	Unterschied generell	*		*	
		0t - 2t	*	15,06	ns	18,00
		0t - 4t	*	15,51	*	18,02
		2t - 4t	*	15,86	*	17,82
	max.	Unterschied generell	*		*	
		0t - 2t	*	19,52	*	20,64
		0t - 4t	ns	19,62	*	20,58
		2t - 4t	*	19,41	*	21,11
			* signifikant (P<5%)			

#### 4.6.1.5 Aufstandsfläche Belastungswagen

Die Aufstandsfläche des Belastungswagenrades wurde einmalig auf der Versuchsfläche in Mammendorf unter den Bedingungen erhoben, die auch beim Setzen der Belastung vorherrschten. Der Reifeninnendruck bei einer Radlast von 2,6 t betrug im Versuch 0,6 bar, bei 4,6 t 1,6 bar. Der Reifen hatte eine Aufstandsfläche von 4166 cm<sup>2</sup> bei 2,6 t bzw. von 4831cm<sup>2</sup> bei 4,6 t. Zugleich wurde gemessen, welchen Effekt eine Verringerung des Reifeninnendrucks auf 0,4 bar und 1,4 bar bei 2,6 t und 4,6 t Radlast hat. Diese Reduzierung ist möglich, wenn bei der notwendigen Reifentragfähigkeit die Maximalgeschwindigkeit von 30 km/h (Straße und Feld) auf 10 km/h (Feldarbeit) eingeschränkt wird. Eine Verringerung des Drucks führte in beiden Fällen zu einer Vergrößerung der Aufstandsfläche auf 5001 und 5311 cm<sup>2</sup>. Die größere Aufstandsfläche führt zu geringeren Kontaktflächendrücken und damit zu geringeren Bodenbelastungen.





**Abbildung 152: Aufstandsfläche des Reifens für die Belastung in den Versuchen verwendeten Radialreifens (Multibib 650/65 R38) unter einer Radlast von 2,6 t und 4,6 t und den daran angepassten Reifeninnendruck für Feldfahrt und langsame Straßenfahrt.**

Aus der Aufstandsfläche und der Radlast lässt sich ein mittlerer Kontaktflächendruck von 0,624 bar bei 2,6 t und 0,952 bar bei 4,6 t errechnen. Dieser tritt an der Kontaktfläche Reifen-Boden auf.

#### 4.6.1.6 Ertragsdaten

##### Hauptversuche

Der Ertrag der Erbsen variierte stark über alle Standorte und Jahre. Es zeichnete sich aber in 10 von 11 Versuchen ein Rückgang des Ertrags mit steigender Belastung ab (ohne Abbildung). Auf den vier Standorten mit tonig-lehmigem Boden war in Erbsen-Reinsaat ein signifikanter Effekt der Belastung mit 4,6 t im Mittel über alle Jahre zu verzeichnen (Tabelle 156). Auf dem sandigen Standort in Köllitsch variierten die Ergebnisse stark, abhängig von Jahr und Witterung.

In Reinsaat reagierten die Erbsen mit einem signifikanten Ertragsrückgang auf die Belastung: 17 % bei Belastung mit 4,6 t im Vergleich zur unbelasteten Kontrolle, und 16 % bei Belastung mit 4,6 t im Vergleich mit 2,6 t (Abbildung 153). Bei einer Arbeitsbreite von 300 cm und einem Spuranteil von 130 cm (zwei Traktorhinterreifen mit jeweils 65 cm Breite) würde dies einen Ertragsrückgang von etwa 7 % auf der Gesamtfläche bedeuten. Im Gemenge mit Hafer zeigten die Erbsen ein deutlich niedrigeres Ertragsniveau. Der Ertragsrückgang bewegte sich ebenso bei 17 % zwischen der unbelasteten und der mit 4,6t belasteten Variante, war aber statistisch nicht signifikant.

Obwohl das Ertragsniveau der Erbse im Gemengeanbau niedriger war als in Reinsaat, lag der Gesamtertrag des Gemenges (= Erbse plus Hafer) in allen Varianten deutlich über dem der Erbse in Reinsaat (ohne Abbildung).

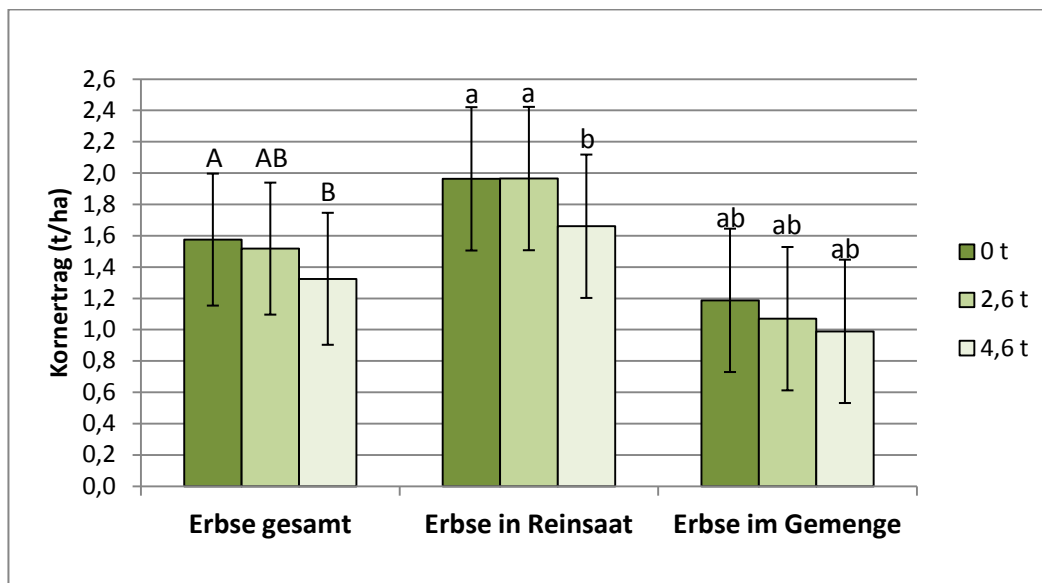


Abbildung 153: Effekt der Belastung mit 0 t, 2,6 t und 4,6 t Radlast auf den Kornertrag der Erbse gesamt (= Mittelwert aus Erbse in Reinsaat und im Gemenge) und in den Varianten Erbse in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer. Mittelwerte  $\pm$  SE der Jahre 2009-2012 gerechnet über alle fünf Versuchsstandorte (n = 262). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey,  $p < 0.05$ ).

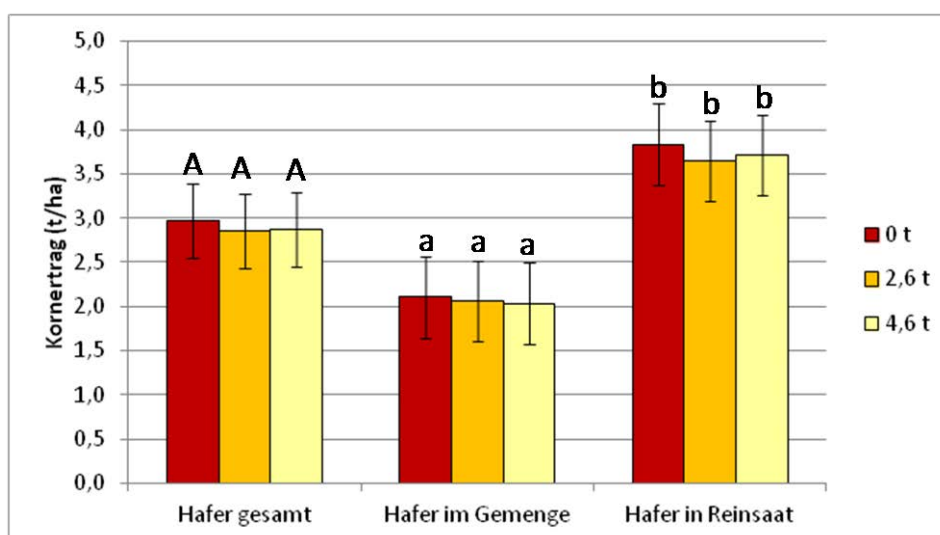
Diese Ergebnisse verdeutlichen die Sensibilität der Erbsen gegenüber Bodenbelastungen bzw. Bodenverdichtungen.

Tabelle 156: Ergebnisse der Kleinsten-Quadrat-Mittelwerte aus SAS. Auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  signifikante Unterschiede sind mit \* gekennzeichnet (ns = nicht signifikant).

Standort	Kultur	Belastung	Belastung	Adjusted P-Value	Signifikanz
Köllitsch	Erbse Reinsaat	0 t	2,6 t	0,97	ns
		0 t	4,6 t	0,37	ns
		2,6 t	4,6 t	0,51	ns
	Erbse Gemenge	0 t	2,6 t	0,48	ns
		0 t	4,6 t	0,54	ns
		2,6 t	4,6 t	1,00	ns
Trenthorst	Erbse Reinsaat	0 t	2,6 t	0,13	ns
		0 t	4,6 t	0,02	*
		2,6 t	4,6 t	0,68	ns
	Erbse Gemenge	0 t	2,6 t	0,84	ns
		0 t	4,6 t	0,35	ns
		2,6 t	4,6 t	0,69	ns
Mammendorf	Erbse Reinsaat	0 t	2,6 t	0,12	ns
		0 t	4,6 t	0,21	ns
		2,6 t	4,6 t	0,00	*
	Erbse Gemenge	0 t	2,6 t	0,99	ns

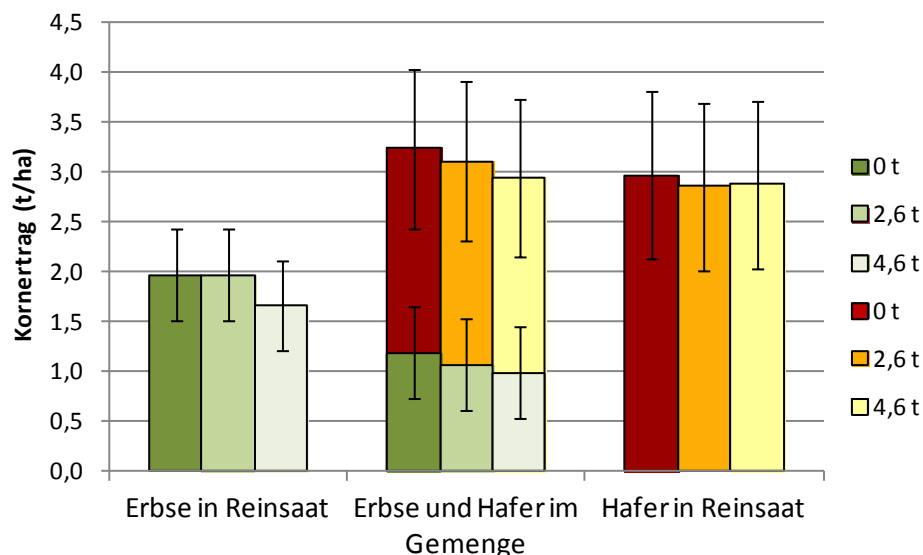
Standort	Kultur	Belastung	Belastung	Adjusted P-Value	Signifikanz
		0 t	4,6 t	0,40	ns
		2,6 t	4,6 t	0,48	ns
<b>Frankenhausen</b>	Erbse Reinsaat	0 t	2,6 t	0,62	ns
		0 t	4,6 t	0,04	*
		2,6 t	4,6 t	0,27	ns
	Erbse Gemenge	0 t	2,6 t	0,93	ns
		0 t	4,6 t	0,70	ns
		2,6 t	4,6 t	0,90	ns
<b>Petershausen</b>	Erbse Reinsaat	0 t	2,6 t	0,93	ns
		0 t	4,6 t	0,07	ns
		2,6 t	4,6 t	0,05	*
	Erbse Gemenge	0 t	2,6 t	0,25	ns
		0 t	4,6 t	0,13	ns
		2,6 t	4,6 t	0,80	ns

Der Hafer zeigte unterschiedliche Reaktionen unabhängig von Jahr und Belastungsstufe. Im Mittel aller Versuchsjahre und Standorte ist keine signifikante Reaktion auf die Belastung erkennbar (Abbildung 154). Deutlich zu erkennen ist jedoch, dass der Haferertrag im Gemenge mit Erbse nur ungefähr halb so hoch ist wie in Reinsaat. Dies ist bemerkenswert, da die Saatstärke des Hafers im Gemenge nur 1/5 der Saatstärke in Reinsaat betrug. Ob dies an der Kompensationsfähigkeit des Hafers liegt, der einen lückigen Erbsenbestände auszugleichen vermag, oder an einer besseren N-Verfügbarkeit im Gemenge mit Erbsen, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden.



**Abbildung 154: Effekt der Belastung mit 0 t, 2,6 t und 4,6 t Radlast auf den Kornertrag des Hafers gesamt (= Mittelwert aus Hafer in Reinsaat und im Gemenge) und in den Varianten Hafer in Reinsaat und im Gemenge mit Erbse. Mittelwerte  $\pm$  SE der Jahre 2009-2012 gerechnet über alle fünf Versuchsstandorte (n = 262). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey,  $p < 0.05$ ).**

Der Gesamtertrag des Gemenges lag trotz der geringeren Saatstärke des Hafers und des geringeren Ertrages der Erbse in allen fünf Versuchsjahren über dem der Erbse und des Hafers (Abbildung 155). Dies verdeutlicht die gute Anpassungsfähigkeit des Gemenges und eine hohe Ertragsfähigkeit selbst bei ungünstiger Bodenstruktur. Bei dichter lagerndem Boden verschiebt sich der Ertragsanteil hin zum Hafer. Wie in WP 3 beschrieben (siehe Kap. 4.5.1.6) lag auch der Spross-N-Ertrag des Gemenges deutlich über dem der Erbse in Reinsaat.

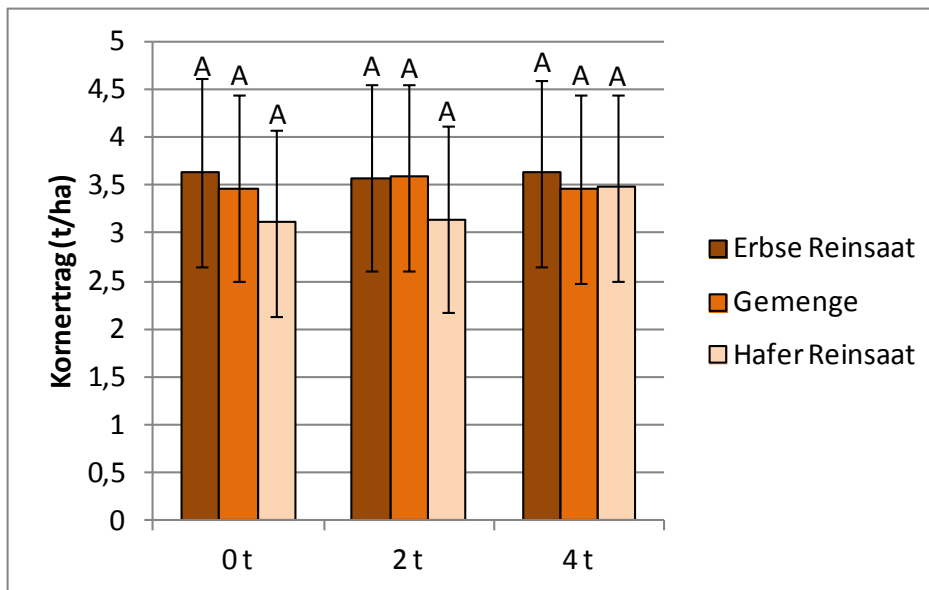


**Abbildung 155: Effekt der Belastung mit 0 t, 2,6 t und 4,6 t Radlast auf den Kornertrag der Erbse und des Hafers in Reinsaat als auch auf den Ertrag im Gemenge. Mittelwerte  $\pm$  SE der Jahre 2009-2012 gerechnet über alle fünf Versuchsstandorte (n = 262)**

### Nachfruchtversuche

In den Jahren 2009 und 2010 wurde zu den Belastungsversuchen je ein Nachfruchtversuch angelegt. In diesen wurden die zuvor mit Erbsen, Hafer und Gemenge bestellten Parzellen mit Winterweizen der Sorte 'Achat' eingesät. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Versuche 8-T09N, 8-T10N, 8-K09N, 8-K10N, 10-M10N, 10-F09N und 10-F10N über beide Jahre und alle fünf Standorte zusammen ausgewertet.

In der Gesamtauswertung zeigte der Weizen im Folgejahr der Belastungsversuche weder eine signifikante Reaktion auf die Art der Vorfrucht (Erbse in Reinsaat, Erbse-Hafer-Gemenge oder Hafer in Reinsaat), noch auf die Höhe der Bodenbelastung im Vorjahr (Abbildung 156). In allen Varianten lässt sich trotzdem eine ähnliche Tendenz erkennen: der Ertrag nach Hafer Reinsaat war etwas niedriger als nach Erbse oder Erbse-Hafer-Gemenge.



**Abbildung 156: Effekt der Belastung mit 0 t, 2,6 t und 4,6 t Radlast auf den Kornertrag des Weizens als Nachfrucht zu Erbse in Reinsaat, Erbse-Hafer-Gemenge und Hafer in Reinsaat. Mittelwerte  $\pm$  SE der Jahre 2010-2011 gerechnet über alle fünf Versuchsstandorte (n = 252). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey,  $p < 0.05$ ).**

Bei der Analyse der einzelnen Standorte konnte über die Prozedur SLICE in proc mixed auf dem Standort in Frankenhausen ein signifikanter Effekt der Kultur festgestellt werden. In allen Belastungsstufen war der Ertrag des Weizens nach Hafer in Reinsaat signifikant niedriger als nach Erbse in Reinsaat. Dies entspricht der oben erwähnten Tendenz.

## 4.6.2 <sup>15</sup>N-Anreicherung und Bodenverdichtung 2010 und 2011

### 4.6.2.1 Versuchsspezifische Methodik

Im Rahmen des Feldversuches zur Bodenbearbeitung und Bodenbelastung im Jahr 2010 wurde am Standort Köllitsch eine Methode zur indirekten Ermittlung der Durchwurzelungsintensität der Erbse geprüft. Dazu wurde am 18. Mai 2010 auf den Erbseparzellen aller Faktorstufen mit Hilfe von PVC-Röhren ( $\varnothing$  20 mm) je 1 g <sup>15</sup>N-angereichertes Kaliumnitrat (5 atom% <sup>15</sup>N) in 40 ml Wasser gelöst und in eine Tiefe von 50 cm in den Boden eingebracht. Zur Feststellung der Aufnahme des markierten Stickstoffs wurden am 14. Juli 2010 die Erbsepflanzen auf einer Fläche von 0,24 m<sup>2</sup> um die Ablagestelle beerntet. Die Pflanzen wurden nach der Ernte in einem Trockenschrank bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, auf eine Partikelgröße von 0,2 mm vermahlen und hinsichtlich des N-Gehaltes (BfUL-Sachsen) und der <sup>15</sup>N-Isotopensignatur (UC-Davis, USA) analysiert.

Im Jahr 2011 wurde am Standort Köllitsch eine zweifaktorielle Spaltanlage mit 4 Wiederholungen mit der Haupteinheit Bodenbearbeitung (Stoppelhobel mit einer Arbeitstiefe von 10 cm und Pflug mit einer Arbeitstiefe von 25 cm) und der Untereinheit Bodenbelastung angelegt. Die Bodenbelastung vor der Saat mit einer Abstufung (ohne und mit Überfahrt) erfolgte in Form von flächiger Überfahrt der Parzellen mit einer Hinterradlast in Höhe von 2,4 t und einem Reifeninnendruck von 1,5 bar (Reifengröße 650 / 65 R38). Die Aussaat der Erbse (Sorte 'Santana') mit einer Saatstärke von 80 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup> und einer

Referenzfrucht Hafer (Sorte 'Dominik') mit 300 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup> erfolgte am 22. März 2011. Die Ernte der Erbsen und des Hafers auf einer Fläche von 1,35 m<sup>2</sup> je Parzelle erfolgte am 10. Juni 2011 von Hand. Anlog zur Vorgehensweise und in identischer Ausbringform, -tiefe und menge wie im Jahr 2010, wurde am 09. Mai 2011 auf allen Erbsenparzellen des Versuches <sup>15</sup>N-angereichertes Kaliumnitrat in den Boden eingebracht. Die Ernte und Bearbeitung der Pflanzenproben erfolgte ebenfalls wie im Jahr 2010. Die Erfassung des Eindringwiderstandes mittels Penetrologger erfolgte im Jahr 2010 am 06. April und im Jahr 2011 am 29. März.

#### 4.6.2.2 Ergebnisse <sup>15</sup>N-Anreicherung Erbsen

Im Jahr 2010 wurden nach Saat der Erbse in der flach wendenden Bodenbearbeitungsvariante bis zu einer Tiefe von 30 cm signifikant höhere Eindringwiderstände gegenüber der Bearbeitung mit dem Pflug festgestellt (Tabelle 157). Die Differenz des Eindringwiderstandes zwischen den Bearbeitungsvarianten betrug im Mittel etwa 0,2 MPa. Auch im Jahr 2011 wies der Boden in der reduzierten Bearbeitungsvariante höhere Eindringwiderstände gegenüber der Bearbeitung mit dem Pflug auf (im Bereich 10 bis 20 cm signifikant). Hinsichtlich der mechanischen Bodenbelastung vor der Saat durch parzellengenaue Belastung mit 2 Abstufungen der Radlast (2,6 t und 4,6 t) wurde im Jahr 2010 im Mittel der Bodenbearbeitungsvarianten mit zunehmender Radlast ein steigender Eindringwiderstand festgestellt. In der Tiefenstufe 30 bis 40 cm wurden signifikante Wechselwirkungen Bodenbearbeitung x Bodenbelastung ermittelt. Im Jahr 2011 wurde bis zu einer Tiefe von 40 cm ein höherer Eindringwiderstand in den Boden in den vor der Saat mit 2,6 t Radlast überfahrenen Parzellen gegenüber den nicht überfahrenen Parzellen festgestellt, in den Tiefenstufen 0 bis 10 cm und 10 bis 20 cm signifikant. In der Tiefenstufe 40 bis 50 cm konnte hingegen kein Unterschied hinsichtlich des Eindringwiderstandes festgestellt werden.

**Tabelle 157: Unterschiede in der Höhe des Eindringwiderstandes in den Boden nach der Saat der Erbse, differenziert zwischen Bodenbearbeitung im Mittel über 3 (2010) bzw. 2 (2011) Belastungsstufen und zwischen Bodenbelastung im Mittel über 2 Bodenbearbeitungsvarianten, Tukey-Test \*P < 0,05, \*\*P < 0,01; ns = nicht signifikant; WW = signifikante Wechselwirkungen Bodenbearbeitung x Bodenbelastung**

	Tiefe [cm]	0 bis 10	10 bis 20	20 bis 30	30 bis 40	40 bis 50
2010	Bodenbearbeitung	*	**	*	WW	ns
	Bodenbelastung	ns	ns	ns		ns
2011	Bodenbearbeitung	ns	**	ns	ns	ns
	Bodenbelastung	**	**	ns	ns	ns

Im Mittel der Belastungsstufen wurde in der Variante mit reduzierter Bodenbearbeitung ein deutlich höherer Grad der Anreicherung an <sup>15</sup>N im Spross-N der Erbse ( $\delta^{15}\text{N}$  im Spross der Erbse: 90 ‰) gegenüber der Variante mit Pflugeinsatz ( $\delta^{15}\text{N}$  im Spross der Erbse: 28 ‰) festgestellt. Es bestanden jedoch signifikante Wechselwirkungen hinsichtlich des <sup>15</sup>N-Anreicherungsgrades zwischen Bodenbearbeitung und Bodenbelastung (Abbildung 157). In der Variante mit reduzierter Bodenbearbeitung lag der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert bei einer Belastung mit 2,6 t bei 24 ‰ gegenüber einem  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von 104 ‰ bei 0 t Belastung und einem  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von 141 ‰ bei einer Belastung mit 4,6 t. Demgegenüber lag der Mittelwert der Variante



mit 2,6 t Belastung in der Pflugvariante mit einem  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von 52 ‰ deutlich über denen der Belastungsstufen mit 0 t und 4,6 t. Keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen Bodenbearbeitung und Bodenbelastung gab es hinsichtlich des  $^{15}\text{N}$ -Anreicherungsgrades im Jahr 2011. Zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten konnten keine Unterschiede im  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert im Spross der Erbse festgestellt werden. Die Variante ohne Überfahrung der Parzellen wies mit einem  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von 245 ‰ im Spross der Erbse einen höheren  $^{15}\text{N}$ -Anreicherungsgrad gegenüber der Variante mit Überrollung mit einem  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert von 156 ‰ im Spross der Erbse auf. Im Jahr 2011 wurde neben dem Spross der Erbse auch die Unkrautspromasse hinsichtlich des Anteils an  $^{15}\text{N}$  analysiert. Es zeigte sich, dass sich der Anreicherungsgrad an  $^{15}\text{N}$  innerhalb der einzelnen Versuchsfaktoren zwischen der Erbse ( $\delta^{15}\text{N}$  im Spross der Erbse 200 ‰) und Unkraut ( $\delta^{15}\text{N}$  im Spross der Unkräuter 635 ‰) signifikant unterschied (Abbildung 158).

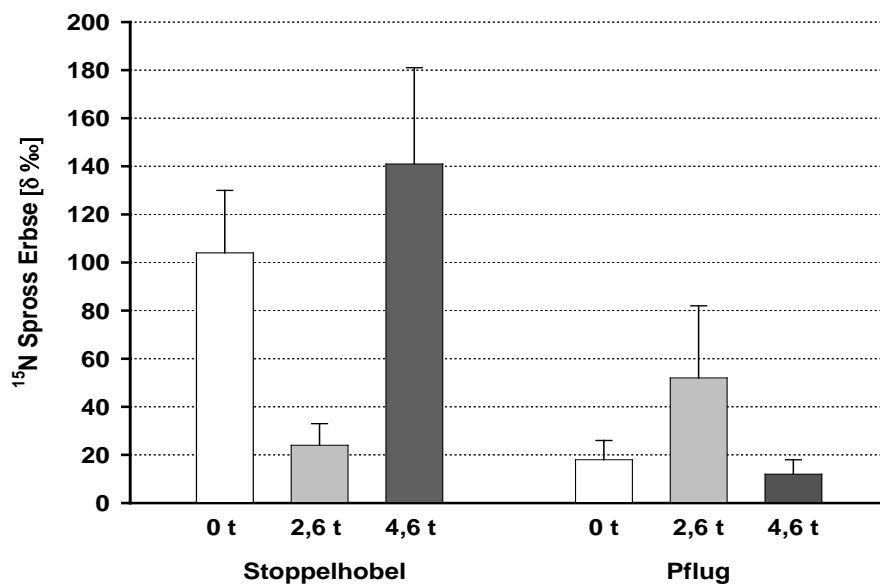
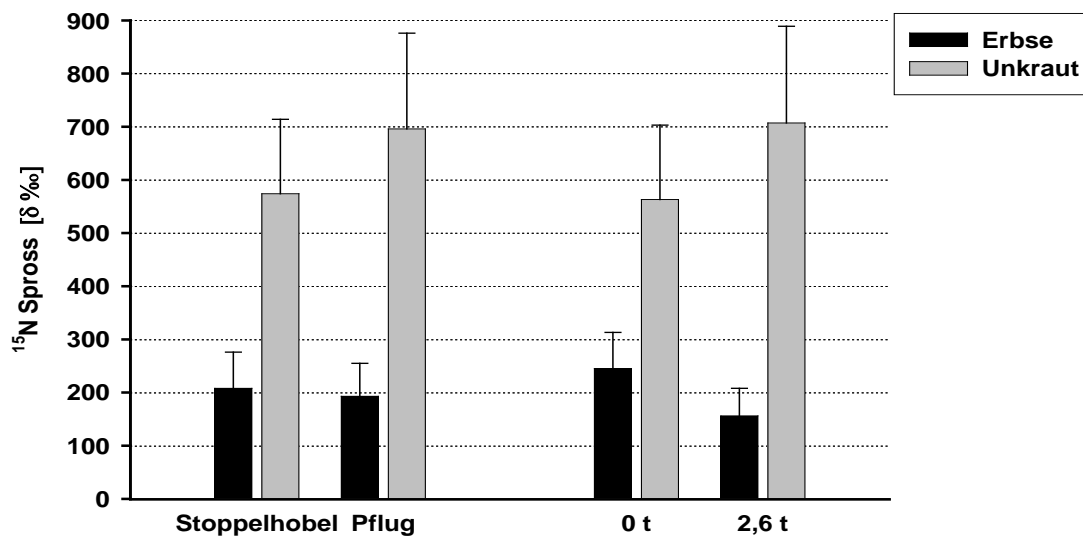


Abbildung 157:  $\delta^{15}\text{N}$  im Spross der Erbse zum Zeitpunkt der Ernte nach differenzierter Bodenbearbeitung und mechanischer Bodenbelastung zur Saat im Jahr 2010 am Standort Köllitsch, *signifikante Wechselwirkungen Bodenbearbeitung \* Bodenbelastung*



**Abbildung 158:  $\delta$   $^{15}\text{N}$  im Spross der Erbse und der Unkräuter in Erbse zum Zeitpunkt der Ernte nach unterschiedlicher Intensität der Bodenbearbeitung und mechanischer Bodenbelastung vor Saat von Erbse im Jahr 2011 am Standort Köllitsch**

#### 4.6.2.3 Diskussion

Im Jahr 2010 wurde bei den Untersuchungen im Feld festgestellt, dass der Eindringwiderstand zum Zeitpunkt der Messung im Bereich einer Tiefe von 30 bis 40 cm signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbelastungsstufen 0 (keine Überfahrung) und 1 (2,6 t Einzelradlast) auftraten (Tabelle 157). In Abbildung 159a und b wird anhand der Verlaufskurven des Eindringwiderstandes ersichtlich, dass sich die Belastungsvariante mit 2,6 t gegenüber der Variante ohne Belastung in einer Tiefe von 40 cm um etwa 0,35 MPa unterschied. Im Jahr 2011 wurden vor allem im Bereich des Oberbodens (0 bis 20 cm) signifikante Unterschiede im Eindringwiderstand zwischen den Belastungsstufen ermittelt (Tabelle 157). Diese sind auch in Abbildung 159 ersichtlich und liegen zwischen 0,8 und 1,0 MPa. MISRA (1986) zeigte in Untersuchungen mit Weizenkeimlingen, dass die Durchwurzelung des Bodens bereits bei einer Zunahme des Eindringwiderstandes von nahe 0 auf 1,0 MPa um 15 bis 20 % gemindert wird. Ab etwa 2 MPa nimmt die Minderung der Durchwurzelung deutlich zu (> 50 % gegenüber 0 MPa), wobei ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Durchwurzelung bei gleichem Eindringwiderstand die Bodentextur ist. MATERECHERA (1991) ermittelte eine Minderung des Längenwachstums von Erbsenwurzeln um 93 % bei einem Eindringwiderstand im Bereich zwischen 4,14 bis 4,28 MPa bei gleichzeitiger Zunahme des Dickenwachstums der Wurzeln um 108 %.

Die Unterschiede im Grad der Anreicherung der Erbse mit  $^{15}\text{N}$ -markiertem Stickstoff zwischen den Prüfgliedern zeigt, dass offenbar in allen Varianten Stickstoff aus dem Unterboden aufgenommen wurde und spiegelt gleichzeitig wieder, dass die ermittelten Werte des Eindringwiderstandes als Schätzung des Durchwurzelungsvermögens als vergleichsweise genau angesehen werden können.

Etwas indifferent stellten sich die  $^{15}\text{N}$ -Werte im Jahr 2010 dar. Trotz höherer Eindringwiderstände bei reduzierter Bodenbearbeitung lag der Anreicherungsgrad an  $^{15}\text{N}$  in dieser Variante auf einem deutlich höheren Niveau gegenüber der Bearbeitung mit dem Pflug.

Möglicherweise nahm das Vorkommen von Vertikalporen (welche in der Pflugvariante durch die Bearbeitung bis auf 25 bis 30 cm zerstört werden) und deren Nutzung durch Pflanzenwurzeln bei flacher Bodenbearbeitung eine größere Bedeutung ein, als die mechanische Bodenbelastung. Die signifikant höhere <sup>15</sup>N-Aufnahme aus dem Unterboden durch das Unkraut gegenüber Erbse (vgl. Abbildung 158) kann als Beleg dafür angesehen werden, dass die Unkräuter unabhängig von Bodenbearbeitung und Bodenbelastung den Stickstoff im Unterboden besser nutzten als die Erbse.

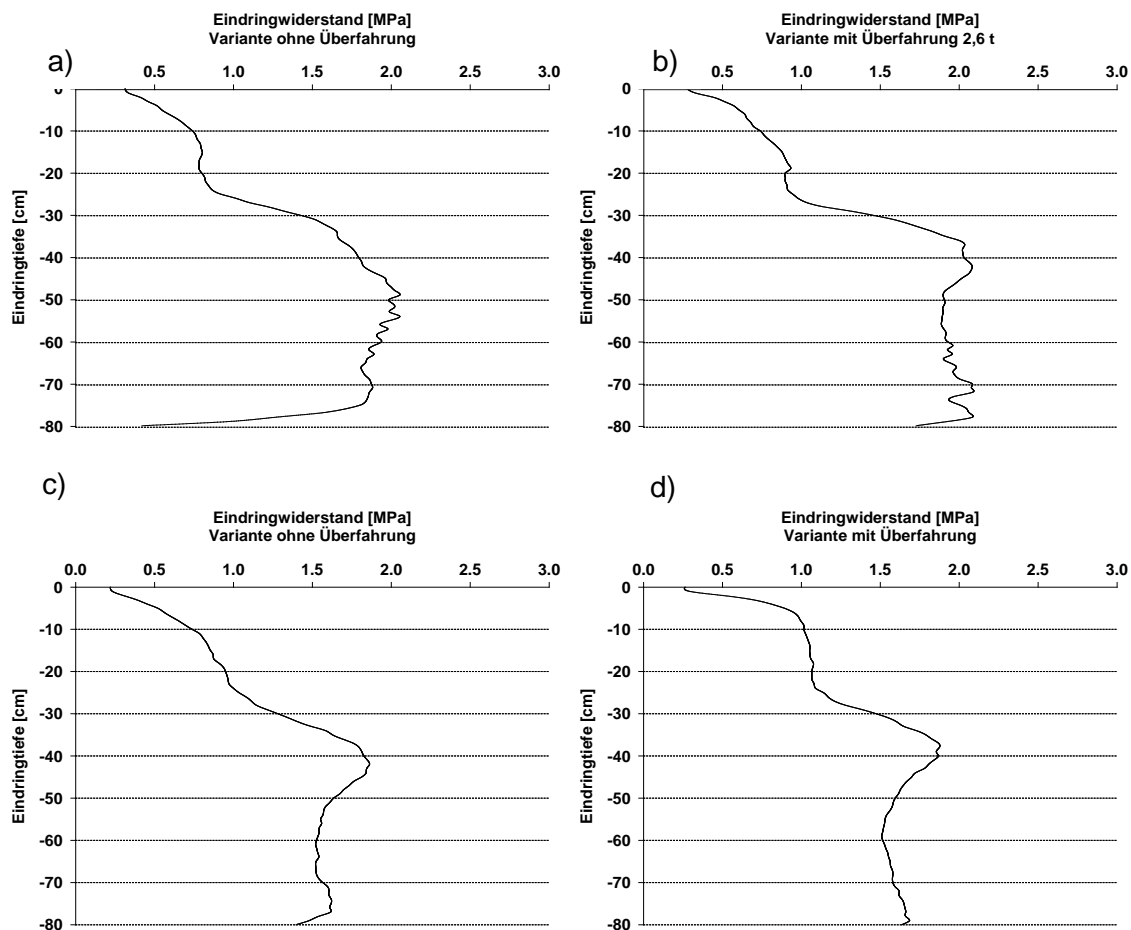
Das Ziel der untersuchten Methode war es, mit Hilfe eines <sup>15</sup>N-markierten Nährstoffes, welcher nach der Saat einer Kultur im Boden abgelegt wird, möglichst wenig destruktiv ein vermindertes Wurzellängenwachstum aufgrund dichtlagernder Bodenhorizonte wie z. B. Pflugsohlen indirekt nachweisen zu können. Aus den vorliegenden Ergebnissen und Erfahrungen lassen sich die angeführten Vorteile der beschriebenen Vorgehensweise feststellen:

- > weitestgehend zerstörungsfreie Ablage eines markierten Düngestoffes in einer Parzelle
- > geringer Arbeitsaufwand und damit schnelle Installation auch bei tiefer Ablage des Düngestoffes
- > geringer Platzbedarf, damit problemlos mehrere Abstufungen der Ablagetiefe denkbar
- > vergleichsweise geringer Aufwand der Probenaufbereitung

Nachteile könnten sich ergeben aus:

- > Wurzeln nutzen die durch die Installation der im Boden verbleibenden Rohre entstandene Hohlräume präferenziell,
- > vertikale und horizontale Verlagerung mobiler Nährstoffformen im Boden führen zu ungenauen Ergebnissen (größere Streuung).

Insgesamt handelt es sich um einen einfach durchzuführenden Nachweis der Aufnahme eines Nährstoffes aus einer definierten Tiefe im Boden. Kombiniert mit korrekt erhobenen und aussagefähigen Parametern, wie Eindringwiderstand oder Trockenrohdichte von Böden ist eine Abschätzung von Störungen der Tiefendurchwurzelung möglich und erlaubt eine Berücksichtigung von möglichen auftretenden Veränderungen der Gegebenheiten im Laufe der Vegetationsperiode mit Einfluss auf die Durchwurzelbarkeit des Bodens, wie z. B. Regenwurmaktivitäten oder natürliche Quellung und Schrumpfung von Bodenbestandteilen. Die tatsächliche bzw. absolute Aufnahme an <sup>15</sup>N des aus dem im Boden deponierten markierten Kaliumnitrat lässt sich an Hand des Anreicherungsgrades einer Kontrolle (Erbse mit natürlicher <sup>15</sup>N-Anreicherung) ermitteln.



**Abbildung 159: Eindringwiderstand in den Boden (MPa) im Frühjahr 2010 ohne Überfahung (a) und mit parzellengenauer Überfahung (b) und im Frühjahr 2011 ohne Überfahung (c) und mit flächiger Überfahung (d) vor Saat der Erbse am Standort Köllitsch**

### 4.6.3 Bodenverdichtung auf Praxisschlägen zu Erbse und Luzerne 2009/2010

#### 4.6.3.1 Versuchsspezifische Methoden

Im Jahr 2009 wurden auf 5 Ackerschlägen mit Körnererbse jeweils 10 Teilflächen mit einer Größe von 10 m<sup>2</sup> ausgewählt. Auf jeder Teilfläche wurden der Eindringwiderstand des Bodens in einer Tiefe von 0 bis 80 cm (Penetrologger, Fa. Eijkelkamp) mit je zehn Einstichen je Teilfläche und der Wassergehalt des Bodens in drei Tiefenstufen (0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm, 60 bis 90 cm) ermittelt. Auf den Teilflächen wurde nach Saat der Erbse die Referenzfrucht Hafer (Sorte 'Dominik') mit einer Saatstärke von 300 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup> von Hand eingesät. Im Jahr 2010 erfolgte die Auswahl und Einsaat der Referenzparzellen wie im Jahr 2009 auf 5 Ackerschlägen mit 13 Teilflächen je Schlag. In Tabelle 158 und Tabelle 159 sind Angaben zu langjährigen Witterungsdaten, Bodenkenngößen und weitere Angaben der untersuchten Standorte angeführt. Im Jahr 2010 wurde an den Standorten Leipzig und Rackwitz durch den bewirtschaftenden Landwirt Erbse und Hafer im Gemenge ausgesät. An diesen Standorten wurden auf den ausgewählten Teilflächen die Haferpflanzen nach dem Auflaufen von Hand entfernt. Nach der Saat der Erbse wurden auf jeder Teilfläche gestörte

Bodenproben in einer Tiefe von 0 bis 30 cm zur Analyse der Grundnährstoffe entnommen (4 Einstiche je Teilfläche). Im Jahr 2009 wurden während der Vegetationszeit anhand von 10 ungestörten Bodenproben (Stechzylinder 100 cm<sup>3</sup>) je Teilfläche aus einer Tiefe von 30 cm die Trockenrohichte, das Porenvolumen und die Luftkapazität ermittelt. Im Jahr 2010 erfolgte die Entnahme der ungestörten Bodenproben auf drei Teilflächen mit jeweils zehn Proben je Schlag. Die Ernte der Erbse und der Referenzfrucht Hafer erfolgte in den Jahren 2009 und 2010 zum Zeitpunkt der Totreife der Erbse auf den Teilflächen auf einer Fläche von 2 m<sup>2</sup> von Hand. Nach der Ermittlung der Anzahl Hülsen je Pflanze, der Kornmasse, des Stroh- und Unkrautsprossmasseertrages wurden je Komponente eine repräsentative Teilprobe entnommen und im Trockenschrank bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend erfolgte die Vermahlung auf eine Partikelgröße < 0,2 mm (Retsch ZM 200). Die vermahlenden Pflanzenproben wurden hinsichtlich ihres Gehaltes an C<sub>t</sub> und N<sub>t</sub> in der Trockenmasse im BfUL-Leipzig analysiert. Nach der Ernte der Erbse wurden auf jeder Kleinteilfläche jeweils getrennt für Erbse und die Referenzfrucht Hafer gestörte Bodenproben in drei Tiefenstufen (0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm) zur Ermittlung des N<sub>min</sub>-Vorrates im Boden entnommen. Im Anhang sind alle durchgeführten Arbeiten im Feld zu Erbsen in den Jahren 2009 und 2010 aufgeführt.

**Tabelle 158: Eigenschaften der untersuchten Standorte mit Körnererbsen auf Praxisschlägen im Jahr 2009**

	Clennen (Sachsen)	Alten- weddingen (Sachsen- Anhalt)	Köllitsch (Sachsen)	Pinkowitz (Sachsen)	Göttingen (Nieder- sachsen)
<b>Abkürzung</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>G</b>
<b>Mittlere Jahrestemperatur [°C]</b>	8,7	8,8	8,7	8,9	8,7
<b>Mittlerer Jahresniederschlag [mm]</b>	570	494	542	667	645
<b>Lage über NN [m]</b>	200	80	87	200	150
<b>Bodentyp</b>	Parabraunerde	Parabraunerde aus Löss	Braunerde	Parabraunerde aus Löss	Vega
<b>Bodenart</b>	Ls	Ls	Sl	Ls	L
<b>Ackerzahl</b>	75	90	61	55	88
<b>Vorfrucht zu Erbse</b>	Winter-Triticale	Winter-Weizen	Silomais	Einkorn	Sommer- Gerste
<b>Sorte Erbse</b>	Santana	Respect	Rocket	Santana	Santana
<b>Saatstärke [Kö / m<sup>2</sup>]</b>	80	90	80	90	80
<b>Aussaat Erbse</b>	03.05.	31.03.	02.04.	19.04.	18.03.

**Tabelle 159: Eigenschaften der untersuchten Standorte mit Körnererbse auf Praxisschlägen im Jahr 2010**

	Rackwitz (Sachsen)	Rackwitz (Sachsen)	Leipzig (Sachsen)	Altenweddingen (Sachsen-Anhalt)	Altenweddingen (Sachsen-Anhalt)
<b>Abkürzung</b>	R1	R2	L	A1	A2
<b>Mittlere Jahrestemperatur [°C]</b>	8,8		9,1	8,8	
<b>Mittlerer Jahresniederschlag [mm]</b>	512		585	494	
<b>Lage über NN [m]</b>	99		100	80	
<b>Bodenart</b>	Ls		Sl	Ls	Ls
<b>Ackerzahl</b>	63	54	44	*	
<b>Vorfrucht zu Erbse</b>	Winterweizen	Winter-Triticale	Winterweizen		
<b>Sorte Erbse</b>	Exclusiv		Respect		
<b>Saatstärke [Kö / m<sup>2</sup>]</b>	90	90	80		
<b>Aussaat Erbse</b>	06.04.	08.04.	07.04.		

\* keine Angaben verfügbar

Für die Untersuchung von Bodenverdichtungen unter Luzerne wurden im Dezember 2008 auf fünf Praxisschlägen je zehn Teilflächen mit einer Größe von 10 m<sup>2</sup> ausgewählt. Im Frühjahr 2009 wurde neben jeder Teilfläche eine Parzelle mit der Referenzfrucht Welsches Weidelgras eingesät und analog zur Vorgehensweise bei Erbse der Eindringwiderstand und der Wassergehalt des Bodens ermittelt. Im Jahr 2010 wurden die Untersuchungen auf drei Schlägen weitergeführt (Podemus 2, Hebelei, Zschochau). Jeweils dreizehn Teilflächen an den Standorten Mahlitzsch und Boritz wurden im Dezember 2009 ausgewählt und im Frühjahr 2010 entsprechend der Vorgehensweise im Jahr 2009 bearbeitet. Die Luzerne und die Referenzfrucht wurden zu drei Terminen von Hand auf einer Fläche von zwei m<sup>2</sup> je Teilfläche beerntet (Podemus und Hebelei im Jahr 2009 vier Schnitte). Am Standort Boritz im Jahr 2010 erfolgten zwei Teilernten. Die Entnahme von Proben zur Ermittlung der Grundnährstoffversorgung, des N<sub>min</sub>-Vorrates im Boden nach der letzten Teilernte, die Entnahme von ungestörten Bodenproben und die Analyse der Pflanzenproben erfolgte wie bei Erbse. An den Standorten Zschochau und Boritz konnte im Jahr 2010 keine N<sub>min</sub>-Probennahme mehr durchgeführt werden. In Tabelle 160 sind Angaben zu langjährigen Witterungsdaten, Bodenkenngößen und weitere Angaben der untersuchten Standorte angeführt. Im Anhang sind alle durchgeführten Arbeiten im Feld zu Luzerne in den Jahren 2009 und 2010 aufgeführt.



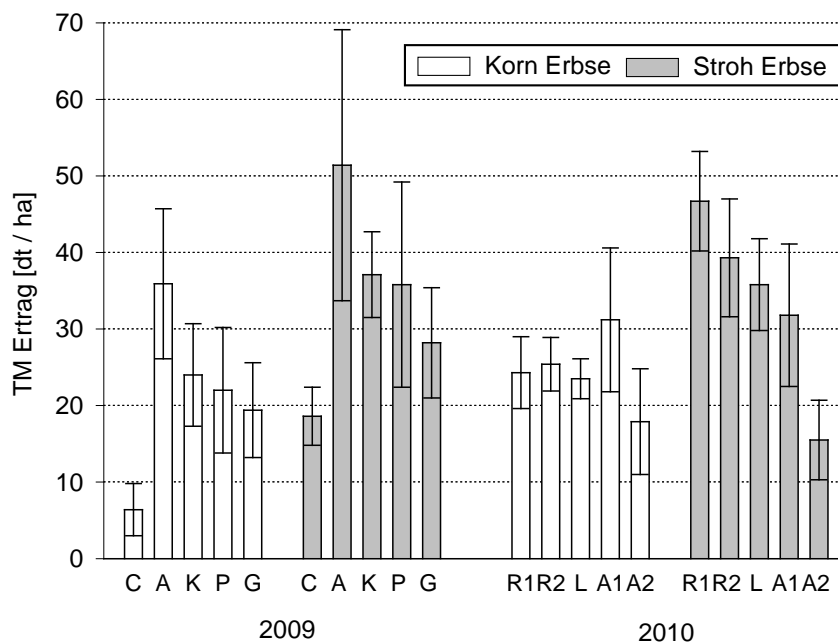
**Tabelle 160: Eigenschaften der Standorte mit Luzerne in den Jahren 2009 und 2010**

	<b>Podemus</b>	<b>Hebele</b>	<b>Zschochau</b>	<b>Mahlitzsch</b>	<b>Boritz</b>
<b>Abkürzung</b>	<b>P1, P2</b>	<b>H</b>	<b>Z</b>	<b>M</b>	<b>B</b>
<b>Mittlere Jahrestemperatur [°C]</b>	8,9	8,5	8,5	8,2	8,5
<b>Mittlerer Jahresniederschlag [mm]</b>	650	600	550	750	420
<b>Lage über NN [m]</b>	250	140	150	280	135
<b>Bodenart</b>	Ls	Sl	Ls	Ls	Sl
<b>Ackerzahl</b>	65	50	80	67	42
<b>Vorfrucht zu Luzerne</b>	Kartoffel	*	Dinkel	Winterweizen	*
<b>Sorte Luzerne</b>	Julia	*	Planet	Planet	*

\* keine Angaben verfügbar

### 4.6.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Der Korn- und Strohertrag der Erbse lag in den Jahren 2009 und 2010 auf den untersuchten Acker-schlägen mit Ausnahme vom Standort Clennen im Jahr 2009 zwischen 19 und 51 dt TM/ha (Abbildung 160). Die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Erbse lag zwischen 59 und 171 kg N/ha (Abbildung 161). Im Mittel der Standorte lag der Vorrat an N<sub>min</sub> im Boden nach der Ernte bei 36 kg N/ha in einer Tiefe von 0 bis 90 cm (Abbildung 162). Die Kleinparzellen auf jedem Praxisschlag wurden anhand des Eindringwiderstandes in den Boden jeweils im Frühjahr ausgesucht. Ziel war es, Kleinteilflächen innerhalb eines Feldstückes mit einer hohen und einer weniger hohen Verdichtung des Bodens festzustellen und den Einfluss der ermittelten Bodenparameter auf den Sprossertrag und die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung der Erbse zu ermitteln. Auf fünf von zehn untersuchten Feldstücken in den Jahren 2009 und 2010 wurde ein negativ korrelierter Zusammenhang zwischen dem Eindringwiderstand in den Boden und dem Korn- bzw. Strohertrag der Erbse ermittelt, in sechs von zehn Fällen verringerte sich die N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Erbse mit steigendem Eindringwiderstand (vgl. auch Anhang). Am Standort Göttingen wurde z. B. im Jahr 2009 ein signifikanter Rückgang des Sprossertrages der Erbse mit zunehmendem Eindringwiderstand in einer Tiefe von 50 bis 60 cm festgestellt (Abbildung 163a). Einen deutlichen Einfluss auf den Sprossertrag der Erbse hatte an einigen Standorten die Verunkrautung (Abbildung 163b).



**Abbildung 160: Korn- und Strohertrag (Trockenmasse) von Körnererbse an 10 Standorten im Jahr 2009 und 2010 (Mittel ± Standardabweichung)**

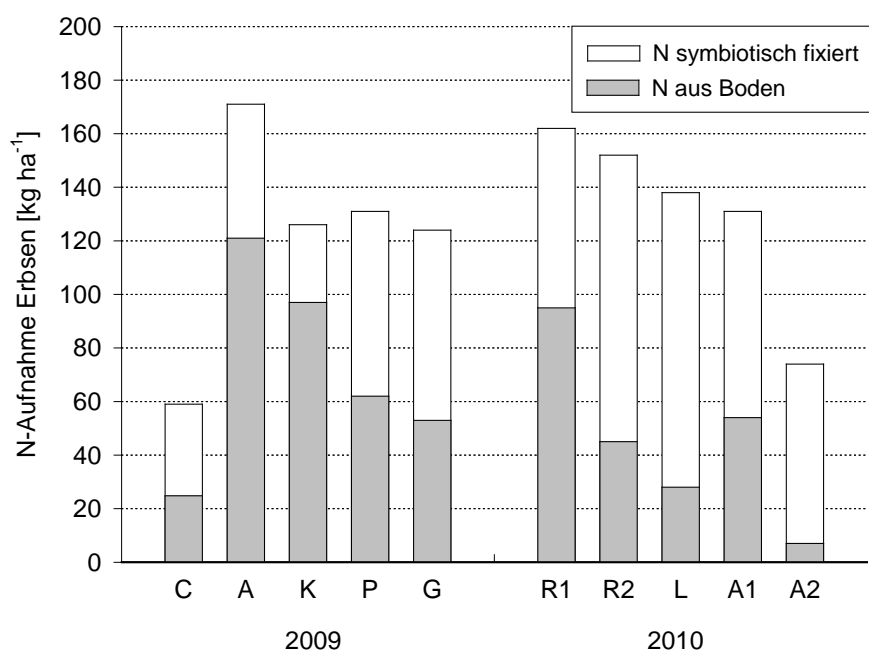


Abbildung 161: Stickstoffaufnahme aus dem Boden und symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung von Erbsen an 10 Standorten in den Jahren 2009 und 2010

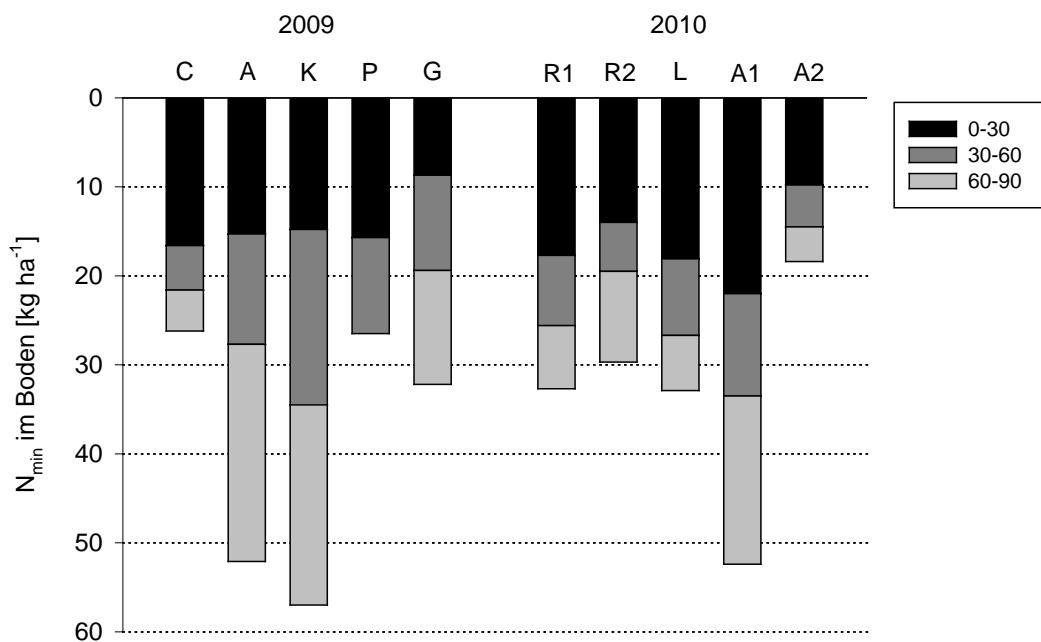
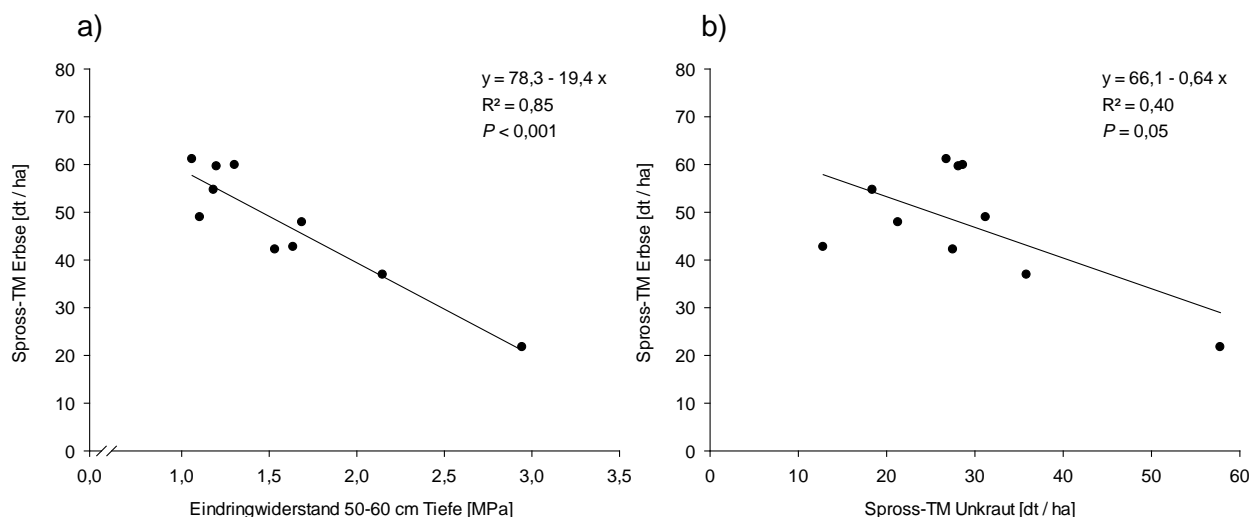


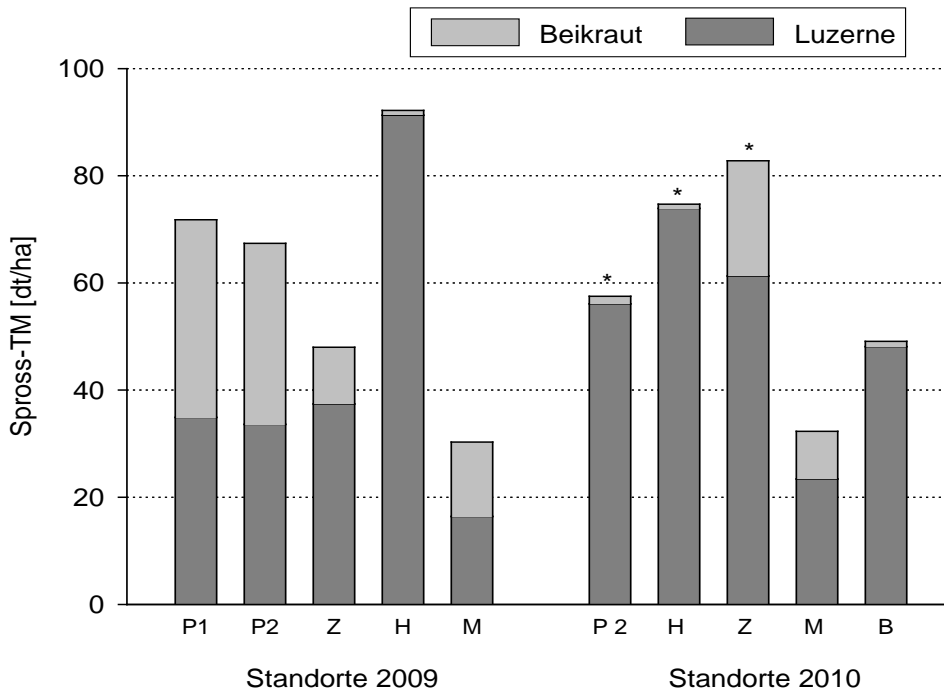
Abbildung 162: N<sub>min</sub>-Vorrat im Boden nach Ernte von Erbsen an 10 Standorten in den Jahren 2009 und 2010



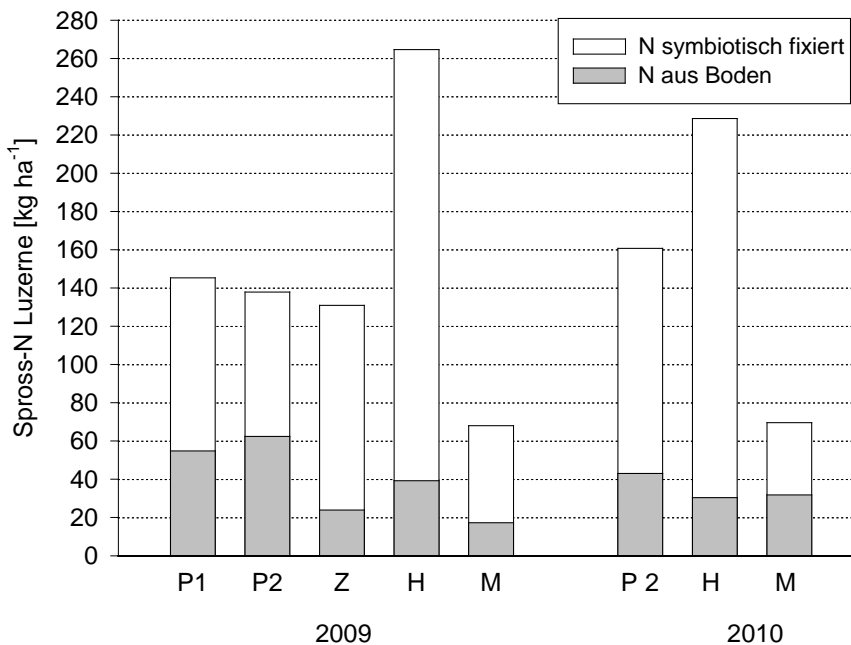
**Abbildung 163: Sprosstrockenmasse von Erbse in Abhängigkeit vom Eindringwiderstand in den Boden (a) und in Abhängigkeit von der Verunkrautung (b) auf 10 Kleinteilflächen am Standort Göttingen im Jahr 2009**

Der Ertrag an Sprosstrockenmasse der Luzerne lag im Jahr 2009 zwischen 16 dt/ha am Standort Mahlitsch und 91 dt/ha am Standort Hebelei. Der Anteil an Gras/Unkraut an der geernteten Biomasse lag zwischen 1 % und 51 % (Abbildung 164). Im Jahr 2010 wurden die Untersuchungen an den Standorten Podemus 2, Hebelei und Zschochau mit der Luzerne im zweiten Nutzungsjahr weitergeführt. Während der Anteil an Gras/Unkraut am Standort Podemus 2 an der geernteten Biomasse im zweiten Nutzungsjahr deutlich abnahm, blieb er am Standort Hebelei konstant und nahm am Standort Zschochau leicht zu. Der Sprossertrag der Luzerne war mit 16 dt/ha im Jahr 2009 und 23 dt/ha im Jahr 2010 (jeweils drei Schnitte) am Standort Mahlitsch vergleichsweise niedrig, was im Jahr 2009 vermutlich durch einen sehr geringen pH-Wert und einem niedrigen Phosphor- und Kaliumgehalt im Boden zu begründen ist (siehe Anhang).

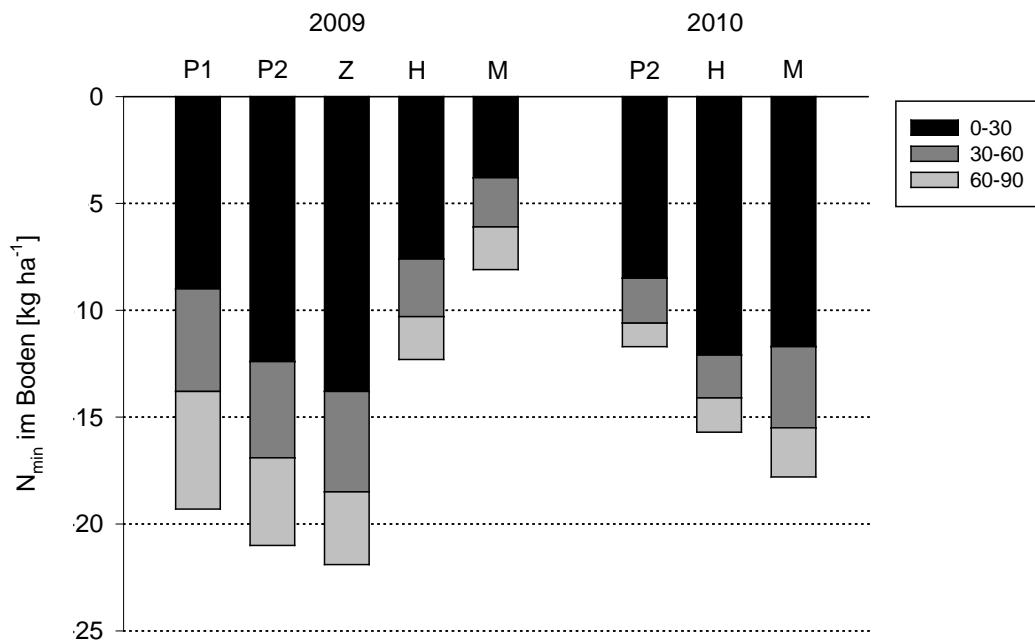
Entsprechend der Sprossmasse der Luzerne und dem Anteil an Gras/Unkraut zeigten sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der symbiotischen  $N_2$ -Fixierung der Luzerne zwischen den untersuchten Standorten, während sich die Menge an aufgenommenen Stickstoff aus dem Boden durch die Luzerne nur wenig unterschied (Abbildung 165). Die symbiotische  $N_2$ -Fixierleistung der Luzerne lag im Jahr 2009 zwischen 68 und 264 kg N/ha und im Jahr 2010 zwischen 70 und 229 kg N/ha. Der Vorrat an  $N_{\min}$  im Boden nach Ernte des letzten Schnittes der Luzerne lag im Jahr 2009 zwischen 8 und 22 kg N/ha in einer Tiefe von 0 bis 90 cm und unterschied sich zwischen den Standorten insbesondere in einer Tiefe von 0 bis 30 cm (Abbildung 166). Im Mittel der Standorte lag der Vorrat an  $N_{\min}$  im Boden bei einem Wert von 14 kg N/ha in einer Tiefe von 0 bis 90 cm und damit deutlich tiefer als bei der Erbse.



**Abbildung 164: Sprosstrockenmasse der Luzerne und der Beikräuter an sieben untersuchten Standorten in den Jahren 2009 und 2010, \* Luzerne im zweiten Nutzungsjahr**



**Abbildung 165: Stickstoffaufnahme aus dem Boden und symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung der Luzerne in den Jahren 2009 und 2010 an sieben untersuchten Standorten**

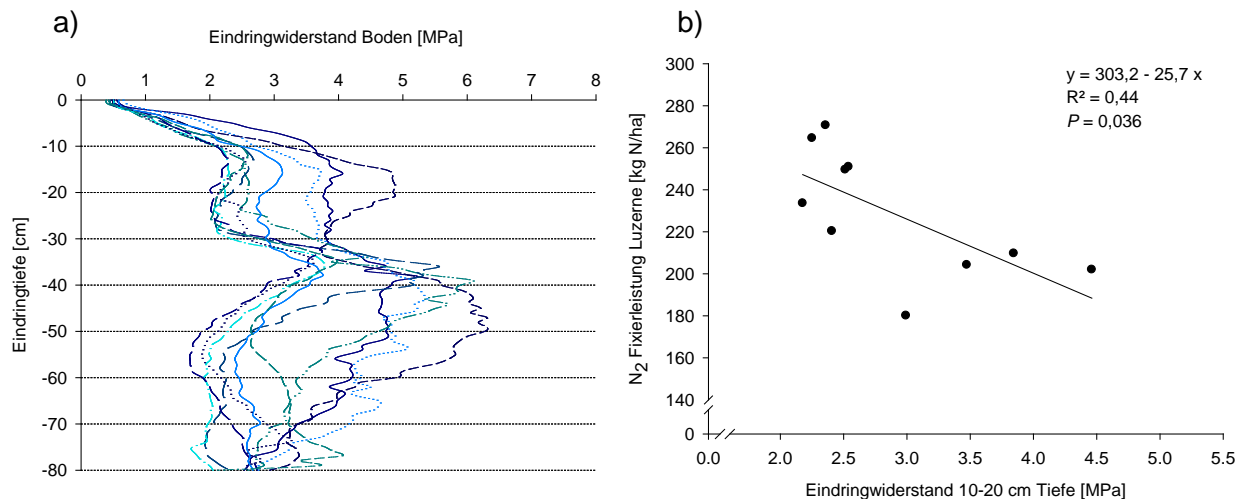


**Abbildung 166: N<sub>min</sub>-Vorrat im Boden nach letztem Schnitt der Luzerne in den Jahren 2009 und 2010 an sieben untersuchten Standorten**

Auf acht von zehn untersuchten Feldstücken wurde anhand der erhobenen Daten ein Rückgang des Sprossertrages der Luzerne mit zunehmendem Eindringwiderstand in den Boden in einer Tiefe von 10 bis 20 cm ermittelt (R zwischen -0,25 bis -0,81), während nur bei drei von acht Feldstücken eine negative Korrelation auf die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Luzerne (R zwischen -0,30 bis -0,67) festgestellt wurde (siehe Anhang). Am Standort Hebelelei z. B. unterschieden sich die ausgewählten Kleinteilflächen hinsichtlich des Eindringwiderstandes insbesondere in einer Tiefe von ca. 20 cm und in einer Tiefe von ca. 40 cm am deutlichsten (Abbildung 167a). Die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Luzerne im Jahr 2010 nahm an diesem Standortsignifikant mit steigendem Eindringwiderstand in einer Tiefe von 10 bis 20 cm ab (Abbildung 167b). Der Vorrat an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden war bei Phosphor, Kalium und Magnesium jeweils an vier von zehn untersuchten Feldstücken positiv mit der Sprosstrockenmasse der Luzerne korreliert (R zwischen 0,24 und 0,90).

Die Größe des Einflusses einer pedogen oder anthropogen verursachter Erhöhung der Lagerungsdichte auf die Durchwurzelungsintensität ist abhängig von der Kulturart. MATERECHERA (1992) ermittelte eine Abnahme des Wurzellängenwachstums der Erbse ab 2 MPa bis hin zu einer Minderung um 93 % ab 4 MPa. Die Luzerne als Pflanze mit rascher und gegenüber den im Anbaubereich verbreiteten Vertretern der Fabaceae sehr ausgeprägter Tiefendurchwurzelung reagiert auf dicht gelagerte Bereiche im Boden mit einer verstärkten Streckung und einer geringeren Feinverzweigung der Wurzel (KUTSCHERA 2009).





**Abbildung 167: Eindringwiderstand in 0 bis 80 cm in den Boden (a) und symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Luzerne im 2. Nutzungsjahr in Abhängigkeit vom Eindringwiderstand (b) auf 10 Kleinteilflächen am Standort Hebelei im Jahr 2010**

Sowohl bei Erbse als auch bei Luzerne wurde an einigen Standorten ein Zusammenhang zwischen den erhobenen Parametern, insbesondere dem Eindringwiderstand als Maß der Bodenverdichtung, und dem Ertrag der Kultur bzw. an symbiotischer N<sub>2</sub>-Fixierleistung festgestellt. Gleichzeitig konnte an einigen Standorten kein Zusammenhang der genannten Parameter festgestellt werden. Einen wechselseitigen Einfluss der erhobenen Parameter untereinander auf den Sprossertrag und die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung konnte mit der hier angewandten Methode der einfachen Korrelation nicht ermittelt werden. Möglicherweise könnten eine Erhöhung der Anzahl untersuchter Fälle (Kleinteilflächen je Ackerschlag) und eine Erhebung integrierender Parameter wie z. B. Trockenstress der Pflanzen während der Vegetation zu einer genaueren Aussage verhelfen.

## 4.7 Workpackage 5: Boden- und Pflanzengesundheit

### 4.7.1 Bodenbiologie

Im Rahmen der Praxiserhebungen wurden eine Vielzahl von bodenbiologischen Parametern erhoben wie in Kap. 4.1 beschrieben. Diese ergaben aber keine engen Beziehungen zum Ertrag der Erbsen und Ackerbohnen. Dennoch konnten die Ergebnisse im Projekt mit den umfangreichen bodenbiologischen Untersuchungen in den Feldversuchen dazu beitragen, die Lücke bei der Suche nach verlässlichen und einfach anzuwendenden, bodenbiologischen Indikatoren für den Bodenfruchtbarkeitsstatus, etwas zu schließen. So konnten in den Feldversuchen mit Leguminosen und der Anwendung verschiedener organischer Dünger, darunter Sekundärrohstoffdüngern, enge Korrelationen zwischen den in mikrobieller Biomasse gebundenen Phosphor- und Stickstoffpools und den Nährstoffgehalten an P und N im Korn von Erbsen sowie zum Ertrag nachgewiesen werden (JANNOURA et al. 2013a & 2013b) Diese Erkenntnisse können dazu dienen, weitere Arbeiten für eine mögliche Validierung der hier gefundenen Beziehungen voranzutreiben.

### 4.7.2 Phytopathologische Untersuchungen

#### Saat- und Erntegut

Die Untersuchungen zum Saat- und Erntegut, die im Rahmen der Praxiserhebungen erfolgten, sind ebenfalls in Kapitel 4.1 verarbeitet worden. Daher soll hier nur noch ein kurzer Überblick eingefügt werden, um welche Erreger es sich im Wesentlichen gehandelt hat.

In Erbsen und Ackerbohnsaatgut, das sowohl als Nachbau als auch als Basis- und Z-Saatgut auf den Betrieben zu finden war, wurden weniger Erreger als erwartet aufgefunden. In den Erbsenchargen, die in den Jahren 2009 bis 2012 mit Infektionsraten >10 % ermittelt wurden, konnten bei max. 13 % der Proben *A. pisi* isoliert werden, während der Anteil der Proben mit *M. pinodes* und *P. medicaginis* unter 10 % lag. Im Erntegut stieg der Anteil auf 13 bis 23 % an; neben den genannten Erregern traten nun auch vermehrt Fusarium Arten auf. Beim Ackerbohnen-Saatgut wurden unter den Chargen mit >10% Infektion die Erreger *A. fabae* und *Fusarium* spp. mit einem Anteil von je 4% der Chargen gefunden; demgegenüber stieg der Anteil der befallenen Körner im Erntegut auf 6 % bei *A. fabae*, 2 % bei *P. medicaginis* und auf 17 % für *Fusarium* spp. Lediglich Saatgutchargen, die aus dem Nachbau stammten, verfügten teilweise über höheres Infektionspotential, das bezüglich weiteren Nachbaus als bedenklich einzustufen ist wie sich in Abbildung 168 für die *A. pisi* zeigen lässt. Saatgutchargen, die über 10% Befall mit *A. pisi* verfügen, tendieren deutlich stärker dazu, höhere Infektionen im Erntegut aufzuweisen als Saatgut, das unter diesem Bereich liegt. Dies ist nahezu ausschließlich für Nachbausaatgut der Fall gewesen. Hier ist den Praktikern zu raten, sehr genau auf hochwertige Saatgutqualität zu setzen, da sich im Zweifel ein Nachbau eher ungünstig auswirken könnte.

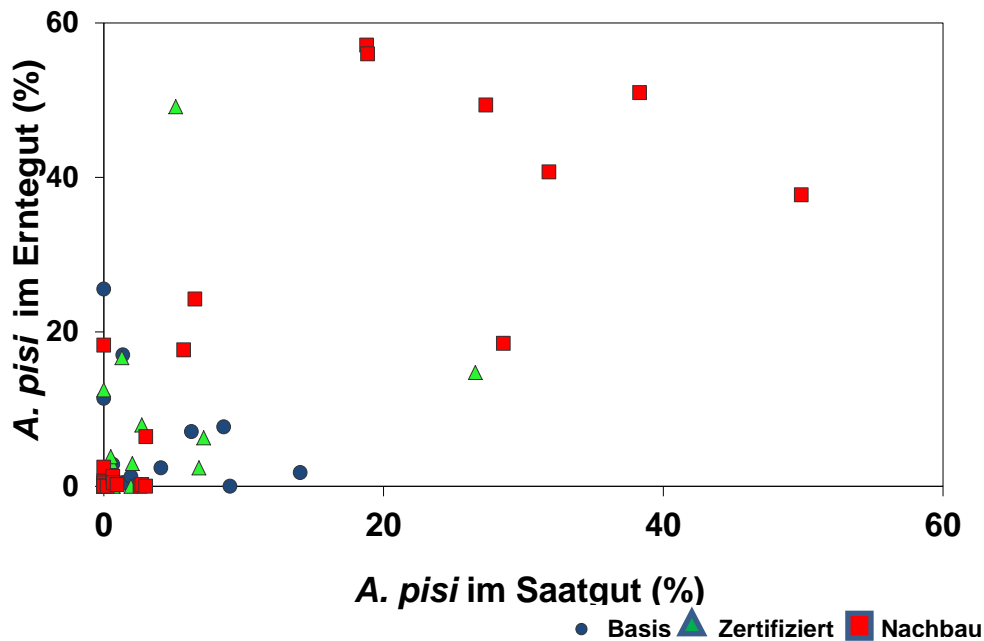


Abbildung 168: Befall mit *A. pisi* im Erntegut der Praxisbetriebe in Abhängigkeit vom Befall des Saatgutes

### Wurzelkrankheiten

Für die Wurzelkrankheiten lässt sich im Gegensatz zu dem Erregerbesatz des Saat- und Erntegutes ein deutlich differenziertes Bild in Häufigkeit und Intensität des Besatzes für Ackerbohnen und Erbsen zeigen. Bereits in Kap. 4.1 wurde auch auf die Zusammenhänge zwischen Erregerbesatz und Läsionslänge, sowie zum Ertrag eingegangen. Im Gegensatz zur Saatgutgesundheit allgemein wurden die Wurzelkrankheiten als stärker ertragsrelevant identifiziert. Hier sind besonders die Fusarien als ertragsrelevante Erreger zu nennen und als Hinweis auf alle Erreger die Läsionslänge, die sich auf dem Epikotyl und auf der Hauptwurzel der Pflanzen messen lässt, als wichtiger Parameter für den Ertrag identifiziert worden. Insofern sind die qualitativen Zuordnungen der Erreger in Abhängigkeit vom Betrieb, Jahr und Standort von Bedeutung.

Für Ackerbohnen kann man erkennen, dass im Vergleich zu Erbsen ein etwas geringerer Befallsdruck festgestellt werden konnte (Abbildung 169). Alle Erreger treten fast immer auf, wobei jedoch die Fusarien in Ackerbohnen zumeist dominierten. Deutlich wird auch die jahresabhängige Dominanz einzelner Erreger (2009) oder aber von allen Erregern (2011) erkennbar. *A. fabae* ließ sich an den Wurzeln in Ackerbohnen nur in einem Jahr (2009) auffinden während Fusarien in jedem Jahr isoliert wurden, gefolgt von *P. medicaginis* als 2.-wichtigstem Erreger in den Ackerbohnen. Der Anteil befallener Pflanzen lag zwischen 0-100%, in vielen Fällen lagen natürlich auch Kombinationen von mehreren Erregern vergesellschaftet vor. Genau diese Tatsache macht es so schwierig, die Ertragsrelevanz der einzelnen Erreger zu ermitteln. Interessant ist, dass *M. pinodes* in den von uns bearbeiteten Proben nur eine untergeordnete Rolle in den Ackerbohnenproben spielte.

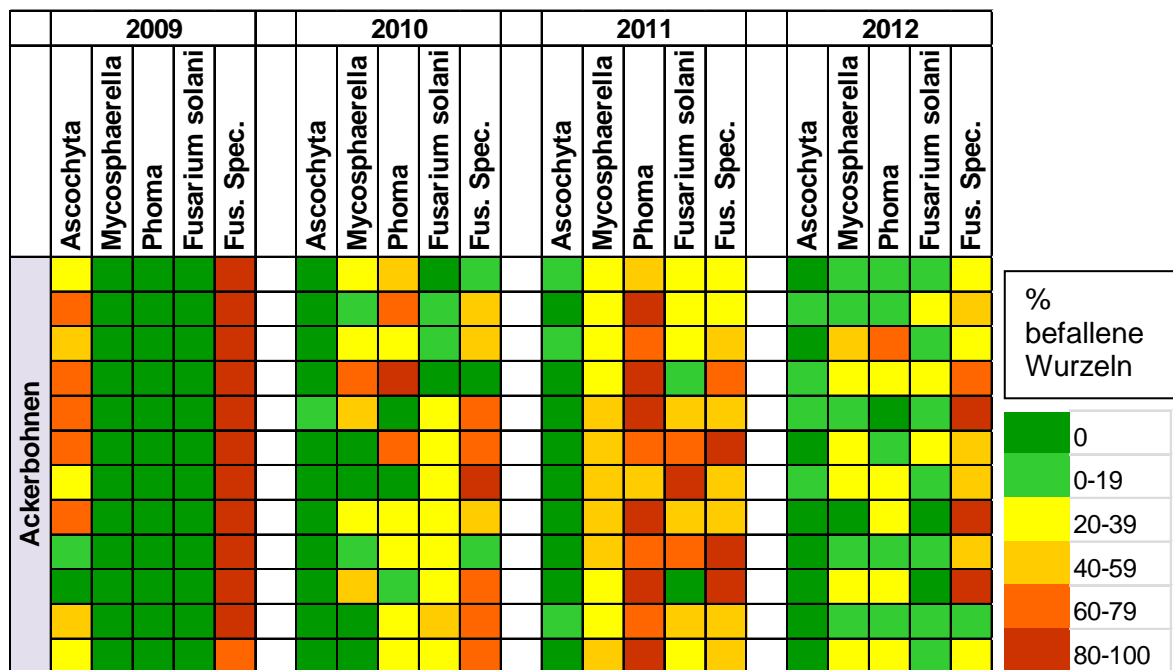


Abbildung 169: Befallstruktur, Erregerhäufigkeit und Anteil von Wurzelkrankheitserregern (% befallene Wurzeln) (*A. fabae*, *M. pinodes*, *P. medicaginis*, *F. solani*, *Fusarium* spp.) in Ackerbohnen über 4 Jahre auf 12 Betrieben (jede Zeile stellt einen Betrieb bzw. Betriebsschlag pro Jahr dar)

In Erbsen lässt sich ein ähnliches Bild zeichnen wie für die Ackerbohnen, jedoch zeigt sich insgesamt in den Erbsen ein höherer Befall (Abbildung 170). Nur in einzelnen Fällen tritt gar kein Befall auf, mit Ausnahme von *A. pisi*, das fast gar nicht auf den Wurzeln zu finden war. Jahresabhängigkeiten lassen sich eindeutig in Bezug auf die Befallshöhe als auch auf Artebene zu ordnen: so zeigten sich in 2010 und 2011 Jahre mit sehr hohem allgemeinen Befall dominiert von *M. pinodes* bzw. *P. medicaginis*, während *Fusarium* spp. bei ansonsten mittleren Befallswerten im Jahr 2012 dominierte. Aufgrund dessen, dass immer eine Gruppe beteiligt ist, stellt sich die Frage nach der Ertragsrelevanz auf Artebene und in der Gruppe. Offensichtlich sind für den Befall und die Symptomausprägung zwar eine Reihe von Erregern verantwortlich aber es stellt sich die Frage, ob die Tiefenschärfe in der qualitativen Aussage bzgl. der Häufigkeit des Auftretens von Erregern hinreichend ist. In dieser Hinsicht können die Ergebnisse nur vage Anhaltspunkte zu lassen, obwohl sich ein Zusammenhang zu Häufigkeit und Ertrag festmachen ließ (*Fusarium* spp., *F. oxysporum* und *F. avenaceum*, siehe Kap. 4.1). Insbesondere müsste in der Gruppe der Fusarien hier deutlich detailliertere Untersuchungen angestellt werden, die die Relevanz einzelner Erreger und Gruppen entsprechend aus Untersuchungen mit künstlicher Inokulation einerseits als auch andererseits in Hinsicht auf eine quantitative Ermittlung des Befalls ableitbar macht. Unter den Fusarien ist ferner eine große Anzahl von avirulenten bzw. schwach virulent Species vertreten, die ggf. erst über die Eintrittspforte durch andere Pilze sowie z. B. durch Larvenfraß des Blattrandkäfers an den Knöllchen die Pflanze befallen. In Hinsicht auf eine klare Zuordnung bietet der Datensatz schon erste Anhaltspunkte und zeigt die große Bedeutung der Erregergruppe insgesamt, auf die mittelfristig nur über Beachtung der Anbaupausen reagiert werden kann. Andere Strategien, die im Projekt angeschnitten wurden, sind der Einsatz organischer Dünger und die Auswahl toleranter Sorten, die bisher zu gering beachtet werden. Nur macht alle Anstrengung wenig Sinn, wenn nicht die Stoßrichtung für eine erfolgreiche Strategieentwicklung klar ist. Hierzu müsste neben der

erwähnten quantitativen Erfassung des Befalles und der Zuordnung zum Ertrag auch viel detaillierte Untersuchungen zum Auftreten der Erreger im Jahresverlauf sowie in der Fruchtfolge (Zwischenwirte) ein weiterer wichtiger Baustein treten.

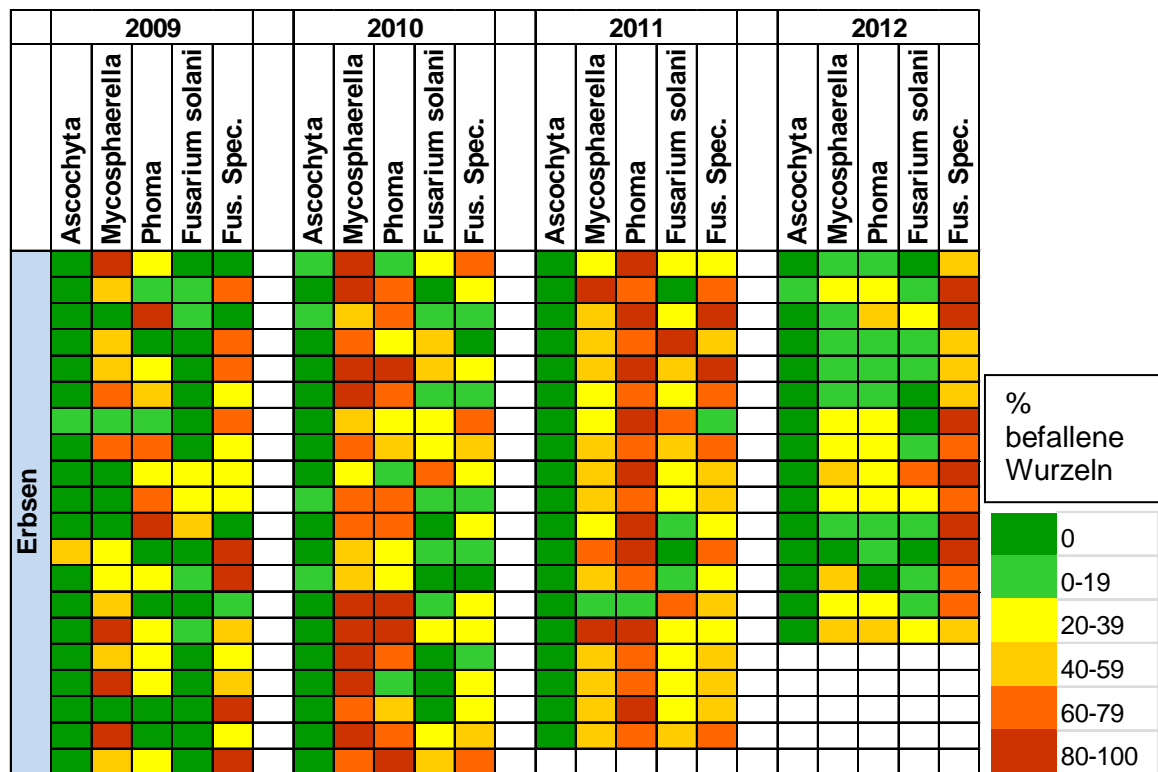


Abbildung 170: Befallstruktur, Erregerhäufigkeit und Anteil von Wurzelkrankheitserregern (% befallene Wurzeln) (*A. fabae*, *M. pinodes*, *P. medicaginis*, *F. solani*, *Fusarium* spp.) in Erbsen über 4 Jahre auf 20 Betrieben (15 Betriebe in 2012, jede Zeile stellt einen Betrieb bzw. Betriebsschlag pro Jahr dar)

## 4.7.3 Differenzialdiagnose

### 4.7.3.1 Beschreibung der untersuchten Böden

#### Physikalische und chemische Charakterisierung der Böden

Während drei Jahren wurden insgesamt 23 Böden untersucht. 22 davon wurden in Deutschland in Zusammenarbeit mit den anderen WPs des Projektes ausgewählt, einer wurde in der Schweiz auf einen Schlag entnommen, auf welchem noch nie Erbsen oder Bohnen kultiviert worden waren.

Die physikalischen Eigenschaften der der Böden variierte stark, von sehr sandigen bis sehr schweren Böden (s. Tabelle 161).

**Tabelle 161: Korngrößenzusammensetzung der untersuchten Böden\***

Probe- nummer	Ort	Datum Probenahme	Ton (T)	Schluff (U)	Sand (S)
			T	U	S
			<2µm	2-63 µm	63-2000 µm
			[%]	[%]	[%]
08/1	D-31634 Steimbke	20.10.2008	7,0	34,5	58,5
08/2	D-97702 Münnerstadt	21.10.2008	48,0	43,0	9,0
08/3	D-84076 Pfeffenhausen	21.10.2008	23,1	51,8	25,1
08/4	D-84036 Landshut-Schönbrunn	21.10.2008	16,1	58,9	25,0
08/5	D-84034 Landshut - Kumhausen	22.10.2008	21,3	37,7	41,0
08/6	D-85391 Allershausen	22.10.2008	15,1	48,0	37,0
08/FAL	CH-8046 Zürich		19,9	33,8	46,3
09/1	D-21371 Tosterglope	07.09.2009	5,7	12,0	82,2
09/2	D-29640 Schneverdingen-Heber	07.09.2009	2,9	8,5	88,6
09/3	D-36367 Wartenberg Landenhausen	08.09.2009	11,7	35,8	52,5
09/4	D-97496 Burgreppach	08.09.2009	7,9	20,2	71,9
09/5	D-63897 Miltenberg	14.09.2009	19,3	59,6	21,1
09/6	D-97797 Wartmannsroth	14.09.2009	47,3	42,8	9,9
09/7	Versuchsstandort Mammendorf	08.09.2009	19,4	56,8	23,8
09/8	Versuchsstandort Eichenberg	15.09.2009	15,9	77,7	6,4
10/1	D-97828 Marktheidenfeld	27.09.2010	17,6	76,8	5,6
10/2	D-97496 Burgpreppach	27.09.2010	13,0	42,0	44,9
10/3	D-95473 Creussen	28.09.2010	26,9	45,1	28,1
10/4	D-84036 Landshut Kumhausen	28.09.2010	31,2	55,9	12,9
10/5	D-86497 Horgau	29.09.2010	8,4	12,8	78,8
10/6	D-29348 Endeholz	04.10.2010	3,4	9,3	87,3
10/7	D-29587 Natendorf	05.10.2010	7,2	52,4	40,4
10/8	D-23847 Trenthorst Westerau	05.10.2010	16,7	38,6	44,7

\*nach DIN ISO 11277 mit Zerstörung der organischen Substanz durch Wasserstoffperoxidlösung (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)



Die zwei unterschiedlichsten Böden waren 10/6 (extrem sandig) und 08/2 (sehr tonig). Daneben waren sechs der untersuchten Böden sehr sandig (08/1, 09/1, 09/2, 09/4, 10/2, 10/5), während zwei Böden (09/6, 10/4) sehr tonhaltig waren. Die Böden vom Versuchsstandort Eichenberg (09/8) und Marktheidenfeld (10/4) enthielten sehr viel Schluff. Die elf restlichen Böden haben mittlere Ton- und Sandgehalte.

Die Ergebnisse der chemischen Bodenanalysen sind in Tabelle 162 dargestellt.

**Tabelle 162: Chemische Analysen der untersuchten Böden\***

Probe-nummer	pH	OS [%]	N <sub>tot</sub> [%]	Phosphor [mg/kg]	Kalium [mg/kg]	Mangan [mg/kg]	Kupfer [mg/kg]	Bor [mg/kg]	Zink [mg/kg]
08/1	6.3	2.8	0.13	90	170	26	1,6	0,33	2,2
08/2	7.3	3.0	0.19	180	150	41	1,8	0,48	4,4
08/3	6.8	2.6	0.16	80	130	42	1,5	0,13	3,9
08/4	7.2	3.1	0.17	230	80	9	0,8	0,40	2,6
08/5	6.6	2.1	0.12	60	90	199	2,1	0,31	2,5
08/6	6.2	2.4	0.14	190	170	346	2,3	0,46	6,0
08/FAL	7.0	4.4	0.24	310	260	41	2,6	0,42	5,5
09/1	5.8	1.7	0.09	180	110	44	2,6	0,18	3,3
09/2	5.9	1.7	0.05	130	60	13	1,9	0,12	2,7
09/3	5.6	2.5	0.10	160	200	165	2,7	0,23	5,8
09/4	5.1	1.5	0.07	80	130	166	1,3	0,14	3,9
09/5	6.8	2.9	0.18	180	230	263	2,4	0,47	5,5
09/6	7.2	4.5	0.19	190	270	29	1,6	0,33	2,8
09/7	6.6	2.6	0.14	120	250	170	2,0	0,36	2,0
09/8	6.2	1.8	0.10	50	90	202	1,8	0,27	3,7
10/1	6.2	2.2	0.13	100	340	179	1,8	0,34	3,0
10/2	5.4	2.5	0.13	100	230	112	2,8	0,36	5,0
10/3	6.5	3.5	0.19	90	250	222	2,9	0,43	6,0
10/4	6.5	3.6	0.24	80	190	162	3,0	0,41	5,2
10/5	5.6	1.3	0.06	80	210	105	1,3	0,15	1,7
10/6	5.8	5.2	0.15	130	130	28	3,7	0,21	8,9
10/7	6.2	1.8	0.08	70	180	34	2,7	0,25	1,0
10/8	6.4	2.0	0.11	12	200	56	1,3	0,42	2,8

\* Analysen vom AGROLAB Institut Koldingen GmbH nach der in Deutschland offiziellen Methoden durchgeführt

### Anwesenheit von Pathogenen und Erregern in den Böden

Mit dem DNA Multiscan Test des Laboratoriums DenHaan (Waterlingen, NL) wurde die Anwesenheit von zwölf Bakterienarten im Boden untersucht: *E. amylovora*, *E. carotovora* subsp. *utroseptica*, *E. carotovora* subsp. *carotovora*, *E. chrysanthemi*, *Pseudomonas cichorii*, *P. marginalis*, *P. syringae*, *P. syringae* pv. *porri*, *P. viridiflava*, *R. solanacearum*, *X. fragariae*

und *A. tumefaciens*. In keinem der 23 untersuchten Böden wurde eine dieser Bakterienarten nachgewiesen.

Neben der Anwesenheit von Bakterien wurde mit der DNA Multiscan Technik ebenfalls die Präsenz von 56 pilzlichen Krankheitserregern sowie drei Antagonisten). Ein leichtes Infektionspotential mit *Fusarium* spp. wurde in den Böden 08/3, 08/4, 08/5, 08/6 und 08/FAL nachgewiesen, ein starkes Infektionspotential mit diesem Erreger wurde in den Böden 09/4, 09/5, 09/6, 09/7, 09/8, 10/1, 10/2, 10/3, 10/4, 10/5 und 10/6 gefunden. Die potenziellen Krankheitserreger, welche am häufigsten gefunden wurden, gehören eindeutig zur Gattung *Pythium* spp. Dieser wurde in allen Böden gefunden, teilweise in erheblicher Menge.

*Alternaria* spp. wurde in den Böden 09/5, 09/7, 09/8 und 10/1 in erheblichen Mengen gefunden.

Die Böden 09/1, 09/2 und 09/3 zeigen eindeutig ein anderes Bild als alle anderen Böden. Nur in diesen drei Böden wurde *B. cinerea* gefunden, und zwar in größeren Mengen. Sonst wurden kaum andere Pathogene in diesen drei Böden gefunden.

Es ist zu bemerken, dass *R. solani* in den untersuchten Böden nie gefunden wurde.

Die Antagonisten *Trichoderma* spp. wurde nur selten und in geringen Mengen gefunden.

Es muss außerdem betont werden, dass *A. euteiches*, ein bekannter Erreger an Erbsen, in diesem Scan nicht untersucht wurde.

Im Bezug auf die Anwesenheit von pflanzenschädigenden Nematoden unterscheiden sich die Böden relativ stark (Tabelle 164). Während praktisch keine Nematoden im Boden 08/2, 09/8 und 10/8 zu finden sind, sind die Nematodenpopulationen in den Böden 08/1, 08/3, 08/4, 08/6, 09/1, 09/2, 09/3, 09/4, 09/5, 10/1, 10/2, 10/5, 10/6 und 10/7 hoch. Vor allem Nematoden der Gattungen *Tylenchorhynchus* spp., *Scutellonema* spp., *Meloidogyne* spp. und *Pratylenchus* spp. waren in mehreren Böden stark vertreten.

Tabelle 163: Test der Anwesenheit von potentiellen Krankheitserregern in den untersuchten Böden\*

Probe-Nr.	Getestete Pilze																											
	1	2	3	4-12	13	14-15	16	17-21	22	23	24	25-27	28	29-40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50-53	54	55	56	57
08/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	0	-	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
08/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	0	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-	-	-	0	-	3	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
08/4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-	-	-	0	-	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
08/5	0	0	0	0	1	0	1	0	0	-	-	-	0	-	3	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
08/6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-	-	-	1	-	6	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0
08/FAL	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-	-	-	0	-	6	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
09/1	0	0		0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/2	0	0		0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/3	0	0	4	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
09/4	0	0	0	0	6	-		0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	1
09/5	0	4	0	0	6	-	1	0	2	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0
09/6	0	0	0	0	6	-	0	0	3	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1
09/7	0		0	0		-	1	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0
09/8	0		0	0	6	-	1	0	2	0	0	0	0	0		0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
10/1	0		0	0	6	-	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10/2	0	0	0	0	3	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/3	0	0	0	0	4	-	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/4	0	0	0	0	4	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
10/5	0	0	0	0	4	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10/6	0	1	0	0		-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/7	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



**Tabelle 164: Test der Anwesenheit von pflanzenschädigenden Nematoden in den untersuchten Böden\***

Probe-Nr.	Getestete Nematodengattungen																
	1	2-4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15-18	19	20	21	22
08/1	20	0	0	0	480	0	0	0	0	0	0	20	0	100	20	0	2160
08/2	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
08/3	0	0	0	140	280	0	0	20	0	0	0	0	0	0	40	0	1600
08/4	0	0	20	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	1020
08/5	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	20	0	700
08/6	0	0	20	0	300	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	2460
08/FAL	0	0	40	0	180	0	0	60	0	0	0	0	0	0	100	0	1260
09/1	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	1720	350	0	2040
09/2	0	0	0	0	0	0	190	10	0	0	0	0	0	110	300	0	4140
09/3	0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	10	850	0	2560
09/4	0	0	0	40	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	1730	0	3550
09/5	0	0	40	0	0	40	100	180	0	620	0	0	0	0	0	0	5360
09/6	0	0	0	0	0	0	110	130	0	0	0	0	0	0	30	0	600
09/7	0	0	40	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	20	0	2440
09/8	60	0	80	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	40	40	0	206
10/1	0	0	0	60	0	10	0	0	0	0	0	0	0		580	0	14260
10/2	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	280	0	1900
10/3	0	0	0	40	0	0	20	80	0	0	0	0	0	0	0	0	620
10/4	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	20	0	1740
10/5	0	0	0		120	0	0	80	0	0	0	0	0	160	260	0	4200
10/6	0	0	0	40	560	0	0	0	0	0	0	0	0	640	20	0	3540
10/7	0	0	0	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	140	0	2900
10/8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	640
Getestete Nematodengattungen:																	
1	Blauälchen	<i>Aphelenchoides</i> spp.	6	Freilebende Wurzelälchen	<i>Paratylenchus</i> spp.												
2	Destructorälchen	<i>D. destructor</i>	7		<i>Tylenchorhynchus</i> spp.												
3	Cysteälchen	<i>Heterodera</i> spp.	8		<i>Rotylenchus</i> spp.												
4		<i>Globodera</i> spp.	9		<i>Scutellonema</i> spp.												
5	Stengelälchen	<i>D. dipsaci</i>	10		<i>Helicotylenchus</i> spp.												
16	Virus übertragende Wurzelälchen	<i>Xiphinema</i> spp.	11		<i>Cricinnmoides</i> spp.												
17		<i>Longiclorus</i> spp.	12		<i>Tylenchius</i> spp.												
18		<i>Paratrichodorus</i> spp.	13		<i>Trichodorus</i> spp.												
19	Wurzelgallenälchen	<i>Meloidogyne</i> spp.	14		<i>Hemicycliophera</i> spp.												
20	Wurzellesionälchen	<i>Pratylenchus</i> spp.	15		<i>Aphelenchus avenae</i>												
21	Wurzelnecrosälchen	<i>Radopholus</i> spp.															
22	Übrige Nematoden	<i>Tylenchida</i> und Saprofagen															

\*Analysen vom Relab denHaan, NL-Waterlingen.  
 Klasseneinteilung: 0-59: keine Beschädigung zu sehen im Gewächs.

60-159: Beschädigung zu sehen im Gewächs  
 > 160: viele Beschädigung im Gewächs

### Biologische Aktivität der Böden

Die Böden 09/6, 10/3, 10/4 und 10/5 haben einen deutlich höheren Ergosterolgehalt als die anderen Böden (Tabelle 165). Ihre globale Enzymaktivität ist ebenfalls höher als die der meisten anderen Böden.

Die Böden BLE 09/1, BLE 09/4 waren in praktisch jeder Hinsicht die Böden mit der geringsten biologischen Aktivität (Tabelle 165).

Die Böden 08/2, 09/6 und 10/6 zeigten die höchsten Atmungspotenzials, während die Böden 08/1, 08/6, 09/1, 09/2, 09/4, 10/1, 10/2, 10/4 und 10/8 diesbezüglich relativ schwach waren (Tabelle 165).

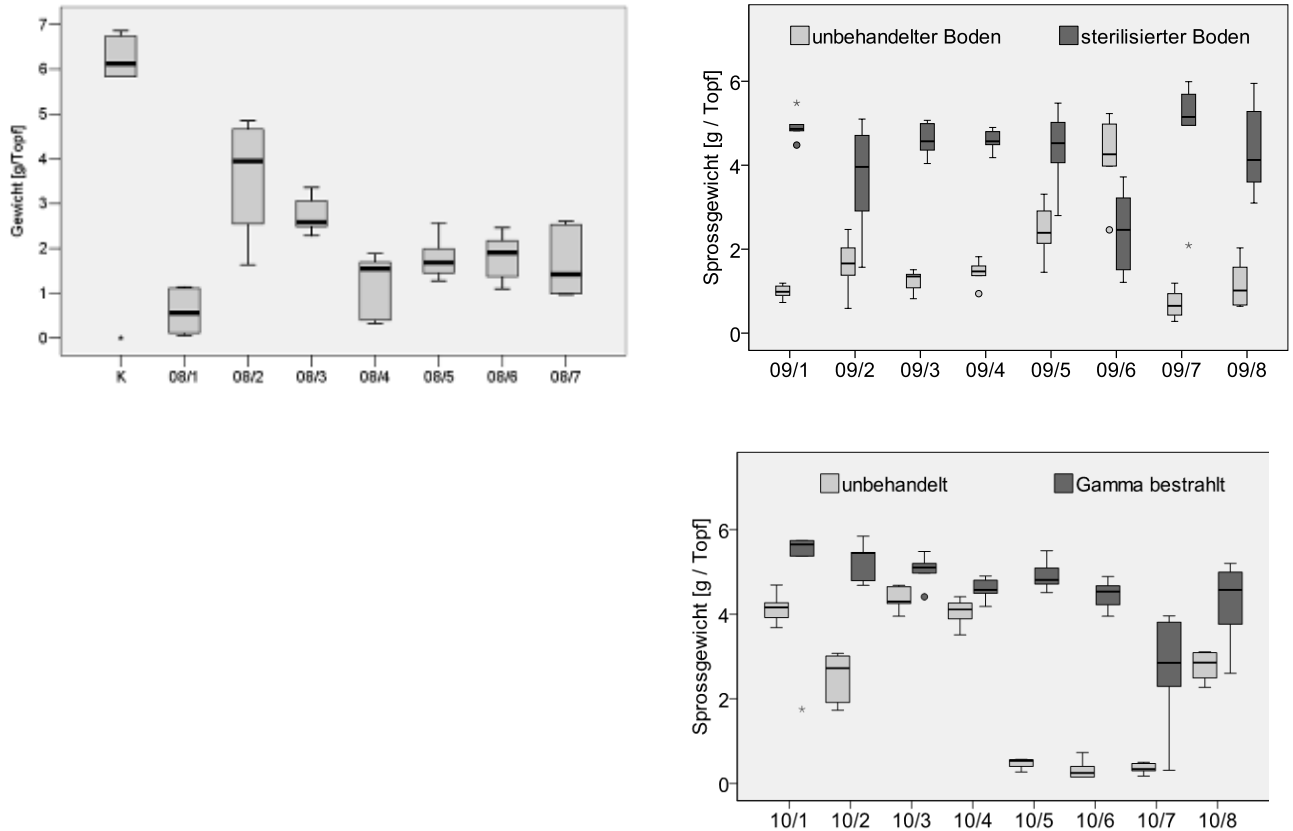
**Tabelle 165: Biologische Aktivität der beprobten Böden anhand ihrer Enzymaktivitäten, ihre Atmungspotenzial und ihre Ergosterolgehalten**

Probe-Nr.	Enzymaktivität			Atmungspotenzial [mg CO <sub>2</sub> / g TS u. Tag]	Ergosterolgehalt [µg / g TS]
	FDA-Aktivität [µg Fluoreschin/ mg TS u, Minute]	Protease [µg Tyrosinäquivalente/ g TS u. 2 h]	Phosphatase [µPhenol / g u. h]		
08/1	0.48	338.6	159.6	0.014	0.49
08/2	0.15	279.7	561.8	0.060	0.92
08/3	0.16	169.6	482.5	0.018	0.63
08/4	0.24	326.8	685.2	0.031	0.41
08/5	0.23	187.1	388.7	0.018	0.27
08/6	0.38	285.9	339.0	0.011	0.24
08/FAL	-	-	-	-	-
09/1	0.28	189.2	89.2	0.009	0.57
09/2	0.36	213.5	84.8	0.010	0.62
09/3	0.83	436.8	205.6	0.021	1.09
09/4	0.61	171.8	52.8	0.012	0.53
09/5	0.60	414.2	798.1	0.031	0.99
09/6	0.28	359.7	787.0	0.062	2.05
09/7	0.42	311.6	365.3	0.024	0.63
09/8	-	-	262.9	-	-
10/1	0.41	172.6	222.9	0.010	0.55
10/2	0.55	193.2	80.6	0.012	0.66
10/3	1.61	320.4	558.5	0.023	1.17
10/4	0.93	135.5	595.5	0.011	0.65
10/5	1.19	377.4	102.7	0.029	1.70
10/6	0.45	280.1	136.3	0.060	1.81
10/7	0.71	299.8	102.7	0.021	0.73
10/8	0.64	180.9	410.6	0.012	0.42



## Krankheitsrezeptivität der Böden

Der Auflauf und das Wachstum der Kressepflanzen ohne Zugabe von Krankheitserregern unterschied sich in den verschiedenen Böden stark (Abbildung 171). Für die Bodenproben von 2008 wurde das Wachstum der Kresse in den Böden verglichen mit deren Wachstum in der Einheitserde Typ 0. Für die Böden von 2009 und 2010 wurde jeweils das Wachstum der Kresse im unbehandelten Boden verglichen mit dem Wachstum im sterilisierten Boden.



**Abbildung 171: Wachstum der Kresse in den beprobten Böden. K: aufgedüngte Einheitserde Typ 0**

Der Auflauf und das Wachstum der Kressepflanzen ohne Zugabe von Krankheitserregern unterschied sich zwischen den unbehandelten Böden und den sterilisierten Böden stark (Abbildung 171). Das Wachstum der Pflanzen im unbehandelten Verfahren betrug nur zwischen 20 % (Böden 09/1 und 09/7) und 55 % (Boden 09/5) des Wachstums im sterilen Verfahren. Bei den Böden 09/5, 10/1, 10/3 und 10/4 war das Wachstum im sterilisierten Boden nur leicht besser als im unbehandelten. In den Böden 09/1, 09/3, 09/4, 09/7, 10/5, 10/6 und 10/7 hatte die Gammabestrahung der Böden hingegen eine sehr positive Wirkung auf das Wachstum der Kresse. Bei den Böden 09/2, 10/2 und 10/8 war die Auswirkung der Gammabestrahung ebenfalls deutlich, wenn auch nicht so ausgeprägt. Einzig der Boden 09/6 reagierte anders als die anderen: bei diesem war das Wachstum im unbehandelten Verfahren besser als im sterilisierten Verfahren.

In Bezug auf die Krankheitsrezeptivität der Böden zeigte sich ein klarer Unterschied zwischen den sterilisierten und den unbehandelten Böden. Während bei den sterilisierten

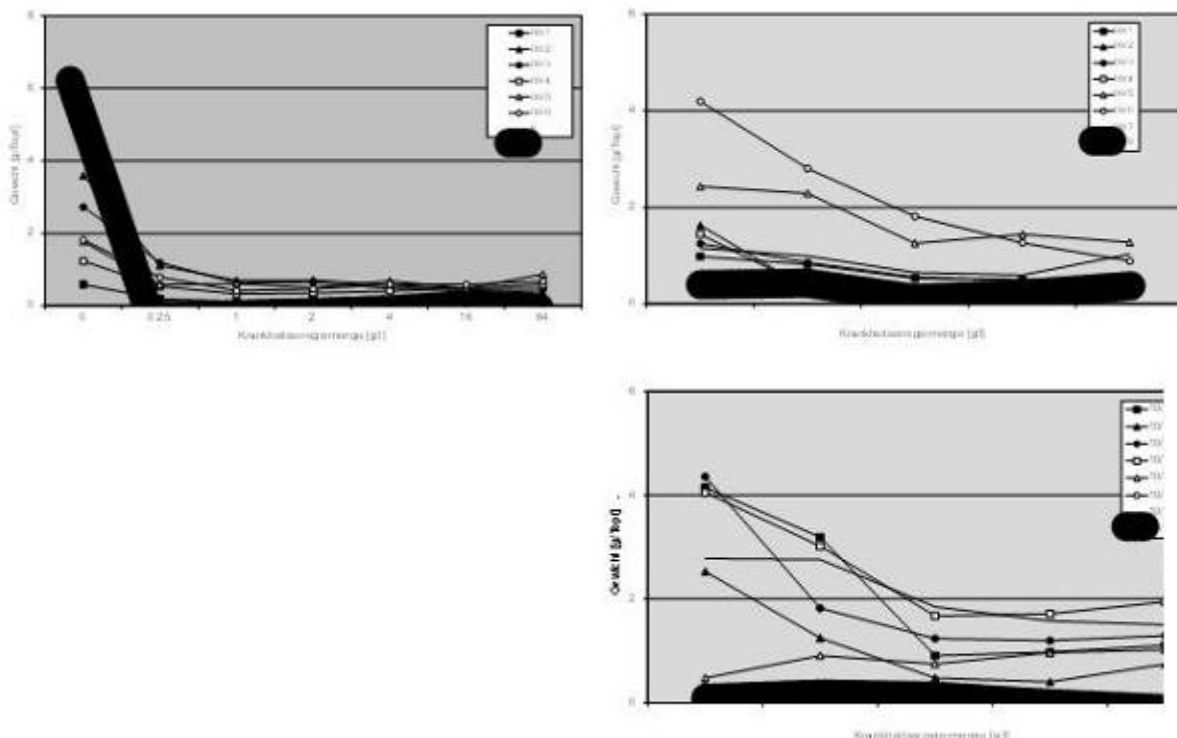
Böden schon kleinste Erregermengen zum totalen Ausfall führten (Abbildung 172 und Abbildung 173), wurde in den unbehandelten Böden ein Pflanzenwachstum auch noch bei höheren Erregermengen beobachtet (Abbildung 171, Abbildung 173). Einzig der Boden 09/6 zeigte auch im sterilisierten Verfahren eine gewisse Krankheitsresistenz.

Im unbehandelten Verfahren bewirkten die Erregerzugaben nur bescheidene Wachstumsdepressionen bei den Böden 08/2, 08/3, 08/4, 08/5, 08/6, 09/1, 09/3, 09/8, 10/4 und 10/8. Dies deutet darauf hin, dass diese Böden mikrobiologisch besser gepuffert sind (Abbildung 171). Allerdings sollten diese Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden, da auch ohne Krankheitserregerzugabe das Wachstum in diesen Böden schwach war. Bei den Böden 09/2 und 09/4 zeigte sich, trotz des allgemein schwachen Wachstums der Kresse im Verfahren ohne Erregerzugabe eine klare Wirkung von *P. ultimum*.

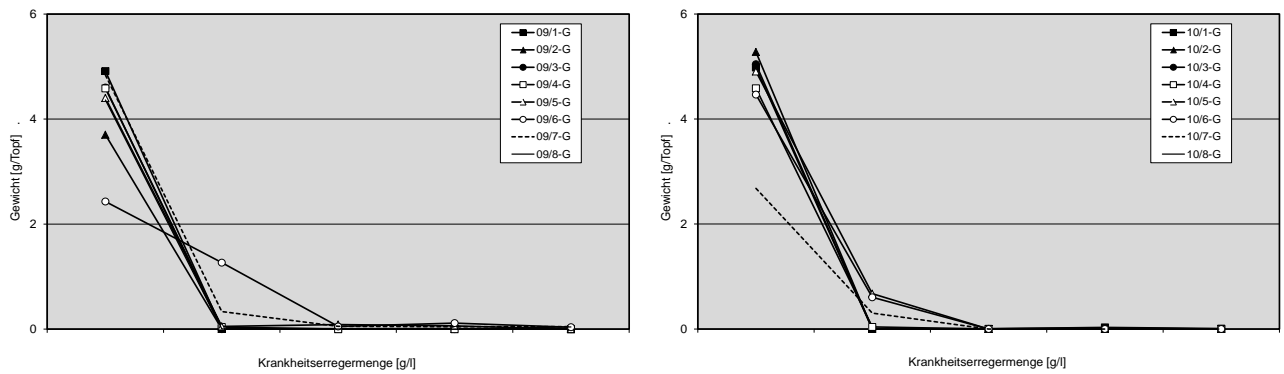
Im Boden 09/6 war das Wachstum der Kresse ohne Krankheitserreger gut. Mit zunehmender Erregergabe wurde es kontinuierlich geringer (Abbildung 171). Die Krankheitsentwicklung war jedoch deutlich bescheidener als im entsprechenden sterilisierten Boden.

In den Böden 09/5, 10/4 und 10/8 konnte ein relativ gutes Wachstum der Kresse im Verfahren ohne *P. ultimum* beobachtet werden. Der Erreger verminderte das Wachstum in relativ bescheidenem Maß (Abbildung 171). Diese Böden zeigten somit die beste Suppressivitätswirkung aller Böden.

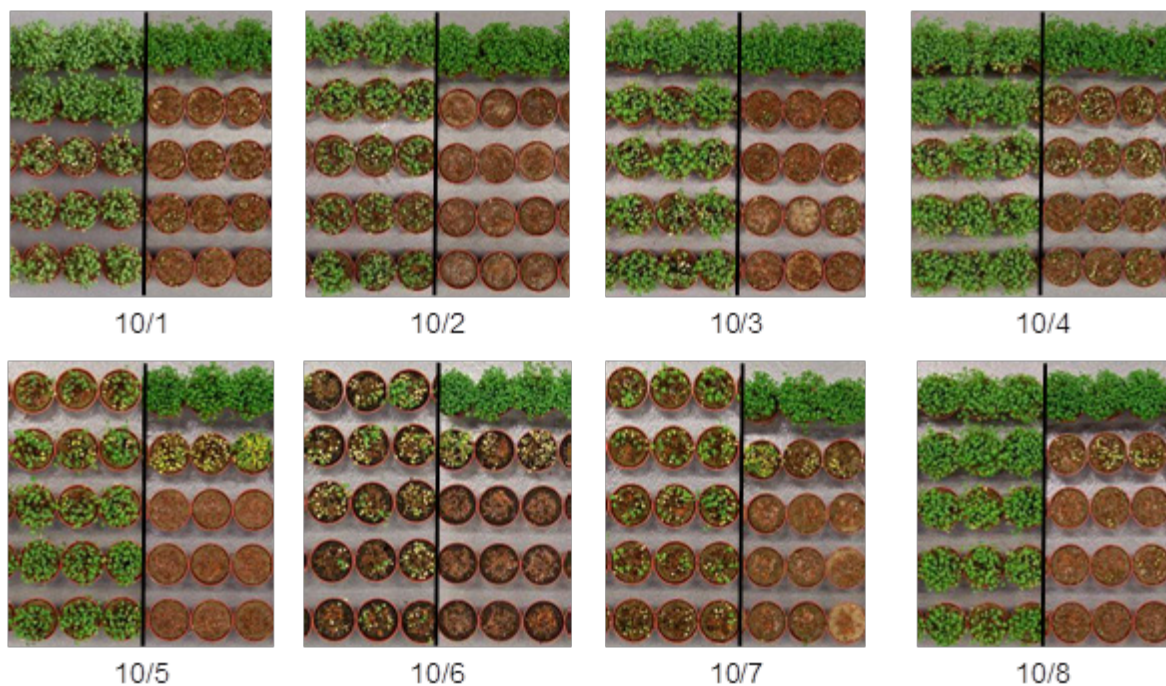
Da das Kressewachstum in den Böden 08/1, 09/7, 10/5, 10/6 und 10/7 schon ohne Zugabe vom *P. ultimum* extrem schwach war, konnte kein Einfluss der Erregerzugabe nachgewiesen werden.



**Abbildung 172: Rezeptivität der beprobten, unbehandelten Böden gegenüber der Auflaufkrankheit der Kresse (Erreger: *P. ultimum*). K: aufgedüngte Einheitserde Typ 0**



**Abbildung 173: Rezeptivität der beprobten, gammabestrahlten Böden gegenüber der Auflaufkrankheit der Kresse (Erreger: *P. ultimum*)**

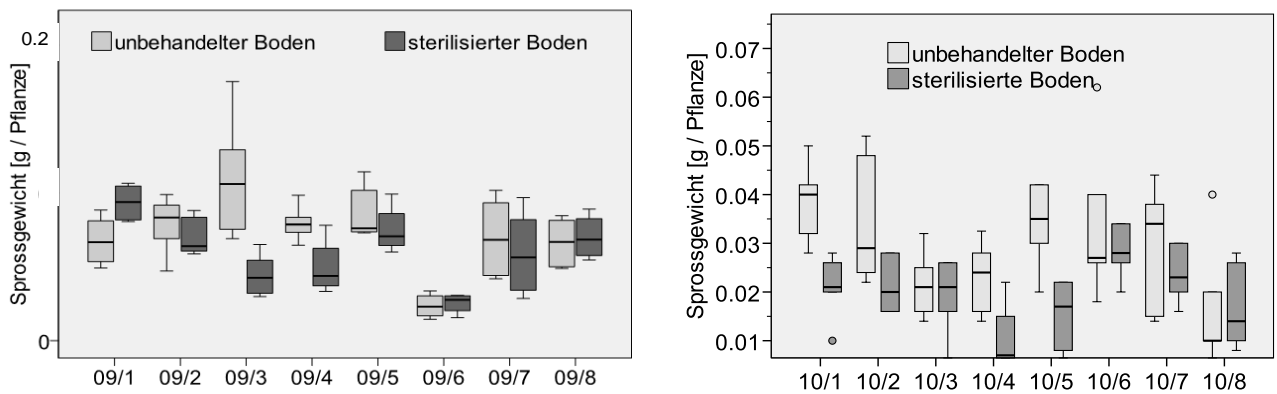


**Abbildung 174: Rezeptivität der untersuchten Böden gegenüber der Auflaufkrankheit der Kresse (Erreger: *P. ultimum*). Oben, von links nach rechts: Boden 10/1, 10/2, 10/3, 10/4**

**Unten, von links nach rechts: Boden 10/5, 10/6, 10/7, 10/8. Bei jedem Boden: links: un behandelter Boden, rechts: gammabestrahlter Boden. Menge an *P. ultimum* (von oben nach unten): 0, 0,25, 1, 2, 4 g pro Liter Erde**

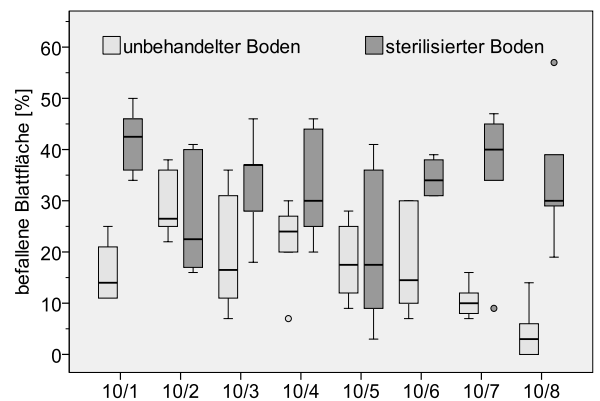
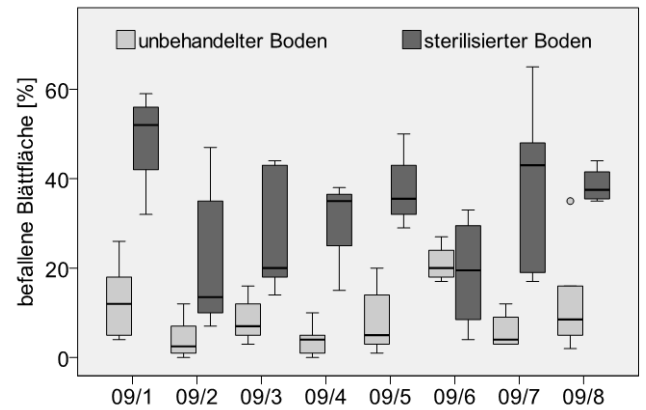
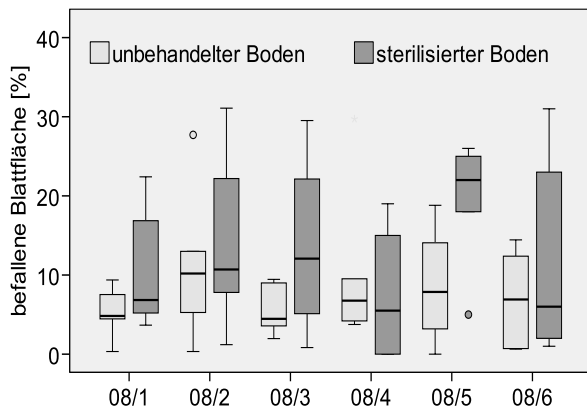
### **Einfluss der Böden auf die Resistenz der Pflanzen gegenüber Krankheiten**

Im Gegensatz zur Kresse beeinflusste die Bodensterilisierung kaum das Wachstum der Arabidopsis-Pflanzen (Abbildung 175), ausser auf den Böden 10/1 und 10/5, auf welchen das Pflanzenwachstum im sterilisierten Boden leicht vermindert war. Das Pflanzenwachstum war in allen Böden relativ homogen, mit Ausnahme der Böden 09/6 und 10/8, wo es etwas geringer war.



**Abbildung 175: Einfluss der beprobten Böden auf das Wachstum von Arabidopsis-Pflanzen**

Die Empfindlichkeit der Arabidopsis-Pflanzen gegen den falschen Mehltau wurde von den verschiedenen getesteten Böden beeinflusst (Abbildung 176). Außer bei den Böden 08/4, 09/6, 10/2, 10/4 und 10/5 waren die Pflanzen in den sterilisierten Böden deutlich krankheitsanfälliger als in den unbehandelten Böden. Dieser Effekt ist besonders bei den Böden 08/5, 09/1, 09/4, 09/5 und 09/8 zu beobachten. Dies deutet darauf hin, dass die Mikroorganismen in diesen Böden die Krankheitsempfindlichkeit der Pflanzen reduzieren (induzierte Resistenz). Diese Beobachtungen bei den Böden 08/5, 09/1, 09/4, 09/5 und 09/8 korrelieren jedoch mit keinem der gemessenen mikrobiologischen Parameter (beispielsweise Enzymaktivität).



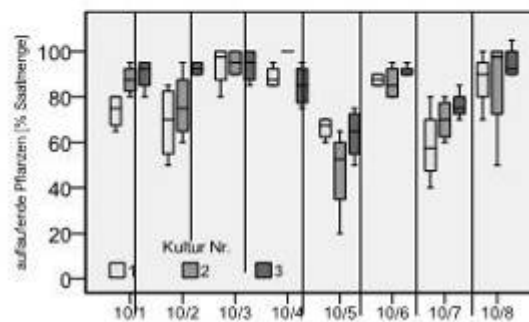
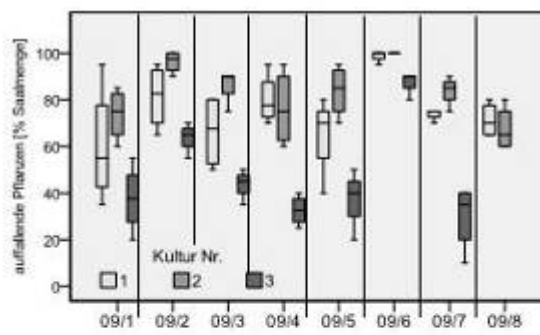
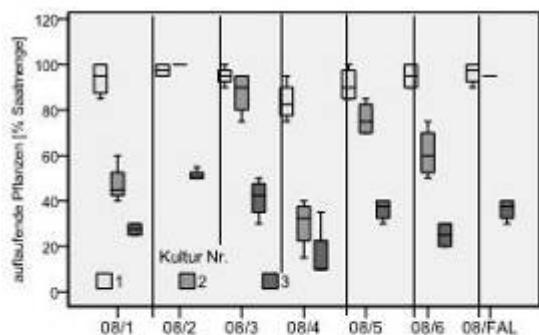
**Abbildung 176: Einfluss der geprobten Böden auf die Empfindlichkeit von Arabidopsis-Pflanzen gegenüber der falschen Mehltau (Erreger: *H. parasitica*)**

#### 4.7.3.2 Wachstum der Pflanzen im Meso-Kosmos System

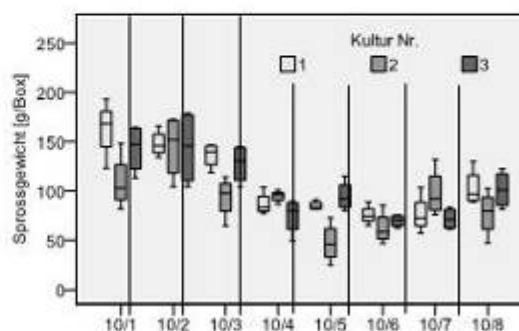
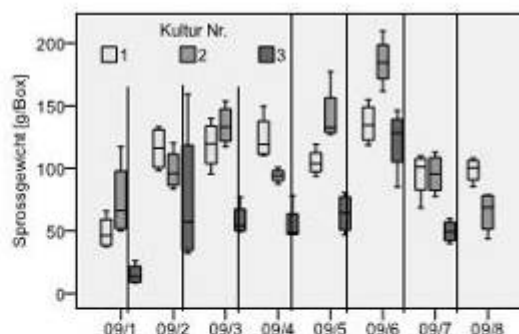
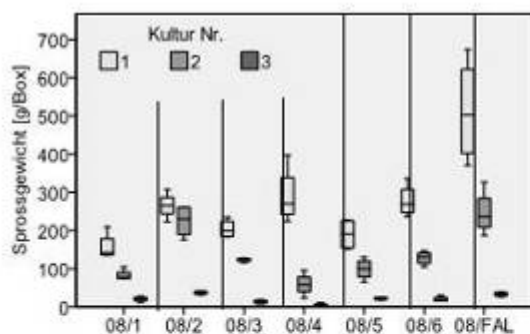
Die Bodenmüdigkeitsproblematik war unter kontrollierten Bedingungen nicht in allen Böden gleich intensiv ausgeprägt. Um die potenziellen Ursachen auch in den noch relativ wenig betroffenen Böden herauszukristallisieren, wurde ein Meso-Kosmos (nach FLIESSBACH und MÄDER 2004) eingesetzt; dabei wurden in 20 Liter Boxen drei Erbsenkulturen (Erbsensorte 'Isard') nacheinander angebaut, um den Boden zusätzlich zu ermüden.

Wenn man den Pflanzenaufbau in der dritten Kultur betrachtet, kann man bei den meisten der Böden von 2008 und 2009 eine Verschärfung der Bodenmüdigkeit in den aufeinanderfolgenden Erbsenkulturen beobachten (Abbildung 177). Nur bei den Böden 09/6 und 09/8 (bei 09/8 wurden nur zwei Kulturen gesät) und allen Böden von 2010 blieb der Pflanzenaufbau bei allen drei Kulturen stabil (Abbildung 177). Diese erhöhte Ermüdung in der dritten Kultur ist bei den meisten Böden ebenfalls im Sprossgewicht deutlich zu sehen (Abbildung 178).





**Abbildung 177: Erbsenaufbau bei drei aufeinander folgenden Kulturen im Meso-Kosmos System. Pro 20-Liter Rako-Box wurde pro Erde und Kultur 20 Erbsensamen gesät**



**Abbildung 178: Sprossgewicht von Erbsen bei drei aufeinanderfolgenden Kulturen im Meso-Kosmos System. Pro 20-Liter Rako-Box wurde pro Erde und Kultur 20 Erbsensamen gesät. Dauer der ersten Kultur 8 Wochen, der zweiten Kultur 9 Wochen, der dritten Kultur 12 Wochen**



### 4.7.3.3 Differenzialdiagnose erste Stufe

Bei allen Differenzialdiagnose-Biotests wurden Pflanzenaufwurf, Pflanzenhöhe, Wurzelgewicht sowie Sprossgewicht erhoben. Die Pflanzenhöhe hat sich als der am wenigsten geeignete Parameter erwiesen. Einerseits ist die Streuung der Daten am größten, und andererseits differenziert dieser Parameter die verschiedenen Verfahren am wenigsten. Die Parameter, die zwischen den Verfahren am besten differenzieren, sind Pflanzenaufwurf und Sprossgewicht. Deshalb werden in diesem Bericht nur noch diese Daten dargestellt.

Die erste Serie von Biotests wurde direkt in den Böden durchgeführt, so wie sie im Feld entnommen worden waren. Die Symptome der Bodenmüdigkeit drückten sich nicht in allen Böden gleich intensiv aus (Abbildung 179, Abbildung 180, Abbildung 181).

In den zehn Böden 08/1, 08/5, 08/6, 09/3, 09/4, 09/5, 09/7, 09/8, 10/5 und 10/7 (Abbildung 185) war schon der Pflanzenaufwurf stark beeinträchtigt (Abbildung 179, Abbildung 180, Abbildung 181); die Pflanzen wuchsen in diesen Erden auch kaum, und bei der Ernte waren große Gewichtunterschiede zwischen den Verfahren zu sehen (Abbildung 182, Abbildung 183, Abbildung 184). Einzig die Pflanzen im gammabestrahlten Verfahren wuchsen ordentlich.

Bei den Böden 08/4 und 09/1 gab es zwar einen gewissen Unterschied zwischen den Verfahren in Bezug auf den Aufwurf (Abbildung 179, Abbildung 180), jedoch kaum in Bezug auf die Gewichtserhebungen (Abbildung 182, Abbildung 183).

Bei den Böden 08/6, 10/3, 10/4 (Abbildung 186). 10/6 und 10/8 gab es im Bezug auf den Aufwurf praktisch keine Unterschiede zwischen den Verfahren (Abbildung 181); diese Böden unterschieden sich jedoch hinsichtlich des Pflanzenwachstums (Abbildung 184), und am Ende des Versuches waren deutliche Unterschiede zwischen dem gammabestrahlten Boden und den übrigen Verfahren zu sehen (Abbildung 184).

Bei den Böden 08/2 (Abbildung 187), 09/2, 09/6, 10/1 und 10/2 war kaum Bodenmüdigkeit zu sehen (Abbildung 179 bis Abbildung 184). Die Wurzeln der Pflanzen die in diesen Böden wuchsen, waren bei allen Verfahren auch relativ wenig befallen.

Als einzige Behandlung verbesserte die Gammabestrahlung bei den Böden 08/1, 08/3, 08/5, 08/6, 09/3, 09/4, 09/5, 09/7, 09/8, 10/3, 10/4, 10/5, 10/7 und 10/8 das Pflanzenwachstum deutlich (Abbildung 179 bis Abbildung 184). Neben verbessertem Wachstum wurden auch die Wurzelbilder durch die Gammabestrahlung des Bodens stark verbessert. Die Nekrosen auf den Wurzeln im Boden 08/4 wurden durch die Gammabehandlung ebenfalls klar reduziert, auch wenn dieser Effekt sich nicht deutlich auf das Gewicht ausgewirkte (Abbildung 188). Diese Wirkungen der Gammabestrahlung deuten darauf hin, dass biologische Ursachen am wahrscheinlichsten verantwortlich für die Wachstumsdepression sind.

Bei den Böden 08/2 und 08/5 (Abbildung 182) hatte die Nährstoffzugabe einen kleinen positiven Effekt.

Bei den Böden 08/2, 08/4, 09/1, 09/2, 09/4 und 09/6, die wenig Müdigkeit bei der Differenzialdiagnostik Stufe 1 zeigten, wurde dieser Test mit Erde aus dem Meso-Kosmos-System wiederholt.

Bei den Böden 08/2, 08/4, 09/2 und 09/6 zeigt die wiederholte Erbsenkultur nicht die erwartete Verstärkung der Bodenmüdigkeitsproblematik (Abbildung 189 und Abbildung 190). Überhaupt keine Müdigkeitserscheinungen konnten bei den Böden 08/2+ und 09/6+

beobachtet werden (Abbildung 189 und Abbildung 190). Bei den Böden 08/4+ und 09/2+ war eine bescheidene Müdigkeit sichtbar, jedoch nur geringfügig höher als in den Ursprungsböden. Die leichte Situationsverbesserung durch die Hitzebehandlung lässt vermuten, dass biologische Faktoren in diesen Böden zu Problemen führen könnten. Bei den Böden 09/1 und 09/4 zeigte die wiederholte Erbsenkultur eine Verstärkung der Bodenmüdigkeitsproblematik (Abbildung 189 und Abbildung 190). Alle Bodenmüdigkeit, die in den Erden aus dem Meso-Kosmos System beobachtet wurde, konnte mit Hitzebehandlung vermindert werden (Abbildung 189 und Abbildung 190), was auf biologische Ursachen hindeutet.

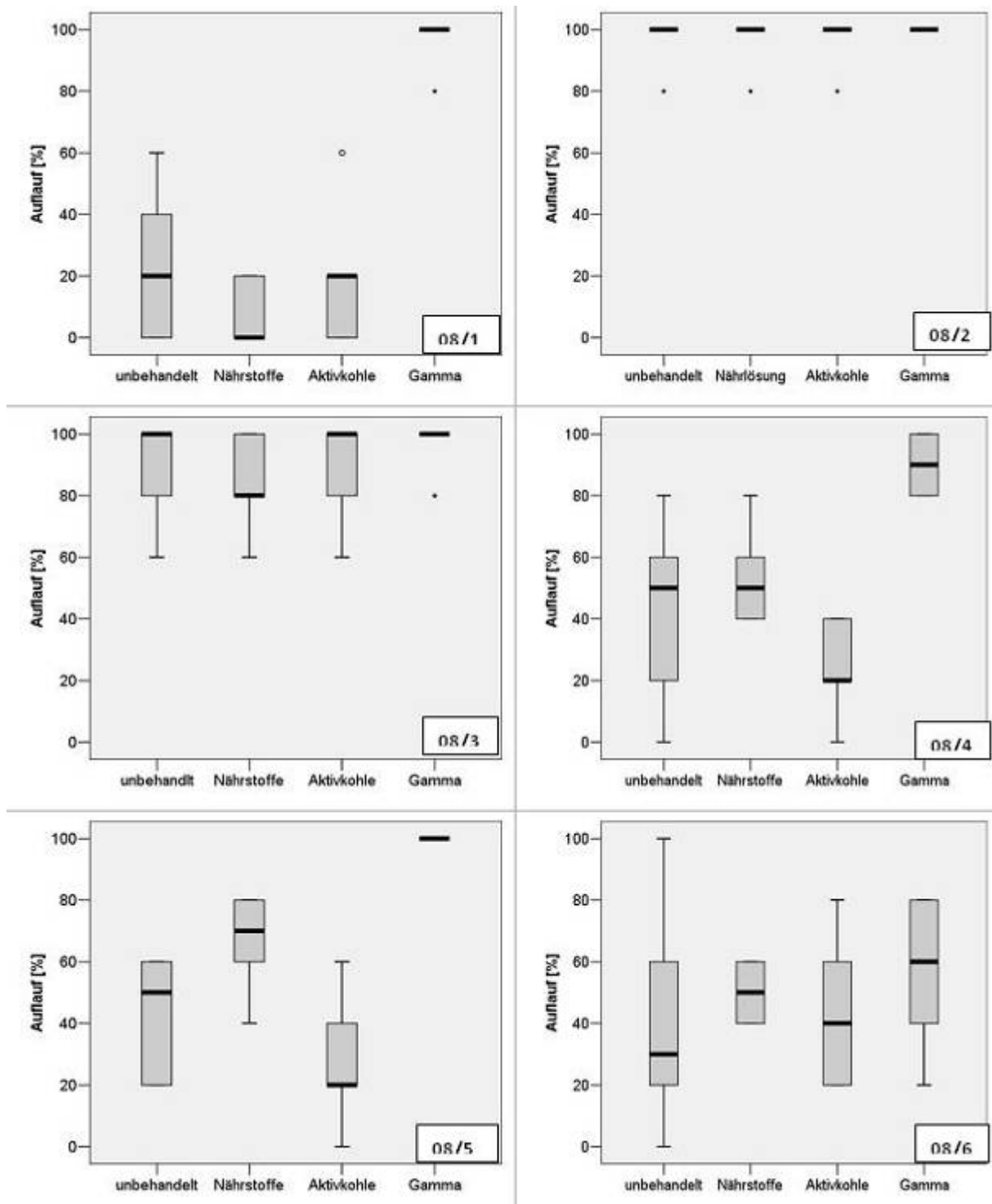


Abbildung 179: Wirkung von verschiedenen Bodenbehandlungen auf den Auflauf von Erbsenpflanzen (Sorte ‚Isard‘) ca. 5 Wochen nach der Saat in den 2008 untersuchten Böden

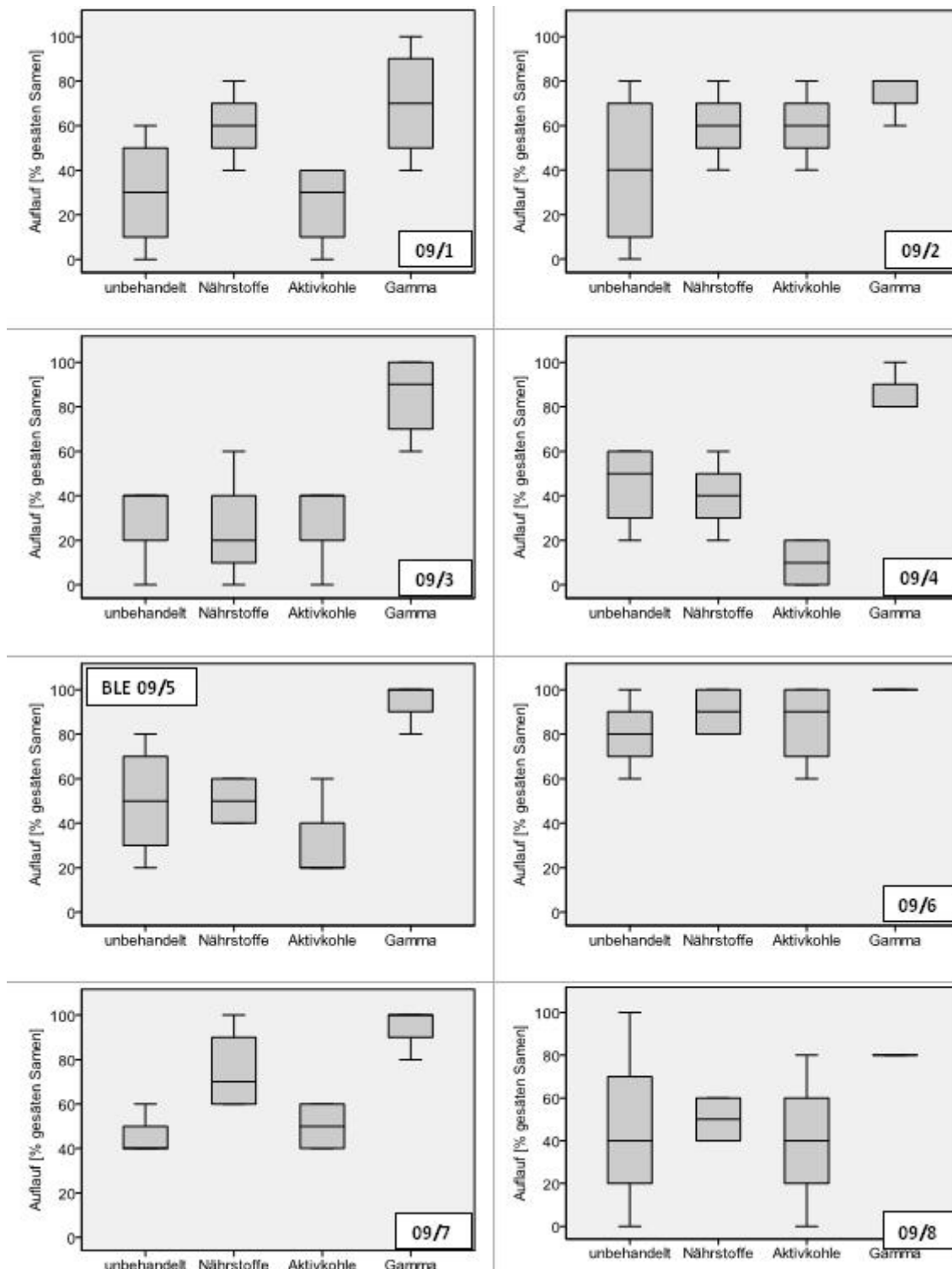


Abbildung 180: Wirkung von verschiedenen Bodenbehandlungen auf den Auflauf von Erbsenpflanzen (Sorte ‚Isard‘) ca. 4 Wochen nach der Saat in den 2009 untersuchten Böden

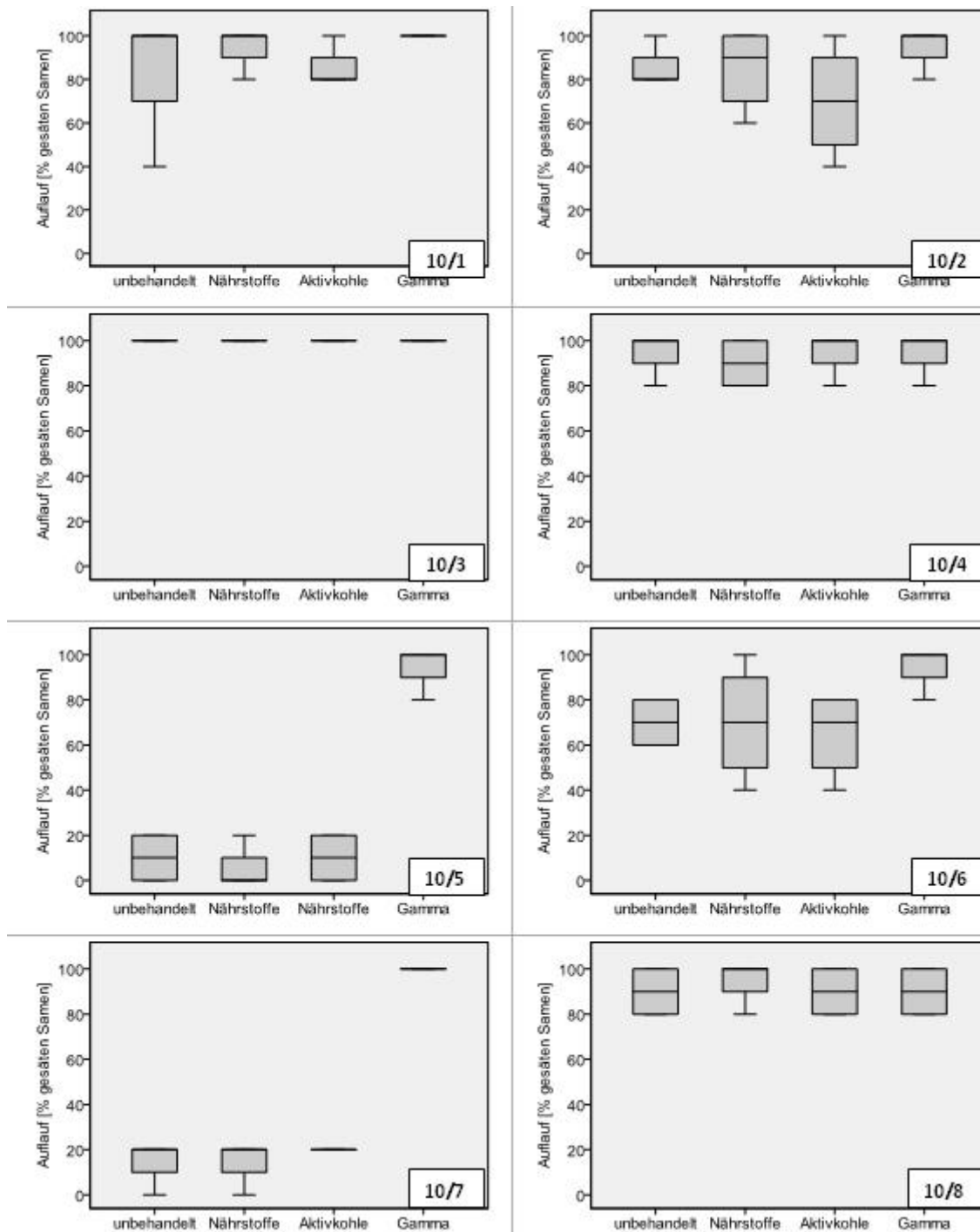


Abbildung 181: Wirkung von verschiedenen Bodenbehandlungen auf den Auflauf von Erbsenpflanzen (Sorte ‚Isard‘) ca. 3 Wochen nach der Saat in den 2010 untersuchten Böden

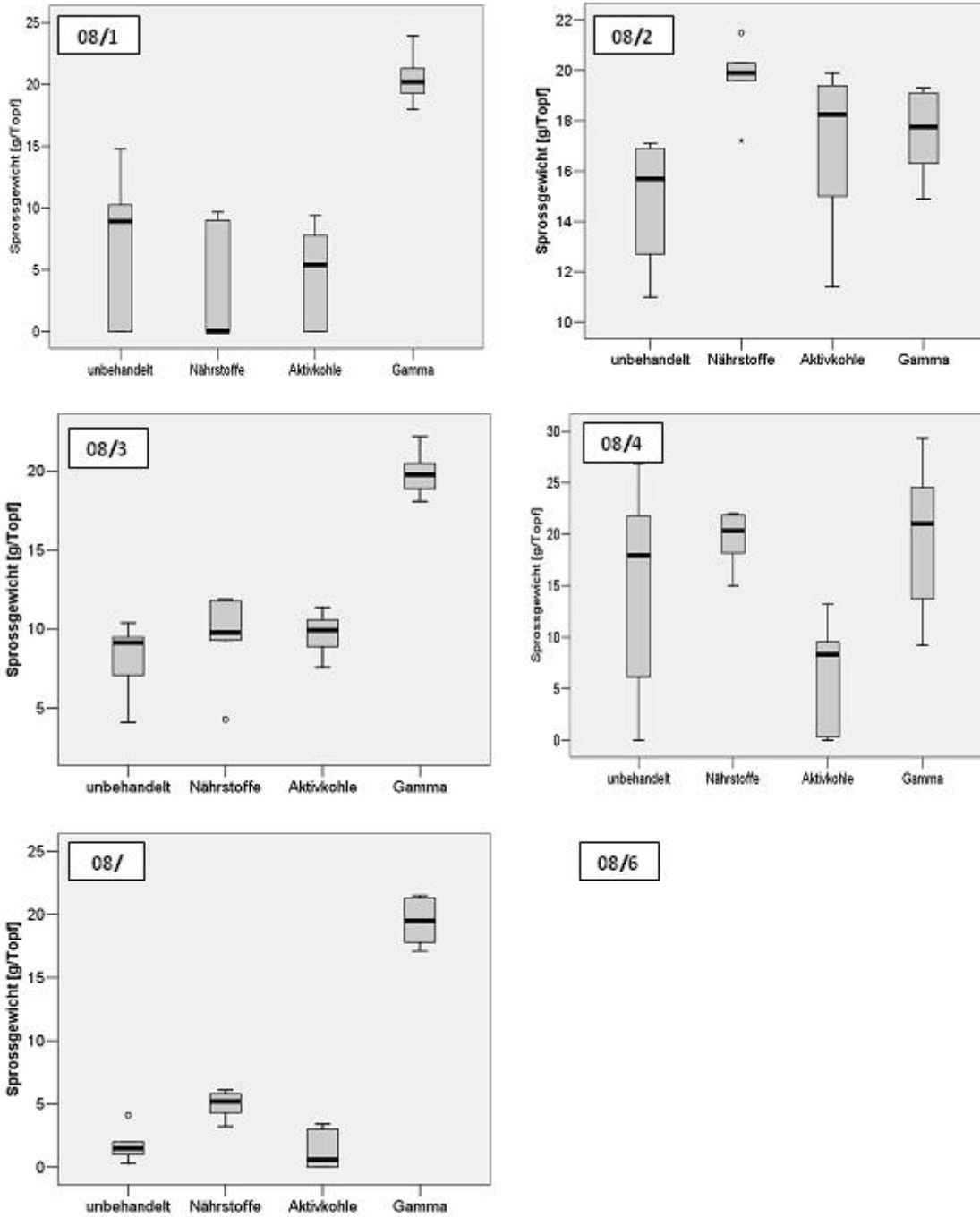


Abbildung 182: Wirkung von verschiedenen Bodenbehandlungen auf das Wachstum von Erbsenpflanzen (Sorte ‚Isard‘) ca. 8 Wochen nach der Saat in den 2008 untersuchten Böden



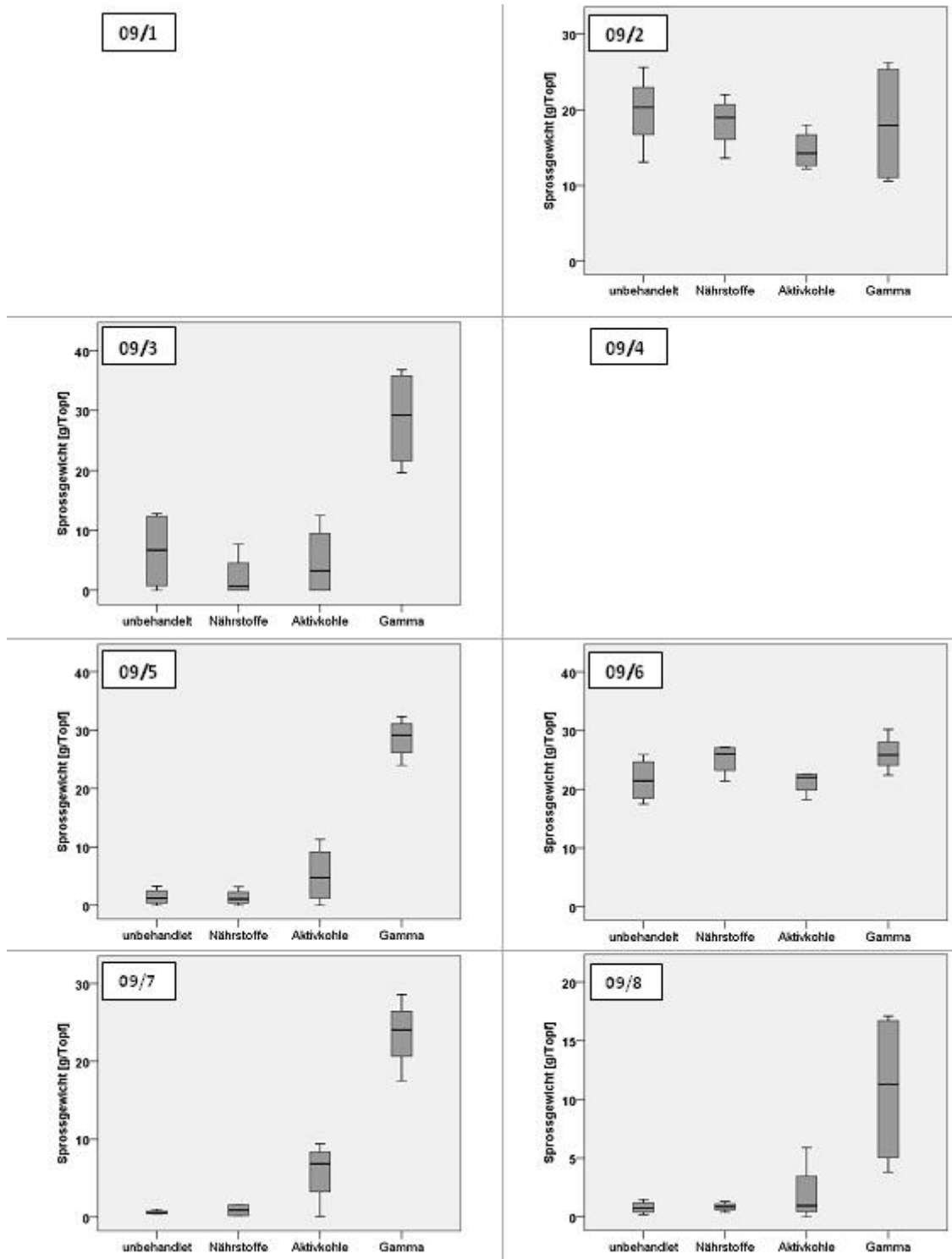


Abbildung 183: Wirkung von verschiedenen Bodenbehandlungen auf das Wachstum von Erbsenpflanzen (Sorte ‚Isard‘) ca. 9 Wochen nach der Saat in den 2009 untersuchten Böden

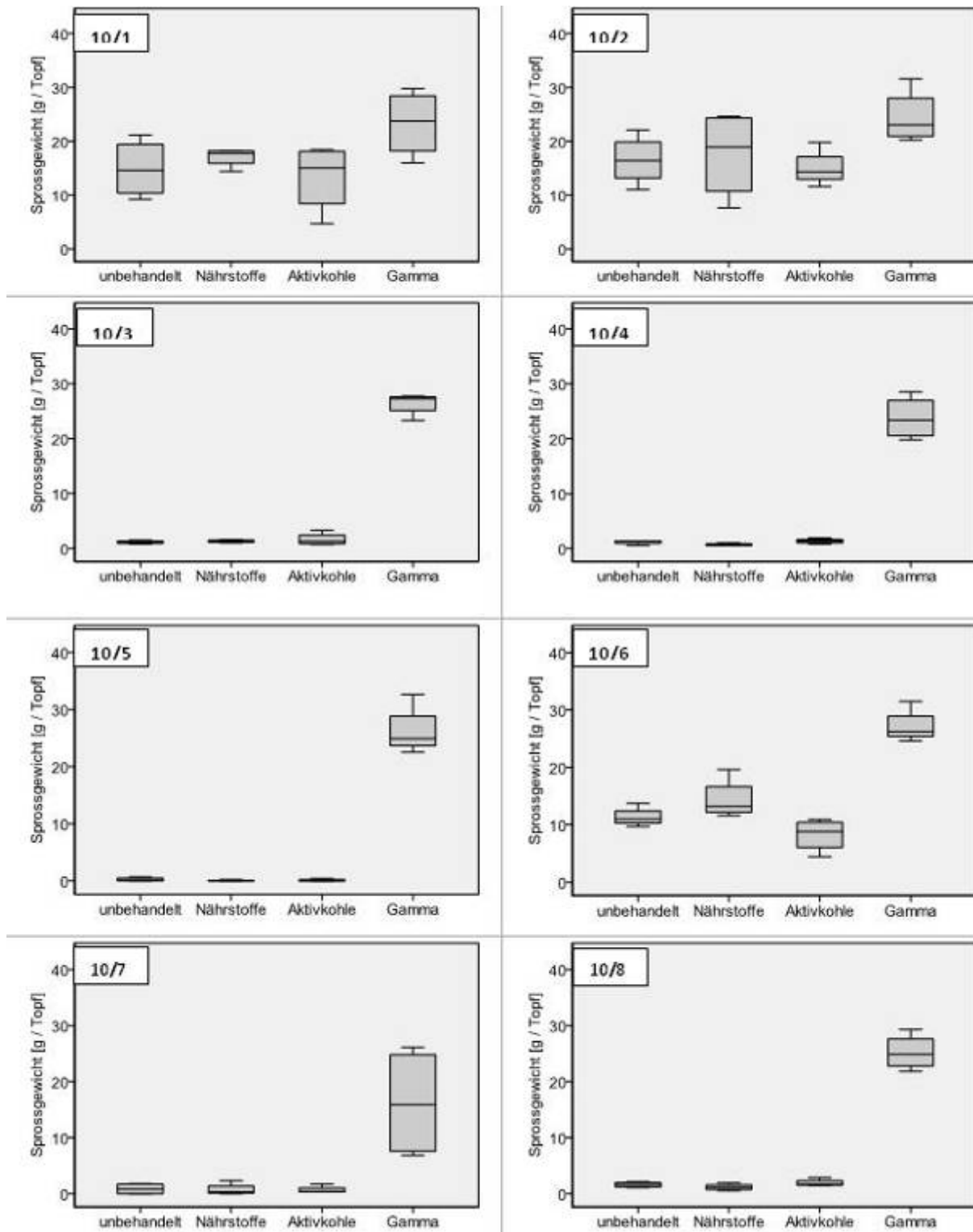


Abbildung 184: Wirkung von verschiedenen Bodenbehandlungen auf das Wachstum von Erbsenpflanzen (Sorte ‚Isard‘) ca. 9 Wochen nach der Saat in den 2010 untersuchten Böden



**Abbildung 185: Wirkung von verschiedenen Bodenbehandlungen auf das Wachstum von Erbsenpflanzen (Sorte 'Isard') im Boden 10/7. Obere zwei Reihen: Pflanzen drei Wochen nach der Saat. Untere Reihe: Pflanzen neun Wochen nach der Saat. Von links nach rechts: unbehandelter Boden, Boden mit Zugabe von Nährlösung, Boden mit Aktivkohlegabe, gammabestrahelter Boden**



**Abbildung 186 Wirkung von verschiedenen Bodenbehandlungen auf das Wachstum von Erbsenpflanzen (Sorte 'Isard') im Boden 10/Obere zwei Reihen: Pflanzen drei Wochen nach der Saat. Untere Reihe: Pflanzen neun Wochen nach der Saat. Von links nach rechts: unbehandelter Boden, Boden mit Zugabe von Nährlösung, Boden mit Aktivkohlegabe, gammabestrahelter Boden**





**Abbildung 187: Wirkung von verschiedenen Bodenbehandlungen auf das Wachstum von Erbsenpflanzen (Sorte ‚Isard‘) im Boden 08/2. Obere Reihe: Pflanzen drei Wochen nach der Saat Mittlere Reihe: Pflanzen fünf Wochen nach der Saat. Untere Reihe: Pflanzen 8 Wochen nach der Saat. Von links nach rechts: un behandelter Boden, Boden mit Zugabe von Nährlösung, Boden mit Aktivkohlegabe, gammabestrahelter Boden**



**Abbildung 188: Wirkung von verschiedenen Bodenbehandlungen auf das Wachstum von Erbsenpflanzen (Sorte ‚Isard‘) im Boden 08/5. Obere Reihe: Pflanzen drei Wochen nach der Saat Mittlere Reihe: Pflanzen fünf Wochen nach der Saat. Untere Reihe: Pflanzen 8 Wochen nach der Saat. Von links nach rechts: un behandelter Boden, Boden mit Zugabe von Nährlösung, Boden mit Aktivkohlegabe, gammabestrahelter Boden**

## Schlussfolgerungen der Differenzialdiagnose Stufe 1

Bei sieben der 22 untersuchten Böden konnten keine Symptome von Bodenmüdigkeit beobachtet werden. Bei zwei Böden waren nur leichte Symptome zu sehen. Bei allen anderen Böden wurde eindeutig Bodenmüdigkeit beobachtet. In allen Fällen war Bodensterilisation die einzige Methode, welche einen deutlich positiven Einfluss auf das Erbsenwachstum hatte. Somit ist bei allen diesen Böden wahrscheinlich eine biologische Ursache für die Bodenmüdigkeit verantwortlich.

Um die Ursache genauer zu charakterisieren, wurde eine Differenzialdiagnose Stufe 2 mit Pestiziden durchgeführt. Dabei wurden durch unterschiedliche Pestizide gezielt die verschiedenen potenziellen Pathogene und Schädlinge ausgeschaltet.

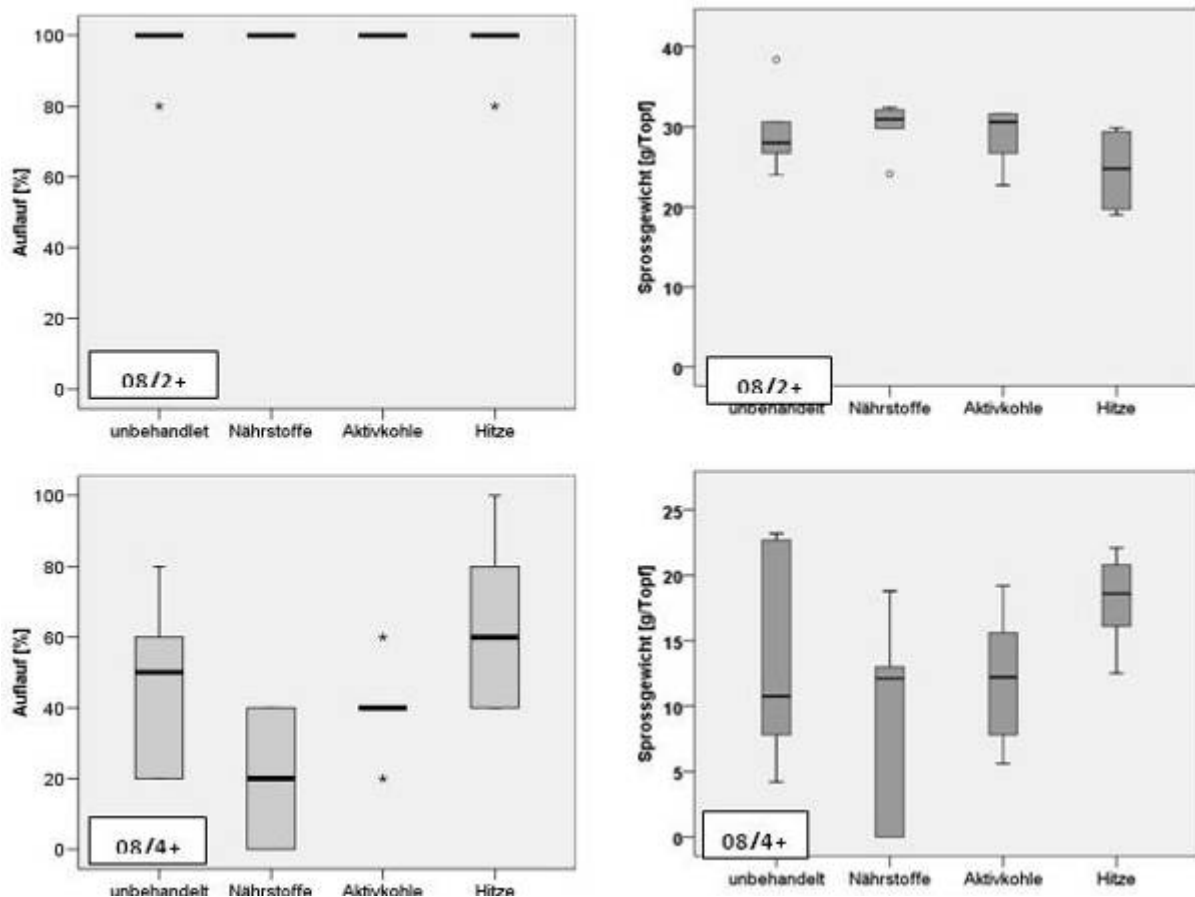


Abbildung 189: Auflauf bzw. Sprossgewicht der Erbsenpflanzen (Sorte 'Isard') ca. 6 Wochen bzw. ca. 8 Wochen nach der Saat in den ermüdeten Böden 08/2+ und 08/4+

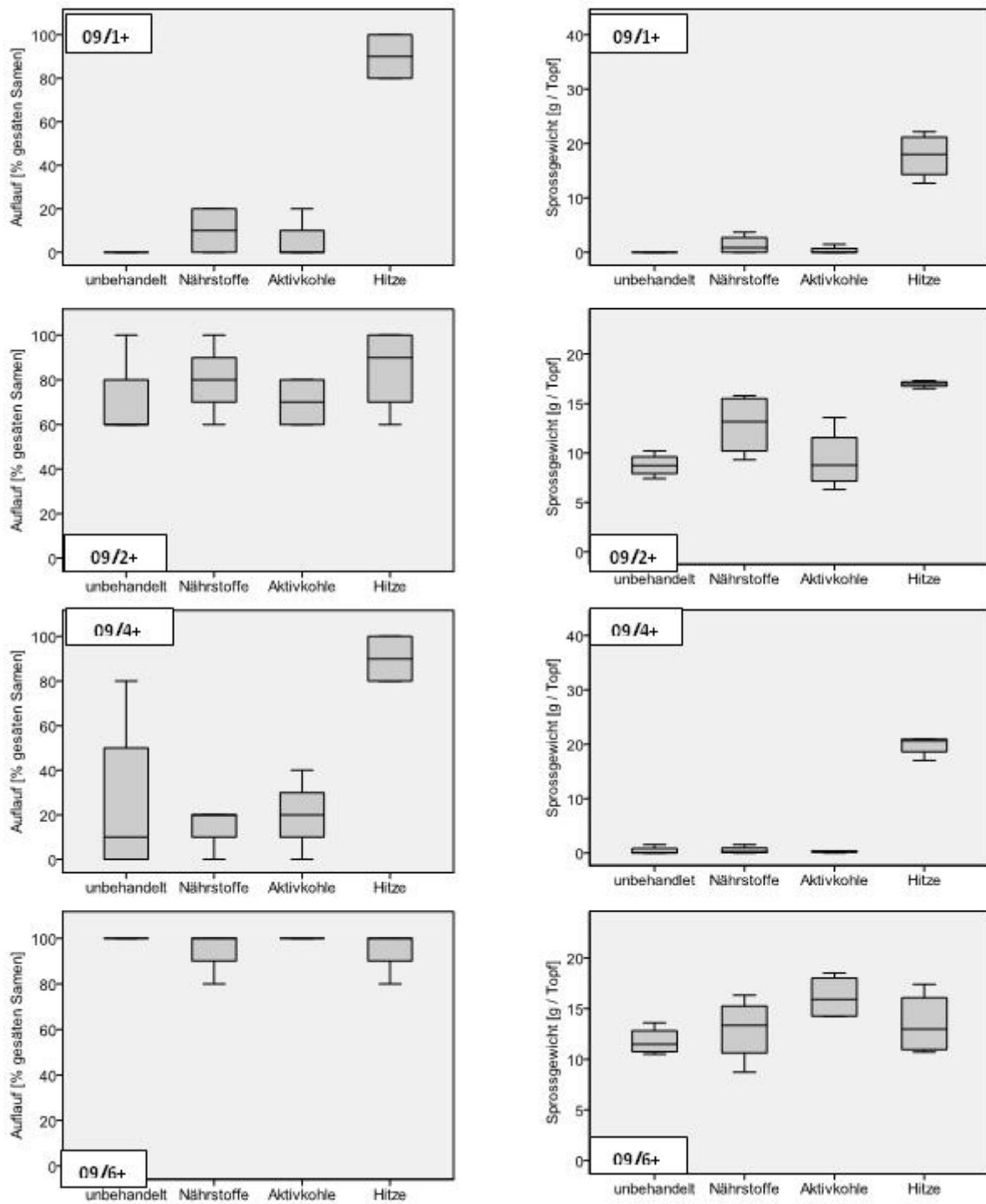


Abbildung 190: Auflauf und Sprossgewicht der Erbsenpflanzen (Sorte 'Isard') ca. sieben Wochen nach der Saat in den ermüdeten Böden 09/1+, 09/2+, 09/4+ und 09/6+



#### 4.7.3.4 Differenzialdiagnose zweiter Stufe: biotische Ursachen

Das Wachstum der Pflanzen in den Böden 08/2, 09/2, 09/6, 10/1 und 10/2, die in der ersten Stufe der Differenzialdiagnose kaum Müdigkeitssymptome gezeigt hatten, war in der zweiten Stufe ebenfalls gut (Abbildung 191 bis Abbildung 196). Die getesteten Pestizide beeinflussten das Pflanzenwachstum in den Böden 09/2 und 10/2 nicht. Im Boden 10/1 konnte Fonganil das Wachstum der Erbsen erhöhen (Abbildung 196), was darauf hindeutet, dass in diesem Boden eine gewisse Wachstumsstörung durch Oomyzeten verursacht wird. Im Boden 08/2 (Abbildung 193) und in geringerem Ausmass im Boden 09/6 (Abbildung 195) wurde eine deutliche Reduktion des Pflanzenwachstums in dem mit Benlate behandelten Verfahren (Abbildung 194) beobachtet. Möglicherweise hat dieses Fungizid antagonistische Pilze so stark geschwächt, dass Krankheitserreger (möglicherweise Oomyzeten) sich ausbreiten konnten.

Im Differenzialtest erster Stufen zeigten die Böden 08/1, 08/3, 08/4, 09/1 und 09/4 schwache bis mittlere Bodenmüdigkeitssymptome. In drei dieser fünf Böden (08/4, 09/1 und in geringerem Ausmass 08/1) konnte die Bodenmüdigkeit mit Fonganil reduziert werden (Abbildung 191 bis Abbildung 196). Das Wachstum der Pflanzen mit Fonganil blieb jedoch bescheidener als in Böden ohne Müdigkeitssymptome. Im Boden 09/4 wirkten sich alle Fungizide (Monceren, Fonganil und Benlate) positiv auf das Pflanzenwachstum aus (Abbildung 195). Im Boden 08/3 konnte bei keiner Pestizidbehandlung eine Verbesserung des Pflanzenwachstums beobachtet werden. Dies könnte auf eine Mischinfektion mit mehreren Erregern hindeuten.

Starke Müdigkeitssymptomen hatten die Böden 08/5, 08/6, 09/3, 09/5, 09/7, 09/8, 10/3, 10/4, 10/5, 10/6, 10/7 und 10/8 bei der ersten Stufe der Differenzialdiagnose gezeigt. Bei sechs dieser elf Böden (08/5, 08/6, 09/5, 09/7, 09/8 und 10/3) konnte keines der getesteten Pestizide das Pflanzenwachstum verbessern (Abbildung 194 bis Abbildung 196). Im Boden 09/3 konnten sowohl Vertimec, Fonganil, als auch Benlate das Wachstum der Erbsen leicht verbessern. Fonganil führte in den Böden 10/5 und 10/8 zu einer Verbesserung (Abbildung 195, Abbildung 196). Nur in drei dieser Böden (10/4, 10/6 und 10/7) konnte ein Fungizid, nämlich Fonganil, das Pflanzenwachstum deutlich verbessern (Abbildung 196); somit sind Oomyzeten möglicherweise die Hauptursachen der Bodenmüdigkeit in diesen drei Böden.

Die relativ bescheidene Wirkung der Pestizide in den stark ermüdeten Böden kann zwei Ursachen haben: entweder ist die Ermüdung auf einen Komplex von Krankheitserregern zurückzuführen, oder der Krankheitsdruck ist so hoch, dass die Wirkung der getesteten Produkte nicht ausreichend ist, um einen Schutz der Pflanzen zu erreichen.

Allgemein kann gesagt werden, dass die Nematoden in den untersuchten Böden kaum als Hauptursache der Bodenmüdigkeit in Frage kommen, da das Nematizid Vertimec das Pflanzenwachstum in keinem der Böden verbessert hat.

#### Schlussfolgerungen der Differenzialdiagnose Stufe 2

Bei der Hälfte der Böden beeinflussten die getesteten Pestizide das Pflanzenwachstum nicht. Monceren zeigte in drei Böden eine gewisse positive Wirkung auf das Wachstum der Erbsenpflanzen. Am meisten Wirkung zeigte jedoch das Oomycetizid Fonganil, welches in acht Böden das Pflanzenwachstum deutlich verbesserte.

Benlate, welches gegen höhere Pilze wirkt, brachte keine Verbesserung des Pflanzenwachstums, in einem Fall zeigte es sogar einen negativen Einfluss.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass in gut einem Drittel der Fälle Oomyceten (wie *Pythium* spp. oder *A. euteiches*) die Hauptursachen der Bodenmüdigkeit sind. Die Tatsache, dass in viele Fälle keine Erhöhung des Pflanzenwachstums durch die einzelnen Pestizide gefunden wurde, deutet darauf hin, dass möglicherweise Erregerkomplexe involviert sind.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der beiden Stufen der Differenzialdiagnose findet sich in Tabelle 166.

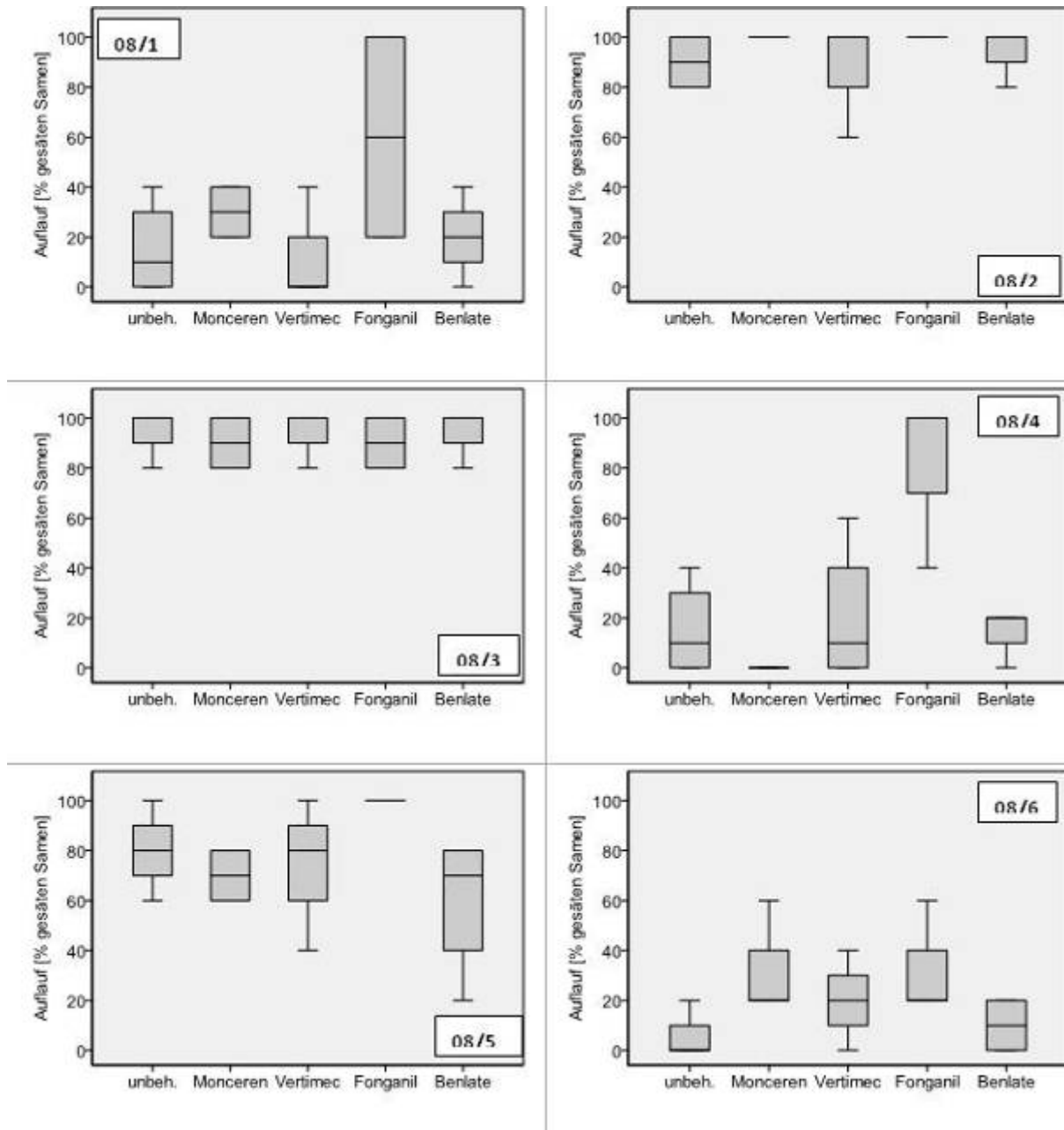


Abbildung 191: Einfluss verschiedener Pestizide auf den Auflauf von Erbsenpflanzen (Sorte 'Isard') in den 2008 untersuchten Böden

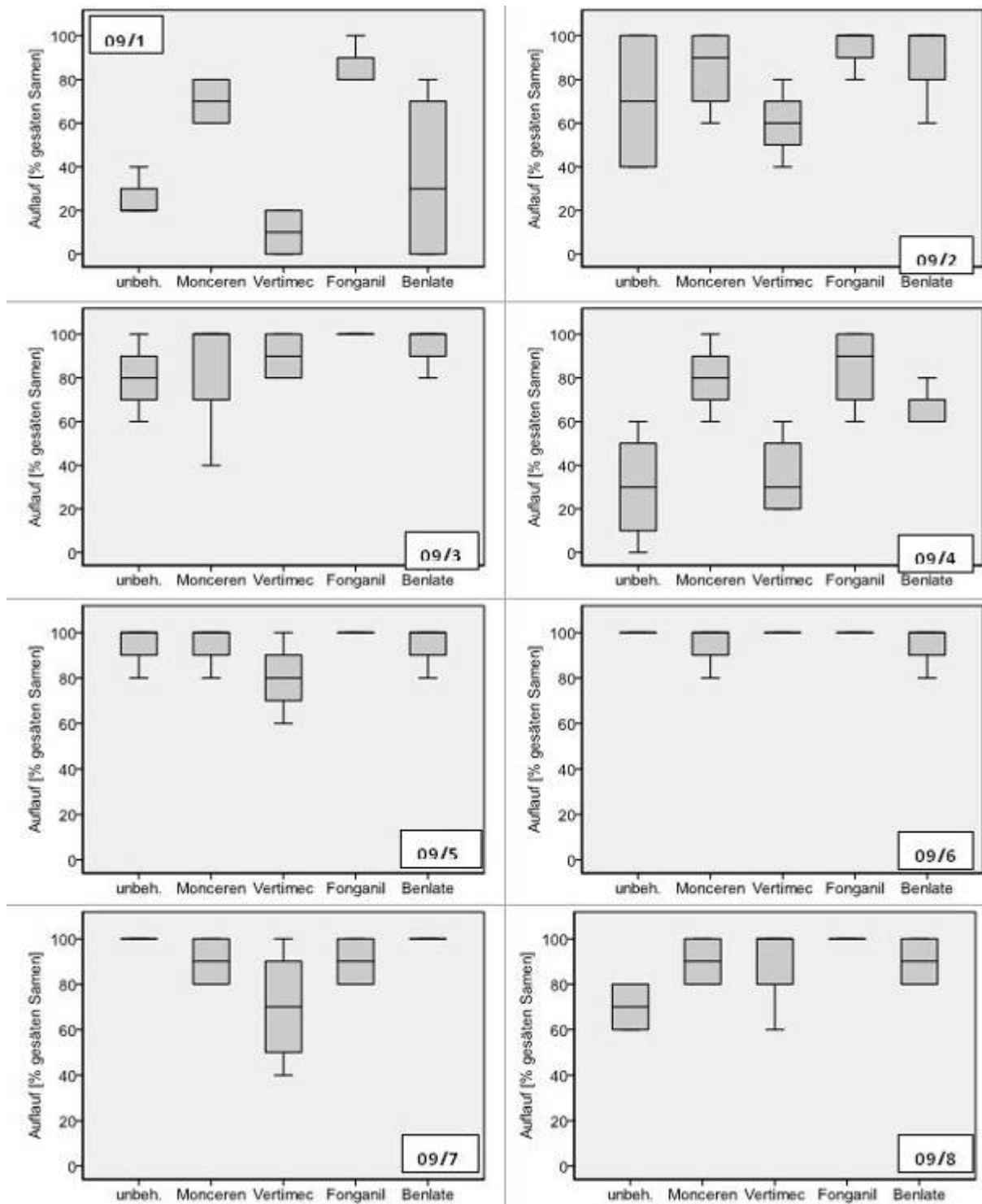


Abbildung 192: Einfluss verschiedener Pestizide auf den Auflauf von Erbsenpflanzen (Sorte 'Isard') in den 2009 untersuchten Böden

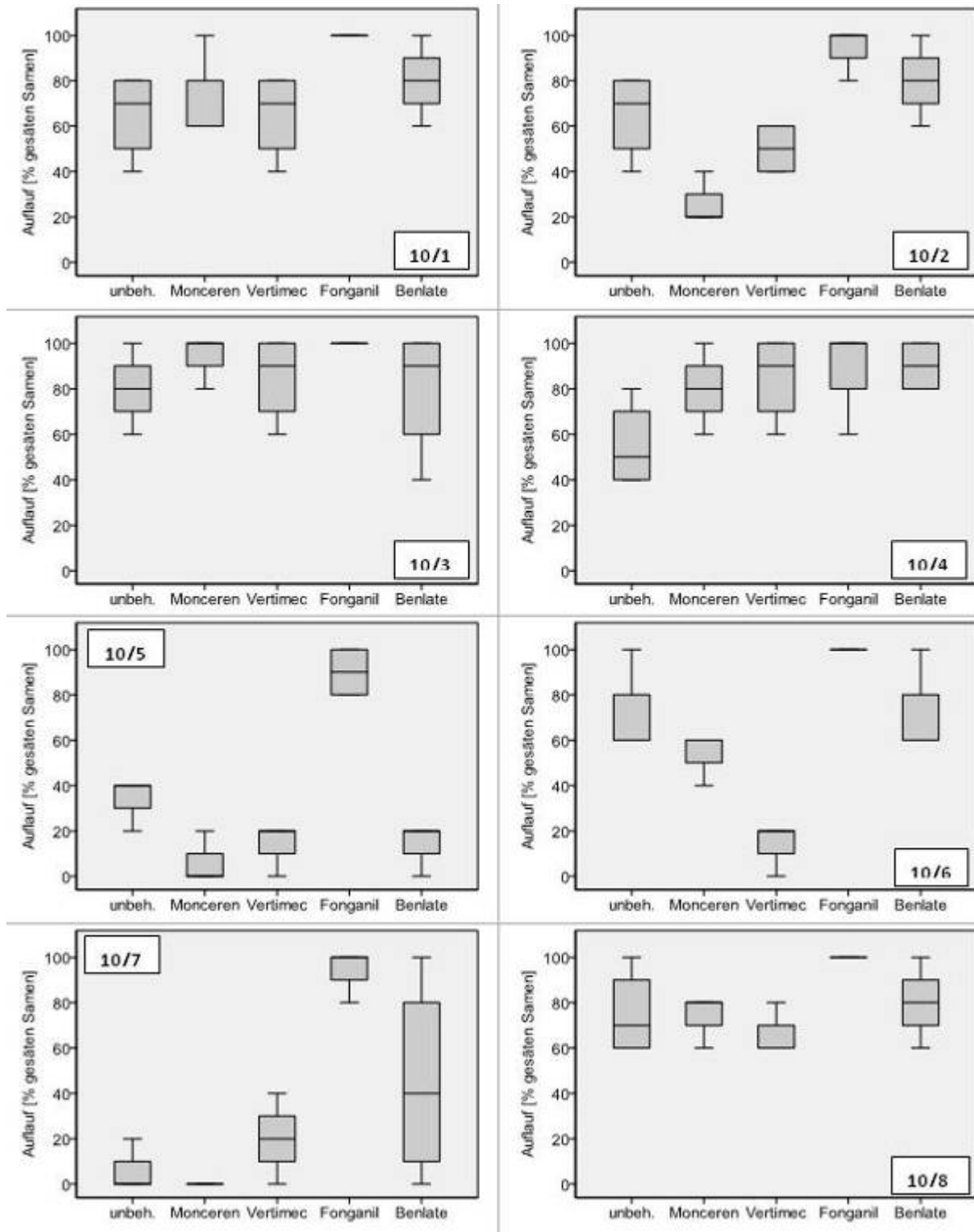


Abbildung 193: Einfluss verschiedener Pestizide auf den Auflauf von Erbsenpflanzen (Sorte 'Isard') in den 2010 untersuchten Böden

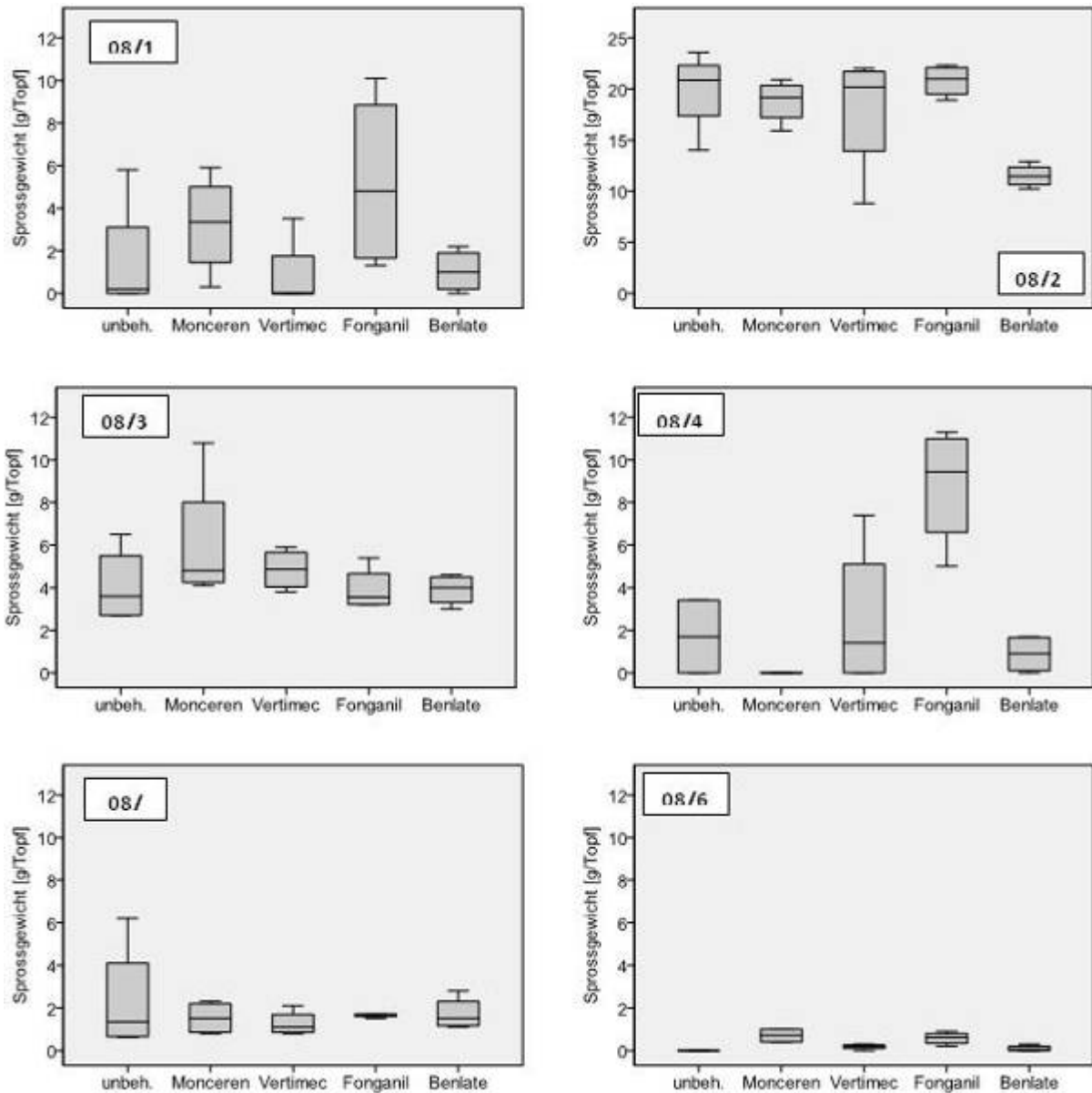


Abbildung 194: Einfluss verschiedener Pestizide auf das Wachstum von Erbsenpflanzen (Sorte 'Isard') in den 2008 untersuchten Böden

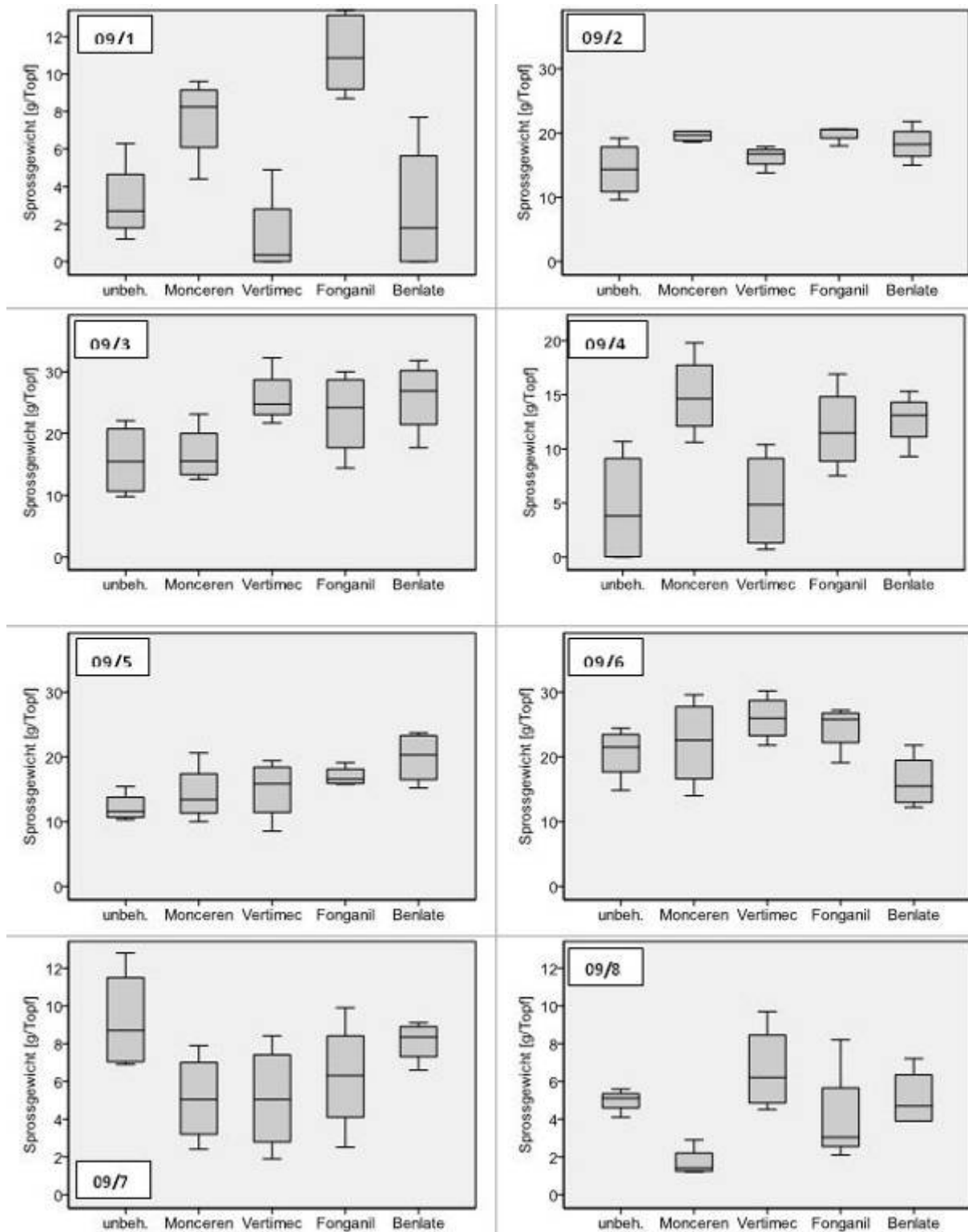


Abbildung 195: Einfluss verschiedener Pestizide auf das Wachstum von Erbsenpflanzen (Sorte 'Isard') in den 2009 untersuchten Böden



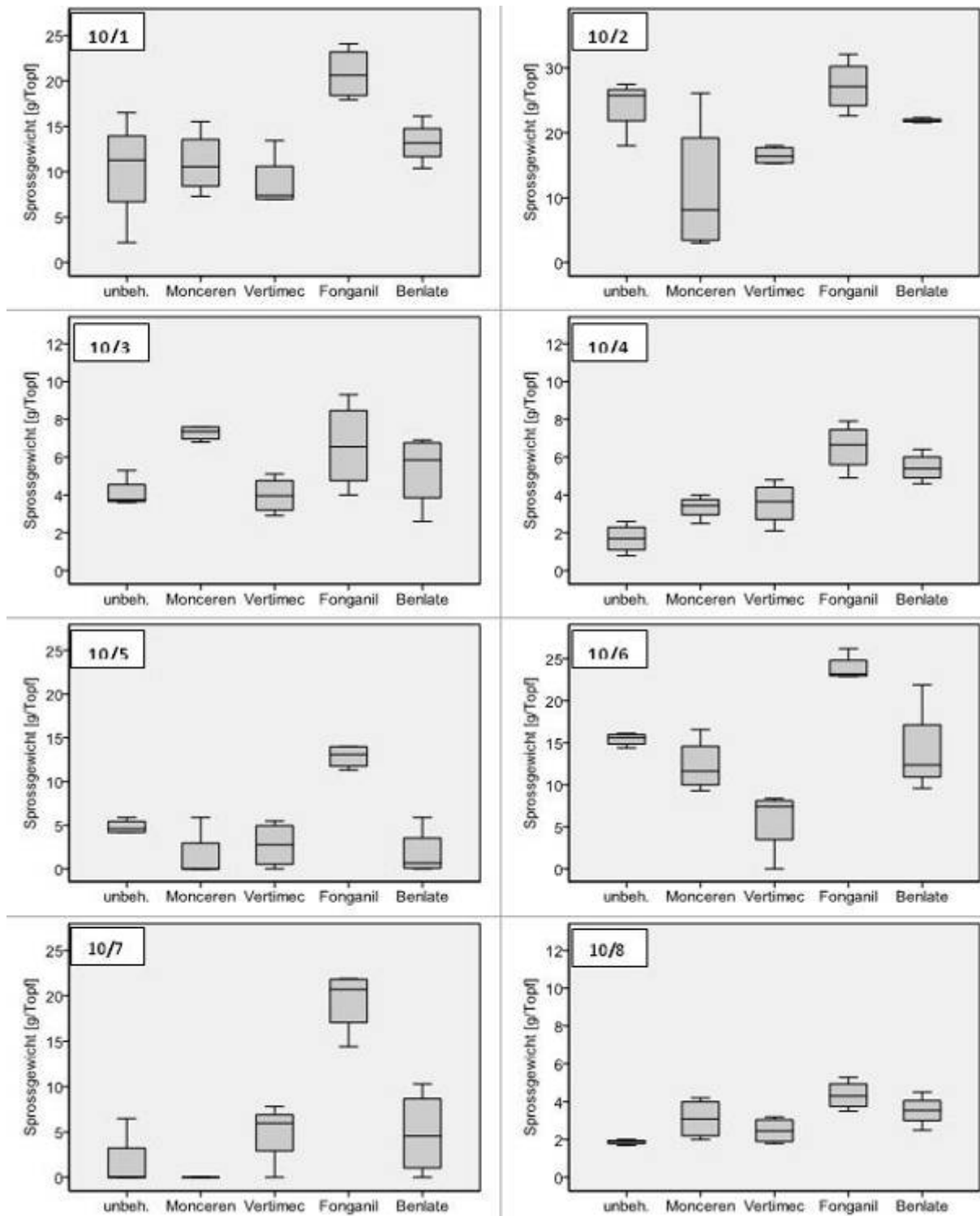


Abbildung 196: Einfluss verschiedener Pestizide auf das Wachstum von Erbsenpflanzen (Sorte 'Isard') in den 2010 untersuchten Böden

**Tabelle 166: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Differenzialdiagnosen, um die Ursachen der Bodenmüdigkeit bei Erbsen zu eruieren.**

Boden	Bodenmüdigkeit <sup>1</sup>	Differenzialdiagnose Stufe 1			Differenzialdiagnose Stufe 2 <sup>5</sup>			
		Nährstoffe <sup>2</sup>	Toxizität <sup>3</sup>	Biologie <sup>4</sup>	Monceren	Vertimec	Fonganiil	Benlate
08/1	++	0	0	++	+	0	++	0
08/2	0	(+)	0	0	0	0	0	--
08/3	++	0	0	++	0	0	0	0
08/4	+	0	0	+	0	0	+++	0
08/5	+++	+	0	+++	0	0	0	0
08/6	+++	0	0	+++	++	0	(+)	0
09/1	+	0	0	(+)	++	0	+++	0
09/2	0	0	0	0	0	0	0	0
09/3	+++	0	0	+++	0	+	+	+
09/4	++	0	0	++	++	0	++	+
09/5	+++	0	0	+++	0	0	0	0
09/6	0	0	0	0	0	0	0	0
09/7	+++	0	(+)	+++	0	0	0	0
09/8	+++	0	(+)	+++	0	0	0	0
10/1	0	0	0	0	0	0	+++	0
10/2	0	0	0	0	0	(-)	(+)	0
10/3	+++	0	0	+++	+	0	0	0
10/4	+++	0	0	+++	0	0	+	+
10/5	+++	0	0	+++	0	0	+++	0
10/6	+++	0	0	+++	0	--	++	0
10/7	+++	0	0	+	0	0	+++	0
10/8	+++	0	0	+++	+	0	+	0

1 Bodenmüdigkeitssymptome: 0: keine Symptome; +: schwache Symptome; ++: mittlere Symptome; +++: starke Symptome.

2 Ursache Nährstoffstörungen: 0: nicht zutreffend; +: spielt eine leichte Rolle; ++: spielt eine mittlere Rolle; +++: spielt eine Hauptrolle.

3 Ursache Bodentoxizität: 0: nicht zutreffend; +: spielt eine leichte Rolle; ++: spielt eine mittlere Rolle; +++: spielt eine Hauptrolle.

4 Ursache Erreger / Schädlinge: 0: nicht zutreffend; +: spielt eine leichte Rolle; ++: spielt eine mittlere Rolle; +++: spielt eine Hauptrolle.

5 Wirkung der Pestizide: 0: keine Wirkung; +: leicht Verbesserung des Pflanzenwachstums; ++: Mittlere Verbesserung des Pflanzenwachstums; +++: starke Verbesserung des Pflanzenwachstums; --: Verminderung des Pflanzenwachstums.

Monceren: gegen *Rhizoctonia* ssp., Vertimec: gegen Nematoden, Fonganiil: gegen Oomyceten; Benlate: gegen höhere Pilze.

### 4.7.3.5 Abklärungen zur Eignung des Differenzialtests als Prognosetest in der Praxis

Das Ziel dieses Projektteiles war es, (i) die Aussagekraft der Differenzialdiagnostik als Prognose-Tool für die Anbaueignung schlagspezifisch zu prüfen und (ii) eine praxistaugliche, vereinfachte Methode zu entwickeln und zu validieren. Diese neue, vereinfachte Methode soll vom Landwirt oder von seinem Berater mit vertretbarem Aufwand vor Ort durchführbar sein und aussagekräftige Prognosen liefern. Dabei sollten vier Fragen beantwortet werden:

- > Wie gut korrelieren die Testergebnisse mit den hernach erzielten Feldergebnissen?
- > Welche Rolle spielt die Pflanzenart, die im Prognosetest verwendet wird?
- > Wie gut ist die Reproduzierbarkeit des Tests, wenn die Durchführungsbedingungen variieren?
- > Ist der Aufwand für die Durchführung des Prognosetests durch den Landwirt oder seinen Berater vertretbar im Verhältnis zum Nutzen?

#### Eigenschaften der beprobten Böden

In Frühling 2012 wurden 15 Schläge beprobt. Auf sechs dieser Schläge wurden 2012 Ackerbohnen gesät, und auf den restlichen neun Erbsen. Die Beschreibung dieser Böden findet sich in Tabelle 167.

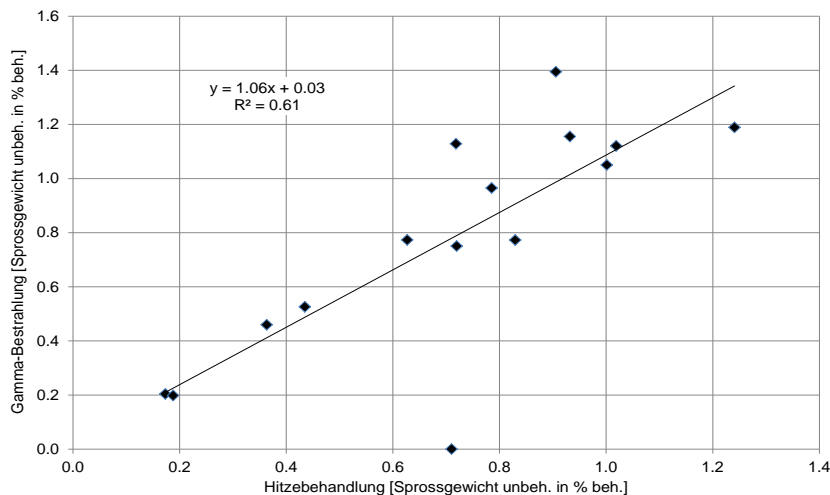
Tabelle 167: Beschreibung der für den Prognosetest verwendeten Böden.

Probe-nummer	Ort	Datum Probenahme	Leguminose in 2012	Betriebs-umstellung	Körnerleguminosen-Vorgeschichte (AB: Ackerbohne, E: Erbse)
A1	D-29587 Natendorf	16.04.2012	Ackerbohne	1997	1 x AB + 1x E
A2	D-01156 Dresden	17.04.2012	Ackerbohne	1995	2 x E-Gemenge + 1 x AB
A3	D-97828 Marktheidenfeld	25.04.2012	Ackerbohne	1995	2 x E, 1 x Lupine
A4	D-84076 Pfeffenhausen	23.04.2012	Ackerbohne	1978	mehrmals E & AB
A5	D-84036 Landshut-Kumhausen	24.04.2012	Ackerbohne	2006	2 x Erbse, 1. AB
A6	D-85402 Kranzberg	23.04.2012	Ackerbohne	1995	2 x E + 1 x AB
E1	D-29587 Natendorf	16.04.2012	Erbse	1997	1x E + 1x AB
E2	D-04838 Jesewitz-Liemehna	17.04.2012	Erbse	2001	1 x Lupine, E vor Umstellung
E3	D-02633 Gaußig-Diehmen	17.04.2012	Erbse	?	1 x E in Gemenge
E4	D-36367 Wartenberg-Landenhausen	18.04.2012	Erbse	1995	1 x E
E5	D-97702 Münnersstadt	18.04.2012	Erbse	1993	4 x E
E6	D-97496 Burgpreppach	18.04.2012	Erbse	1993	keine E vorher
E7	D-97502 Euerbach	25.04.2002	Erbse	1999	1 x E
E8	D-94428 Eichendorf	24.04.2012	Erbse	1990	E, AB & S-Wicke als Zwischenfrüchte

E9	D-86514 Ustersbach	23.04.2012	Erbse	1987	1 x E
----	--------------------	------------	-------	------	-------

## Ergebnisse des Differenzial-Prognosetests

Für die Praxis ist es nicht möglich, die Böden mit einer Gammabestrahlung zu sterilisieren. Als Alternative wurde eine Hitzebehandlung der Erde vorgeschlagen. Beide Bodenbehandlungen wurden am FiBL unter kontrollierten Bedingungen getestet (Abbildung 198 bis Abbildung 200); die Ergebnisse zeigen, dass beide Methoden gut korrelieren (Abbildung 197), und dass somit die Hitzebehandlung für den Prognosetest angewendet werden kann.



**Abbildung 197: Korrelation zwischen die Bodensterilisation mit Gamma-Bestrahlung und mit Hitzebehandlung. Hitzebehandlung: 12 Stunden à 100 °C**

Als Alternative zum mineralischen Dünger, der für die Topfversuche bis dahin verwendet wurde, wurde das organische Düngemittel OPF 6.5.6 ausgewählt. Leider erwies sich dieses Düngemittel in den Topfversuchen als toxisch für die Pflanzen (Abbildung 198 bis Abbildung 200). Die mineralische Variante wurde jedoch als Kontrolle am FiBL ebenfalls angewendet; diese Behandlung verbesserte leicht das Wachstum der Ackerbohnenpflanzen in drei Böden (Abbildung 198), aber zeigte keine positive Wirkung bei den Erbsen (Abbildung 199 und Abbildung 200). Somit kann man sagen, dass die Nährstoffproblematik in keinem der getesteten Schläge eine Rolle spielte.

Die Prognosetests für Ackerbohnenstränge, die mit Ackerbohnen durchgeführt wurden, zeigten keine Bodenmüdigkeit, außer Schlag A6 bei den Beratern (Abbildung 198). Interessant zu bemerken ist, dass dieser Schlag der einzige war, bei welchem die Ackerbohnenkultur im Feld Wurzelschädigungen zeigte. Bei Prognosetests dieser Schläge mit Erbsen zeigten bei den Beratern alle Böden außer Schlag A1 Müdigkeitssymptome (Abbildung 199); unter kontrollierten Bedingungen am FiBL waren Müdigkeitssymptome bei den Böden A3, A5 und A6 zu beobachten (Abbildung 199).

Allgemein wurde beobachtet, dass die Ergebnisse der Prognosetests, die durch die Berater durchgeführt worden sind, strenger waren in Bezug auf die Bodenmüdigkeit (Abbildung 199). Dies ist, außer für Schlag E1, ebenfalls sichtbar bei den Schlägen mit Erbsen (Abbildung 200 bis Abbildung 202). Jedoch war die Streuung bei den Berater-Tests oft grösser als unter kontrollierten Bedingungen (Abbildung 199 bis Abbildung 201); die Regulation der Bodenfeuchte der Versuche könnte eine wichtige Rolle spielen. Die allgemeinen Wachstums-

bedingungen bei den Beratern spielten auch eine Rolle für die allgemeine Entwicklung der Testpflanzen (Abbildung 203); allgemein waren die Pflanzen bei den Beratern 1 und 5 deutlich leichter als diejenigen bei den anderen Beratern; dieser Gewichtunterschied kann nicht mit der Versuchsdauer erklärt werden und muss also durch die Versuchsbedingungen (u.a. Temperatur) bedingt sein.

Bei den Ackerbohnenfeldern wurden 2012 kaum Müdigkeitssymptome beobachtet (Tabelle 168). Nur beim Schlag A6 konnten kranke Pflanzen mit befallenen Wurzeln beobachtet werden. Beim Bohnen-Prognosetest zeigte bei den Beratern auch nur gerade dieser Schlag Müdigkeitssymptome (Abbildung 199).

Die Situation bei den Erbsenfeldern war variabler. Bei den Feldbeobachtungen konnten Felder mit sehr gesunden Erbsenpflanzen (E1 und E5, Tabelle 168 und Abbildung 203), aber auch katastrophale Bestände (E7 und E6, Tabelle 168 und Abbildung 204) beobachtet werden. Eine gewisse Beziehung zwischen den Topfergebnissen und den Feldbeobachtungen können durchaus festgestellt werden (Abbildung 204). Eine klare Ausnahme war dabei den Schlag E6: trotz sehr guter Ergebnisse im Topfversuch (sowohl beim Berater als auch am FiBL) war der Feldbestand sehr schwach (Abbildung 204); dieses schlechte Feldwachstum war aber klar auf die sehr schlechte Bodenstruktur zurückzuführen (Tabelle 168), eine Problematik, welche durch den Topfversuch nicht festgestellt werden kann.

Es konnte keine Beziehung zwischen den Prognosetest-Ergebnissen bzw. den Läsionsbonituren und dem Schlagsertrag beobachtet werden. Dies ist insofern nicht erstaunlich, als dass die möglichen Felderträge bei optimalen Verhältnissen für jeden Schlag anders aussehen, und auch weil die klimatischen Bedingungen an den verschiedenen Orten 2012 unterschiedlich waren.

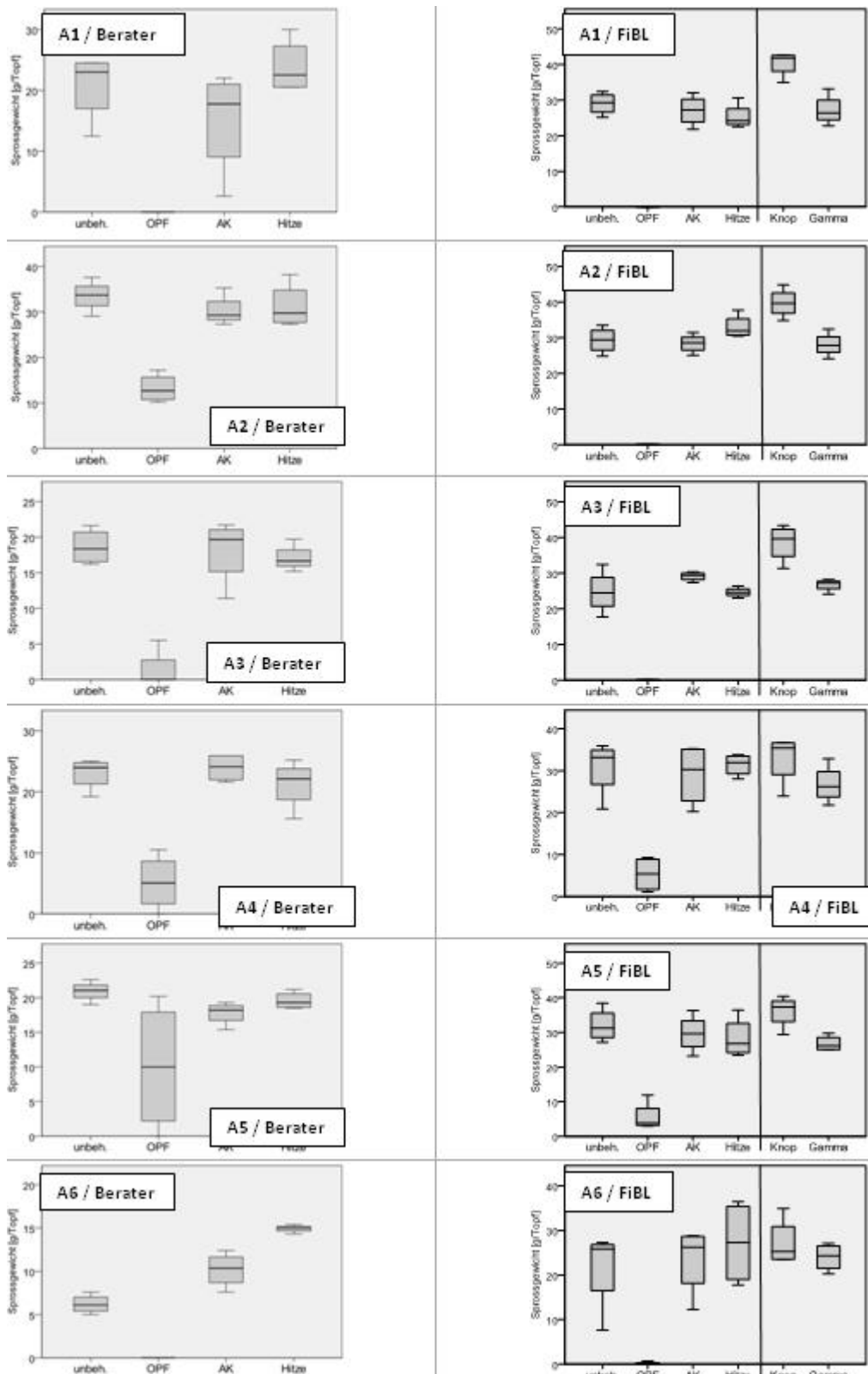
Auf der Basis der durchgeführten Versuche kann man die Ergebnisse der Prognosetests in Bezug auf das Sprossgewicht (SG) grob in drei Klassen einteilen:

- > Klasse 1: SG im unbehandelten Boden > 80 % SG im hitzebehandeltem Boden
- > Klasse 2: SG im unbehandelten Boden 20 – 80 % SG im hitzebehandeltem Boden
- > Klasse 3: SG im unbehandelten Boden < 20 % SG im hitzebehandeltem Boden

Bei Böden der Klasse 1 sind kaum Bodenmüdigkeitssymptome im Feld zu erwarten. Bei Böden der Klasse 2 sind bei schlechten Witterungsbedingungen (feucht und kühl) Ertragseinbußen durch Bodenmüdigkeit zu erwarten; je geringer das relative Gewicht, desto größer das Risiko. Bei Böden der Klasse 3 ist unabhängig vom Witterungsverlauf mit starken Bodenmüdigkeitssymptomen zu rechnen.

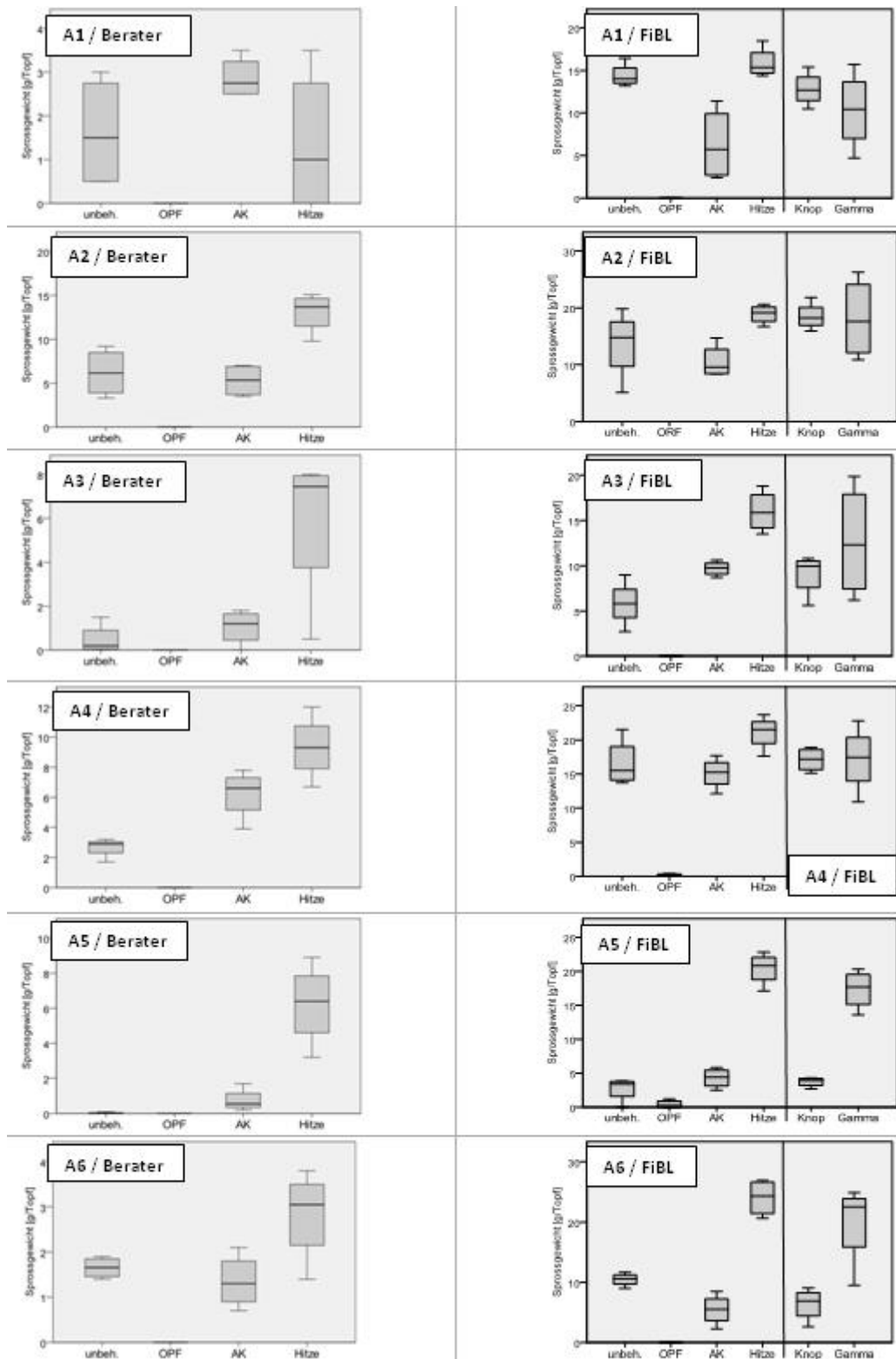
Es ist jedoch klar, dass die Daten aus den neun untersuchten Schlägen nur eine schmale Basis für die Interpretation des Prognosetests geben. Die Ergebnisse sind zwar vielversprechend, müssten jedoch mit mehr Daten verfeinert werden. Auch die Durchführung der Tests durch die Berater müsste noch ein wenig mehr standardisiert werden, vor allem was die Bewässerung der Töpfe angeht. Es ist jedoch interessant festzustellen, dass bereits jetzt praktisch alle Daten der Berater und des FiBLs im gleichen Klassenmuster liegen (Abbildung 204).

Als Schlussfolgerung kann man sagen, dass der vorgeschlagene Prognosetest eine wertvolle Hilfe für die Schlagauswahl sein kann. Eine Optimierung des Tests durch eine bessere Standardisierung der Topfbewässerung sollte die Aussagekraft des Tests verbessern. Eine Verfeinerung der Testaussagen wird auch mit mehr Felddaten möglich sein.

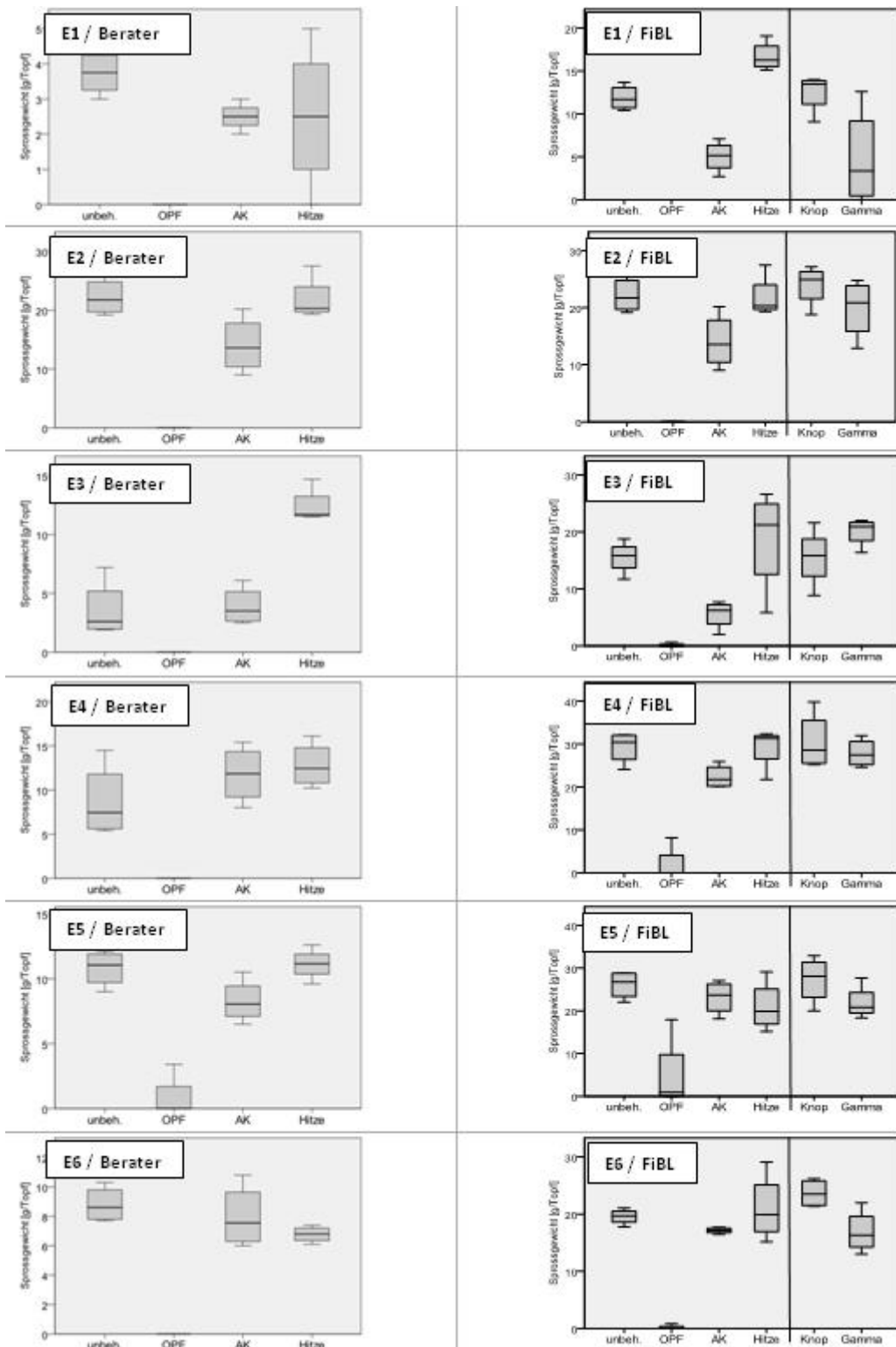


**Abbildung 198: Ergebnisse des Bodenmüdigkeit-Prognosetests mit Ackerbohnen für Ackerbohenschläge. Tests durchgeführt auf dem Hof (Berater) oder unter kontrollierten Bedingungen (FiBL)**





**Abbildung 199: Ergebnisse des Bodenmüdigkeit-Prognosetests mit Erbsen für Ackerbohenschläge. Tests durchgeführt auf dem Hof (Berater) oder unter kontrollierten Bedingungen (FiBL)**



**Abbildung 200: Ergebnisse des Bodenmüdigkeit-Prognosetests mit Erbsen für Futtererbsenschläge. Tests durchgeführt auf dem Hof (Berater) oder unter kontrollierten Bedingungen (FiBL) Teil 1**

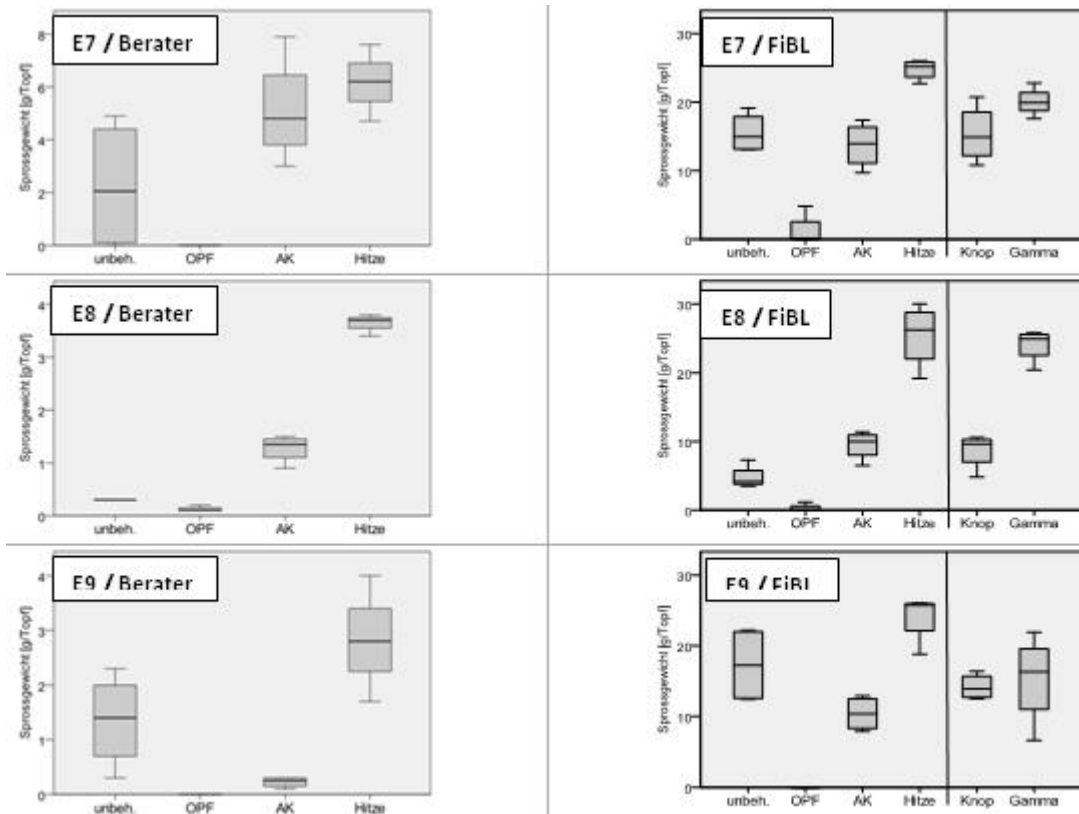


Abbildung 201: Ergebnisse des Bodenmüdigkeit-Prognosetests mit Erbsen für Futtererbsenschläge. Tests durchgeführt auf dem Hof (Berater) oder unter kontrollierten Bedingungen (FiBL) Teil 2

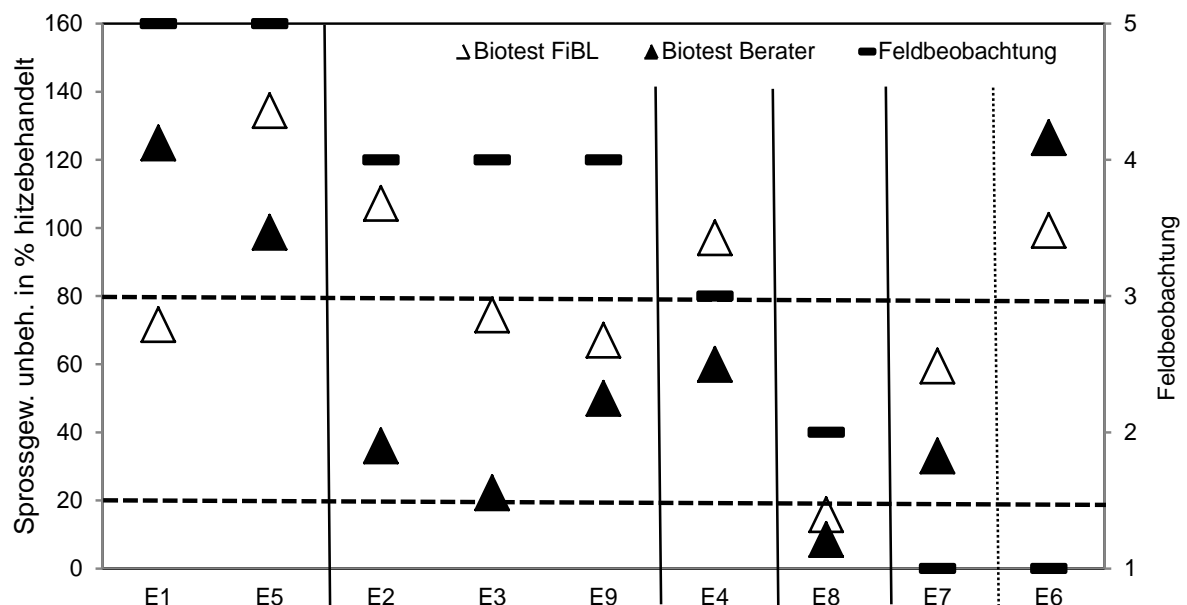
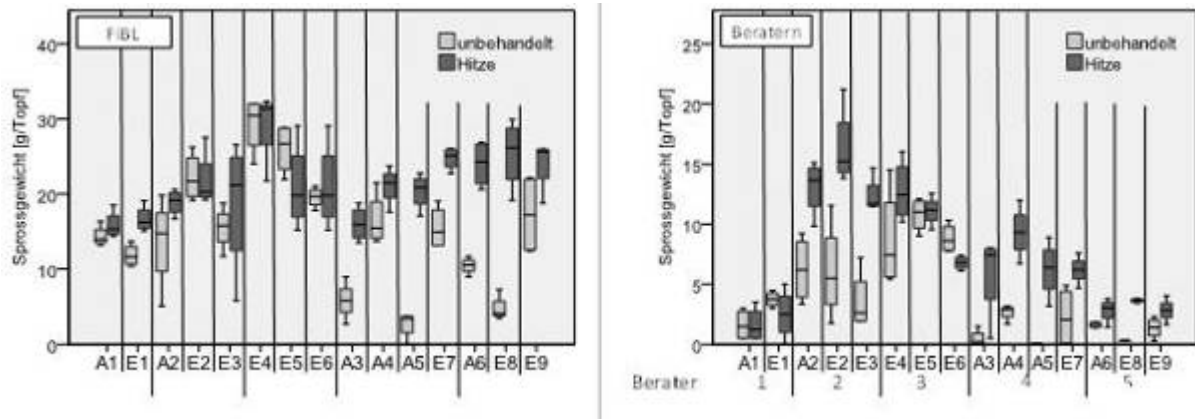
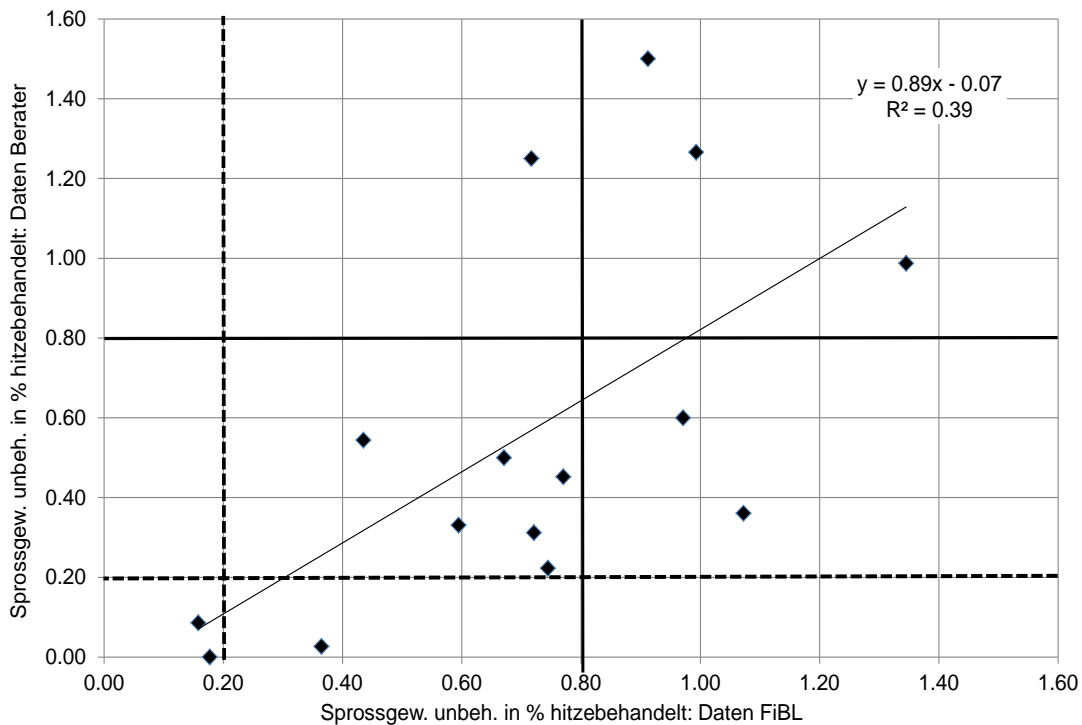


Abbildung 202: Ergebnisse des Bodenmüdigkeit-Prognosetests mit Erbsen für Futtererbsenschläge. Ergebnisse der Tests durchgeführt auf dem Hof (Berater) oder unter kontrollierte Bedingungen (FiBL) in Relation zu den Feldbeobachtungen der Erbsenbestände. Feldbeobachtungen: 1: katastrophal; 2: schlecht; 3: mittel; 4: gut; 5: sehr gut



**Abbildung 203: Entwicklung von Erbsenpflanzen im Prognosetest durchgeführt unter kontrollierten Bedingungen (FiBL) oder auf dem Hof (Berater). Fünf Berater waren am Versuch beteiligt. Das Pflanzenwachstum bei den verschiedenen Beratern war: Berater 1: 40 Tage; Berater 2: 41 Tage; Berater 3: 45 Tage; Berater 4: 36 Tage; Berater 5: 31 Tage**



**Abbildung 204: Ergebnisse des Bodenmüdigkeits-Prognosetests mit Erbsen für Futtererbsenschläge. Ergebnisse der Tests durchgeführt auf dem Hof (Daten Berater) oder unter kontrollierten Bedingungen (Daten FiBL) in Relation zu den Feldbeobachtungen der Erbsenbestände.**

**Tabelle 168: Auswertung der Pflanzenbestände der Kulturen in den untersuchten Schlägen.**

Probe-nummer	Beurteilung des Bestandes	Wurzelläsion		Ernte	
		äußere Bonitur	Länge [mm]	Hülsen / Pflanze	Schlagtrag [dt FM/ha]
A1	Pflanzen gesund aber niedrig, etwas lückiger verlauster Bestand	4,3	39,9	6	31.2
A2	schöner, z.T. etwas lückiger Bestand aber niedrig, gesunde Pflanzen	4,6	37,1	12	30
A3	schöner Bestand, gesunde Pflanzen	4,8	36,7	12	38.7
A4	super Bestand, Pflanzen gesund	4,1	52,8	13	38
A5	schöner Bestand, Pflanze gesund	4,2	36,7	9	35
A6	Gesunde und geschädigte Bereiche im Schlag; Geschädigte Bereiche: viel Pflanzen mit schwarzen Wurzeln und Sproß absterbend (evtl. Bodenverdichtungen)	6,8	116,5	10	24.4
E1	Super Erbsen, Sproß bis auf die untersten 3-4 vergilbte Etagen gesund, Läuse	7,6	45,9	6	22
E2	dichter gesunder Bestand, Läuseschäden, frühe Saat: Anfang Abreife; für den guten Bestand zu wenig Hülsen	8,0	133,5	5	20
E3	durch extremen Saatfehler ungleichmäßiger Bestand aber gesunde Pflanzen, späte Saat deshalb noch niedrig	4,0	26,7	5	.
E4	wenig Erbsen, wenn Erbsen stehen dann gesund und gut entwickelt, total verunkrautet	7,5	100,5	6	20
E5	buntblühende Erbse!, schöner Bestand, gesunde Pflanzen	4,0	19,5	7	20
E6	katastrophaler Bestand, Erbsenpflanzen schon am absterben, Boden sehr tonig, für Erbsen ungeeignet	8,0	118,4	3	17
E7	katastrophaler Bestand, Bereich in denen Erbsen schon absterben, Hülsen meist nur 1-2 Körner, starke Läuseschäden	7,1	62,6	5	0
E8	buntblühende Erbse! schlechter Bestand, Pflanzen zu 60% abgestorben (Bodenverdichtungen?), Läuseschäden	9,0	231,0	4	12
E9	ganz guter, stark verunkrauteter Bestand, bis auf starke Läuseschäden gesunde Pflanzen	6,3	88,4	8	27

#### 4.7.3.6 Schlussfolgerungen

Die Differenzialtests mit Erbsen haben sich als gut geeignet erwiesen, um die Bodenmüdigkeit bei Leguminosen zu untersuchen. Die bestgeeigneten Messwerte dabei waren, je nach Intensität der Problematik, das Sprossgewicht und die Auflauftrate der Erbsen. Das Wurzelgewicht zeigte sich als relativ ungeeignet, da die Schäden und Verluste bei der Pflanzenernte je nach Boden und Verfahren schwer zu kontrollieren waren.

➤ Bei 15 der 22 untersuchten Böden konnten deutliche Symptome von Bodenmüdigkeit nachgewiesen werden. Bei zwei Böden wurden leichte Wachstumsdepressionen beobachtet. Fünf Böden zeigten hingegen keine Fruchtbarkeitsprobleme auf.

- › Die Ursachen der Bodenmüdigkeit, die in den 2008, 2009 und 2010 entnommenen Bodenproben beobachtet wurde, waren hauptsächlich biotischer Natur. Sowohl eine Aufdüngung wie auch eine Gabe von Aktivkohle hatten keine deutliche Wirkung auf Pflanzenwachstum oder -gesundheit.
- › Die Ergebnisse der untersuchten Böden zeigten keinen Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Differenzialtests und den übrigen Analysen (Nährstoffgehalt, biologische Aktivität, Suppressivität, molekularbiologische Analyse der potenziellen Erreger).
- › Mit den Differenzialtests der zweiten Stufe wurden Oomyceten als wichtige Einzelursache der Bodenmüdigkeit ermittelt. In anderen Böden muss ein Komplex von Oomyceten und anderen Erregern als Ursache vermutet werden.
- › Um solche Erregerkomplexe eindeutig nachweisen zu können, müssten die Differenzialtests der zweiten Stufe nicht nur mit einzelnen Pestiziden, sondern auch mit Kombinationen von Pestiziden durchgeführt werden.
- › Möglicherweise sind nicht nur Krankheitserreger in den untersuchten Böden aktiv, sondern auch antagonistische Pilze. Dies würde erklären, warum Behandlungen der Böden mit Benlate die Krankheitssituation in gewissen Böden verschärfen.
- › Der Versuch, durch wiederholte Erbsenmonokultur die Bodenmüdigkeitsproblematik zu verschärfen, hat nicht die erwarteten Ergebnisse gebracht. Zwar war der Erbsenaufbau im Meso-Kosmos-System in der dritten Kultur deutlich geringer als in den vorherigen. Wenn dieser Boden aber wieder durchmischt wurde, traten bei den Differenzialtests kaum mehr Krankheitssymptome auf als in den Originalböden.
- › Die Differenzialtests stellen eine technisch einfache Methode dar, um die Ursachen der Leguminosen-Bodenmüdigkeit einzugrenzen. Leicht verändert könnte sich dieser Test als Prognose-Tool eignen, um die Anbaueignung schlagspezifisch zu prüfen. Er ermöglicht die Klassifizierung der Böden in drei Klassen: bei Böden der Klasse 1 sind kaum Bodenmüdigkeitssymptome im Feld zu erwarten, bei Böden der Klasse 2 sind bei schlechten Witterungsbedingungen (feucht und kühl) Ertragseinbußen durch Bodenmüdigkeit zu erwarten, und bei Böden der Klasse 3 ist unabhängig vom Witterungsverlauf mit starken Bodenmüdigkeitssymptomen zu rechnen. Eine Optimierung des Tests durch eine bessere Standardisierung der Topfbewässerung sollte die Aussagekraft des Tests verbessern. Eine Verfeinerung der Testaussagen wird auch mit mehr Felddaten möglich sein.



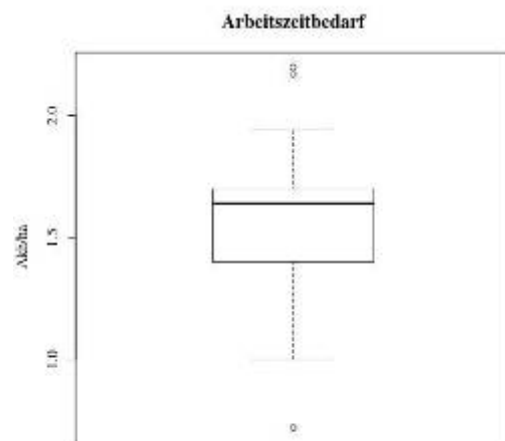
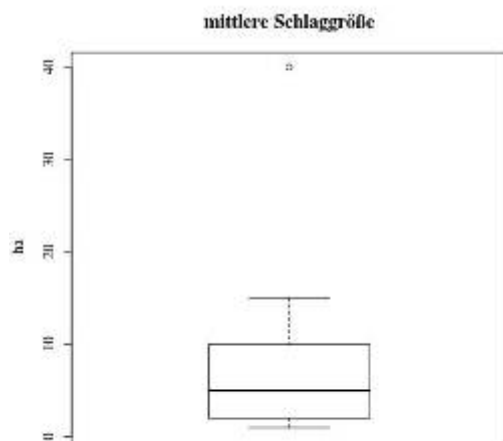
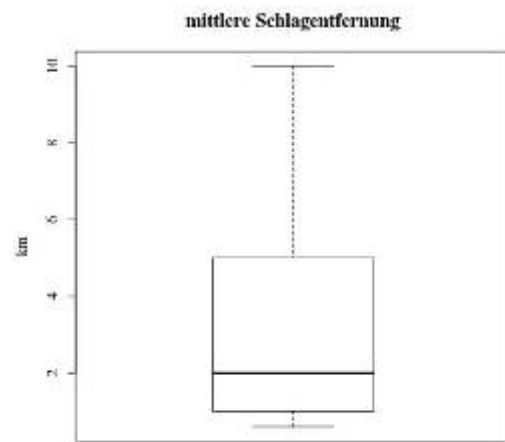
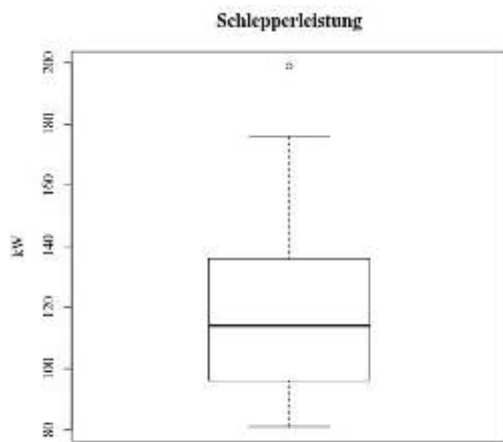
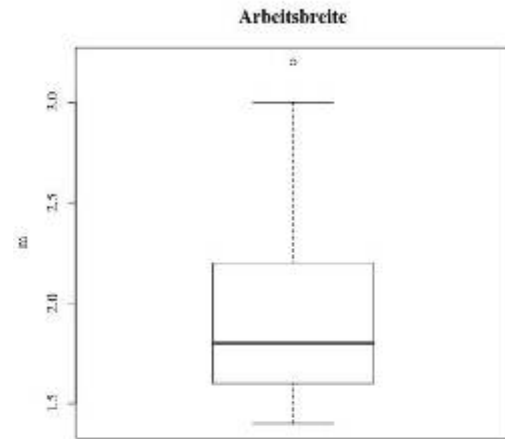
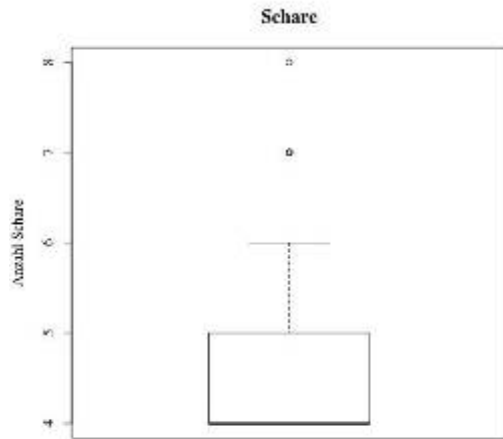
## 4.8 Workpackage 6: Ökonomik und Umweltwirkung

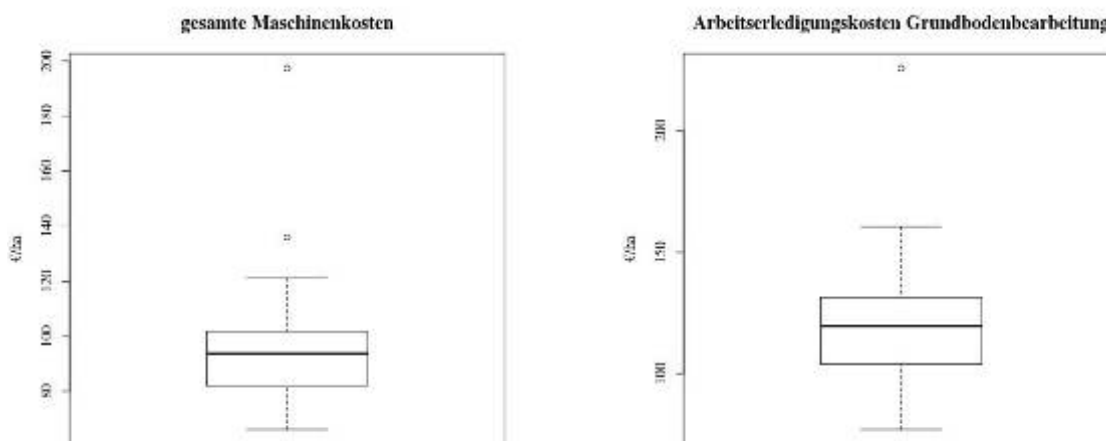
### 4.8.1 Bestimmung des Status quo der Arbeitserledigungskosten (Bodenbearbeitung) in Abhängigkeit von Standort, Mechanisierungsvarianten und Fruchtfolge auf den Betrieben

Die analysierten Betriebe setzen für ihre Grundbodenbearbeitung Pflüge mit einer Arbeitsbreite von 1,4 bis 3,2 m ein. Dabei nutzen 75 % der Betriebe eine Arbeitsbreite von höchstens 2,15 m, womit 4 bis 5 Pflugschare ausreichend sind. Die Leistung der Schlepper, die zur Bodenbearbeitung eingesetzt werden, liegt zwischen 81 und 199 kW, wobei nur 25 % der Betriebe Schlepper mit einer Leistung von größer als 136 kW für die Grundbodenbearbeitung anwenden (vgl. Tabelle 169 und Abbildung 205a-h).

**Tabelle 169: Parameter und Verteilungsdaten zur Grundbodenbearbeitung der untersuchten Praxisbetriebe**

Parameter	Minimum	Mittelwert	Maximum
Schare (Anzahl)	4,0	4,9	8,0
Arbeitsbreite (m)	1,4	2,0	3,2
Schlepperleistung (kW)	81,0	120,0	199,0
Ackerfläche (ha)	12,0	173,8	550,0
Mittlere Schlaggröße (ha)	1,0	7,6	40,0
Mittlere Schlagentfernung (km)	0,6	3,3	10,0
Variable Maschinenkosten (€/ha)	30,0	54,7	80,8
Fixe Maschinenkosten (€/ha)	23,9	42,2	139,9
Gesamte Maschinenkosten (€/ha)	66,1	96,9	197,4
Arbeitszeitbedarf (Akh/ha)	0,7	1,5	2,2
Arbeitskosten (€/ha)	10,8	23,3	33,0
<b>Grundbodenbearbeitungs- Arbeitserledigungskosten (€/ha)</b>	<b>76,9</b>	<b>120,1</b>	<b>225,9</b>





**Abbildung 205a-h: Boxplots zur Verteilungscharakterisierung der Grundbodenbearbeitungsparameter der untersuchten Praxisbetriebe über alle Regionen – dargestellt sind  $Q_0$ ,  $Q_{25}$ ,  $Q_{50}$  (Median),  $Q_{75}$  und  $Q_{100}$**

Die Betriebe in der nord-, ost-, mittel- und süddeutschen Region unterscheiden sich dabei in ihren Standortbedingungen und Strukturen zwischen den Regionen (vgl. Abbildung 206a-n). Nur bei wenigen Faktoren sind dabei signifikante Unterschiede festzustellen.

Hinsichtlich der naturräumlichen Charakterisierung lässt sich festhalten, dass sich die Höhenlage der ausgewählten Betriebe zwischen den Regionen signifikant unterscheidet. Dies betrifft alle Regionen ( $p < 0,001$ , Bonferroni) mit Ausnahme der Betriebe in Mittel- und Ostdeutschland, die sich hinsichtlich ihrer Höhenlage nicht signifikant unterscheiden. Bei den Jahresmitteltemperaturen unterscheiden sich die Betriebe in der Region Ost nachweisbar von denen in Mittel- und Süddeutschland ( $p = 0,011$  bzw.  $p = 0,014$ , Bonferroni). Signifikante Unterschiede in den Jahresniederschlägen zeigen sich zwischen den süddeutschen Betrieben und den Betrieben in den Regionen Nord ( $p = 0,018$ ), Ost ( $p < 0,001$ ) und Mitte ( $p < 0,001$ , Bonferroni).

Hinsichtlich der Ackerqualitäten und qualitativen Beschreibung der Bodenbearbeitbarkeit zeigen sich keine nachweisbaren Unterschiede zwischen den Regionen. Die Streuung innerhalb der Regionen ist deutlich ausgeprägt. Tendenziell sind die Böden der norddeutschen Betriebe leichter als die der anderen Regionen und setzen sich in ihrer qualitativen Bearbeitbarkeit ab, ohne dass es signifikant nachweisbar ist. Ebenfalls ohne signifikanten Unterschied ist die Beurteilung der Äcker auf den Betrieben anhand der Ackerzahl.

Ersichtlich ist, dass die Ackerfläche der Betriebe von Nord- und Ostdeutschland nach Mittel- und Süddeutschland abnimmt. Die Ackerfläche je Betrieb zwischen den Regionen unterscheidet sich signifikant. Die Unterschiede sind dabei jedoch nur zwischen den bewirtschafteten Ackerfläche der süd- gegenüber den norddeutschen Betriebe signifikant ( $p = 0,0095$ , Bonferroni).

Die mittleren Schlagentfernungen haben innerhalb der einzelnen Regionen eine weite Streuung und auch zwischen den Regionen konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Die mittlere Schlaggröße der mittel- und süddeutschen Betriebe unterscheidet sich dabei signifikant von den Betrieben in Norddeutschland ( $p = 0,065$  bzw.  $0,0436$ , Bonferroni). Die ostdeutschen Betriebe im Projekt haben zwar gleichfalls im Mittel größere

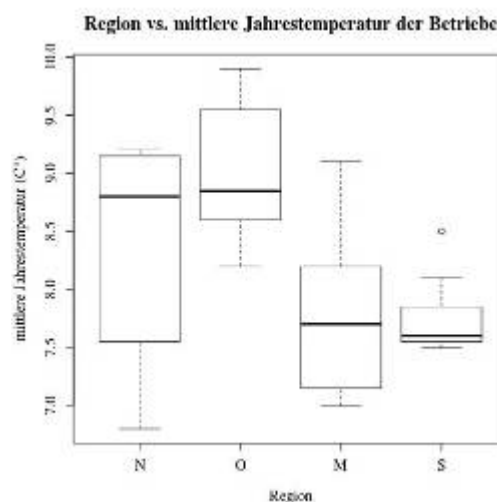
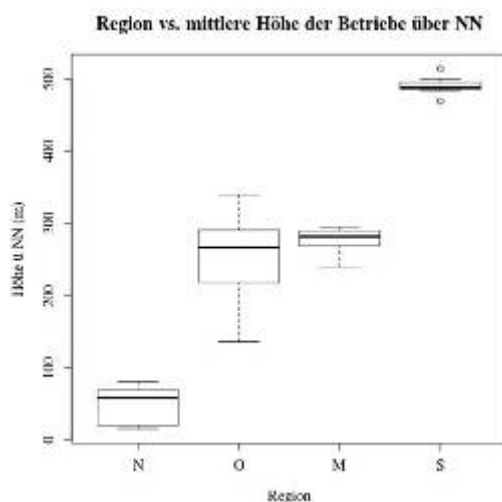
Schläge als sie in Mittel- und Süddeutschland vorkommen, aufgrund der Verteilung ist jedoch davon auszugehen, dass diese Unterschiede eher zufälliger Natur sind.

Obwohl sich die Standortbedingungen und Strukturen zwischen den Regionen teils signifikant unterscheiden, zeigen sich keine sichtbaren Unterschiede in den Arbeitserledigungskosten zwischen den Betrieben aus den verschiedenen Regionen. Für Arbeitszeit, gesamte Maschinenkosten und die sich daraus ergebenden gesamten Arbeitserledigungskosten für die Grundbodenbearbeitung sind die Unterschiede zwischen den Regionen nicht signifikant.

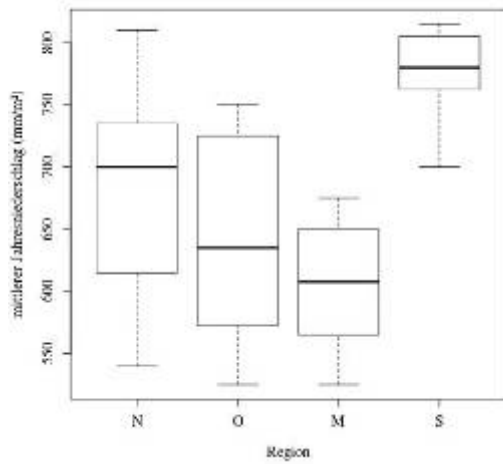
Die Arbeitswirtschaft und Mechanisierung der Grundbodenbearbeitung unterscheidet sich – zumindest hinsichtlich der ausgewählten Betriebe – trotz unterschiedlicher Struktur in den Regionen nicht signifikant voneinander. Tendenzen können jedoch aufgezeigt werden:

- Die Schlepperleistung, welche die Betriebe für die Grundbodenbearbeitung vorhalten, sinkt, je weiter südlich die Betriebe liegen.
- Die eingesetzten Pflüge sind in Süddeutschland tendenziell kleiner, analog zur Schlaggröße und der eingesetzten Schlepperleistung. Signifikante Unterschiede zwischen den Regionen waren aber weder für die Arbeitsbreite, noch für die Scharanzahl gegeben.
- Die Arbeitszeit auf den mittel- und süddeutschen Betrieben je Hektar für die Grundbodenbearbeitung ist tendenziell höher ist als auf den ost- und norddeutschen Betrieben. Für die gesamten Maschinenkosten (variable + fixe) ist aber keine Tendenz sichtbar.

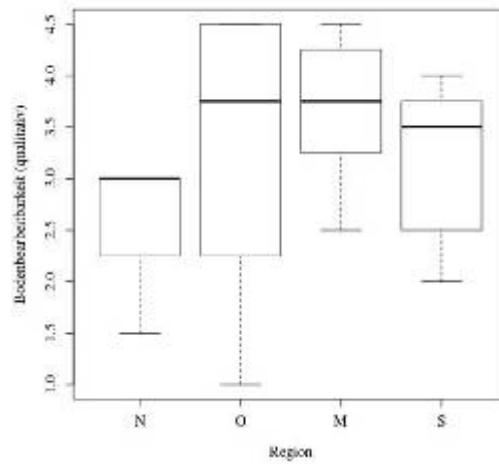
In der Summe sind die gesamten Arbeitserledigungskosten zwischen den Betrieben aus den verschiedenen Regionen ohne sichtbare Tendenz. Für keine dieser drei Variablen (Arbeitszeit, gesamte Maschinenkosten und gesamte Arbeitserledigungskosten) sind die Unterschiede zwischen den Regionen signifikant. Offenbar sind die Einflüsse des Standortes (z. B. Schlaggröße) als Faktoren nicht stark genug, um die Arbeitserledigungskosten für die Grundbodenbearbeitung so zu beeinflussen, dass signifikante Unterschiede zwischen den Regionen auftreten.



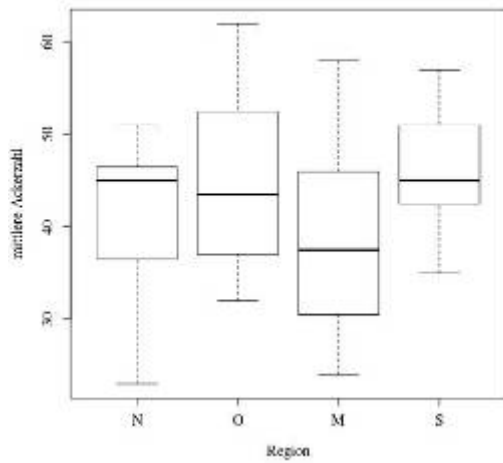
Region vs. mittlerer Jahresniederschlag /n auf den Betrieben



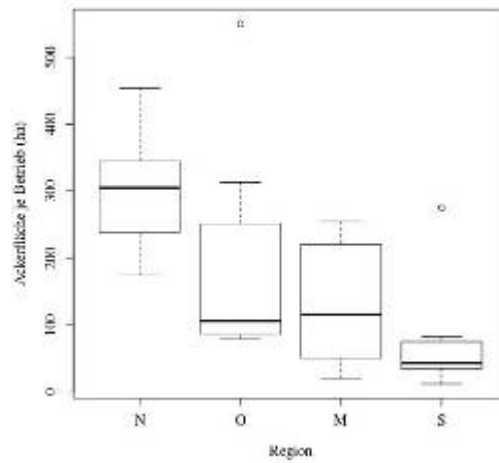
Region vs. Bodenbearbeitbarkeit



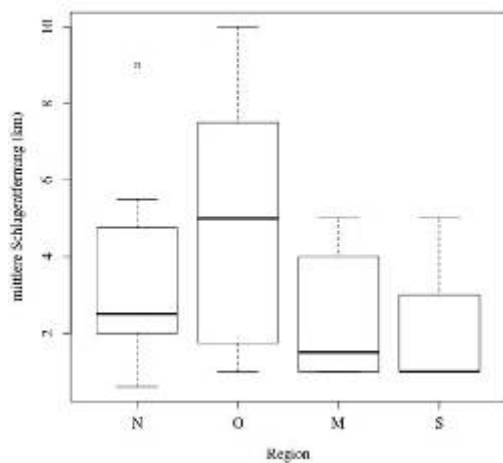
Region vs. mittlere Ackerzahl der Betriebe



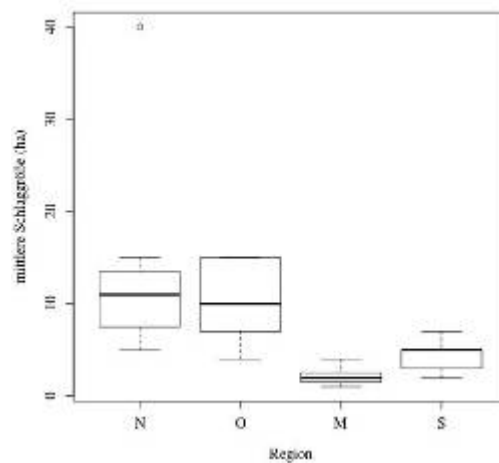
Region vs. Ackerfläche

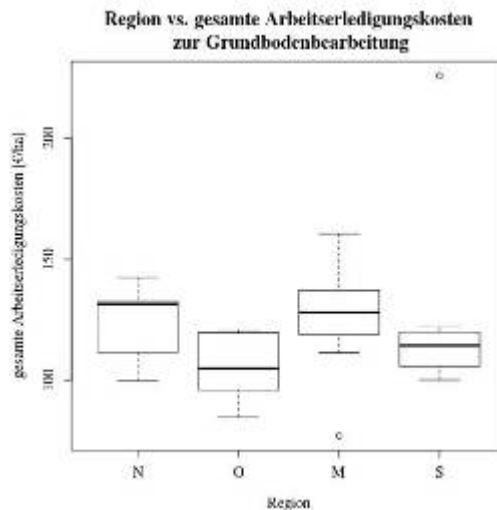
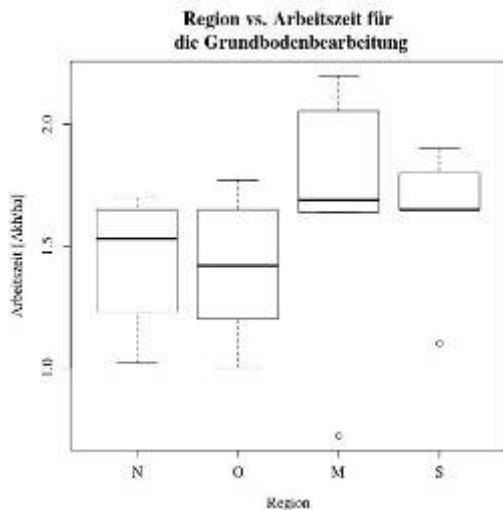
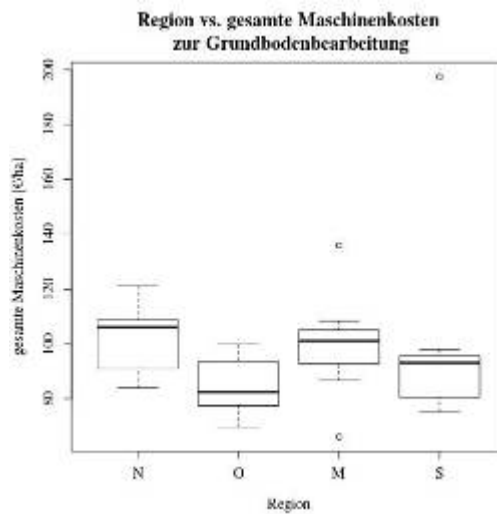
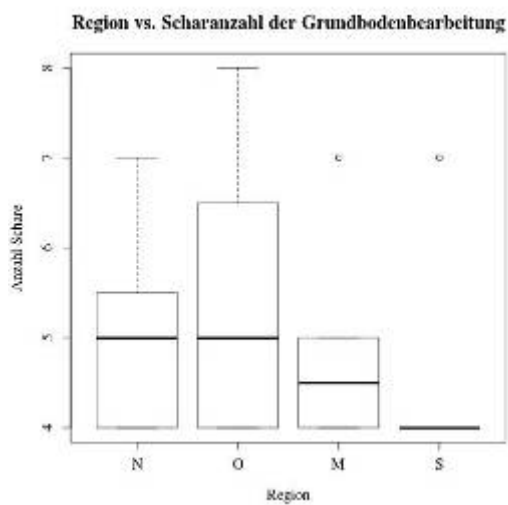
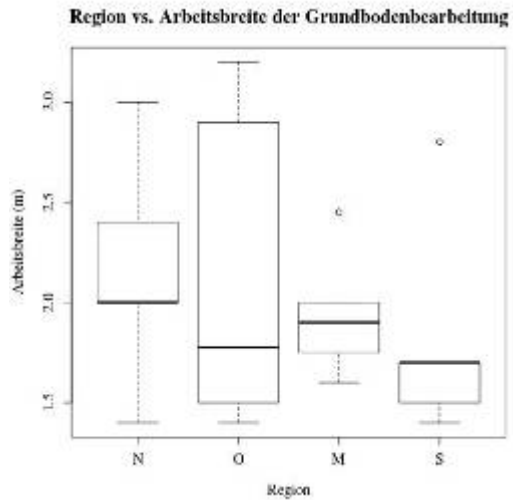
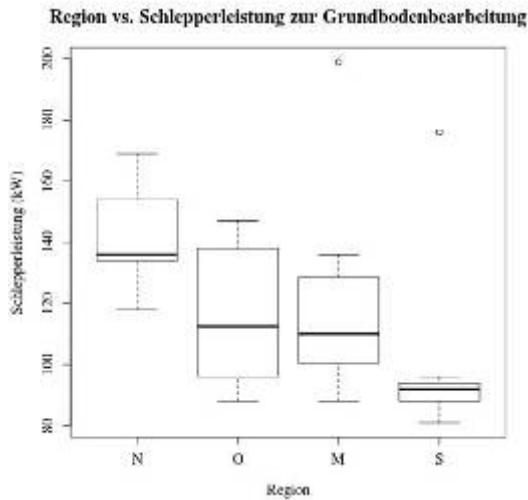


Region vs. mittlere Schlagentfernung



Region vs. mittlere Schlaggröße



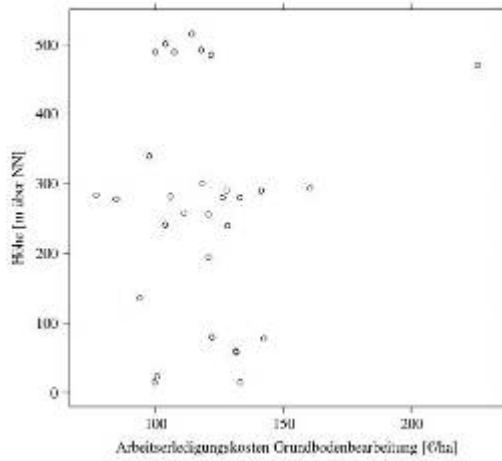


**Abbildung 206a-n: Boxplots zur Verteilungscharakterisierung der Grundbodenbearbeitungsparameter der untersuchten Praxisbetriebe zwischen den Regionen-**  
**dargestellt sind Q0, Q25, Q50, Q75 und Q100**

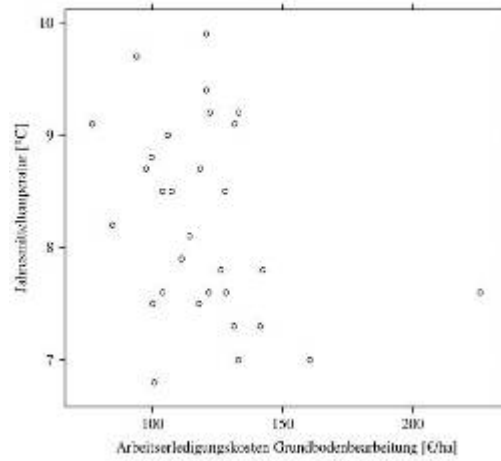


Daraus leitet sich die Frage ab, von welchen aufgeführten Faktoren die Arbeitserledigungskosten für die Grundbodenbearbeitung abhängig sind. Dargestellt sind die diesbezüglichen Ergebnisse in Abbildung 207a-m und Tabelle 170.

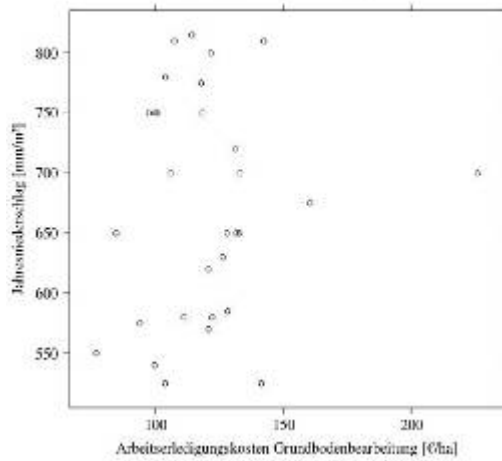
**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. mittlere Höhe der Betriebe über NN**



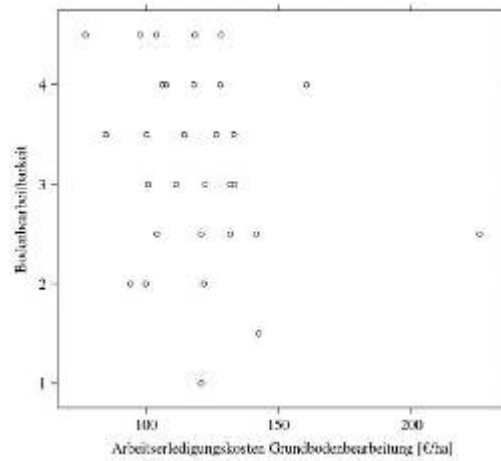
**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. Jahresmitteltemperatur**



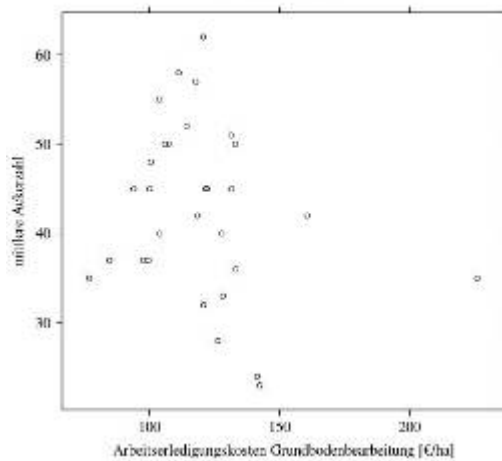
**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. Jahresniederschlag**



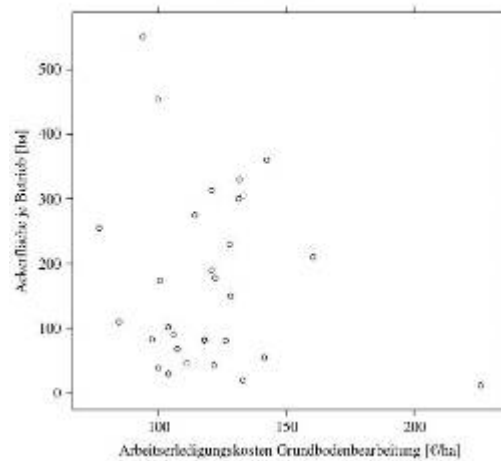
**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. Bodenbearbeitbarkeit**



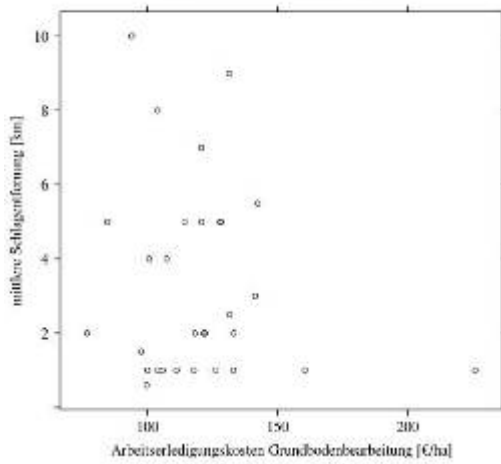
**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. Ackerzahl**



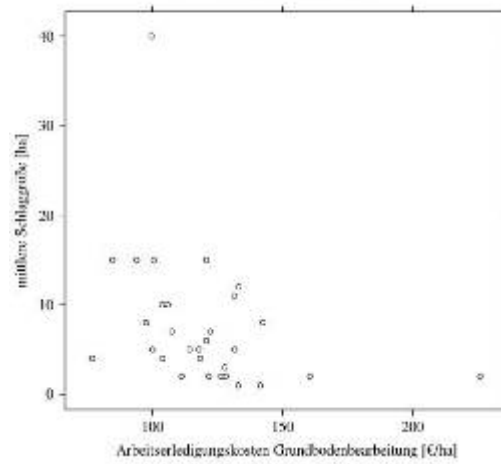
**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. Ackerfläche**



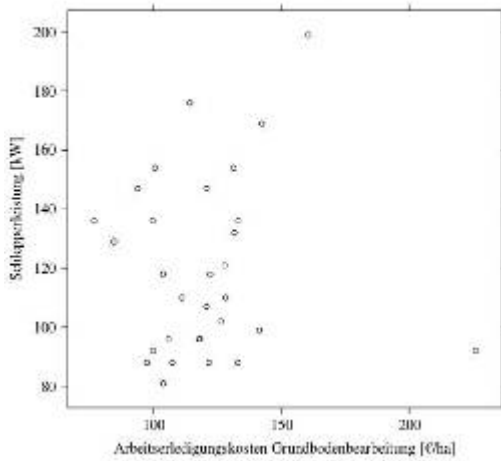
**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. mittlere Schlagentfernung**



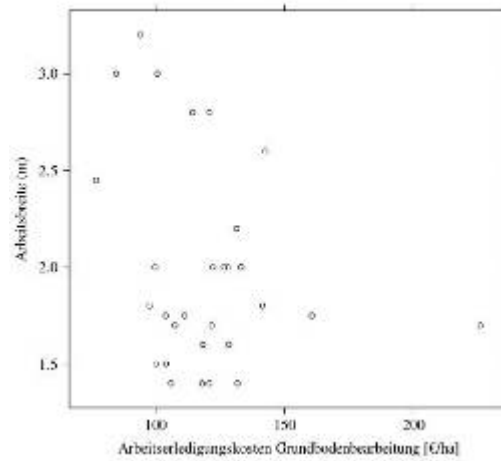
**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. mittlere Schlaggröße**



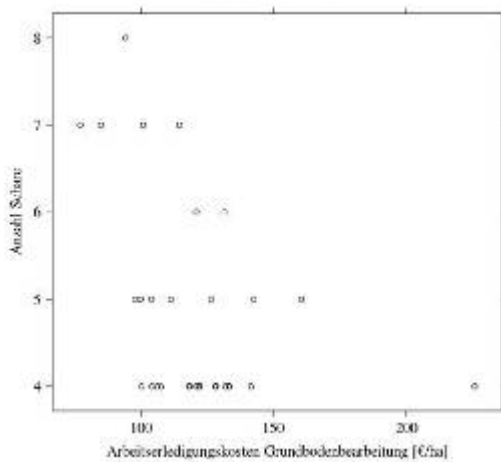
**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. Schlepperleistung**



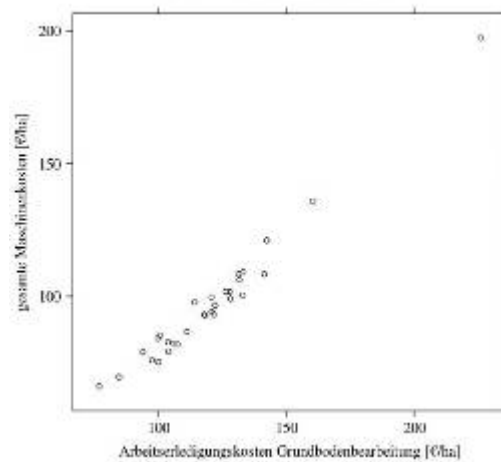
**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. Arbeitsbreite**

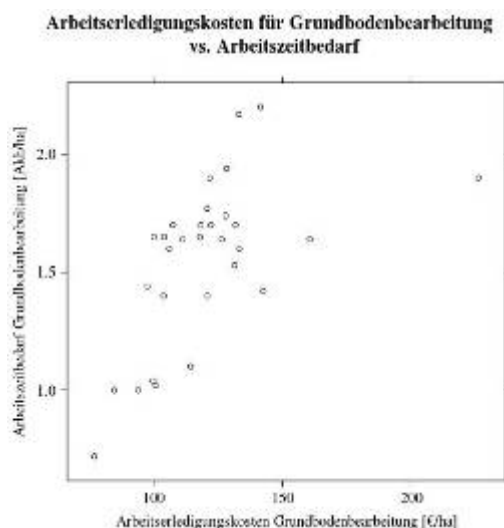


**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. Scharanzahl**



**Arbeitsledigungskosten für Grundbodenbearbeitung vs. gesamte Maschinenkosten**





**Abbildung 207a-m: xy-Grafik Beziehungscharakterisierung der Arbeitserledigungskosten für die Grundbodenbearbeitung in Abhängigkeit von betriebstypischen Parametern und Variablen**

**Tabelle 170: Korrelation zwischen den Arbeitserledigungskosten für die Grundbodenbearbeitung je ha AL und Faktoren, die die Mechanisierung und den Standort der landwirtschaftlichen Betriebe beschreiben**

Faktor	$r^*$	p-Wert
Höhenlage (m über NN)	-0,0901	0,4863
Jahresmitteltemperatur (°C)	-0,2225	0,0891
Jahresniederschlag (mm/m <sup>2</sup> )	0,0727	0,5788
Bodenbearbeitbarkeit	-0,1619	0,2324
Ackerzahl	-0,1269	0,3333
Ackerfläche (ha)	-0,0069	0,9573
Schlagentfernung (km)	0,0049	0,9709
Schlaggröße (ha)	-0,3615	0,0066**
Schlepperleistung (kW)	0,0844	0,5193
Arbeitsbreite Pflug (m)	-0,1075	0,4184
Anzahl Schare je Pflug	-0,3368	0,0195**
Gesamte Maschinenkosten (€/ha)	0,8410	<0,0001**
Arbeitszeit (Akh/ha)	0,4849	0,0002**

\*Rankkorrelationskoeffizient als Kendalls tau-a

\*\*  $p \leq 0,05$ : signifikant

Eine signifikante Differenzierung zwischen den Regionen ist wie oben dargestellt nicht gegeben, wenn auch einzelnen Einflussfaktoren auf die Grundbodenbearbeitung zwischen den Region signifikant unterschiedlich sind.

Ebenfalls keine Zusammenhänge lassen sich zwischen den standortbeschreibenden Variablen Höhenlage, Jahresmitteltemperatur und -niederschlag der untersuchten Betriebe und den gesamten Arbeitserledigungskosten der Grundbodenbearbeitung finden. Auch die Faktoren Ackerzahl und die qualitativ eingeschätzte Bodenbearbeitbarkeit und die Größe der vom Betrieb bewirtschafteten Ackerfläche zeigen keine signifikanten Korrelationen gegenüber den Arbeitserledigungskosten für die Grundbodenbearbeitung.

Die Mechanisierungsvarianten sind gekennzeichnet durch die Schlepperleistung und die Scharanzahl je Pflug. Für die Schlepperleistung kann keine signifikante Wechselbeziehung mit den gesamten Arbeitserledigungskosten festgestellt werden.

Unterschiede in der Zugkraft führen also aufgrund anderer, überlagernder Parameter (Arbeitszeit, Pfluggröße, Schlaggröße und -entfernung) nicht immer zu einem Unterschied der Grundbodenbearbeitungskosten. Einschränkend ist jedoch festzustellen, dass die Berechnung der variablen und fixen Maschinenkosten der Schlepper anhand der KTBL-Katalogwerte erfolgte, die die Schlepper in Leistungsklassen einteilt. Die vorliegenden Kalkulationen wurden soweit wie möglich betriebsindividuell angepasst. Wenn die Schlepper aber an der unteren oder oberen Leistungsgrenze der jeweiligen Klasse liegen, entsprechen die Maschinenkosten nicht in jedem Fall den realen Kosten.

Andererseits zeigt die Auswertung, dass auf vielen der untersuchten Betrieben Schlepper mit Zugleistungen im Einsatz sind, die mit Blick auf die eingesetzte Technik ausgelastet sind (vgl. Kap. 4.8.3.1). Schlepper mit einer höheren Zugkraftleistung würden die damit verbundenen höheren Maschinenkosten aufgrund der Rahmenbedingungen möglicherweise nicht vollständig durch eine höhere Arbeitsproduktivität und geringere Grundbodenbearbeitungskosten je Flächeneinheit ausgleichen. So ist zumindest aufgrund der vorliegenden Datenlage davon auszugehen, dass die Schlepper auf den untersuchten Betrieben weder über- noch unterdimensioniert sind. Es ist keine Tendenz hinsichtlich der Auswirkung auf die Grundbodenbearbeitungskosten ersichtlich. Da aber andererseits eine größere Anzahl an Scharen geringe Kosten der Grundbodenbearbeitung bedeuten (siehe unten) und diese wiederum eine höhere Schlepperleistung notwendig macht, ist zumindest ein indirekter Zusammenhang gegeben.

Eine klare negative Korrelation ist allerdings für die Scharanzahl am Pflug und die Grundbodenbearbeitungskosten zu konstatieren. Die Arbeitsbreite der Pflüge zeigt zwar tendenziell in eine ähnliche Richtung, ist jedoch nicht signifikant. Grafisch zeigt sich ein Zusammenhang analog zur Anzahl Schare je Pflug, den die Korrelationsrechnung bestätigt, der sich jedoch als nicht signifikant beweisbar zeigt. Zu erklären ist dies dadurch, dass die direkte Arbeitsbreite bei der Grundbodenbearbeitung aus den Angaben der Landwirte übernommen wurde. Aufgrund unterschiedlicher Einstellung der Pflugschare, gerade bei Vario-Verstellpflügen, sind somit Diskrepanzen zwischen der Arbeitsbreite und der Anzahl Schare je Pflug zwischen einzelnen Betrieben, welche sich dann in der Berechnung der Arbeitserledigungskosten nicht wiederfinden, da hier strikt nach Anzahl Schare je Pflug katalogisiert wurde. Somit sind unter Umständen Unstimmigkeiten zwischen der Anzahl Schare und der Arbeitsbreite der Grundbodenbearbeitung hinsichtlich der gesamten Arbeitserledigungskosten zu erklären. Da die Arbeitserledigungskosten aus den KTBL-Daten abgeleitet wurden, die nach Anzahl Schare je Pflug katalogisiert sind, ist dieser Zusammenhang gut erklärbar. Schwankungen zwischen den Betrieben mit gleicher Anzahl Schare ergeben sich u. a. aus unterschiedlichen Schlaggrößen und -entfernungen.

Die Schlaggröße zeigt eine signifikante Korrelation mit den Arbeitserledigungskosten: Erwartungsgemäß sinken diese, wenn die Schlaggröße zunimmt; zurückzuführen auf die proportional verringerten Wende- und Rüstzeiten je Hektar. Keinen nachweisbaren Einfluss hat die Schlagentfernung auf die gesamten Arbeitserledigungskosten bei den untersuchten Betrieben.

Da sich die gesamten Arbeitserledigungskosten aus den gesamten Maschinenkosten und der monetär bewerteten Arbeitszeit zusammensetzen, ist es nicht weiter verwunderlich, dass die Variablen gesamte Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf eine sehr hohe positive

Korrelation mit den gesamten Arbeitserledigungskosten aufweisen und diese signifikant ausfällt. Über die Anzahl Schare je Pflug sind es dem Bestimmtheitsmaß nach 11 %. Die unter anderem daraus abgeleiteten Maschinenkosten können 70 % der Varianz der Grundbodenbearbeitungskosten erklären. Über die Arbeitszeit sind 23 % erklärbar.

Festhalten lässt sich, dass Faktoren, die der Kategorisierung der Mechanisierungsalternativen zum betriebsindividuellen Datenabruf für die Maschinenkosten und Arbeitszeiten aus dem Katalog des KTBL dienen, erwartungsgemäß eine enge Korrelation mit den gesamten Arbeitserledigungskosten der Grundbodenbearbeitung auf den Betrieben zeigen. Es zeigen sich – konsequenterweise – (hoch)signifikante Zusammenhänge zwischen den Faktoren, die unmittelbar für die Bestimmung der Arbeitserledigungskosten der Grundbodenbearbeitung genutzt wurden. Abgesehen von der Schlagentfernung und der Schlepperleistung, deren Einfluss von den anderen Variablen soweit überdeckt wurde, dass kein signifikanter Zusammenhang nachweisbar ist.

Die weiteren Faktoren, deren Einfluss aufgrund der erhobenen Daten untersucht wurde, haben keine signifikante Korrelation mit den Arbeitserledigungskosten für die Grundbodenbearbeitung aufgezeigt. Insofern lässt sich konstatieren, dass für den gegebenen Pool an Betrieben aufgrund allgemeiner Standortcharakteristika (Betriebsgröße, Höhenlage, Region) nicht auf die Grundbodenbearbeitungskosten je Hektar geschlossen werden kann. Umgekehrt gilt, dass Betriebe in gleicher Höhenlage, bewirtschafteter Ackerlage oder Region durchaus unterschiedliche Grundbodenbearbeitungskosten haben.

Auf eine tiefgreifende Untersuchung der Grundbodenbearbeitungskosten und deren Zusammenhänge mit den Mechanisierungsaufwendungen *innerhalb* der einzelnen Standorte wurde aufgrund der geringen Anzahl an Betrieben je Region verzichtet.

Für die **Arbeitserledigungskosten der Grundbodenbearbeitung** sind keine signifikanten Zusammenhänge mit den **Parametern der Fruchtfolgen** zu finden. Der jeweilige Anteil an Feldfutter/Klee gras, Getreide, Körnerleguminosen, Hackfrüchten, Ölfrüchten und anderen Kulturen am gesamten Anbauumfang an Kulturen auf den Betrieben ist für die berechneten Arbeitserledigungskosten der Grundbodenbearbeitung ohne Relevanz. Auch die Parameter, welche die Arbeitserledigungskosten bestimmen (Schlaggröße, Schlagentfernung, Anzahl Schare je Pflug, Leistung des Schleppers, Arbeitszeitbedarf), zeigen jeweils keine signifikanten Korrelationen zu den Anteilen der verschiedenen Kulturgruppen am gesamten Anbauumfang an Früchten auf den Betrieben.

Dieses Ergebnis ist erwartungsgemäß, da nicht die tatsächlichen Arbeitserledigungskosten zur Grundbodenbearbeitung auf den Betrieben bestimmt wurden sind, sondern wie aufgeführt die Kosten aus den Variablen der Mechanisierung und des Standortes der Betriebe aus den KTBL-Standarddaten hergeleitet wurden. Ein anderes Bild könnte sich ergeben, wenn die tatsächlichen Arbeitserledigungskosten erhoben werden könnten. Diese Daten zu erheben, ist jedoch enorm zeit- und kostenaufwändig und konnte bei gegebenem Projektumfang nicht realisiert werden.

Resümierend kann festgehalten werden, dass – anders als zunächst erwartet – im untersuchten Betriebspool kaum statistisch belastbare, systematische Unterschiede in den Grundbodenbearbeitungskosten zu finden sind. Mögliche regionale (Nord, West, Mitte, Süd) und betriebsindividuelle (Größe, vorherrschender Bodentyp) Unterschiede werden von den aus methodischen Gründen notwendigen Datenergänzungen überlagert. Bezüglich der untersuchten Stichprobe kann aber gefolgert werden, dass die Betriebe offensichtlich in der Lage sind, durch standortangepasste Maschinenkonfiguration die Bearbeitungskosten auf einem durchschnittlichen Niveau von 120 €/ha zu halten. In der Realität führen einzel-



betriebliche Besonderheiten (z. B. Gebrauchsmaschinen, niedrige Reparaturkosten) zu vom Durchschnitt abweichenden Kosten.

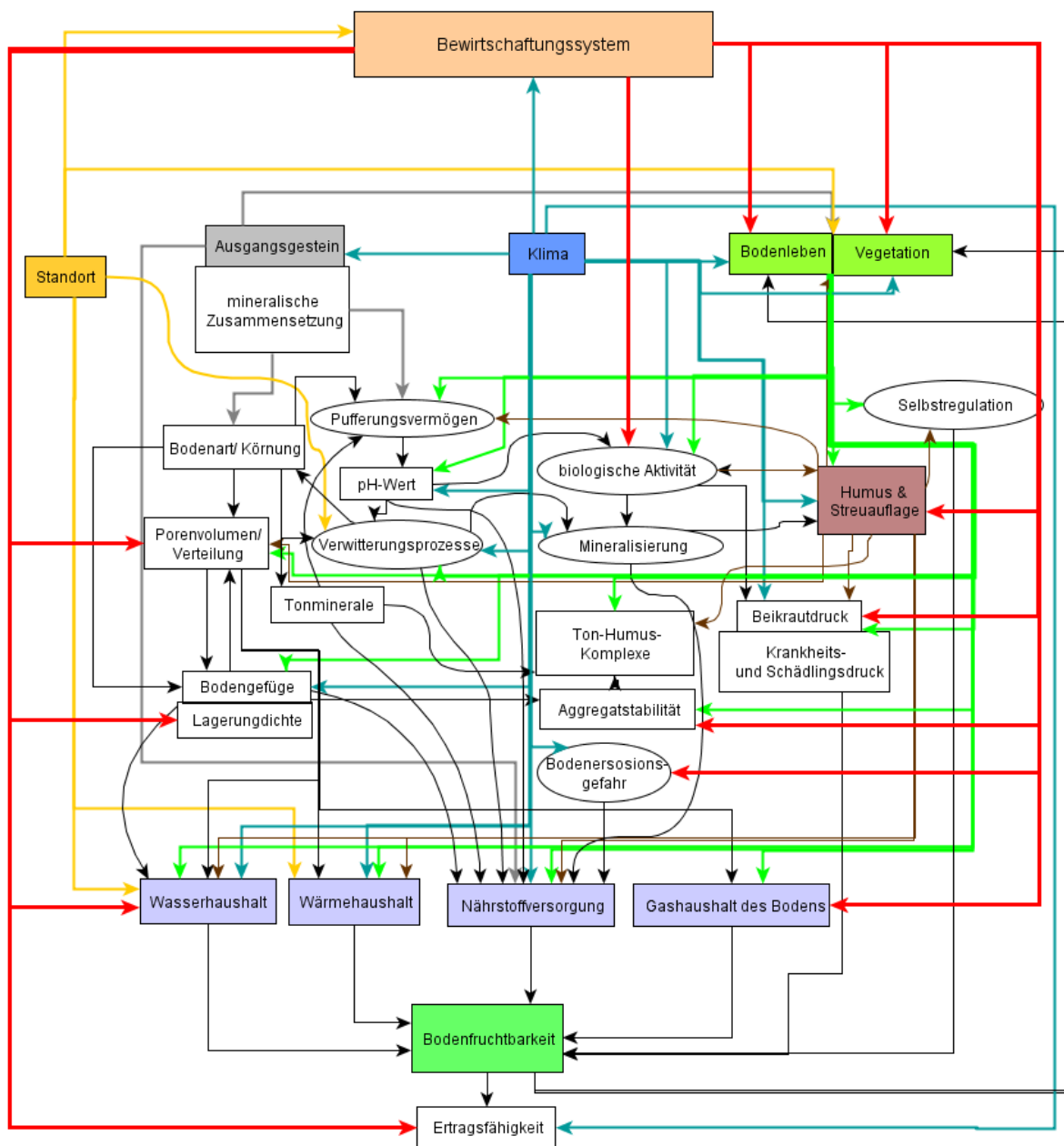
#### **4.8.2 Systemanalytische Identifizierung und Quantifizierung von Wirkungszusammenhängen zwischen Bodenbearbeitung, Rolle von Körnerleguminosen in der Fruchtfolge und Wirtschaftlichkeit der Arbeitserledigung.**

Die Bodenfruchtbarkeit umfasst in der engen Definition „...alle Eigenschaften des Bodens, die im Zusammenwirken mit den Faktoren Gesteinsgrundlage und Relief, sonstige Landschaftselemente, Klima und Wasserhaushalt bei Anwendung bestimmter Bewirtschaftungssysteme die Erzielung landwirtschaftlicher Ertragsleistungen ermöglichen“ (DABBERT 1994). Die Bodenfruchtbarkeit und ihre Kofaktoren werden in der Standortertragsfähigkeit zusammengefasst. Sie schließt: „...alle Eigenschaften der Landschaft ein, die bei Anwendung bestimmter Bewirtschaftungssysteme die Erzielung landwirtschaftlicher Ertragsleistungen ermöglicht“ (ebd.). Ein bestimmter Zustand ist zum Beginn eines Anbaujahres gegeben, deren Veränderungen durch Anbaumaßnahmen, die sich im selben Jahr ergeben, als Nutzung des vorhandenen Potentials zu sehen ist. Erst wenn durch die Durchführung bestimmter agrotechnischer Maßnahmen die Ertragsleistung über das Anbaujahr hinaus verändert wird, ist von einer Veränderung der Bodenfruchtbarkeit respektive der Standortertragsleistung auszugehen.

Die Identifizierung der Zusammenhänge und Einflussvariablen auf die Bodenfruchtbarkeit zeigt ein vielfältiges und komplexes Bild. Das Ausgangsgestein bildet die Grundlage für die Bodenentstehung und ist grundsätzlich verantwortlich für viele Faktoren, welche die natürliche Bodenfruchtbarkeit beeinflussen. Als weitere Funktionen treten das standortbedingte Relief und das Klima in Erscheinung, die bodenfruchtbarkeitsbestimmende Faktoren beeinflussen. Ebenso sind das natürlich vorkommende Bodenleben und die Standortvegetation zu nennen. Hierdurch wird die natürliche Bodenfruchtbarkeit gebildet. Durch die Bewirtschaftung des Bodens und das Bewirtschaftungssystem treten dann vielfältige Beeinflussungen auf, die die natürliche Bodenfruchtbarkeit in eine kultürliche Bodenfruchtbarkeit wandeln. Die Zusammenhänge der bodenfruchtbarkeitsbeeinflussenden Faktoren sind detailliert in Abbildung 208 dargestellt.

Die Bewirtschaftung des Bodens und das hierfür jeweils angewandte Bewirtschaftungssystem zielen in der Regel primär auf die hohe Ausnutzung des vorhandenen Potentials der Bodenfruchtbarkeit im Anbaujahr sowie nach Möglichkeit auf die längerfristige Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und damit der Standortertragsfähigkeit. Immer wird jedoch auch wie in Abbildung 208 dargestellt die Bodenfruchtbarkeit beeinflusst. In den meisten Fällen ist diese Einflussnahme vorsätzlich oder als positive Nebenwirkung gewollt (Grundbodenbearbeitung, Düngung, Pflegemaßnahmen). In anderen Fällen sind Folgen für die Bodenfruchtbarkeit marginal. Bei bestimmten agrotechnischen Maßnahmen sind die negativen Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit bekannt, werden jedoch aus ackerbaulichen Gründen ignoriert (Hackfrüchtere, Frühjahrssaat) oder sind nicht im Bewusstsein der Landwirte.

Die Wirkungsketten in Abbildung 208 zeigen die Komplexität des Phänomens „Bodenfruchtbarkeit“. Eine gezielte Steuerung ist möglich, die gezielte Ansteuerung einzelner Variablen unter Beibehaltung des Status quo anderer Variablen aber nur bedingt durchführbar. Eine naturwissenschaftliche Messung und Bewertung ist schwierig und kann nur erfolgen, wenn man sich auf die bestimmte, klar definierte Hauptwirkungen konzentriert.



**Abbildung 208: Wechselwirkung zwischen der kulturellen Bodenfruchtbarkeit und deren Einflussvariablen Ausgangsgestein (grau), Klima (blau), Standort (gelb), Bodenleben und Vegetation (Grün) sowie Bewirtschaftung (rot) und deren untergeordneten Variablen (Quelle: SCHMID 2013).**

Die ökonomische Bewertung gezielter, gewollter oder ungewollter Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit bedarf weiterer Vereinfachungen der Sachverhalte. Die Wirkmechanismen werden qualitativ unter Fokussierung auf die Zielgröße „Ertragsfähigkeit eines Standortes“ betrachtet. Es sind unterschiedliche Messkonzepte für die Bodenfruchtbarkeit entwickelt und diskutiert wurden. Hierzu gehören die Bodenparameter, die Bodenproduktivität, die Grundrente und der Reinertrag sowie die Produktionsfunktionen (vgl. DABBERT 1993). DABBERT (1994, S. 28 ff) zeigt auf, dass aufgrund unterschiedlicher Aspekte diese Messkonzepte nur bedingt tauglich oder nutzbar sind.

Als theoretisch sinnvolles Konzept ist die Erstellung der Produktionsfunktion für einen Standort zu betrachten mit  $Y=f(X)$ , wobei  $Y$ =Vektor der Pflanzenerträge pro Bodenfläche und  $X$ =Vektor der naturalen Aufwendungen pro Einheit Bodenfläche darstellen. Um eine dynamische Produktionsfunktion aufzustellen, wird der Faktor Zeit durch  $Y_t=g(X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-n})$  in die Gleichung einbezogen. Solche generellen Produktionsfunktionen lassen sich praktisch nicht bestimmen, so dass hier eine Beschränkung auf partielle Produktionsfunktionen erforderlich ist. In der Regel geschieht dies durch Vereinfachung soweit, dass auf der Aufwandseite nur ein einzelner Faktor (bspw. N-Düngung) und auf der Ertragsseite nur die Standortertragsfähigkeit eines einzelnen Jahres betrachtet wird, ohne die Veränderung der Folgejahre einzubeziehen. Diese statischen Ein-Produkt-Produktionsfaktoren sind jedoch dann soweit vereinfacht, dass sie für die Bewertung der Veränderung der Standortertragsfähigkeit nicht mehr genutzt werden kann. Dabbert empfiehlt daher, dynamische Ein-Produkt-Funktionen zu entwickeln und in gesamtbetriebliche Modelle zu integrieren, um die Gesamtwirkung eines Anbausystems abzuschätzen. Hierfür sollen die Kofaktoren als exogene Unbeständige mit eingegliedert werden, um die Bodenfruchtbarkeit in ihrer Veränderung gesondert darstellen zu können. Auch wenn Dabbert hier vielfältige Mess- und Schätzprobleme und praktische Schwierigkeiten bei der Anwendung sieht, ist es doch das theoretisch geeignetste Modell (vgl. DABBERT 1994).

Wie in den folgenden Kapiteln dargestellt, sind die bodenfruchtbarkeitsverbessernden Maßnahmen, die im Projekt entwickelt wurden, als singuläre Faktoren in die Bewertung eingeflossen. Als Maß für die Standortertragsfähigkeit wurden die von den Landwirten übermittelten durchschnittlichen Erträge der Kulturen verwendet. Diese werden analog zu den in den durchgeführten Feldversuchen gefundenen Ertragsveränderungen variiert. Eine Dynamisierung fand über die Betrachtung der Fruchtfolge, in welche die betreffende Kultur auf den Betrieben integriert ist, statt. Auf Ebene des Betriebszweigs Ackerbau müssen dabei gegebenenfalls in der Regel zwei, teils drei Fruchtfolgen zusammengefasst werden (mit der Folge einer gewissen Verwässerung, die aber genau die betrieblichen Konsequenzen darstellt). Da die Ertragsveränderungen durch veränderte Bewirtschaftung in den Feldversuchen über mehrere Jahre erhoben wurden, kann den durchschnittlichen Ertragsveränderungen, wie sie der jeweiligen Kultur unterstellt wurden, ein gewisser Dynamisierungseffekt zugesprochen werden. Innerhalb der Fruchtfolge gab es die Dynamisierung insofern, dass, soweit hierfür Daten vorlagen, über den Einbezug der Veränderung der Ertragsfähigkeit der Nachkultur ebenfalls quantitative Aussagen getroffen wurden. Durch eine Risikomodellierung wurden die dargestellten Wechselwirkungen zwischen dem veränderten, untersuchten Produktionsfaktor und den die Bodenfruchtbarkeit beeinflussenden Variablen und sonstigen exogene Einflussfaktoren auf die Standortertragsfähigkeit mit berücksichtigt (vgl. Kap. 3.1.6).

Für den Vorfruchtwert wurden die Wechselwirkungen gleichfalls in einer Systemanalyse aufgeschlüsselt. Ein besonderes Augenmerk wurde im Projekt auf den Einfluss der Fruchtfolge auf die Bodenfruchtbarkeit gelegt. Explizit lag der Fokus darauf, über die Optimierung des Körnerleguminosenanbaus zur Verbesserung des Vorfruchtwertes beizutragen - und damit über den Faktor „Vegetation“ auf die Bodenfruchtbarkeit einzugreifen. Die Einflussnahme einer Kultur der Fruchtfolge auf die darauffolgende, die über den Vorfruchtwert abgebildet wird, ist ebenso vielfältig, komplex und wechselseitig in ihrer Wirkung der Einzelfaktoren wie auf für die Bodenfruchtbarkeit dargestellt. Abbildung 209 schlüsselt die Beziehungen noch einmal auf und zeigt gleichfalls die Veränderung und Einflüsse der Wirkungsweise der Kulturen im zeitlichen Nacheinander, wenn einzelne agrotechnische Maßnahmen zur Kultur verändert werden.

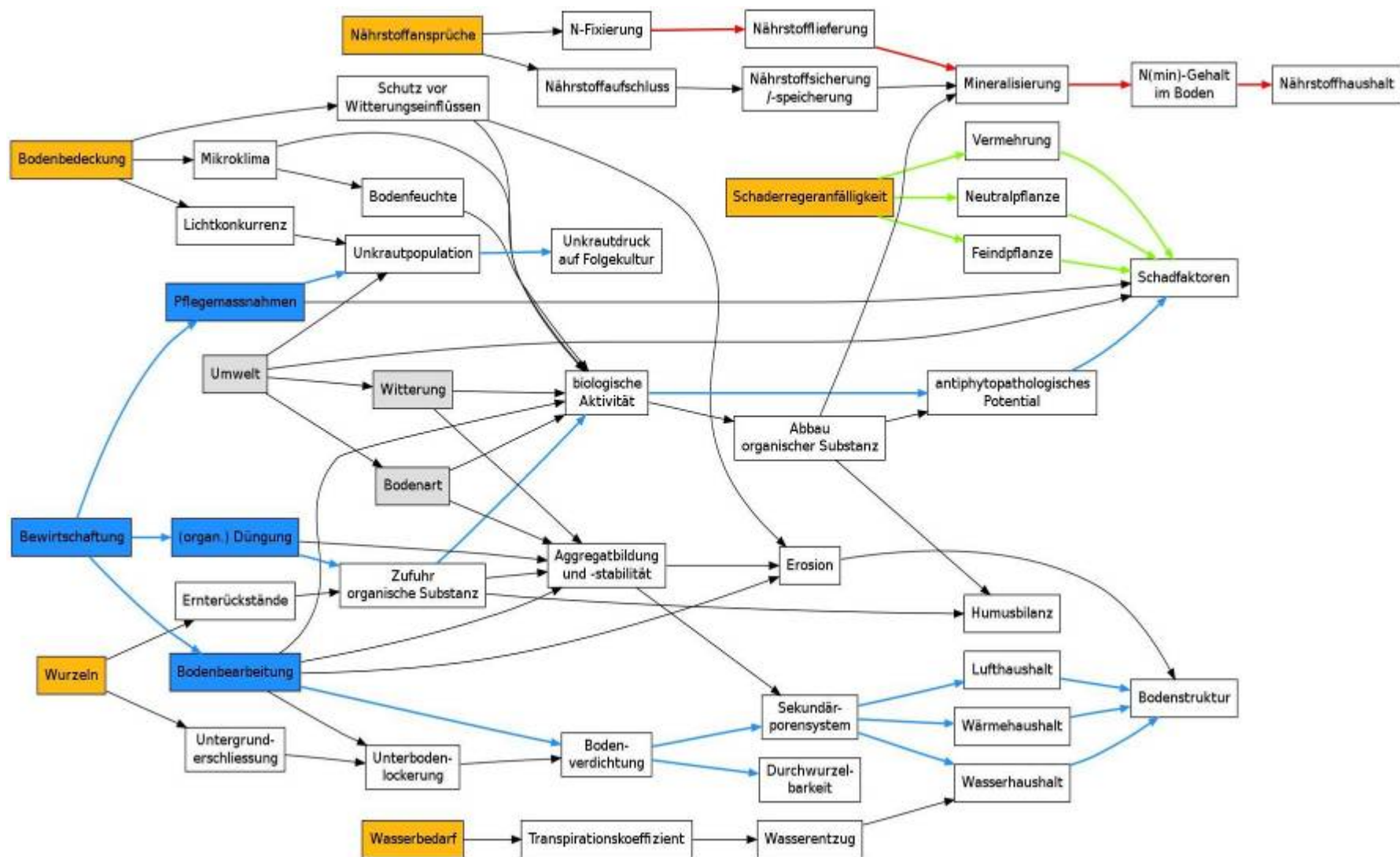


Abbildung 209: Einfluss und Wechselwirkung der Standortfaktoren (grau), der Ansprüche der Kulturpflanze (gelb) und der Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Kulturpflanze (blau) auf deren Vorfruchtwert für die Folgekultur (eigene Darstellung)

Anschließend an die qualitative Systemanalyse wurden die Daten auch quantitativ überprüft: Inwieweit die Körnerleguminosen einen expliziten monetären Beitrag auf die Marktleistung der Fruchtfolge und des Betriebszweigs Ackerbau bei den untersuchten Betrieben besitzen, ist für die vorhandenen Daten untersucht worden. Festzustellen ist, dass keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Marktleistung, den variablen Maschinenkosten, dem Deckungsbeitrag, dem Arbeitszeitbedarf und den direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen je Hektar zwischen den Fruchtfolgen mit und ohne Körnerleguminosen (ja/nein-Beziehung) zu finden sind.

Deutlich signifikante Wirkungen hat jedoch ein steigender Körnerleguminosenanteil in der Fruchtfolge. Marktleistung und Deckungsbeitrag sowie direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung der Fruchtfolge steigen mit steigendem Anteil an Körnerleguminosen in der Fruchtfolge signifikant an. Die variablen Kosten, die fixen Maschinenkosten und der Arbeitszeitbedarf hingegen sind nicht in signifikantem Zusammenhang mit dem Anteil an Körnerleguminosen an der Fruchtfolge zu bringen (Tabelle 171).

**Tabelle 171: Produkt-Moment-Korrelation zwischen dem Anteil an Körnerleguminosen an der Fruchtfolge und Faktoren zur Kosten-Leistungs-Berechnung für die Fruchtfolgen je ha Ackerland**

Faktor	r <sup>*</sup>	p-Wert
Marktleistung (€/ha)	0,2305	0,0085**
Variable Kosten (€/ha)	0,0638	0,4663
Deckungsbeitrag (€/ha)	0,2667	0,0023**
Arbeitszeitbedarf (Akh/ha)	0,0838	0,3391
Fixe Maschinenkosten (€/ha)	0,0711	0,4172
Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (€/ha)	0,2260	0,0099**

\*Rankkorrelationskoeffizient als Kendalls tau-a

\*\* p ≤ 0,05: signifikant

Weshalb die Fruchtfolgen mit steigendem Körnerleguminosenanteil höhere Leistungen je Fruchtfolge und daraus auch resultierend höhere Deckungsbeiträge und direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen je Hektar Fruchtfolge Fläche erbringen, lässt sich mit dem vorliegenden Datensatz nicht endgültig erklären.

Schaut man auf den Anteil der der anderen Kulturen in den Fruchtfolgen, so zeigt sich als einziger signifikanter Zusammenhang, dass bei zunehmendem Anteil an Körnerleguminosen weniger Getreide in der Fruchtfolge angebaut wird. In den Fruchtfolgen mit höherem Körnerleguminosenanteil steigt der Anteil an Ackerbohnen überproportional. Die Ackerbohnen, als ertragsstabilere und mit höheren Erträgen angebaute Kultur als die Erbsen, sind in den Deckungsbeiträgen und direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen dem Winterweizen auf den Betrieben nicht unterlegen (siehe unten). Zumindest gilt dies für die Daten, die auf den Betrieben erhoben wurden und bei den unterstellten Marktpreisen für Produkte und Produktionsfaktoren (z. B. 43,50 €/dt Erbsen bzw. Ackerbohnen, 36,50 €/dt Winterweizen), die von den in der Praxisfeedbackrunde befragten Landwirten als realistisch bestätigt wurden. Für andere Getreide, die geringere Erträge oder Marktleistungen erzielen als der Winterweizen, kann damit der Anbau von Körnerleguminosen eine lohnenswerte Alternative sein.



Allerdings können die höheren Leistungen in den Fruchtfolgen auch von anderen Effekten herrühren: Wie den Korrelationsberechnungen zu entnehmen ist, steigt mit zunehmendem Anteil an Körnerleguminosen auch der Anteil an Hackfrüchten und der Anteil an Klee gras/Feldfutter sinkt. Dazu passend sind die steigenden variablen Kosten und der Bedarf an Arbeitszeit in den Fruchtfolgen mit höherem Körnerleguminosenanteil. Wenn auch diese Zusammenhänge nicht signifikant sind, bestätigen sie Beobachtungen auf den Betrieben: Einzelne Betriebe bauen als Hauptvermarktungskultur Kartoffeln an. Sie verzichten auf den Anbau von Klee gras, um hohe Kartoffelqualitäten zu erreichen. Diese Fruchtfolgen haben dann besonders hohe Leistungen, insbesondere gegenüber Fruchtfolgen, die hohe Anteile an Klee gras/Feldfutter haben (vgl. Tabelle 172).

Für die Körnerleguminosen wurde als Leistung ausschließlich der Marktwert der Körner angesetzt, es fand keine Bewertung des fixierten Stickstoffs statt. Allerdings wurde die Menge des für die Düngungskosten in Ansatz zu bringenden Stickstoffs auf null gesetzt.

**Tabelle 172: Korrelation zwischen dem Anteil an Körnerleguminosen an der Fruchtfolge und anderen Kulturen in der Fruchtfolge und des Viehbestandes je Hektar Ackerland**

Faktor	r <sup>*</sup>	p-Wert
Anteil Erbsen (%)	0,3309	0,001**
Anteil Ackerbohnen (%)	0,4147	<0,001**
Anteil Hackfrüchte (%)	0,0980	0,3242
Anteil Klee gras/Feldfutter (%)	-0,0907	0,3276
Anteil Getreide (%)	-0,1871	0,0428**
Anteil Wintergetreide (%)	-0,1733	0,0591
Anteil Sommergetreide (%)	-0,0565	0,5447
Anteil Ölfrüchte (%)	-0,1230	0,2377
Viehbestand (GV/ha AL)	-0,1272	0,1596

\*Rankkorrelationskoeffizient als Kendalls tau-a

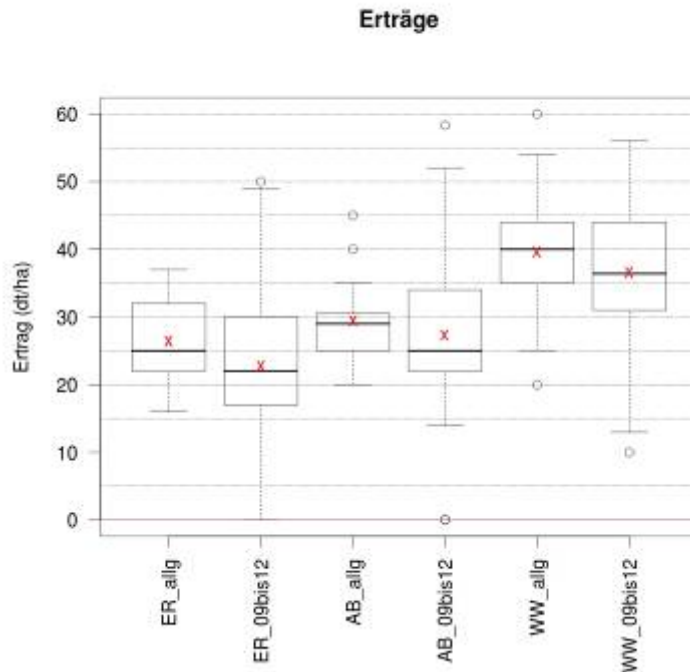
\*\* p ≤ 0,05: signifikant

In der detaillierten Betrachtung sind keine signifikanten Zusammenhänge zwischen einem höheren Anteil an Körnerleguminosen in der Fruchtfolge und den Erträgen der Getreidekulturen Winterweizen und Dinkel zu finden. Für andere Kulturen wird gleiches gelten. Der vorliegende Datensatz ist nicht dafür geeignet, einen möglicherweise positiven Vorfruchtwert der Körnerleguminosen in einer Fruchtfolge abzubilden. Naturwissenschaftlich nachzuweisende Effekte werden aufgrund des groben Rasters der Daten (z. B. nur ein durchschnittlicher Ertragswert für jede Kultur) durch andere Effekte (Klee gras/Feldfutteranbau, organische Düngung) überdeckt.

Ob und inwieweit sich der Arbeitsaufwand für den Anbau der Körnerleguminosen für die Betriebe rechnet, wird im Folgenden diskutiert. Die dargestellten Kosten-Leistungsrechnungen umfassen zum einen die Körnerleguminosen Erbse und Ackerbohne auf den untersuchten Praxisbetrieben und zum anderen den Winterweizen. Berechnet sind Ergebnisse, wie sie sich aus den durchschnittlichen Aufwendungen und Leistungen ergeben, welche die Betriebsleiter für ihren Standort, Wirtschaftsweise und betrieblichen Gegebenheiten in den Fragebögen angaben. Weiterhin sind die Ergebnisse dargestellt, wie sie sich im Durchschnitt für die Untersuchungsjahre 2009 bis 2012 ergaben, wenn die tatsächlichen Saatstärken, Erträge und durchgeführten Anbau- und Pflegemaßnahmen kalkuliert sind.



Wie aus Abbildung 210 ersichtlich, liegen die durchschnittlichen Erträge der Jahre 2009 bis 2012 für alle Kulturen unterhalb der Werte, welche die Landwirte als Durchschnitt für ihren Betrieb angaben. Ursache sind hier vor allem die starkem Mindererträge und Ertragsausfälle bei den Körnerleguminosen.

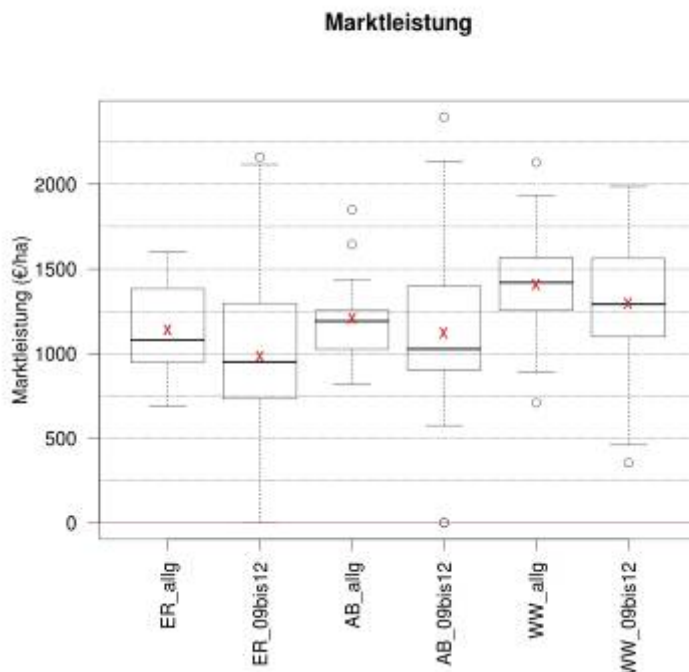


**Abbildung 210: Boxplots zu den Erträgen der Erbsen (ER), Ackerbohnen (AB) und Winterweizen (WW) auf den Praxisbetrieben als Durchschnittsangabe für die jeweiligen Betriebe (allig.) und für die Untersuchungsjahre 2009-2012 (09bis12) – dargestellt sind  $Q_0$ ,  $Q_{25}$ ,  $Q_{50}$  (Median),  $Q_{75}$  und  $Q_{100}$  und Mittelwert (rotes Kreuz).**

In den Durchschnittsangaben der Landwirte scheinen sehr starke Mindererträge und Ertragsausfälle keine Berücksichtigung gefunden haben. Auffällig sind die Ertragsausfälle insbesondere bei den Erbsenerträgen der Jahre 2009 bis 2012. Hier sind sie nicht als Ausreißer sondern als Minimalerträge in den Boxplotdarstellungen abgebildet. Damit liegen sie im Rahmen des Medianes abzüglich des Anderthalbfachen der Differenz zwischen dem 0,75 und 0,25 Quantil, was bedeutet, dass 25 % der Erbsenerträge in den Untersuchungsjahren zwischen 0 und 17 dt/ha lagen und die Ertragsausfälle nicht als Ausnahmefälle einzustufen sind. Immerhin wurden von 67 untersuchten Erbsenschlägen in den Jahren 2009 bis 2012 sechs Schläge nicht geerntet. Die Gründe hierfür waren der Umbruch nach mangelhaftem Feldaufgang, sehr starke Verunkrautung oder schwierige Erntebedingungen. Trotz fehlender Leistung sind dabei Kosten für die Aufwendungen angefallen. Bemerkenswert ist weiterhin, dass 75 % der Betriebe bei den Futtererbsen in den Jahren 2009 bis 2012 nicht über einen Ertrag von 30 dt/ha kamen. Bei den Ackerbohnen schaut es ähnlich aus. Der Winterweizen weist eine große Spannweite für die Erträge auf, die jedoch deutlich oberhalb der erzielten bzw. erwarteten Erträge der Körnerleguminosen liegt. Die geringste Spannweite kann sowohl bezüglich der Durchschnittswerte als auch für die Untersuchungsjahre bei den Ackerbohnen konstatiert werden. Von den untersuchten Ackerbohenschlägen wurden nur zwei Schläge in den Untersuchungsjahren nicht erntet. Beide Fälle traten bei einem Landwirt auf, der die Ackerbohnen hauptsächlich aus Düngungsgründen denn als Marktfrucht anbaut und sie nur erntet, wenn sie sehr gut gelingen.

Die Marktleistungen für die geernteten und gereinigten Erträge der Durchschnittswerte und der Untersuchungsjahre sind in Abbildung 211 dargestellt. Entsprechend der verrechneten Ertragswerte streuen die Marktleistungen in einem weiten Bereich. Die anhand der durchschnittlichen Erträge berechneten Durchschnittsmarktleistungen streuen erwartungsgemäß weniger stark. Gleichfalls in Übereinstimmung mit den Ertragsdaten sind die Marktleistungen der Jahre 2009-2012 geringer als die anhand der durchschnittlichen Ertragsdaten berechneten Ergebnisse.

Ersichtlich ist, dass für die Körnerleguminosen geringere Marktleistungen je Hektar erzielt werden als für den Winterweizen, obwohl der Verkaufspreis für Winterweizen mit 36,50 €/dt und für Erbsen und Ackerbohnen mit 43,50 €/dt veranschlagt wurde. Ursache sind die höheren Erträge des Winterweizens auf den Betrieben. Der Winterweizen weist zwar eine große Spannweite der Erträge auf, die jedoch deutlich oberhalb der erzielten bzw. erwarteten Erträge der Körnerleguminosen liegt. Die geringste Spannweite kann sowohl bezüglich der Durchschnittswerte als auch für die Untersuchungsjahre bei den Ackerbohnen konstatiert werden. Gleiches gilt für die Differenzen zwischen den Erbsen und den Ackerbohnen.



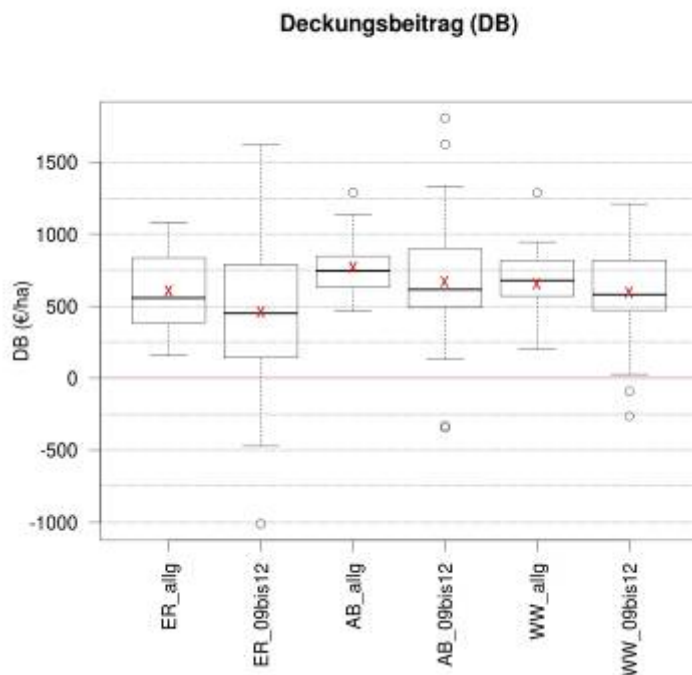
**Abbildung 211: Boxplots zu den Marktleistungen der Erbsen (ER), Ackerbohnen (AB) und Winterweizen (WW) auf den Praxisbetrieben als Durchschnittsangabe für die jeweiligen Betriebe (allg.) und für die Untersuchungsjahre 2009-2012 (09bis12) – dargestellt sind Q0, Q25, Q50 (Median), Q75 und Q100 und Mittelwert (rotes Kreuz).**

Die Deckungsbeiträge der Kulturen sind in Abbildung 212 dargestellt. Bei Berücksichtigung der Produktionskosten nähern sich die Werte von Winterweizen und Ackerbohnen an. Hier zeigen sich nun Entwicklungen aufgrund der verrechneten Aufwendungen für die einzelnen Kulturen, die aus den Marktleistungen nicht ersichtlich sind. Dadurch sind die Deckungsbeiträge, wie sie für den Winterweizen kalkuliert wurden in etwa gleichauf mit den Beträgen der Ackerbohnen. Auch Erbsen erreichen ähnliche Deckungsbeiträge, allerdings durchweg niedriger als bei den Vergleichskulturen. Der Abstand zwischen den Erbsen und den anderen beiden Kulturen verringert sich, allerdings sind sie die Kultur, welche die geringsten Deckungsbeiträge erbringt.

Die Veränderung der Verhältnisse zwischen den Körnerleguminosen ist in zweierlei begründet: Die wichtigsten Nährstoffe wurden in den Deckungsbeitragsrechnungen über den Entzug bewertet, der anhand des Ertrages ermittelt wurde. Stickstoff wurde dabei mit 2,50 €/kg angesetzt.

Aufgrund der Tatsache, dass die Körnerleguminosen Luftstickstoff fixieren, wurde unterstellt, dass dadurch der Bedarf für die erzielten Erträge gedeckt ist. Eine kalkulatorische Nebenleistung für eventuelle Stickstofffixierung wurde nicht bewertet. Die Stickstoffbilanz der Körnerleguminosen ist schwierig einzuschätzen. Die N-Bilanz ist in der Regel leicht positiv. Jedoch abhängig von der Witterung, vom Boden-N-Vorrat auf dem Schlag, vom aufgewachsenen und dem tatsächlich abgeernteten Ertrag kann die Stickstoffbilanz auch negativ ausfallen (SCHMIDTKE 2004). Aus methodischen Gründen wurde daher die N-Bilanz pauschal auf  $\pm 0$  kg N/ha für die Körnerleguminosen angesetzt. Für die Düngung wurden damit der Nährstoffentzug für P, K und Mg bewertet. Er lag je nach Ertrag auf den Betrieben zwischen 7 und 106 €/ha und im Durchschnitt bei 34 €/ha.

Für den Winterweizen liegen die angesetzten kalkulatorischen Kosten für den Nährstoffentzug (inkl. Stickstoff) zwischen 79 und 441 €/ha und im Mittel bei 289 €/ha. Sie sind somit nicht unerheblich. Weiterhin wird auf einem Teil des Winterweizens auf den Betrieben eine Wirtschaftsdüngerausbringung vollzogen, die für das Erreichen der angegebenen Erträge als unerlässlich eingeschätzt wurden. Die Ausbringungskosten haben je nach verwendeter Technik bzw. bestelltem Lohnunternehmer gleichfalls deutliche Auswirkungen. Auffällig ist jedoch, dass für die Erbsen in etwa 20 % der Fälle in den Untersuchungsjahren keine positiven Deckungsbeiträge erreicht werden konnten. Ursache sind die teilweise deutlichen Mindererträge bzw. Ertragsausfälle. Bei den Ackerbohnen und dem Winterweizen sind die Fälle mit negativen Deckungsbeiträgen dagegen als Ausreißer zu betrachten.

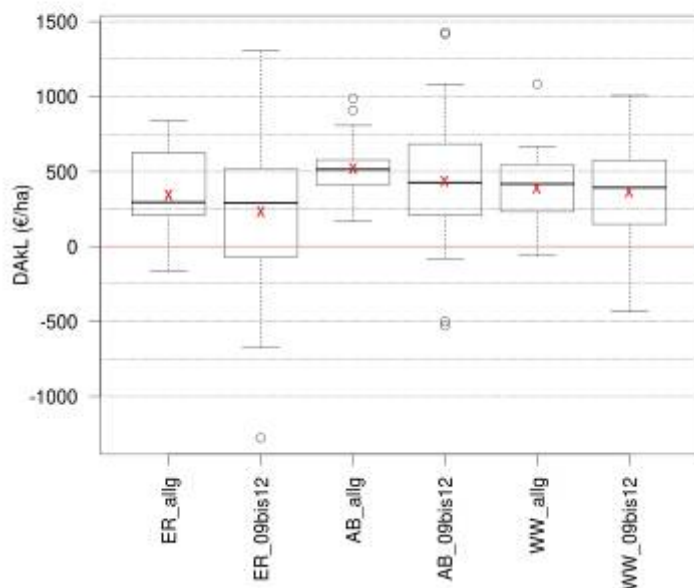


**Abbildung 212: Boxplots zu den Deckungsbeiträgen der Erbsen (ER), Ackerbohnen (AB) und Winterweizen (WW) auf den Praxisbetrieben als Durchschnittsangabe für die jeweiligen Betriebe (allg.) und für die Untersuchungsjahre 2009-2012 (09bis12) – dargestellt sind Q0, Q25, Q50 (Median), Q75 und Q100 und Mittelwert (rotes Kreuz).**

Wenn zusätzlich die fixen Maschinenkosten sowie die bewertete Arbeitszeit in die Kalkulation mit einbezogen und die direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen berechnet werden, ergeben sich Ergebnisse, wie sie in der Abbildung 212 dargestellt sind. Es gibt eine kleine Verringerung der Differenz zwischen Körnerleguminosen und Winterweizen, die aus geringfügig höheren Arbeitszeiten und fixen Maschinenkosten je Hektar im Getreide resultieren. Insgesamt zeigt sich deutlich, dass für alle untersuchten Kulturen Fälle aufgezeigt werden können, die negative Ergebnisse aufweisen. Besonders deutlich ist es, wie schon bei der Berechnung der Deckungsbeiträge dargestellt, für die Erbsen. Hier wurde in etwa 27 % kein positives Ergebnis erreicht. Auffällig ist, dass auch im Winterweizen für die Untersuchungsjahre etwa 15 % gleichfalls DAkL von weniger als 0,00 €/ha ausweisen.

Aus methodischen Gründen sind die dargestellten Ergebnisse nicht dazu geeignet, einzelbetriebliche Aussagen zu machen. Zum einen werden die veranschlagten variablen und fixen Maschinenkosten, die aus der Datensammlung des KTBL erhoben wurden, von den betrieblichen in bestimmten Fällen abweichen. Dies gilt insbesondere bei kleineren Betrieben, die eine abgeschriebene Mechanisierung nutzen. Desweiteren werden nicht alle Landwirte einen Lohnansatz von 15,00 €/Akh für sich veranschlagen. Die kalkulierten Verkaufspreise werden auf einzelnen Betrieben auch besser verhandelt worden sein. Andererseits sind aus den Praxisrückkopplungen auch gegenteilige Angaben, d. h. niedrigere Verkaufspreise, vermerkt worden (vgl. Kap. 4.8.5) bzw. die dargestellten Preise als realistisch eingeschätzt worden.

### Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (DAKL)



**Abbildung 213: Boxplots zu den direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen der Erbsen (ER), Ackerbohnen (AB) und Winterweizen (WW) auf den Praxisbetrieben als Durchschnittsangabe für die jeweiligen Betriebe (allg.) und für die Untersuchungsjahre 2009-2012 (09bis12) – dargestellt sind Q0, Q25, Q50 (Median), Q75 und Q100 und Mittelwert (rotes Kreuz).**

Die grundsätzliche Tendenz der Kosten-Leistungsrechnungen für die Kulturen sowie die Verhältnisse zwischen den Kulturen sind in der vorgestellten Höhe jedoch als realistisch einzuschätzen. Damit lässt sich auch zum Teil der sinkende Anbauumfang von Erbsen erklären, wie er allgemein, im ökologischen Landbau, aber auch bei den untersuchten Betrieben festzustellen ist.

Der in Abbildung 213 beschriebene hohe Anteil an negativen Ergebnissen für die Erbsen wird auf den Betrieben unter Umständen als noch höher wahrgenommen, wenn die Erbsen nicht verkauft, sondern innerbetrieblich genutzt werden. Eine Wertzumessung in Höhe von 43,50 €/dt wird nicht immer stattfinden. Andere Konfliktpunkte sind neben der niedrigen monetären Leistung die Arbeits(zeit)aufwendungen für diese Kultur, Ertragsausfälle und Verunkrautung. Diese haben zwar ökonomische Auswirkungen, der Ausstieg aus dem Erbsenanbau wird jedoch eher aufgrund weicher, nicht monetär zu bewertender Gründe erfolgen.

Die im Projekt untersuchten Möglichkeiten, die Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau zu erhöhen, speziell und im besonderen den Anbau von Körnerleguminosen betreffend, ist vor dem dargestellten Hintergrund der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen der Körnerleguminosen auf den untersuchten Betrieben mit ökologischem Landbau in unterschiedlichen Regionen Deutschlands folgerichtig und notwendig.

## 4.8.3 Maßnahmenbewertung

### 4.8.3.1 Bodenbelastung – Anschaffung einer Reifeninnendruckregelanlage zur Bodenschonung

#### Einführung

Die ökologischen und ökonomischen Vorteile eines angepassten Reifeninnendrucks bei Ackerarbeiten sind bekannt. Ebenso sind die Techniken, die zur Zielerfüllung genutzt werden können wie beispielsweise eine Reifeninnendruckregelanlage (RDA), seit längerem verfügbar. Dennoch scheuen viele Landwirte das Risiko, in eine RDA zu investieren (vgl. Kap. 4.8.5). Die Frage, ob ökonomische Hinderungsgründe ausschlaggebend sein könnten, wurde im Zusammenhang mit der ökonomischen Bewertung der Ergebnisse zur Auswirkung der Bodenbelastung zur Aussaat von Körnererbsen behandelt, die im Projekt erarbeitet wurden.

Eine RDA bringt in verschiedener Hinsicht Vorteile für die Landwirte, z. B. durch Dieseleinsparungen aufgrund verringerten Schlupfs bei Ackerarbeiten sowie aufgrund verringerten Rollwiderstandes bei erhöhtem Reifeninnendruck bei Straßenfahrten. Es verringert sich auch die Arbeitszeit bei den Ackerarbeiten durch verringerten Schlupf. Die Diesel- und Arbeitszeiteinsparungen durch eine RDA sind beschrieben (vgl. BRUNOTTE et al. 2011), es fehlen jedoch vollständige Kosten-Nutzenrechnungen. Sie sind für einzelne Kulturen hilfreich, aussagekräftiger sind jedoch Betrachtungen über Fruchtfolgen und für den Betriebszweig (BZ) Ackerbau unter Beachtung der Nutzen und Kosten einer RDA.

Ein weiterer Aspekt ist der geschonte Boden, vor allem hinsichtlich verringerter Bodenverdichtung durch die Ackerarbeiten mit niedrigem Reifeninnendruck. Der Nutzen einer RDA anhand der verringerten Bodenschädigung wurde analog aus den Ergebnissen aus dem Projekt übertragen (vgl. Kapitel 3.1.6). Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen die ökonomischen Auswirkungen einer RDA auf das Produktionsverfahren Erbsen, die Fruchtfolgen und den BZ Ackerbau der ausgewählten Betriebe anhand detaillierter einzelbetrieblicher Berechnungen und Einschätzung des Risikos anhand von Monte-Carlo-Simulationen (MCS).

Untersucht wurde die Auswirkung zweier Optimierungen. Die Anschaffung einer Reifeninnendruckregelanlage und darauf aufbauend eine Verbreiterung der Sätechnik zur Verringerung der überfahrenen Fläche:

1. Reifeninnendruckverstellanlage (RDA): Die Schlepper auf den Betrieben würden mit einer RDA für beide Achsen ausgestattet<sup>1</sup>
2. Saattechnik mit 6 m Arbeitsbreite (AB): Überprüft wird, ob die auf den Betrieben vorhandene Zugkraft zusätzlich zur RDA das Potential für eine Erweiterung der Sätechnik (inklusive kombinierter Geräte) von 3 m auf 6 m besteht.

Grundannahme ist, dass alle Schlepper, die auf den Betrieben für Ackerarbeiten eingesetzt werden, mit einer RDA für beide Achsen ausgestattet werden. Nach BRUNOTTE et al. (2011) sind die nachrüstbaren RDA mit 4.000 € Kaufpreis, 12 Jahren oder 10.000 Std. Nutzungsdauer sowie variablen Kosten von 0,14 €/Std. angesetzt. Sie kann vom Sitz aus und ohne Mehrarbeit gesteuert werden. Auf Basis einer Literaturanalyse von BRUNOTTE et al. (2011) wird zugrunde gelegt, dass von 5 % bis 15 % und durchschnittlich 10 % des Kraftstoffs sowie der produktiven

---

<sup>1</sup> Anschaffungspreis: 4.000 €, 12 Jahren oder 10.000 Stunden Nutzungsdauer, variable Kosten von 0,14 €/Std, steuerbar ohne Mehrarbeit vom Sitz aus (Brunotte et al., 2011)



Feldarbeitszeit<sup>2</sup> einspart werden. Angesetzt wurde ein sehr konservativer Faktor von 0,5 zur Ermittlung der produktiven Arbeitszeit aus den KTBL-Standardgesamtarbeitszeiten der jeweiligen Bearbeitungsgänge. Für die Monte-Carlo-Simulation wurden die Einsparungen an Diesel und Arbeitszeit als dreiecksverteilt unterstellt.

Die zu erwartende Ertragsveränderung der Erbsen durch verringerte Bodenbelastung wurde auf Basis der Feldversuche von WILD et al. (2012) berücksichtigt. Da nicht die gesamte Fläche bei der Aussaat belastet wird, wurden die Ergebnisse umgerechnet auf die überfahrene Fläche bei einer AB von 3 m: Der Erbsenertrag steigt durch verringerte Bodenbelastung im Mittel um 9,7 % je Hektar. Der Effekt kann bei einer Reduktion des Kontaktflächendrucks durch eine RDA ebenso unterstellt werden.

Des Weiteren wurden die Investitionskosten in bodenschonende Technik für die Betriebe über die Nutzungsdauer gegenüber dem monetär erfassbaren Mehrnutzen analysiert. Hierzu wurden die zusätzlichen Investitionskosten der RDA und im zweiten Schritt bei passender Zugstärke der Schlepper zusätzlich die Differenzen zwischen den Anschaffungskosten für Sätechnik und kombinierter Geräte von 3 m und 6 m dem zukünftigen finanziellen Nutzen, abgezinst auf die Gegenwart, gegenüber gestellt. Die Anschaffung neuer Sätechnik erfolgt nur, wenn die gegenwärtige im betrachteten Betrieb vollständig abgeschrieben ist.

### **Wirtschaftliche Auswirkung einer Reifeninnendruckregelanlage auf Dieseldkosten und Arbeitszeit**

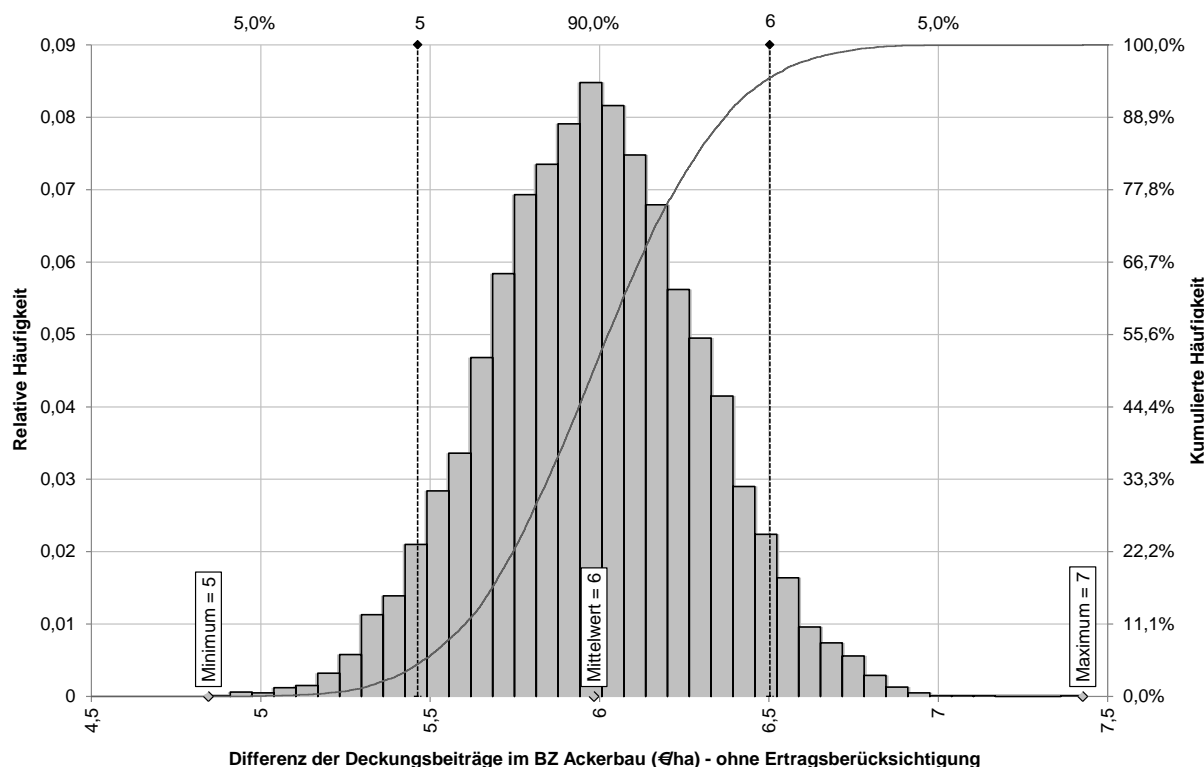
Im ersten Teil der Untersuchungen wurde die Auswirkung einer RDA ausschließlich hinsichtlich ihres Nutzens durch die Reduzierung des Diesel- und Arbeitszeiteinsatzes bewertet. Die Ergebnisse bei Kalkulation von pauschal 10 % Treibstoffeinsparung zeigen, dass im Mittel 9,50 l Diesel/ha (entsprechend 9,97 €/ha bei 1,05 €/l) Ackerfläche (AF) eingespart werden können. Dieses Einsparpotential an Kraftstoff übersteigt die variablen und fixen Kosten für die RDA, die bei den Betrieben zwischen 1,44 und 7,93 €/ha AF liegen. Im Mittel können so durch die Dieseleinsparung durch die RDA +5,98 €/ha AF gewonnen werden. Die Spannweite zwischen den Betrieben reicht von +1,68 bis +12,04 €/ha AF.

Eine Variation der Dieseleinsparungen in der Monte-Carlo Simulation im Bereich von 5 bis 15 % lässt erkennen, dass das Potential einer Kostendeckung für RDA sowie zusätzlicher Einsparungen auch unter eher ungünstigen Bedingungen, das heißt geringere Dieseleinsparung als die veranschlagten 10 %, gegeben ist. Verdeutlicht wird dies durch die Variationen in den Differenzen der Deckungsbeiträge je Hektar Ackerfläche für den Betriebszweig Ackerbau auf den untersuchten Betrieben wie in Abbildung 214 dargestellt.

Die Verteilung der Mittelwerte der DB-Differenzen weist aus, dass in 90 % der Fälle Vorteile durch Dieseleinsparung im engen Rahmen zwischen +5,46 € und +6,50 €/ha erzielt werden. Fünf Prozent der Betriebe haben weniger als 5,46 €/ha AF an Mehrerlös aufgrund des Einsatzes der RDA, jedoch nicht weniger als 4,85 €/ha AF. Mehrerlöse zwischen 6,50 und 7,43 €/ha AF erreichen die besten 5 % der Betriebe. (vgl. Abbildung 214).

Die Ergebnisse für die einzelnen Fruchtfolgen auf den Betrieben sind ähnlich. Fruchtfolgen mit treibstoffintensiven Arbeitsverfahren (Pflug, Hackfrüchte) profitieren erwartungsgemäß von einer RDA stärker (Ergebnisse nicht dargestellt).

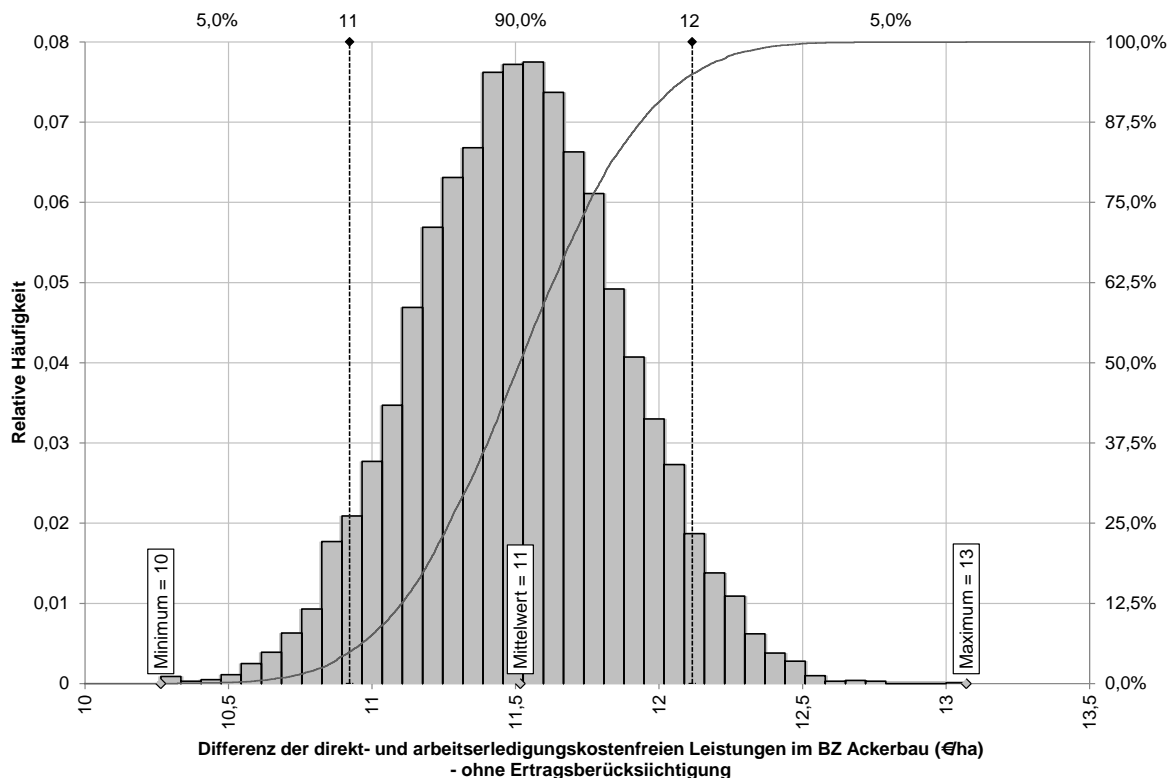
<sup>2</sup> Die eigentliche Arbeitszeit der Feldarbeit, ohne Rüst- oder Wendezeiten u. ä.



**Abbildung 214: Verteilung der durchschnittlichen Deckungsbeitragsdifferenzen zwischen ohne und mit Einsatz einer Reifeninnendruckregelanlage für den Betriebszweig Ackerbau von 22 Betrieben bei je 10.000 Variationen des Dieserverbrauchs und der Arbeitszeit**

Die weiteren Vorzüge einer RDA zeigen sich, wenn man die Zeitersparnis mit betrachtet. Bei der pauschalen Bewertung von 10% der produktiven Feldarbeitszeit zeigt sich ein Ersparnis von durchschnittlich -0,35 AKh/ha AF auf. Bei dem unterstellten Lohnansatz von 15 €/AKh sind es -5,25 €/ha AF an (kalkulatorischen) Lohnkosten. Unter Berücksichtigung der Kosten für die RDA sowie pauschal 10 % Dieseleinsparungen ergibt sich daraus eine Veränderung der direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistung für die Betriebszweige Ackerbau auf den Betrieben von +11,52 €/ha AF. Bei Betrachtung der Betriebsergebnisse ergibt sich eine Spannweite von +6,62 bis +19,99 €/ha AF. Die Ergebnisse für die Fruchtfolgen fallen ähnlich aus: Im Mittel können bei global angesetzten 10 % Diesel- und Arbeitszeiteinsparung +11,55 €/ha AF an Mehrertrag generiert werden. Die Spannweite liegt zwischen +6,45 und +30,76 €/ha AF. Einzelne Fruchtfolgen auf den Betrieben wie auch einzelne Betriebe profitieren stärker von den Einsparungen des Treibstoffes und/oder der unterstellten Arbeitszeit. Die Landwirte lassen bei der Planung der Fruchtfolgen auf ihren Betrieben die Faktoren Standortbedingungen der verschiedenen Ackerschläge, Kulturanforderungen und gewünschter Kulturumfang mit einfließen. So sind teils parallel extensive Fruchtfolgen und Hackfruchtfruchtfolgen auf den Betrieben zu finden, was sich im Potential der RDA für Diesel- und Arbeitszeiteinsparung widerspiegelt. Ähnliches gilt für die Ausrichtung der einzelnen Betriebe hinsichtlich der angebauten Kulturen.

In Abbildung 215 sind die Verteilungen der Mittelwerte aus den Differenzen der DAKL-Ergebnisse der BZ Ackerbau aus der Monte-Carlo Simulation wiedergegeben. Diese liegen für die vorgegebenen Parameter zwischen +10,26 und +13,07 €/ha AF. In 90 % der simulierten Fälle liegt der Mittelwert über alle BZ-Ergebnisse zwischen +10,92 und +12,12 €/ha AF. Die Ergebnisse der Monte-Carlo Simulation für die DAKL der Fruchtfolgen ist ähnlich. Hier liegt die Spannweite der Mittelwerte über alle berechneten Fruchtfolgen der Simulationen zwischen +10,32 und +12,75 €/ha AF (im Mittel +11,55 €/ha AF), wobei 90 % der Fälle zwischen +11,01 und +12,01 €/ha AF liegen (Ergebnisse nicht dargestellt).



**Abbildung 215: Verteilung der Differenzen zwischen ohne und mit Einsatz einer Reifeninnendruckregelanlage der durchschnittlichen direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistungen für den Betriebszweig Ackerbau von 22 Betrieben bei je 10.000 Variationen des Dieserverbrauchs und der Arbeitszeit**

Wenn auch die Differenzen der DB und DAkL zwischen einer Ausstattung der Schlepper mit und ohne RDA relativ gering ausfallen, so zeigen sie doch, dass bereits die Dieseleinsparungen einen Kauf rechtfertigen würden. So liegt die Anschaffung einer RDA nicht nur aus Bodenschutzgründen auf der Hand. Unsicherheiten gibt es jedoch bezüglich der unterstellten Verteilung, weshalb die Annahmen sehr konservativ getroffen wurden.

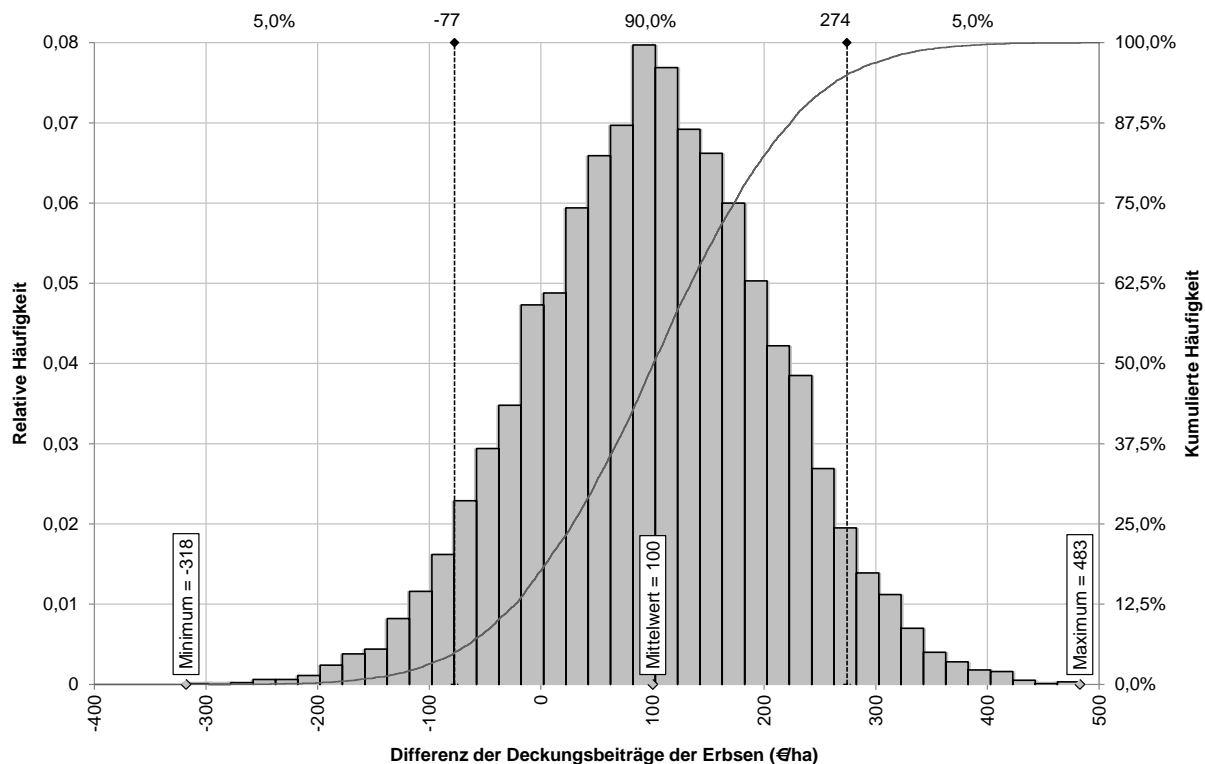
### **Wirtschaftliche Auswirkung einer Reifeninnendruckregelanlage auf Erbsenertrag, Dieserverbrauch und Arbeitszeit**

Eine Schonung des Bodens zur Aussaat der Sommerkulturen hat üblicherweise eine verbesserte Ertragsleistung der Kulturen zur Folge. Abhängig ist der Erfolg von mehreren Faktoren wie Bodenart und -zustand, Kultur und Witterung. Für den im Projekt untersuchten Hafer konnten keine statistisch absicherbare Ertragssteigerung durch verminderte Bodenbelastung gezeigt werden (siehe Kap. 4.6.3.2). Für die Erbsen sind hingegen die oben beschriebenen Ertragssteigerungen bei der Reduktion der Bodenbelastung zu erreichen. Wenn die Ergebnisse der verringerten Bodenbelastung als eine mögliche Auswirkung einer Reifeninnendruckregelanlage aufgefasst werden, zeigen sich die ökonomischen Vorteile dieser Technik noch deutlicher.

Unterlegt man den Ergebnissen die Streuung der möglichen Einsparungen bei Diesel- und Arbeitszeiteinsatz im Bereich von 5 bis 15 % sowie die Ertragsschwankungen, wie sie in den Untersuchungsjahren in den Feldversuchen des Projektes auftraten, können die Ergebnisse der Erbsen-DB und Erbsen-DAkL in der Monte-Carlo-Simulation für die Risikoeinschätzung variiert werden.

Aufgrund der großen Instabilität der Erbsenerträge und deren weiter Streuung gibt es sowohl mit als auch ohne RDA Fälle, in denen negative DB und DAkL-Ergebnisse erzielt werden. Durch das höhere Ertragsniveau sind diese jedoch mit RDA seltener. Die Ergebnisse gelten für die konservativ geschätzten Verteilungen der Eingangsdaten. Die Unterschiede in den Deckungsbeiträgen zwischen den Erbsen, denen der Einsatz einer RDA unterstellt wurden und dem Status quo bei Variation der beschriebenen Eingangsparameter ist in Abbildung 216 dargestellt.

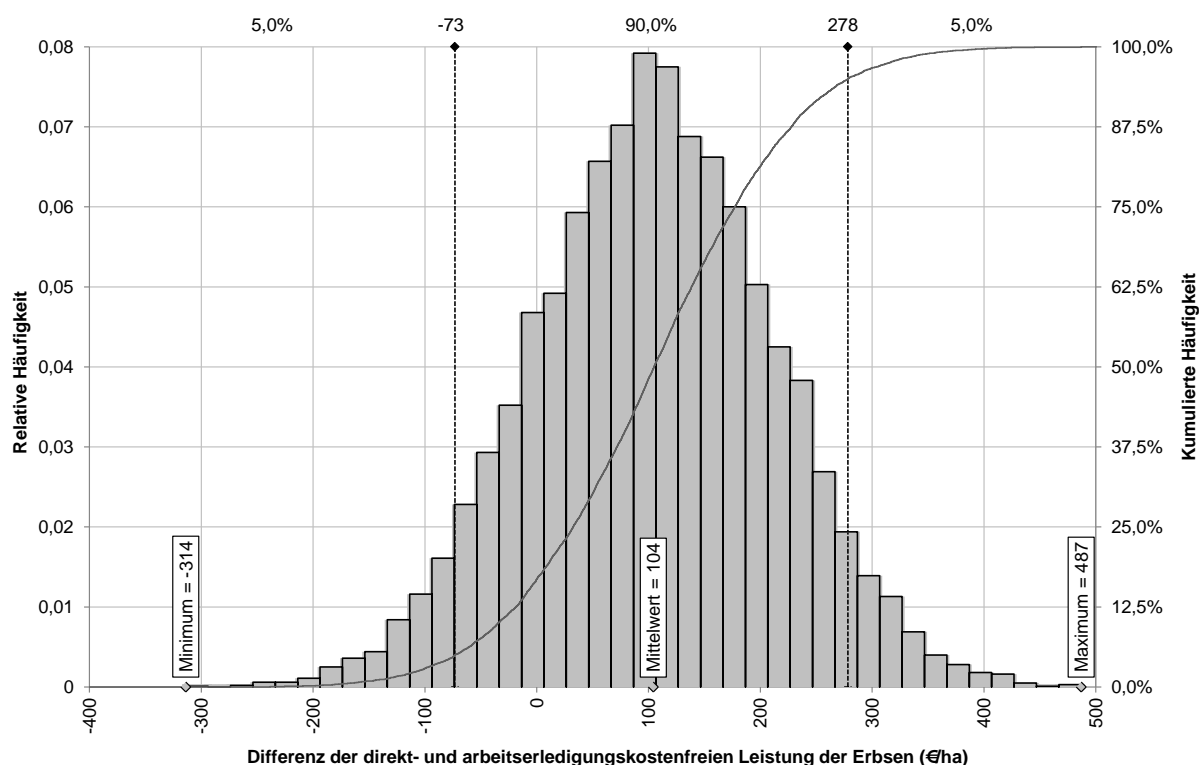
Die Differenz der Deckungsbeiträge der Erbsen beträgt -317,88 €/ha in der negativsten Ausprägung der 10.000 Variationen von Erbsenertrag und Dieseleinsparung je Betrieb. Im günstigsten Fall aller Variationen wurden beim Deckungsbeitrag der Erbsen +482,82 €/ha zusätzlich erreicht. Für 90 % der Fälle finden sich Deckungsbeitragsdifferenzen zwischen -77,35 und +274,21 €/ha. Die große Spannweite der Ergebnisse liegt in den schon beschriebenen großen Ertragschwankungen der Erbsen, die den Berechnungen zusätzlich zum erwarteten Mehrertrag unterstellt wurde. Durch den Einsatz einer RDA wird das Ertragsniveau allerdings grundsätzlich angehoben, so dass in der Regel höhere Ergebnisse als im Status quo erreicht werden. Betrachtet man die kumulierten Häufigkeiten, dann zeigt sich, dass für über 88 % der berechneten Fälle die Differenz der Deckungsbeiträge trotz der Ertragsvariation positiv ist.



**Abbildung 216: Verteilung der durchschnittlichen Deckungsbeitragsdifferenz zwischen ohne und mit Einsatz einer Reifeninnendruckregelanlage für Erbsen auf 22 Betrieben bei je 10.000 Variationen des Erbsenertrages, des Dieserverbrauchs und der Arbeitszeit**

Die Reduktion des Arbeitszeitbedarfs je Hektar Erbsen ist bei der Betrachtung der direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistung mit einbezogen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 217 vorgestellt. Pauschal erbringt die Anschaffung einer RDA im Mittel der DAkL für die Erbsen auf den untersuchten Praxisbetrieben eine zusätzliche Leistung von +104,30 €/ha. Hauptursächlich ist der mittlere Erbsenmehrertrag von +2,3 dt/ha. Diesel- und Arbeitszeiteinsparung tragen im Mittel mit 8,5 l/ha (entsprechend -8,92 €/ha AF) und -0,27 Akh/ha AF (entsprechend rd.

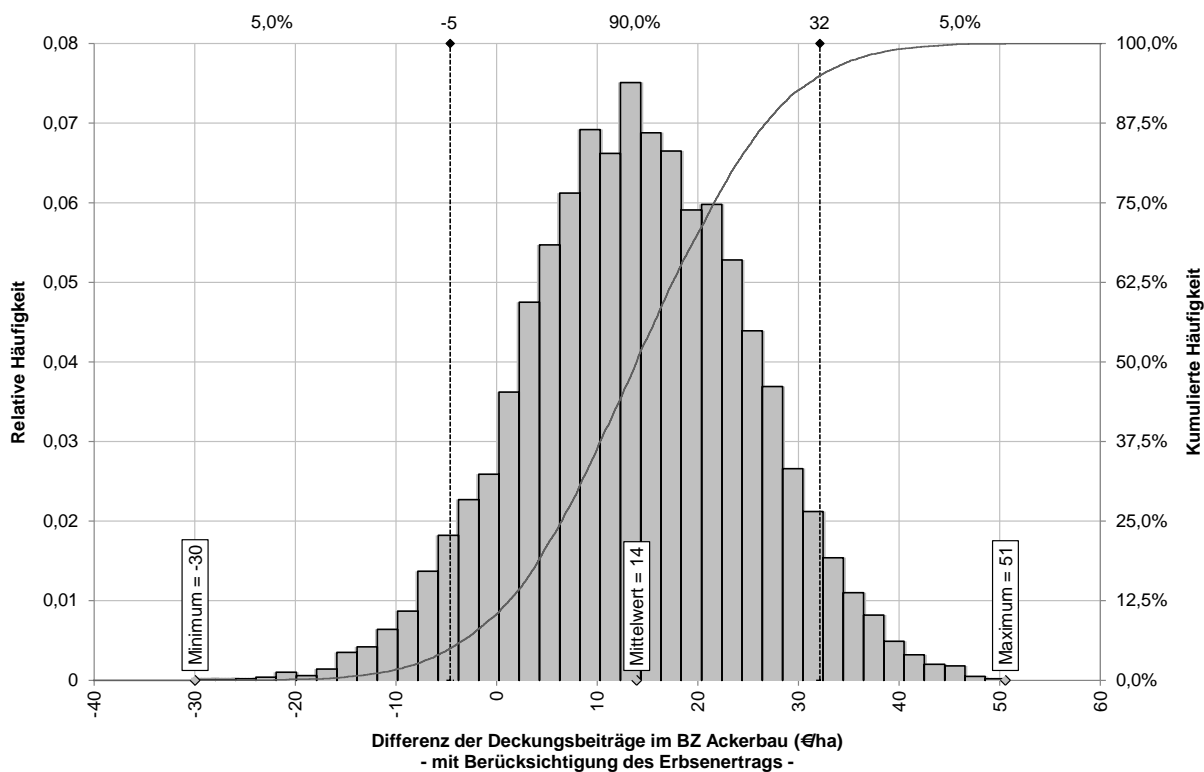
-4,05 €/ha AF) bei. Die Verteilung der DAKL entspricht ziemlich genau den vorgestellten Ergebnissen für die DB der Erbsen, angehoben um das Niveau für die monetär bewertete Einsparung an Arbeitszeit.



**Abbildung 217: Verteilung der Differenzen der durchschnittlichen direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistung zwischen ohne und mit Einsatz einer Reifeninnendruckregelanlage für Erbsen auf 22 Betrieben bei je 10.000 Variationen des Erbsenertrages, des Dieselverbrauchs und der Arbeitszeit**

In einem weiteren Schritt werden die Deckungsbeiträge für den Betriebszweig Ackerbau betrachtet, bei denen zusätzlich zu den schon vorgestellten Ergebnissen aufgrund der Diesel- und Arbeitszeiterparnis durch eine RDA noch die Veränderung der Erbsenerträge berücksichtigt werden. Ausschlaggebend ist hierfür der Umfang des Erbsenanbaus im Verhältnis zu den insgesamt angebauten Kulturen auf dem Betrieb. Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Deckungsbeiträge des BZ Ackerbau sind in Abbildung 218 wieder gegeben.

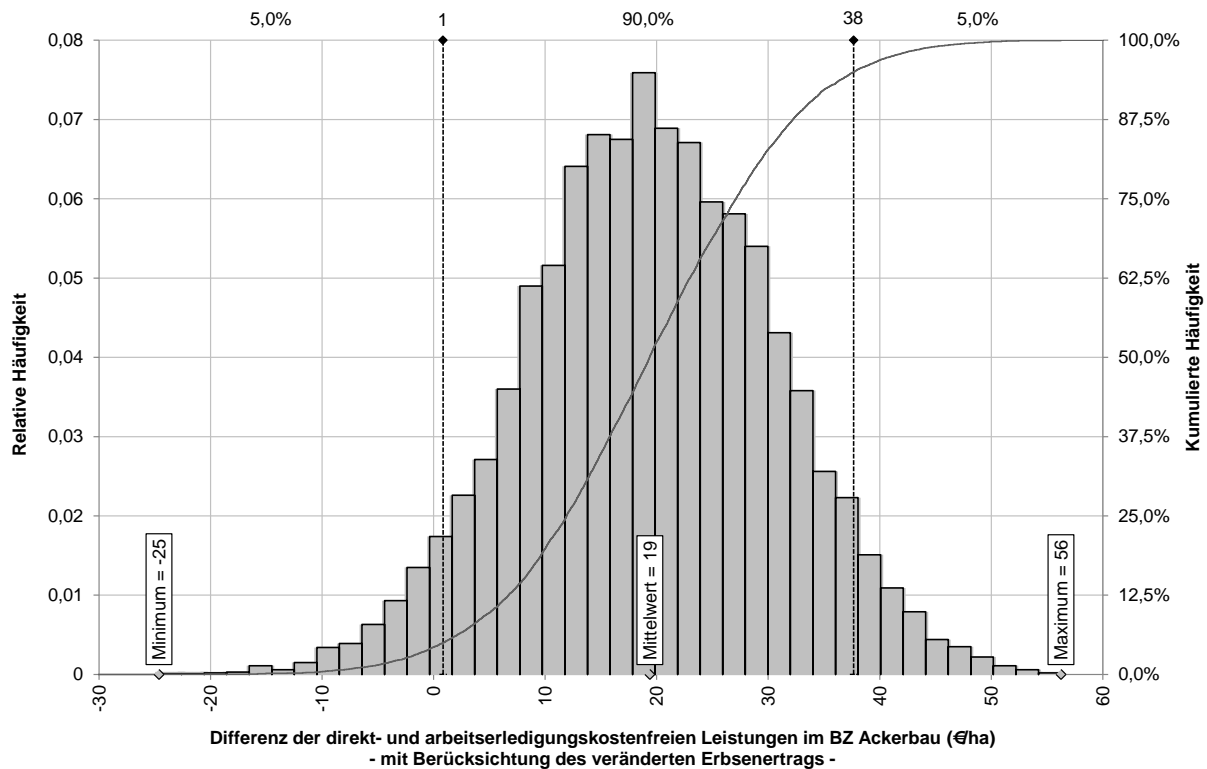
Die Betrachtung der DB im BZ Ackerbau zeigt, dass im Mittel der je 10.000 Simulationen/Betrieb für Diesel und Erbsenertrag über alle Betriebe +13,92 €/ha AF Mehrerlös erzielt werden können. In 90 % der Variationen werden Deckungsbeitragsdifferenzen für die untersuchten Betriebe von -4,61 €/ha und +32,13 €/ha AF für deren Betriebszweige Ackerbau vorgestellt. Die negativen Ergebnisse sind nur in geringem Umfang vorkommend, für über 90 % der Betriebe werden durch den Einsatz der RDA höhere DB im BZ Ackerbau erreicht. In den Fällen, in denen die Variationen geringere DB für den Betriebszweig Ackerbau gegenüber der vorgestellten Status quo-Situation angeben, sind bei einem hohen Anteil von Erbsen im Anbauumfang der Kulturen der Betriebe besonders deutliche negative Ertragschwankungen in der jeweiligen Variation unterstellt. Andersherum gilt es auch für die positiven Veränderungen: In 5 % der Fälle werden Mehrerlöse im DB der BZ Ackerbau von +32,13 bis +50,56 €/ha AF erreicht (vgl. Abbildung 218).



**Abbildung 218: Verteilung der durchschnittlichen Deckungsbeitragsdifferenzen zwischen ohne und mit Einsatz einer Reifeninnendruckregelanlage für den Betriebszweig Ackerbau von 22 Betrieben bei je 10.000 Variationen des Erbsenertrages, des Dieserverbrauchs und der Arbeitszeit**

Die Berechnung der direkt- und arbeitsledigungskostenfreien Leistung für die Betriebszweige Ackerbau weist durchschnittlich +19,39 €/ha AF Mehrerlös aus. Die aufgeführten Ergebnisse in Abbildung 219 sind die gemittelten Durchschnittswerte der Simulationen über alle Betriebe unter Berücksichtigung der Diesel- und Arbeitszeiteinsparung sowie der Erbsenmehrerträge.





**Abbildung 219: Verteilung der durchschnittlichen Differenzen der direkt- und arbeitsleistungsfreien Leistung zwischen ohne und mit Einsatz einer Reifeninnendruckregelanlage für den Betriebszweig Ackerbau von 22 Betrieben bei je 10.000 Variationen des Erbsenertrages, des Dieselverbrauchs und der Arbeitszeit**

Wie es schon bei der Betrachtung der Deckungsbeiträge und direkt- und arbeitsleistungsfreien Leistung für die Erbsen beschrieben ist, zeigt sich die Verteilung der DAKL für die BZ Ackerbau ähnlich ihrer DB, allerdings angehoben um das Niveau, das die monetäre Bewertung der Arbeitszeiteinsparung mit sich bringt.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass bei den getroffenen, sehr konservativen Annahmen, die ökonomischen Vorteile einer bodenschonenden Technik überwiegen. Dies gilt sogar, obwohl die positiven Wirkungen verbesserter Bodenstruktur nur auf Erbsen, aber nicht auf die anderen Kulturen der Fruchtfolge bezogen wurden. Die breite Verteilung der Ergebnisse ist zum einen auf die Variation der Diesel- und Arbeitseinsparung zurückzuführen, jedoch beeinflussen die Erbsenerträge die Betriebsergebnisse stark. Die Variabilität der Erbsenerträge ist bekannt und wurde für die Simulationen an denen aus den Feldversuchen orientiert. Wie zu erwarten zeigt sich, dass je höher der Erbsenanteil der angebauten Kulturen ist, desto eher sind die zusätzlichen Kosten einer RDA ausgeglichen und desto höher sind die ökonomischen Vorteile einer RDA. Bei den untersuchten Betrieben lag der Erbsenanteil am Umfang der angebauten Kulturen bei durchschnittlich 9 %.

Jedoch auch ohne die Betrachtung der Erbsenmehrerträge bei den BZ Ackerbau zeigt sich, allein durch die Dieseleinsparungen, ein durchgehend positiver Effekt auf die DB. Für einzelne Betriebe zeigen die Simulationen deutliche Unterschiede in den Kosten-Leistungs-Rechnungen zwischen den Fruchtfolgen auf dem Betrieb und dem zusammengefassten Ergebnis für den BZ Ackerbau unabhängig von Ertragsverbesserungen beim Erbsenanbau. Ursächlich sind die eingesetzte Technik und die Bewirtschaftungsmaßnahmen in den angebauten Kulturen, die sich auf Dieselverbrauch und Arbeitszeit auswirken. Wichtig für die Investitionsentscheidung ist

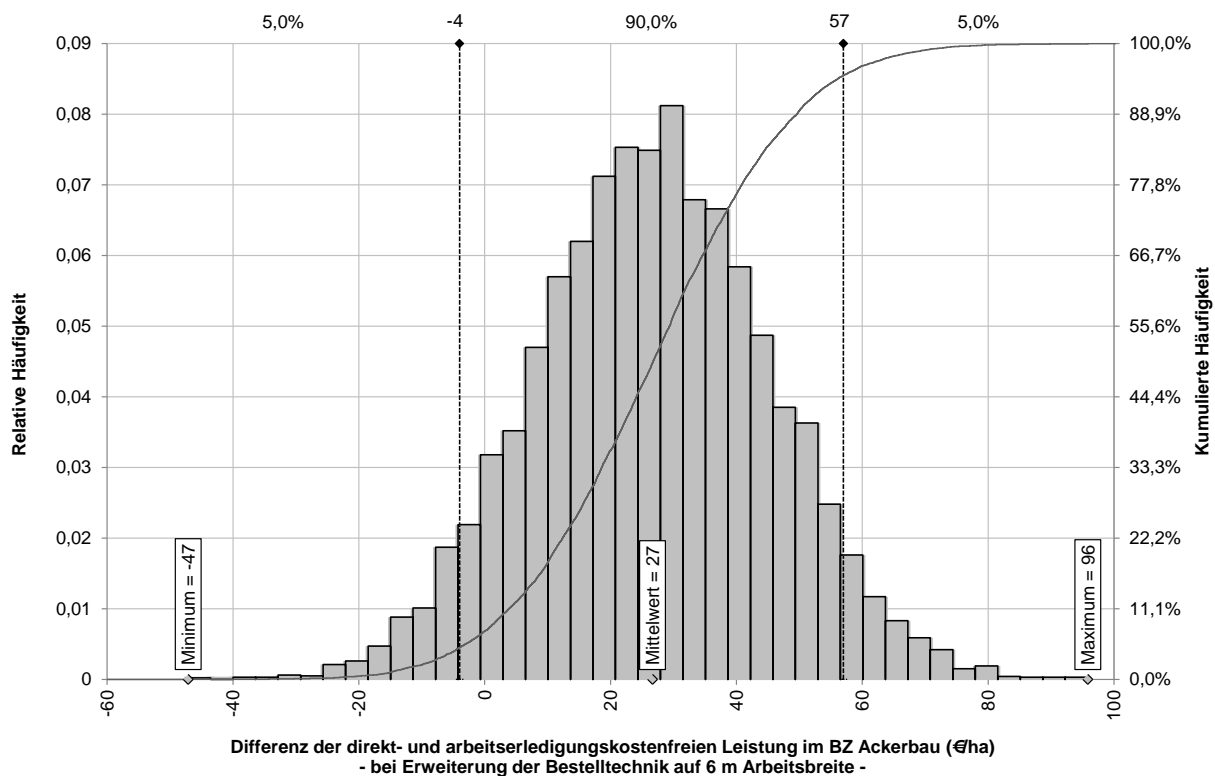
daher eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Kulturen, der Fruchtfolgen und des BZ Ackerbau. Unsicherheiten gibt es bei den vorgestellten Modellrechnungen naturgemäß bezüglich der unterstellten Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Hinsichtlich der Technikanfälligkeit und des Schlepperausfalls für Reparaturen gibt es in der Praxis Befürchtungen, die Landwirte von einer RDA abhalten (vgl. Kap. 4.8.5).

### **Wirtschaftliche Auswirkung der Anschaffung einer RDA und der Verbreiterung der Sätechnik von 3 m auf 6 m auf Erbsenertrag, Dieserverbrauch und Arbeitszeit**

Untersucht wurde gleichfalls, inwieweit auf den Praxisbetrieben eine Verbreiterung der Sätechnik möglich ist. Bei einer 3 m-Sätechnik werden bei Standardschleppern 1,40 m überfahren (vgl. Kapitel Methoden), d. h. rund 46 %. Für die Erweiterung der Sätechnik auf 6 m wurde geprüft, ob ausreichend Schlepperleistung für die erweiterte Sätechnik und kombinierte Geräte vorhanden ist. Falls positiv, wurde der Maschinenpark entsprechend umgestellt und die Maschinenkosten und Arbeitszeiten angepasst. Auch die Erbsenerträge wurden variiert: Je Überfahrt werden 1,3 m (22 %) nicht mehr überfahren; auf weiteren 1,3 m findet die Druckreduzierung durch die RDA statt. Im Übertrag der Feldversuchsergebnisse wird eine Ertragserhöhung um 10,5 % unterstellt.

Unter den 16 Betrieben sind nur drei Betriebe, die 3 m Sätechnik verwenden und bei denen Zugkraftpotential für 6 m AB besteht. Begründet ist es darin, dass die gekoppelten Geräte gleichfalls in einer größeren Variante angeschafft werden sollen, damit es nicht zu weiteren Belastungen bei der Aussaat kommt, welche durch mehrfache Überfahrten bei entkoppelter Saatbeetbereitung und Aussaat zustande kommen würde. Wenn jedoch sowohl Drillmaschine als auch Kombinationsgerät(e) in doppelter Arbeitsbreite verwendet werden sollen, sind es nur besagte drei Betriebe, die ausreichend Schlepperleistung auf ihrem Betrieb vorhalten.

Gemittelt ergibt sich bei ihnen eine Verbesserung der DAKL um +26,67 €/ha, wenn sowohl RDA als auch 6 m Saattechnik eingesetzt würden. Damit liegt die Verbesserung der DAKL bei der Investition in größere Sätechnik für die drei Betriebe um etwa +5 €/ha über der Verbesserung, die sich alleinig durch die Anschaffung einer RDA für diese drei Betriebe ergäbe. In 90 % der Variationen liegen die Differenzen der berechneten DAKL zwischen -3,98 €/ha AF und +56,99 €/ha AF. Die negativen Differenzen sind ausgesprochen selten, denn in über 92 % der berechneten Varianten sind Verbesserungen der DAKL der Betriebszweige Ackerbau kalkuliert (vgl. Abbildung 220).



**Abbildung 220: Verteilung der durchschnittlichen Differenzen der direkt- und arbeitsleistungskostenfreien Leistung zwischen ohne und mit Einsatz einer Reifeninnendruckregelanlage und Erweiterung der Sätechnik von 3 m auf 6 m für die Betriebszweige Ackerbau von 22 Betrieben bei je 10.000 Variationen des Erbsenertrages, des Dieselertrages und der Arbeitszeit**

### Bewertung der Investition in eine Reifeninnendruckregelanlage

Eine wichtige Frage, die sich bei der Betrachtung der Ergebnisse stellt, ist, ob die Mehreinnahmen, die je Hektar erzielt werden, zur Refinanzierung der Investition ausreichen. Ausgehend von den berechneten Deckungsbeiträgen der BZ Ackerbau und bei einer RDA-Nutzungsdauer von zwölf Jahren ist eine Investition durch die Dieseleinsparungen und Erbsenmehrerträge für zwei Drittel der Betriebe lohnenswert. Berücksichtigt ist, dass alle Schlepper der Betriebe ausgerüstet werden, die für die Ackerarbeiten eingesetzt werden. Eine RDA-Investition ist je nach Betriebsgröße und Anzahl an Ackerschleppern für ein bis drei Schlepper berechnet. Gemittelt über alle Betriebe sind gegenüber der Nichtinvestition in eine RDA Mehreinnahmen von durchschnittlich +8.798 €/Betrieb zu erzielen. Bei zusätzlicher Bewertung der eingesparten Arbeitszeit sind es sogar +15.759 €/Betrieb.

Für die Erweiterung der Sätechnik auf sechs Meter inklusive kombinierter Geräte sind die Ergebnisse weniger eindeutig, weil eine stärkere Abhängigkeit von den betrieblichen Bedingungen besteht. Die dargestellten Ergebnisse der Investitionsbewertung begründen sich in der Technik, die auf den jeweiligen Betrieben vorhanden ist. Wenn keine weiteren Maschinen mit der Sämaschine kombiniert werden, ist die Investition in eine breitere Sämaschine lohnend. Je teurer das kombinierte Bodenbearbeitungsgerät ist, desto geringer die Chance für eine Amortisation. Teils ist sie bei Bewertung der reduzierten Arbeitszeit noch vorhanden. Potenzial ist gegeben, wenn die Saatbettbereitung anders organisiert und auf eine Erweiterung des kombinierten Gerätes verzichtet wird.

## Schlussfolgerungen

Für einzelne Betriebe zeigen die Simulationen deutliche Unterschiede in den Kosten-Leistungs-Rechnungen zwischen den Fruchtfolgen auf dem Betrieb und dem zusammengefassten Ergebnis für den BZ Ackerbau. Einzelne Fruchtfolgen auf den Betrieben profitieren deutlich stärker von der Technik und den damit verbundenen Einsparungen. Wichtig für die Investitionsentscheidung ist sowohl eine Betrachtung der einzelnen Kulturen als auch der Fruchtfolge und des BZ Ackerbau.

Veränderte Erträge aufgrund einer veränderten Bodenstruktur durch den Einsatz der RDA sind nicht berücksichtigt. Da diese je nach Kultur und Bodenart unterschiedlich sind, ist ihre Integration das Ziel weiterer Forschungen. Grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass die Früchte auf Dauer von einer verbesserten Bodenstruktur profitieren. Aber auch die nicht-monetär erfassbaren Werte einer verbesserten Bodenstruktur sollten ein weiteres Bedachtmoment für eine RDA-Anschaffung sein.

Die zugrundeliegende Erhebung von betriebswirtschaftlichen Informationen auf 22 ökologisch bewirtschafteten Betrieben erhöht angesichts eines breiten Spektrums an Rahmenbedingungen einerseits die Reliabilität der Einschätzungen. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass die individuellen betrieblichen Bedingungen außerhalb des Spektrums nur unvollständig berücksichtigt werden.

Vorausgesetzt, die in der Literatur angegebenen Werte und deren in der Simulation verwendeten Wahrscheinlichkeitsverteilungen treffen zu, zeigt sich jedoch, dass die variablen und fixen Kosten für eine RDA durch die Dieseleinsparung in den allermeisten Fällen nicht nur gedeckt sind, sondern ein zusätzlicher Nutzen gegeben ist. Die Scheu vor Investitionen in eine RDA zeigt sich für die untersuchten Betriebe hinsichtlich der Kosten als unbegründet.

### 4.8.3.2 Ausbringung von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen

#### Einführung

Untersucht wurden die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen von Grünguthäckselausbringung zu Ackerbohnen unter dem Aspekt der Fruchtfolge- und Bodenfruchtbarkeitswirkung anhand von originären Praxisdaten und Exaktfeldversuchen aus dem Projekt (vgl. Kap. 4.2.1). Ziel war es, Leguminosen mit C-reichen, aber N-armen organischen Düngemitteln zu versorgen, um somit eine N-Sperre im Boden zu induzieren und eine verstärkte  $N_2$ -Fixierung zu erreichen, die den Folgekulturen zur Verfügung steht (vgl. Kap. 4.2.1). Im Projekt fanden Untersuchungen zu unterschiedlichen Düngern und zu unterschiedlichen Leguminosen statt. Die ökonomische Bewertung konzentriert sich beispielhaft auf die Ausbringung von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen, da die Ergebnisse hier die größte Wirksamkeit versprachen. Die Bewertung der anderen Düngungsvarianten und Kulturen kann von den im Folgenden dargestellten Verfahren methodisch abgeleitet werden.

Für die vorliegenden Ergebnisse wurden die 18 Betriebe ausgewählt, die Ackerbohnen in Reinsaat anbauen. Verändert wurde für diese Modellbetriebe der Anbau von Ackerbohnen dahingehend, dass die Ausbringung von 45 t Grünguthäcksel/ha vor der Ackerbohnenaussaat integriert wurde. Die Grünguthäckselausbringung orientierte sich am Verfahren, wie es im Projekt entwickelt wurde (vgl. Kap. 3.1.2). Unterschieden wurden hierbei die Varianten (1) Ausbringung mit dem eigenen Miststreuer (für 11 Betriebe möglich, Variante MST) und (2) Ausbringung durch einen Lohnunternehmer zu 4,50 €/t (n = 18, Variante LU). Falls nicht sowieso eine kombinierte Saatbettbereitung stattfand, wurde eine leichte Einarbeitung

kalkuliert. Die unkrautunterdrückende Wirkung des Häcksels wurde gleichfalls berücksichtigt, wie sie im Projekt vorgefunden wurde, d. h. in den Ackerbohnen wurde die maschinelle Unkrautregulierung (Hacken/Striegeln) reduziert. Es wurde davon ausgegangen, dass in etwa auf die Hälfte der mechanischen Unkrautregulierung verzichtet werden kann. Die Ertragsveränderungen der jeweiligen Kulturen (+12 % bei Ackerbohnen, +16 % beim nachfolgenden Winterweizen) wurden entsprechend der Feldversuchsergebnisse berücksichtigt und ebenfalls in die Bewertung mit aufgenommen. Die für Winterweizen erhobenen Ertragsveränderungen wurden in den vorliegenden Berechnungen auch auf andere, den Ackerbohnen nachfolgenden, Getreide übertragen. Die Nährstoffkosten in den Berechnungen der Deckungsbeiträge und direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen (DAKL) wurden über den Entzug bewertet<sup>3</sup>. Die Preise des Grünguthäcksels liegen, bezogen auf den reinen Nährstoffwert, niedriger. Das bedeutet, dass die mit dem Grünguthäcksel ausgebrachten Nährstoffe für die Landwirte einen höheren Wert haben als sie für den Grünguthäcksel bezahlen müssten, wenn die Preise angesetzt würden, die im Projekt für das Material gezahlt wurden.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Auswirkungen einer Kultur und deren Bewirtschaftung auf Bodenfruchtbarkeit und damit die Folgekulturen sind vielfältig. Diese Komplexität erfordert eine hohe Zahl an Betrachtungsebenen auch in der ökonomischen Bewertung. Praktisch zu bewerten sind jedoch nur jene Aspekte, deren Messbarkeit und damit Übertragung in monetäre Quantifizierung gegeben sind. Mit Grünguthäcksel kann über die allgemeinen Wirkungen einer organischen Düngung hinaus spezifisch die Stickstofffixierung der Ackerbohne erhöht und Keimung und Wachstum von Samenunkräutern verringert werden. Der hauptsächliche Mehrwert des Grünguthäcksels gegenüber der ungedüngten Kontrolle ist die Nährstoffwirkung. Mehrleistungen liegen bei Ackerbohnen zwischen +68 und +168 €/ha und im Mittel bei +135 €/ha, für die nachfolgenden Getreide aufgrund der höheren Erträge zwischen +102 und +382 €/ha, im Mittel bei +227 €/ha. Für die Ackerbohnen sind es bei den unterstellten Ertragsverbesserung und bezogen auf die von den Praxisbetrieben übermittelten Standarderträgen etwa +3 dt/ha Mehrertrag. Für die nachfolgenden Getreide sind es etwa +6 dt/ha.

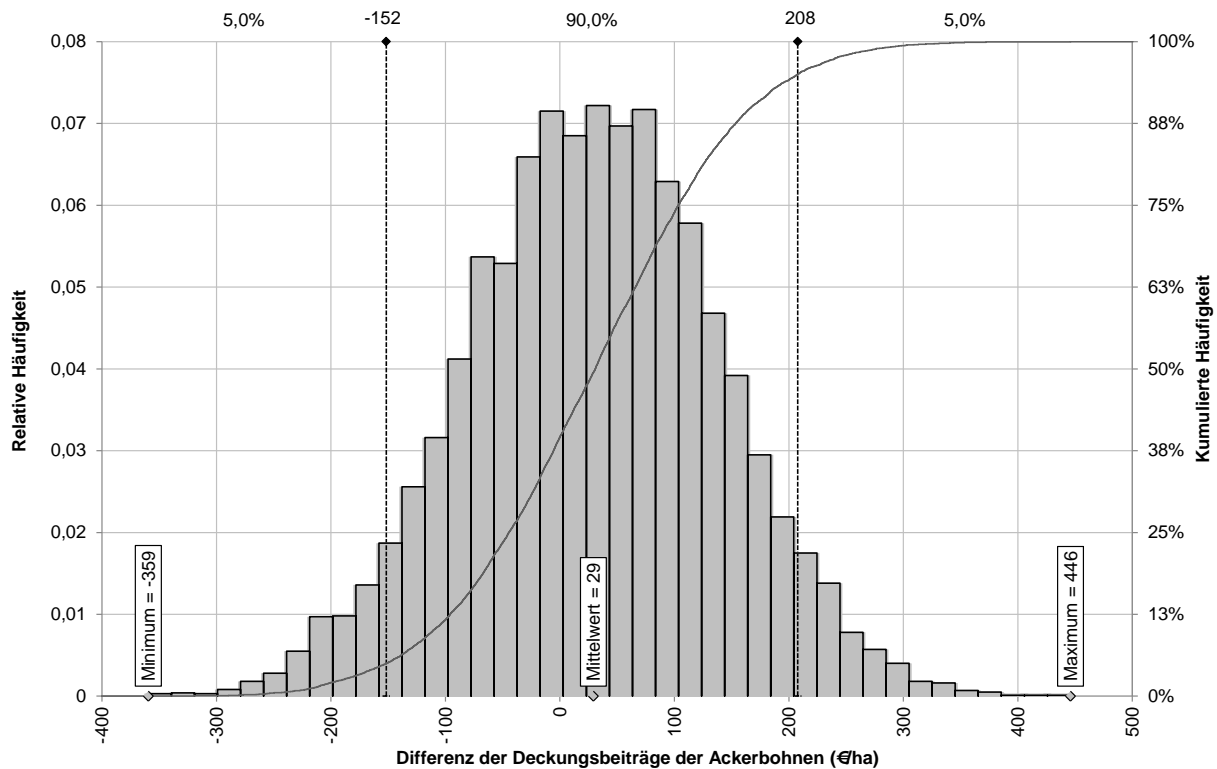
Die Mehrerträge beruhen neben der Nährstoffwirkung des Grünguthäcksels auch auf der gesteigerten N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung der Ackerbohnen. Diese kann nach den Versuchsergebnissen bis zu 25 kg N/ha betragen, die in der Folgekultur wirken – eine kalkulatorische Nebenleistung von bis zu +75 €/ha. In den vorliegenden Berechnungen wird sie indirekt über die Ertragssteigerung der Nachkultur abgebildet, jedoch nicht als kalkulatorische Leistung aufgenommen. Eine weitere Leistung ist die Unkrautunterdrückung (siehe unten).

Die Mehrleistungen resultieren für die Ackerbohnen jedoch nicht zwangsläufig in höheren Deckungsbeiträgen gegenüber dem Status quo. Die Ausbringung von Grünguthäcksel kann – abhängig von der gewählten Variante (eigener Miststreuer oder Lohnunternehmer), dem zugrunde gelegten Ackerbohnenenertrag und der in den Simulationsrechnungen unterlegten Ertragsvariabilität (übertragen aus den Versuchsdaten des Projektes) – höhere Kosten verursachen, als über die Mehrerlöse kompensiert werden kann. Die Reduzierung der mechanischen Unkrautregulierung fällt hierbei nur gering ins Gewicht.

Für die Ackerbohnen zeigt sich im Mittel eine Verbesserung des Deckungsbeitrages um +29 €/ha, wenn die Ausbringung des Grünguthäcksels mit dem eigenen Miststreuer erfolgt (vgl. Abbildung 221). Gilt die Ertragsvariabilität, wie sie in den Feldversuchen des Projektes

<sup>3</sup> 3,00 €/kg N, 0,64 €/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,60 €/kg K<sub>2</sub>O

gefunden und den Monte-Carlo-Simulationen als normalverteilt unterstellt wurden, wird der Ackerbohnerertrag aufgrund des ausgebrachten Grünguthäcksel im Durchschnitt um 12 % angehoben. In 60 % der berechneten Deckungsbeiträge ergibt sich damit ein positives Ergebnis. Ähnliche Ertragsverteilungen sind auch für den Status quo zu erwarten, allerdings auf

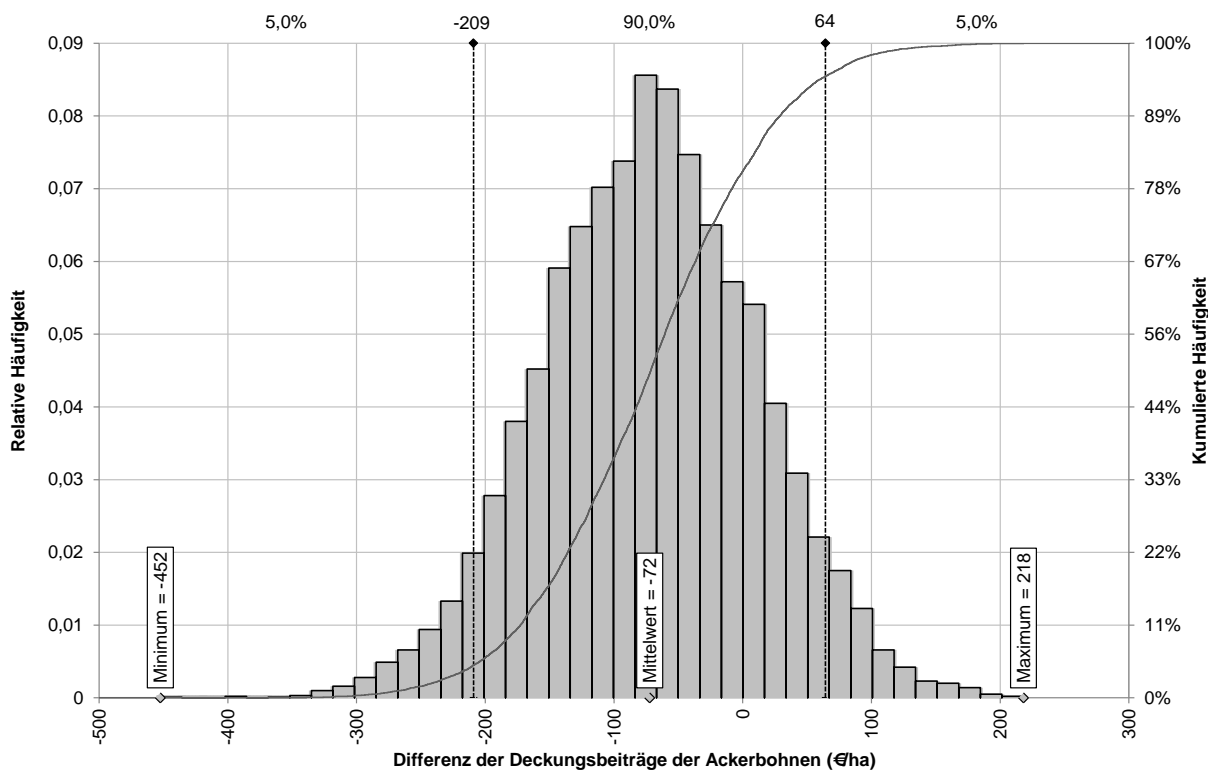


einem geringeren Niveau.

**Abbildung 221: Verteilung der durchschnittlichen Deckungsbeitragsdifferenz zwischen ohne und mit Einsatz von Grünguthäcksel für Ackerbohnen auf 11 Betrieben bei je 10.000 Variationen des Ackerbohnerertrages und Ausbringung mit eigenem Miststreuer**

Der Deckungsbeitrag verringert sich im Durchschnitt um -72 €/ha, wenn ein Lohnunternehmer den Grünguthäcksel ausbringt (vgl. Abbildung 222). Die Deckungsbeiträge liegen zwischen -452 €/ha und +218 €/ha. Beschrieben wird ein positives Ergebnis der Deckungsbeiträge nur in knapp 20 % der Fälle.

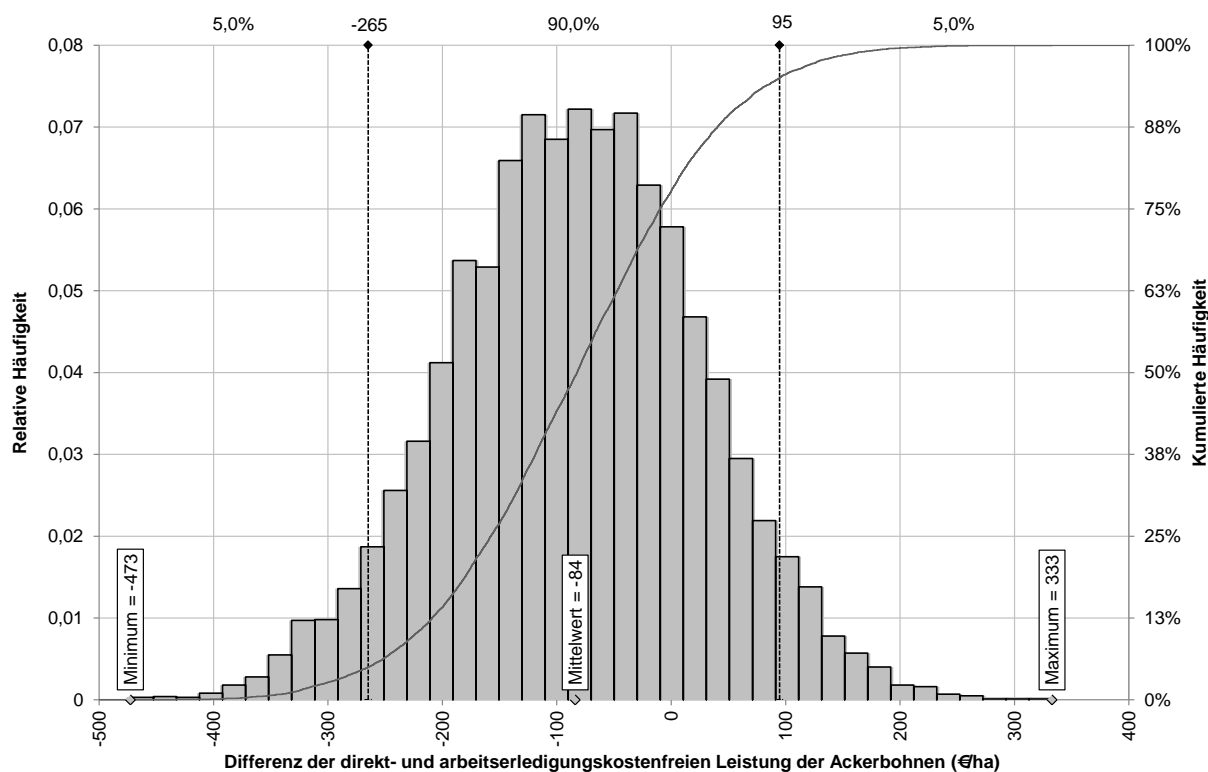




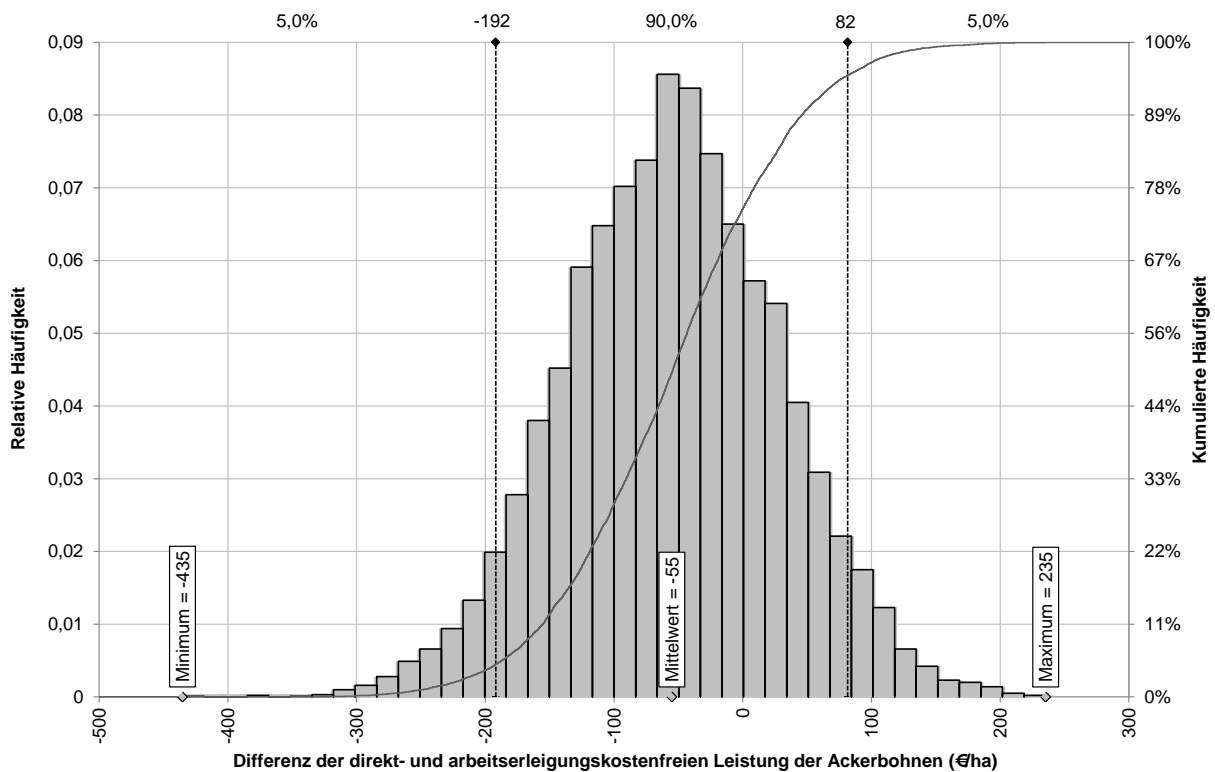
**Abbildung 222: Verteilung der durchschnittlichen Deckungsbeitragsdifferenz zwischen ohne und mit Einsatz von Grünguthäcksel für Ackerbohnen auf 18 Betrieben bei 10.000 Variationen des Ackerbohnertrages und Ausbringung durch einen Lohnunternehmer**

Die Ursache für die gravierenden Unterschiede zwischen den Deckungsbeiträgen der unterschiedlichen Ausbringungsvarianten des Grünguthäcksels ist methodisch begründet, da Dienstleistungen vollständig im Deckungsbeitrag bewertet werden, während die Arbeitszeit für die Ausbringung des Grünguthäcksels mit dem eigenen Miststreuer, ebenso wie die damit verbundenen fixen Maschinenkosten, nicht in die Bewertung einbezogen sind. Von daher sollte bei der Bewertung unterschiedlicher Verfahrensweisen auf den Vergleich anhand der direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistungen (DAkL) zurückgegriffen werden. Bei einem Ansatz von 15 €/Akh zeigen sich Veränderungen für die Ackerbohnen zwischen -473 €/ha und +333 €/ha. Im Durchschnitt ist eine Verringerung der DAkL von -84 €/ha für die Ackerbohnen zu erwarten, wenn Grünguthäcksel zur Kultur mit dem eigenen Miststreuer ausgebracht wird (Abbildung 223). Die erhöhten Erträge und die verringerte maschinelle Unkrautbekämpfung können meist die Mehrkosten nicht auffangen. Positive Ergebnisse können nur für 20 % der simulierten DAkL konstatiert werden.

Gegenüber dem Vergleich der Deckungsbeiträge für die unterschiedlichen Varianten zeigt sich für die Lohnunternehmervariante bei Betrachtung des DAkL das günstigere Ergebnis. Im Durchschnitt sind die DAkL der Ackerbohnen bei Ausbringung des Grünguthäcksels durch einen Lohnunternehmer gegenüber dem Status quo um -55 €/ha geringer. Die Spannweite der Differenzen reicht dabei von -435 €/ha bis +235 €/ha in den berechneten Variationen (vgl. Abbildung 224). Für die meisten Betriebe bzw. in den meisten Fällen ist somit das Engagement eines Lohnunternehmers günstiger als die Verwendung des eigenen Miststreuers. Dennoch sind nur in einem knappen ¼ der berechneten Fälle positive Ergebnisse zu erreichen.



**Abbildung 223: Verteilung der durchschnittlichen Differenz der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung zwischen ohne und mit Einsatz von Grünguthäcksel für Ackerbohnen auf 11 Betrieben bei je 10.000 Variationen des Ackerbohnertrages und Ausbringung mit eigenem Miststreuer**



**Abbildung 224: Verteilung der durchschnittlichen Differenz der direkt- und arbeitsleistungskostenfreien Leistung zwischen ohne und mit Einsatz von Grünguthäcksel für Ackerbohnen auf 18 Betrieben bei je 10.000 Variationen des Ackerbohnertrages und Ausbringung durch einen Lohnunternehmer**

Die Ausbringung über einen Lohnunternehmer wurde pauschal mit 4,50 €/t (inklusive Dieselkraftstoff und Schlepperfahrer) angesetzt. Damit ergeben sich Ausbringungskosten in Höhe von +202,50 €/ha, die dem Posten Dienstleistungen aufgeschlagen sind. Hiervon sind die Einsparungen für die reduzierte maschinelle Unkrautregulierung noch abzuziehen. Die variablen und fixen Maschinenkosten verringern sich durch die Halbierung der maschinellen Unkrautregulierung zwischen 0 €/ha (im Einzelfall werden Ackerbohnen ohne Unkrautregulierung angebaut) und -80 €/ha (bei sehr aufwendiger Unkrautregulierung und geringer Maschinengröße). Im Durchschnitt sind es -20 €/ha für die variablen und fixen Maschinenkosten. Die Arbeitszeiterparnis liegt zwischen 0,00 und -1,60 Akh/ha, bei im Mittel -0,45 Akh/ha. Entsprechend sind es durchschnittlich -6,75 €/ha aufgrund der Verringerung des Arbeitszeitbedarfs.

Die Ausbringungskosten für die Verwendung des eigenen Miststreuers (variable und fixe Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf) sind anhand der betrieblichen Daten (Schlepper- und Maschinengröße, Schlagentfernung und -größe) aus den KTBL-Daten abgeleitet. Daraus ergeben sich veränderte variable und fixe Maschinenkosten – je nach betrieblichen Hintergrund – zwischen netto +68 €/ha und +263 €/ha und durchschnittlich +160 €/ha (unter Berücksichtigung der verringerten maschinellen Unkrautregulierung). Zusätzlich sind die aufgewendeten Arbeitszeiten zu berücksichtigen, die netto bei +1,80 Akh/ha bis +6,3 Akh/ha (bei sehr geringer Miststreuergröße und kleinräumigen Schlägen) und durchschnittlich +3,30 Akh/ha (unter Berücksichtigung der eingesparten Arbeitszeit aufgrund der Reduktion der

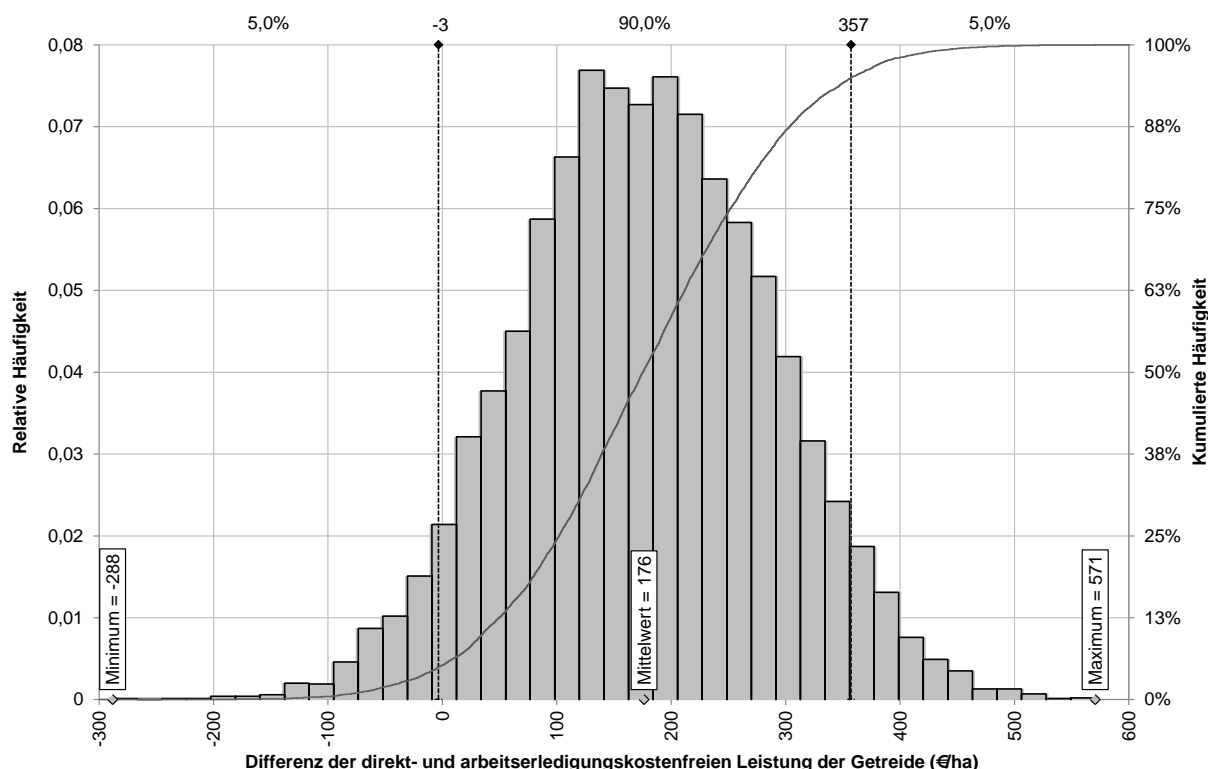
Unkrautregulierung) liegen. Im Durchschnitt sind Arbeitskosten damit um +49,50 €/ha höher als im Ausgangsverfahren.

Zusätzlich zur Veränderung der Maschinenkosten und/oder Aufwendungen für die Dienstleistungen erhöhen sich zudem die Kosten für die Hagelversicherung und die entzogenen Nährstoffe aufgrund der veränderten Erträge sowie die kalkulatorischen Kosten der Zinsaufwendungen. Insgesamt liegen diese zusätzlichen Kosten bei etwa +14 €/ha.

Die hohen Ausbringungskosten für den Grünguthäcksel mit dem eigenen Miststreuer sind dadurch bedingt, dass teilweise nur sehr geringe Miststreuergrößen auf den Betrieben vorhanden waren. Für die Betriebe empfiehlt es sich, die Dienste eines Lohnunternehmers in Anspruch zu nehmen. Der Auswahlsschwerpunkt für die Praxisbetriebe, die im Projekt begleitet und untersucht wurden, lag auf vieharmen bzw. viehlosen Betrieben. Deswegen sind auf einem Drittel der Ackerbohnenbetriebe keine Miststreuer und auf anderen Betrieben nur kleine Miststreuer vorhanden. Die dargestellten Ergebnisse sind je nach betrieblicher Ausstattung und Standortgegebenheiten individuell zu prüfen. Für viehstarke Betriebe mit entsprechender Ausstattung ist die Ausbringung des Grünguthäcksels mit der eigenen Technik anzuraten, insofern die betriebliche Notwendigkeit der höheren Stickstofffixierung der Körnerleguminosen auf diesen Betrieben gegeben ist.

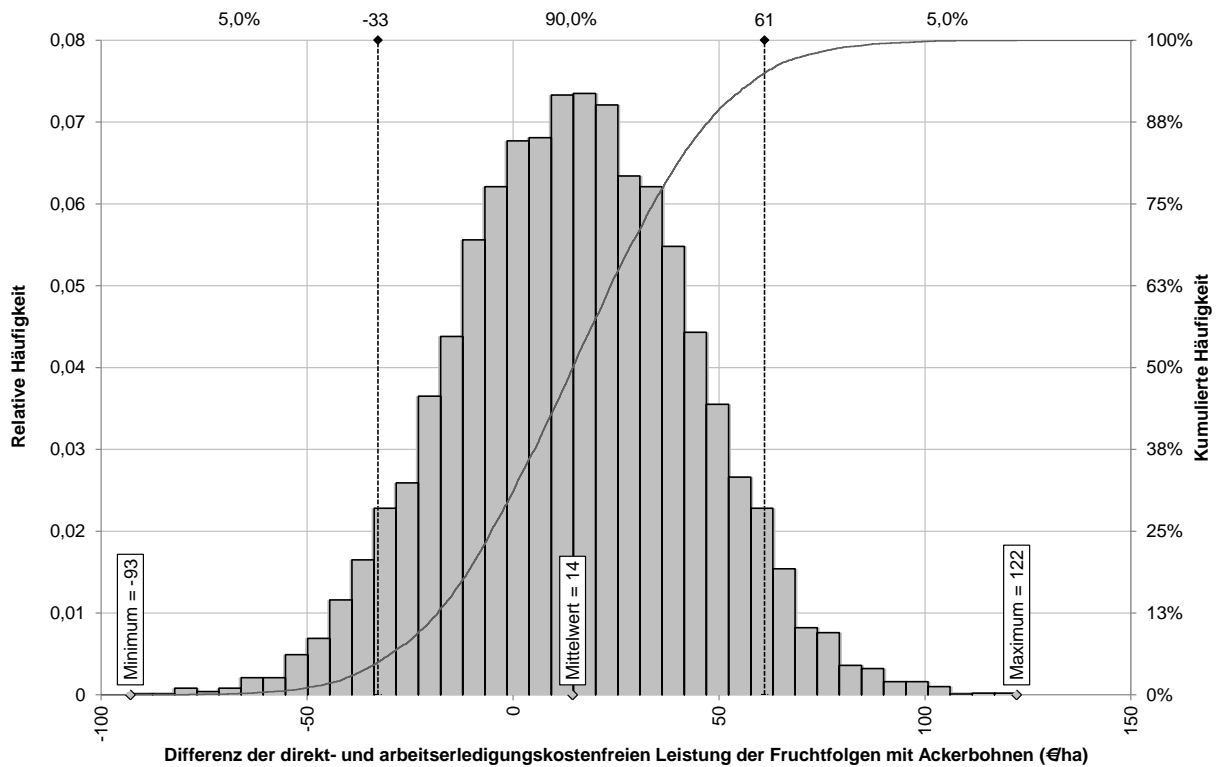
Die Ausbringung des Grünguthäcksels zu den Ackerbohnen zeigt sich bei alleiniger Betrachtung der Deckungsbeiträge bzw. direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen der Ackerbohnen als wirtschaftlich nicht empfehlenswert. Allerdings sind in den obigen Betrachtungen die Nutzen für die Folgekulturen noch nicht einbezogen. Im Projekt untersucht wurde der Einfluss der Nährstoffwirkung durch die Düngung und die zusätzliche Stickstofffixierung auf die erste Folgekultur, einem Winterweizen. Die Ertragssteigerung der Nachkultur kommt zustande, ohne dass in der Nachkultur Veränderungen der Arbeitsverfahren durchgeführt werden müssen. Die im Projekt konstatierte Ertragssteigerung von +16 % wurde für die Wirtschaftlichkeitsbewertung auch auf andere Getreide übertragen, insofern auf den untersuchten Betrieben kein Winterweizen als Folgekultur steht.

Im Durchschnitt sind auf den Betrieben durch die Grünguthäckselausbringung zu den Ackerbohnen höhere DAKL der nachfolgenden Getreide von +176 €/ha zu erreichen (vgl. Abbildung 225). Da auch für die Getreide die Ertragsvariabilität in der Normalverteilung der Monte-Carlo-Simulation unterlegt wurde, wie sie sich im Projekt gezeigt hat, sind Differenzen der DAKL von -288 €/ha bis +571 €/ha zu finden. Der Status quo Ertrag wurde statisch in die Berechnung aufgenommen. Da im gegenwärtigen Anbausystem aber gleichfalls eine Ertragsvariabilität vorherrscht, sind ähnliche Verteilungen anzunehmen wie in Abbildung 225 dargestellt – jedoch auf einem um 16 % niedrigerem Ertragsniveau. Für dargestellte Variante sind in über 95 % der Fälle positive Ergebnisse gegenüber dem statischen Status quo berechnet. Wenn eine Ertragsvariabilität der Status quo Situation unterlegt wird, sind die berechneten positiven Ergebnisse nur in 85 % der Fälle gegenüber dem statischen Vergleich zu finden.



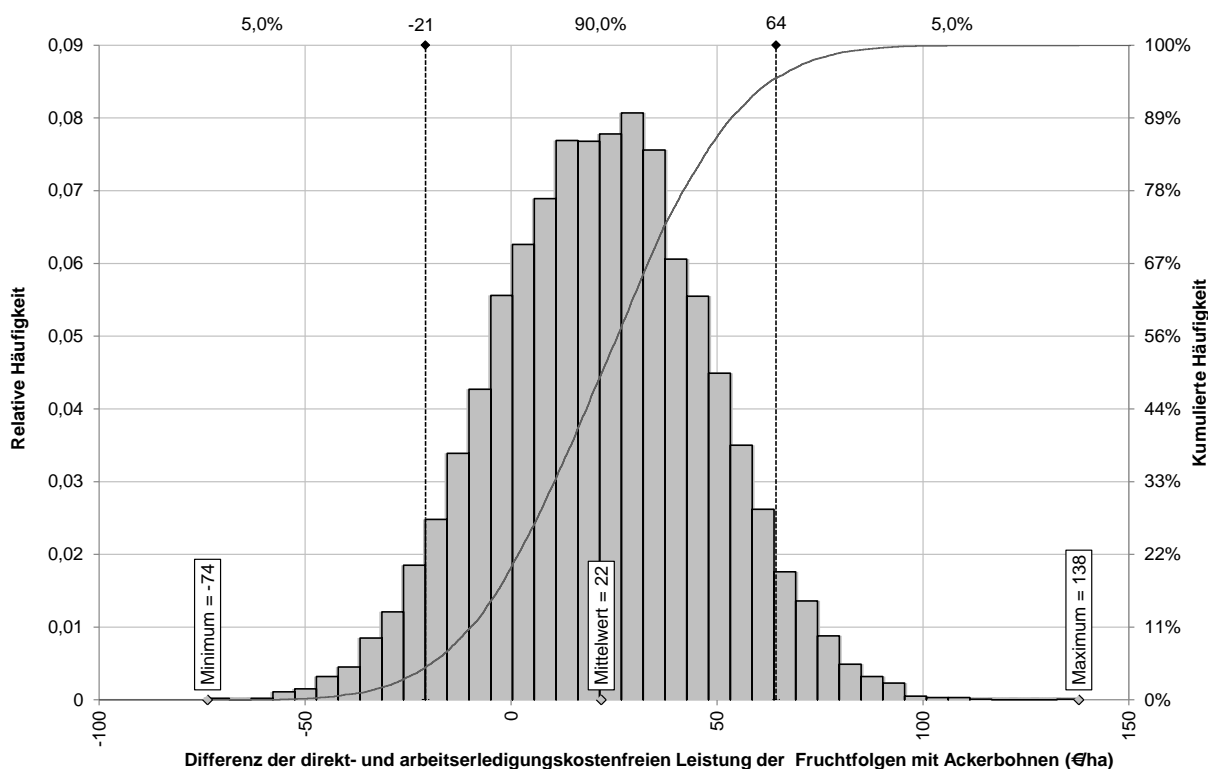
**Abbildung 225: Verteilung der durchschnittlichen Differenz der direkt- und arbeitsledigungskostenfreien Leistung mit und ohne Grünguthäcksel für Getreide auf 18 Betrieben nachfolgend auf Ackerbohnen bei je 10.000 Variationen des Getreideertrages**

Die kumulierten Effekte der veränderten Bewirtschaftung auf die Ackerbohnen und die Nachfolgekultur sind im Anschließendenden dargestellt. Als erste Betrachtungsebene bieten sich die Fruchtfolge an. Für die Betriebe wurden zwischen ein und drei Fruchtfolgen mit teils unterschiedlichem Umfang aufgestellt und kalkuliert. Zum einen sind je nach Fläche (Hof-Feld-Entfernung, Bodenqualität etc.) auf den Betrieben unterschiedliche Fruchtfolgen die Realität. Zum anderen sind die unterschiedlichen Fruchtfolgen notwendig gewesen, um methodisch verschiedene Anbauumfänge einzelner Kulturen auf den Betrieben abbilden zu können. Wenn die Fruchtfolgen betrachtet werden, in denen Ackerbohnen vorkommen, so zeigt sich, dass je nach Ausbringungsvariante – eigener Miststreuer oder durch einen Lohnunternehmer – im Durchschnitt DAKL von +14 bzw. +22 €/ha erreicht werden können (Abbildung 226 und Abbildung 227). Damit sind die Differenzen in den DAKL zwischen den Ackerbohnen und den nachfolgendem Getreide verrechnet und auf den Hektar Ackerfläche für die Fruchtfolge umgebrochen. Im Falle der Grünguthäckselausbringung mit dem eigenen Miststreuer kann so festgestellt werden, dass über alle Variationen in über 70 % der Fälle durch das veränderte Anbauverfahren positive Ergebnisse erreicht wird. Die negativen Fälle sind den Ertragsvariabilitäten gegenüber dem statisch unterstellten Status quo geschuldet. Über 80 % der berechneten Variationen sind positiv in der Differenz gegenüber dem unveränderten Verfahren, wenn die Grünguthäckselausbringung über einen Lohnunternehmer stattfindet. Insgesamt streuen die Differenzen der DAKL der Fruchtfolgen zwischen -98 €/ha und + 138 €/ha. Ähnliche Variationen dürften für den Status quo gelten, wenn hier die gleichen Ertragsveränderungen in der Normalverteilung unterstellt würden – eben nur auf dem niedrigen Niveau, d. h. ohne die Ertragsverbesserung für die Ackerbohnen und die nachfolgenden Getreide.



**Abbildung 226: Verteilung der durchschnittlichen Differenz der direkt- und arbeitsleistungskostenfreien Leistung zwischen ohne und mit Einsatz von Grünguthäcksel für Fruchtfolgen mit Ackerbohnen auf 11 Betrieben in 13 Fruchtfolgen bei je 10.000 Variationen des Ackerbohnen- und Nachkultureertrages und Ausbringung mit dem eigenen Miststreuer**

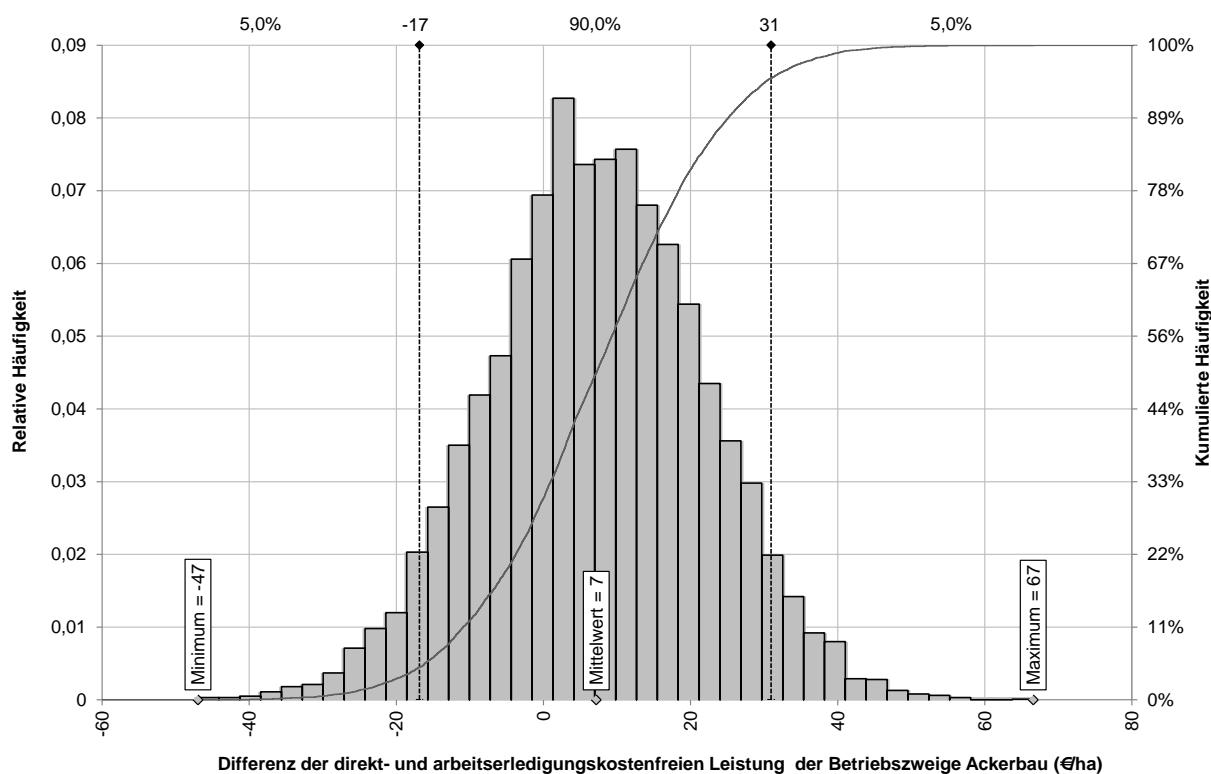




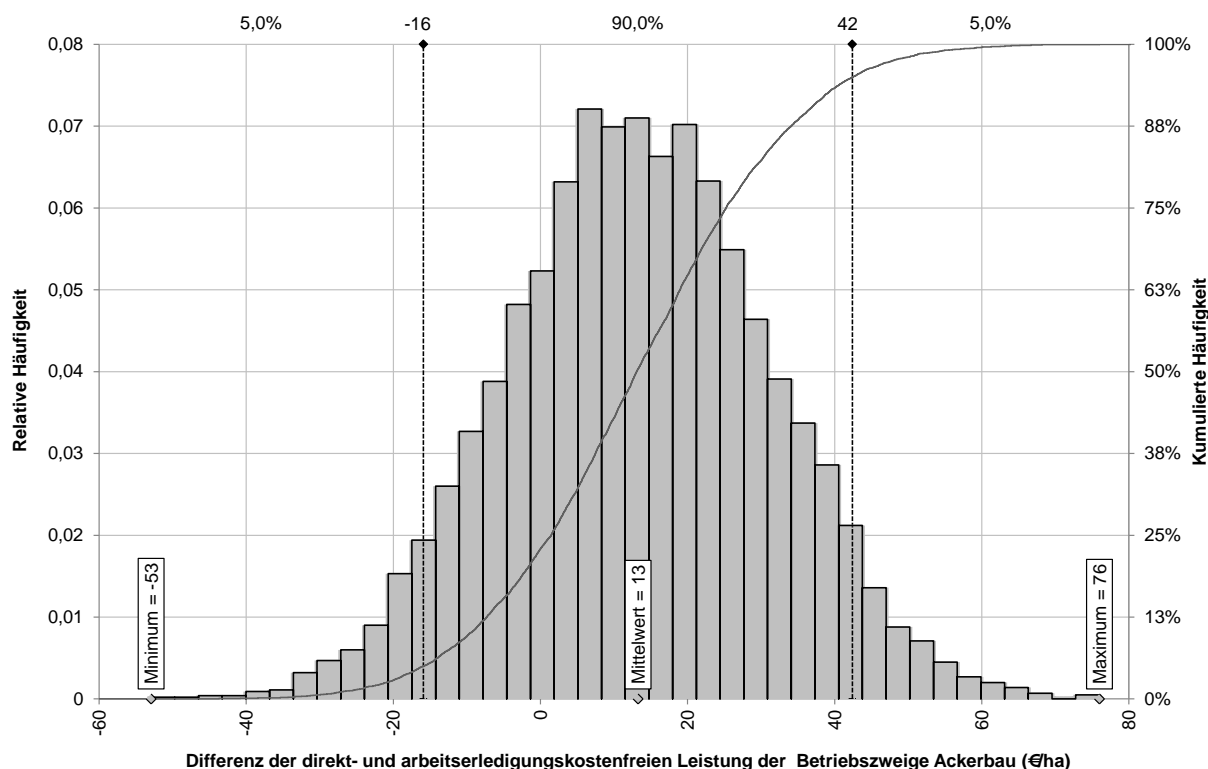
**Abbildung 227: Verteilung der durchschnittlichen Differenz der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung zwischen ohne und mit Einsatz von Grünguthäcksel für Fruchtfolgen mit Ackerbohnen auf 18 Betrieben in 22 Fruchtfolgen bei je 10.000 Variationen des Ackerbohnen- und Nachkultureertrages und Ausbringung durch einen Lohnunternehmer**

Der monetäre Mehrwert für die Fruchtfolgen wie auch für den Betriebszweig Ackerbau ist unter anderen davon abhängig, wie hoch der Anteil der Ackerbohnen am Anbauumfang der Kulturen jeweils ist. Weitere Faktoren sind die zugrunde gelegten Ertragsniveaus für die Betriebe sowie Standortfaktoren, Mechanisierungsgrad und der Art und Weise des Anbauverfahrens (Unkrautregulierung). Wie aus den DAKL für die Fruchtfolgen ersichtlich, sind hier – nicht nur den Ertragsvariabilität geschuldet – Unterschiede zwischen den Variationen ersichtlich.

Deutlich wird es noch einmal beim Blick auf die DAKL für die Betriebszweige Ackerbau. Hierbei sind die Ergebnisse der Fruchtfolgen je Betrieb zusammengefasst und als direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung für den Betriebszweig Ackerbau des jeweiligen Betriebes berechnet. Die Differenzen für die DAKL zwischen dem Status quo und dem nach den Projektmaßnahmen optimierten Anbauverfahren auf Ebene der Betriebszweige Ackerbau sind in Abbildung 227 und Abbildung 228 dargestellt. Bei Verrechnung der Auswirkungen des Einsatzes von Grünguthäcksel in die Ackerbohnen auf Betriebszweigebene zeigen sich in den Monte-Carlo-Simulationen im Durchschnitt verbesserte DAKL von +7 bzw. +13 €/ha Ackerfläche. Wenn die Ertragssteigerung pauschal mit 12 % bzw. 16 % und die betriebsbedingten Ausbringungskosten veranschlagt werden, zeigt sich eine Veränderung der DAKL zwischen -6 und +23 €/ha Ackerfläche bei der Ausbringung mit dem eigenen Miststreuer. Bei Ausbringung mit dem Lohnunternehmer sind +1 bis +43 €/ha pauschal anzusetzen. Wenn nun die Ertragsvariabilitäten der Ackerbohnen und nachfolgenden Getreide auf Basis der im Projekt erhobenen Daten berücksichtigt werden, zeigen sich Differenzen in DAKL zwischen -47 und +67 €/ha bzw. -53 und +76 €/ha Ackerfläche (vgl. Abbildung 228 und Abbildung 229).



**Abbildung 228: Verteilung der durchschnittlichen Differenz der direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistung zwischen ohne und mit Einsatz von Grünguthäcksel für die Betriebszweige Ackerbau von 11 Betrieben in Ackerbohnen bei je 10.000 Variationen des Ackerbohnen- und Nachkultureertrages und Ausbringung mit dem eigenen Miststreuer**



**Abbildung 229: Verteilung der durchschnittlichen Differenz der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung für die Betriebszweige Ackerbau von 18 Betrieben zwischen ohne und mit Einsatz von Grünguthäcksel in Ackerbohnen bei je 10.000 Variationen des Ackerbohnen- und Nachkultureertrages und durch einen Lohnunternehmer**

So können nicht nur Spannweiten zwischen den Betrieben aufgrund der unterschiedlichen Standortfaktoren und Bewirtschaftungsverfahren aufgezeigt werden. Die stark schwankenden Leguminosenerträge, die ex ante schwierig eingeschätzt werden können, sind mittels Monte-Carlo-Simulation als Risikoprofil abgebildet. Es zeigt sich, dass es in 70 bzw. 75 % der Fälle zu positiven Veränderungen der DAkL der Betriebszweige Ackerbau kommt, wenn das Anbauverfahren geändert wird, selbst wenn die Ertragsvariabilität der Leguminosen mit berücksichtigt wird.

### Schlussfolgerung

Für die Kosten-Leistungs-Rechnung und der daraus folgenden monetären Bewertung der Grünguthäckselausbringung zu Ackerbohnen ist eine kulturübergreifende Bewertung dringend anzuraten. Dargestellt wurde es anhand der ersten nachfolgenden Getreidekultur. Positive Auswirkungen der Grünguthäckselausbringung auf weitere Folgekulturen sind zu erwarten, wurden jedoch im Projekt nicht untersucht, weswegen auch in der Wirtschaftlichkeitsanalyse davon Abstand genommen wurde. Desweiteren ist mit Blick auf den Humushaushalt und den damit verbunden positiven Effekten von einer grundsätzlichen Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit auszugehen. Diese Auswirkungen konnten aufgrund der damit verbundenen methodischen Schwierigkeiten nicht abgebildet werden, sind jedoch als nicht monetärer Entscheidungsgrund gleichfalls zu berücksichtigen.

Die Bodenfruchtbarkeit als ein komplexes, dynamisches System, dessen biologische, chemische und physikalische Eigenschaften sich wechselseitig und vielfältig beeinflussen,

inklusive der ackerbaulichen Maßnahmen und des zeitlichen Aspektes der Fruchtfolge, setzt den Systemmodellen Grenzen. Aufgrund dieser Komplexität der Bodenfruchtbarkeit ist eine Bewertung von Maßnahmen, die sie verbessern, nur für eng abgegrenzte und konkret messbare Teilleistungen möglich. Im Falle der Grünguthäckselausbringung ist eine Wertschöpfung, soweit der Nutzen monetär erfass- und bewertbar ist, durch Bodenfruchtbarkeitsverbesserung von +7 bis +13 €/ha Ackerfläche (je nach Technik) zu quantifizieren. Der Nutzen des Grünguthäckselns ist jedoch weiterreichender als vorgestellt und berechnet (Erosionsschutz, Bodenstruktur etc.). Aufgrund der Datenlage sind nur zwei Kulturen betrachtet worden. Bei längerfristiger Bewertung von Fruchtfolgen über mehrere Durchgänge und unter Bezugnahme auf weitere Kulturen lassen sich noch bessere Ergebnisse vermuten. Deutlich wird jedoch, dass eine Bewertung der einzelnen Maßnahme in der betreffenden Kultur (Ackerbohne) zu einer Ablehnung führen würde, die bei Betrachtung des Gesamtkomplexes als ökonomisch sinnvoll einzuschätzen ist.

#### **4.8.3.3 Wintererbsen-Triticale-Gemenge und Sommererbse in Reinsaat-Ökonomische Aspekte**

##### **Hintergrund**

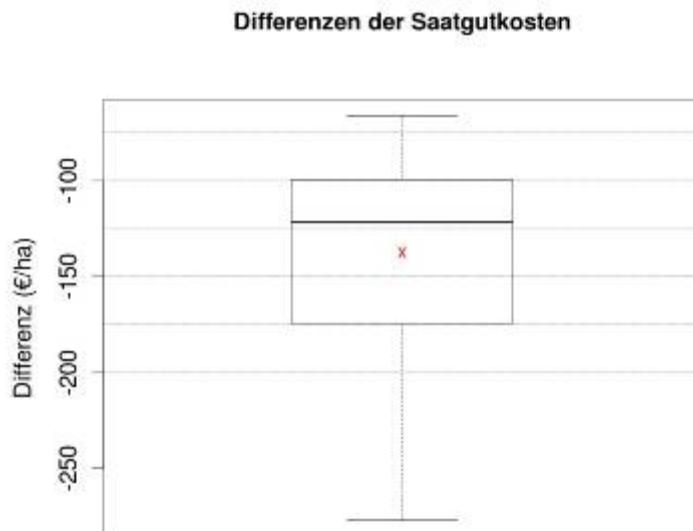
Untersucht wurden die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen des Anbaus eines Wintererbsen-Triticale-Gemenges anstelle von Sommererbsen in Reinsaat. Basis für die Berechnungen waren die Versuche zur Verbesserung des Erbsenanbaus durch Gemengepartner im Projekt (vgl. Kap. 4.5). Bei 16 Betrieben, die im Projekt untersucht wurden und die derzeit Sommererbsen in Reinsaat anbauen, wurde stattdessen modellhaft der Anbau von Wintererbsen-Triticale-Gemenge unterstellt. Da der Reinsaat-Anbau der normalblättrigen Wintererbsen-Sorte (im Projekt 'EFB 33') aufgrund mangelnder Standfestigkeit nicht zu empfehlen ist, wurde der Anbau von Sommererbsen (im Projekt 'Santana') in Reinsaat mit dem Wintererbsen-Triticale-Gemenge verglichen.

Analysiert wurden die Auswirkungen auf Deckungsbeiträge (DB) und direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistungen (DAKL) des Erbsenanbaus. Aufgrund des Anbaus eines Wintererbsen-Triticale-Gemenges verändert sich nicht nur der Ertrag der Kultur Erbse, sondern auch andere Faktoren. Diese Veränderungen, die sich aufgrund des Wintererbsen-Gemengeanbaus ergeben, wurden auf Basis der im BoFru-Projekt erhobenen Daten berücksichtigt. Hierzu gehörten die Saatstärke und –artenverhältnis für das Wintererbsengemenge. Außerdem wurde die maschinelle Unkrautregulation reduziert, da von einem verringerten Unkrautdeckungsgrad durch die frühzeitigere und umfangreichere Bodenbedeckung im Wintererbsen-Triticale-Gemenge im Gegensatz zum reinen Sommererbsenanbau auszugehen ist. Die Ertragszusammensetzung und -veränderungen (in Bezug auf die Erbsen) wurden berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.5.3.8).

##### **Ergebnisse und Diskussion**

Die Aussaatstärke des Wintererbsen-Triticale-Gemenges lag im Projekt bei 40 Körner/m<sup>2</sup> Wintererbse und 150 Körner/m<sup>2</sup> Triticale. Die Sommererbsen in Reinsaat wurden mit 80 Körnern/m<sup>2</sup> ausgesät. Für den Vergleich der Saatgutkosten wurden ausschließlich jene Praxisbetriebe in die Kalkulation einbezogen, die keinen Nachbau betreiben. Betriebe, die Sommererbsen-Nachbau betreiben, verwenden häufig überdurchschnittlich hohe Saatgutstärken, so dass sie für die Saatkostenermittlung nicht berücksichtigt wurden. Obwohl das Saatgut für Wintererbsen je Gewichtseinheit etwas teuer ist als das Sommererbsensaatgut und

zusätzlich das Saatgut für Triticale ausgebracht wird, sind bei den Kalkulationen Berechnungen für die Praxisbetriebe insgesamt niedrigere Saatgutkosten als im herkömmlichen Sommererbsenverfahren festgestellt worden (vgl. Abbildung 230.). Die Unterschiede in den Saatgutkosten beruhen zum einen auf der reduzierten Aussaatstärke der Wintererbsen im Gemenge. Außerdem haben die Wintererbsen zudem ein niedrigeres Tausendkorngewicht, welches relevant ist, da Erbsensaatgut nach Gewicht statt nach Einheiten (wie bspw. Raps) verkauft wird. Insgesamt können somit Saatgutkosten von durchschnittlich -135,60 €/ha gespart werden, wenn die Aussaatstärken der untersuchten Praxisbetriebe angesetzt werden. Die Spannweite liegt dabei zwischen -66,20 und -210,50 €/ha an Saatgutkosten.



**Abbildung 230: Differenzen der Saatgutkosten beim Anbau eines Wintererbsen-Triticale-Gemenges statt einer Sommererbsenreinsaat für 10 praxisnahe Modellbetriebe, die keinen Nachbau betreiben**

Ein weiterer wirtschaftlich relevanter Effekt ist die verringerte Unkrautbekämpfung, die gegenüber einem Sommererbsenanbau ermöglicht wird. Die untersuchte, normalblättrige Wintererbsensorte 'EFB 33' hat ein höheres Unkrautunterdrückungsvermögen als die im Vergleich angebaute halbblattlose Sommererbse 'Santana'. Zusätzliche Wirkung entfalten der Anbau im Gemenge mit Triticale mit einer schnellen Pflanzenentwicklung im Frühjahr und einer dadurch bedingten frühzeitigen Bodenbedeckung. So kann auf den Betrieben die erste Unkrautregulierungsmaßnahme entfallen. Damit ergeben sich – abhängig von Mechanisierung, den Standort und der Art der Unkrautregulierung (Striegeln oder Hacken) – verringerte variable Maschinenkosten von -3,23 bis -14,46 €/ha (vgl. Abbildung 231). Im Durchschnitt der Betriebe sind es -6,84 €/ha.

Differenzen der variablen Maschinenkosten

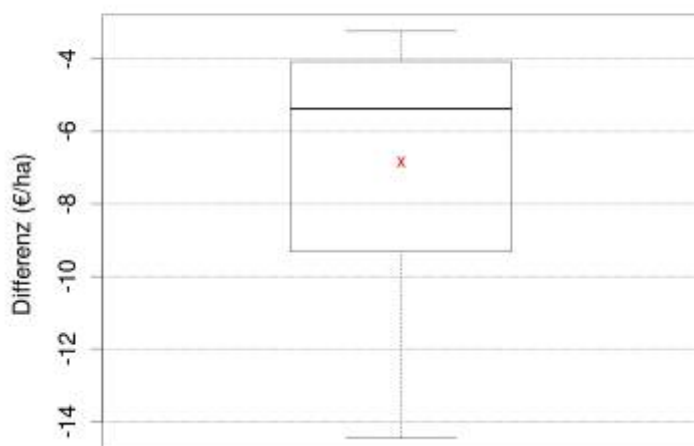


Abbildung 231: Differenzen der variablen Maschinenkosten beim Anbau eines Wintererbsen-Triticale-Gemenges statt einer Sommererbsenreinsaat für 16 praxisnahe Modellbetriebe.

Mit dem Wegfall einer Unkrautregulierungsmaßnahme wird auch die Arbeitszeit für diese Maßnahme eingespart. Je nach Mechanisierung, Standortbegebenheiten und Art der Maßnahme sind es zwischen -0,1 und -0,6 Akh/ha und im Durchschnitt sind es -0,27 Akh/ha (vgl. Abbildung 232).

Differenzen der Arbeitszeiten

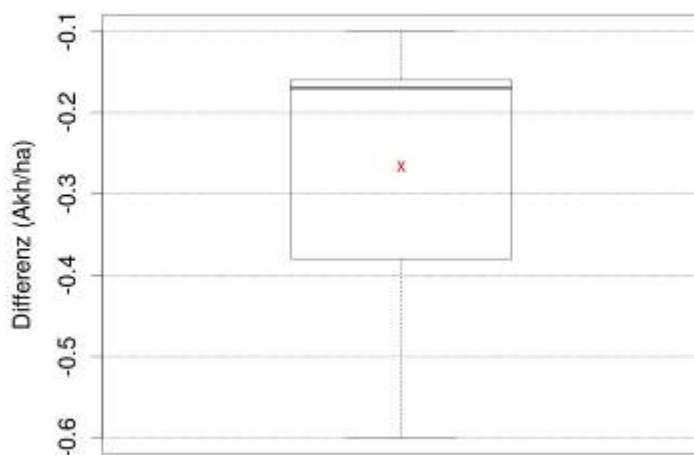


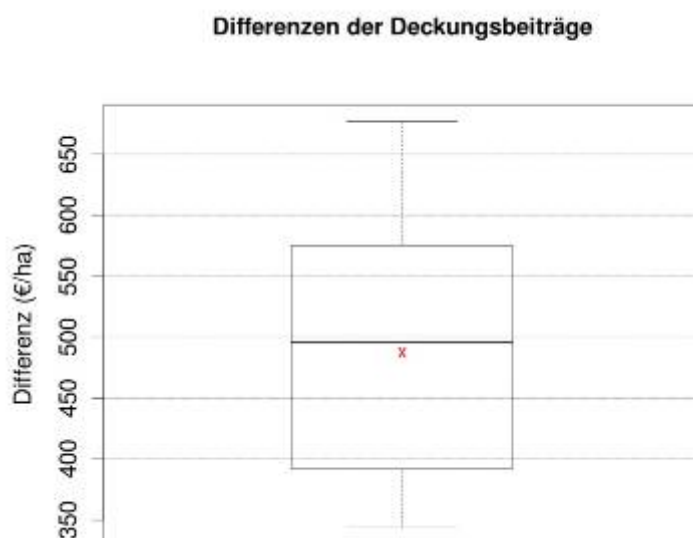
Abbildung 232: Differenzen des Arbeitszeitbedarfs beim Anbau eines Wintererbsen-Triticale-Gemenges statt einer Sommererbsenreinsaat für 16 praxisnahe Modellbetriebe, wenn die erste Unkrautregulierungsmaßnahme entfällt.

Neben den Einsparungen, die durch die Umstellung auf ein Wintererbsen-Triticale-Gemenge zu realisieren wären, sind auch Mehrkosten zu beachten. Dies betrifft vor allem die Bewertung des Nährstoffzuges. Zum einen wird er deutlich erhöht durch den Anbau der Triticale, dessen Stickstoffzug im Gegensatz zum Anbau der Körnerleguminosen bewertet wird. Angesichts



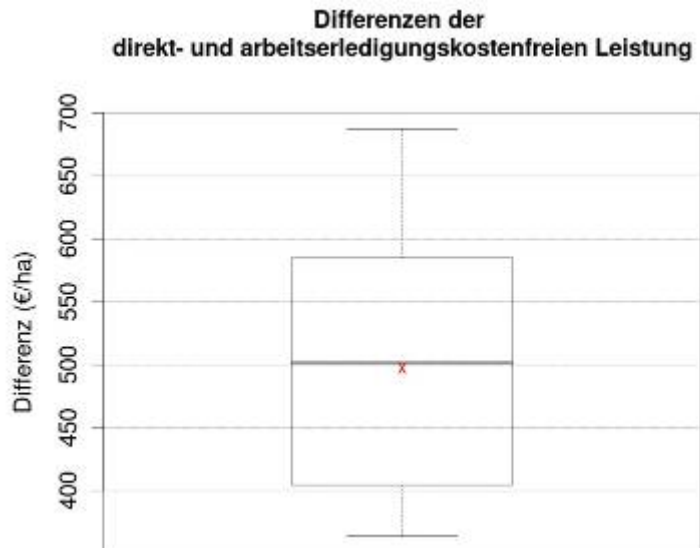
der Ertragssteigerung wird generell ein absolut höherer Nährstoffentzug in Ansatz gebracht und bewertet. Die Steigerung der Nährstoffzugskosten durch die Umstellung auf ein Gemenge und die höheren Erträge beträgt im Durchschnitt der Betriebe etwa +200 €/ha.

Die wichtigsten Unterschiede zwischen den Kulturen finden sich jedoch hinsichtlich der zu realisierenden Erträge. Zu nennen ist zum einen der zusätzliche Ertrag aus dem Gemengpartner Triticale. Im Projekt wurden von der Triticale durchschnittlich 8 dt/ha in drei Versuchsjahren geerntet. Während von einem Anbau der Wintererbse 'EFB 33' in Reinsaat abgeraten wird, sind die Wintererbsenerträge im Gemenge deutlich höher als jene der Sommererbse 'Santana' im Reinanbau. In den Versuchen konnten durchschnittlich 33 % höhere Erträge erreicht werden. Im Vergleich zu den Erträgen der Sommererbsen, die auf den Praxisbetrieben angebaut werden, bedeutet dies Mehrerträge von +5 bis +12 dt/ha. Ohne Berücksichtigung der Triticaleerträge sind bei einem Marktpreis von 43,50 €/dt folglich höhere Marktleistungen von +218 bis +522 €/ha für Erbsen zu erzielen. Die oben aufgeführten Einsparungen bei den Saatgut- und den Maschinenkosten sowie bei der Arbeitszeit und unter Berücksichtigung der möglichen Mehrerträge sind auf den Betrieben Veränderungen der Deckungsbeiträge und direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen möglich, wie sie in Abbildung 233 und Abbildung 234 dargestellt sind. Wenn die Ergebnisse aus den Versuchen des Projektes auf die Gegebenheiten der im Projekt untersuchten Praxisbetriebe übertragen werden, sind bei den getroffenen Annahmen demnach Erhöhungen der Deckungsbeiträge von +343,80 bis 677,00 €/ha möglich – im Durchschnitt +487,70 €/ha.



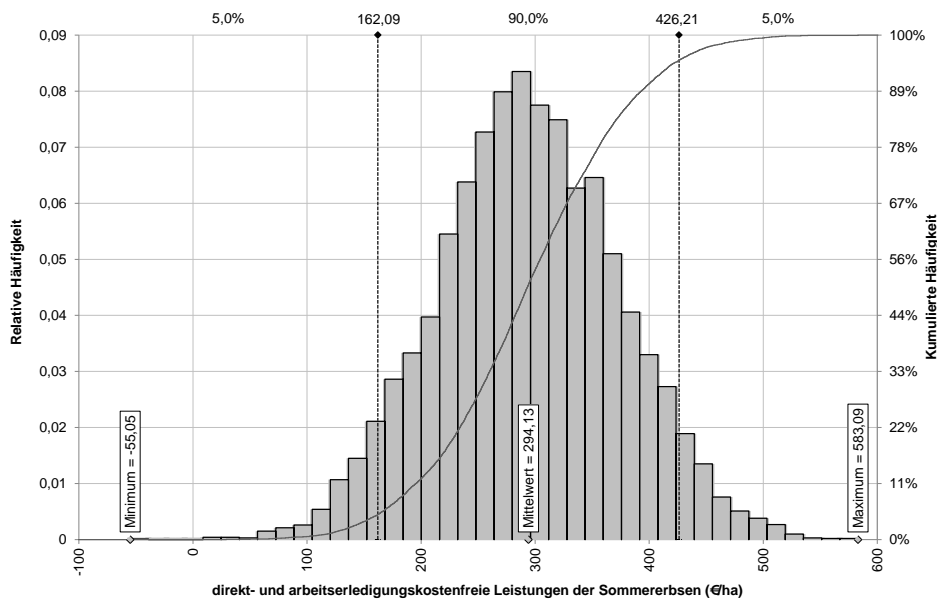
**Abbildung 233: Deckungsbeitragsdifferenzen beim Anbau eines Wintererbsen-Triticale-Gemenges statt einer Sommererbsenreinsaat für 16 praxisnahe Modellbetriebe, wenn die erste Unkrautregulierungsmaßnahme entfällt.**

Wenn die direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen (DAKL) berechnet werden, sind es durchschnittlich +497,50 €/ha bzw. zwischen +364,10 und +687,50 €/ha für die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (Abbildung 234).

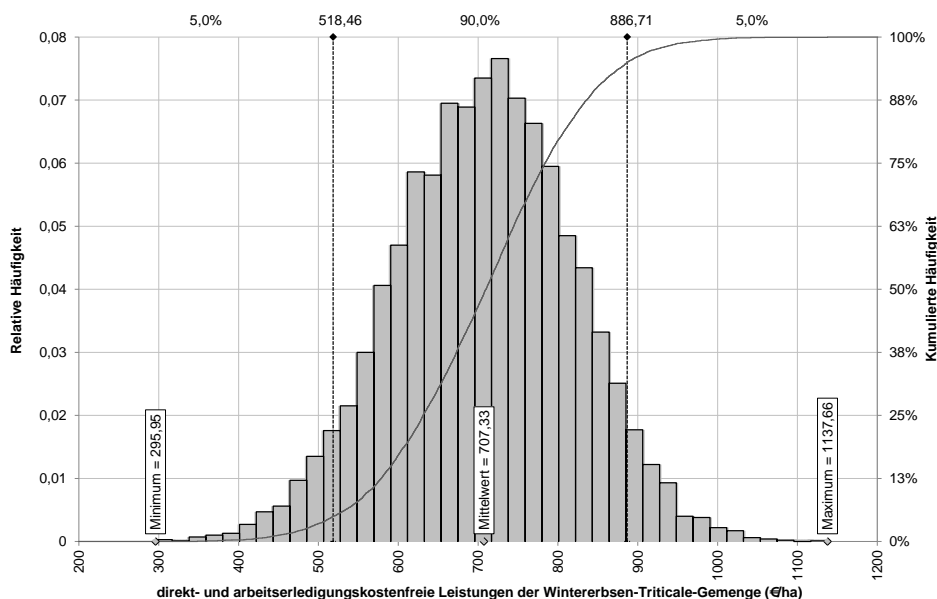


**Abbildung 234: Differenzen der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung beim Anbau eines Wintererbsen-Triticale-Gemenges statt einer Sommererbsenreinsaat für 16 praxisnahe Modellbetriebe, wenn die erste Unkrautregulierungsmaßnahme entfällt.**

Die oben aufgeführten Deckungsbeiträge und direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen beziehen sich auf die Annahme, dass sich die Erbsenerträge pauschal um 33 % erhöhen und zusätzlich der Triticaleertrag vorhanden ist – wenn auch auf dem niedrigen Niveau von 8 dt/ha. Die bekannte Ertragsinstabilität der Erbsen zeigte sich jedoch sowohl in den Wintererbsengemenge als auch in den Sommererbsen, so dass eine Simulation unterschiedlicher Erträge und deren Auswirkung auf die Deckungsbeiträge und direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung angebracht ist. In welchem Bereich sich diese bei durchschnittlichen Erträgen der Praxisbetriebe und den wie im Projekt festgestellten Ertragsschwankungen (ohne totale Ertragsausfälle) bewegen, ist für die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung als Durchschnitt über alle Betriebe der Abbildung 235 zu entnehmen. Die zu erwartenden DAKL sind in Abbildung 236 zu sehen.



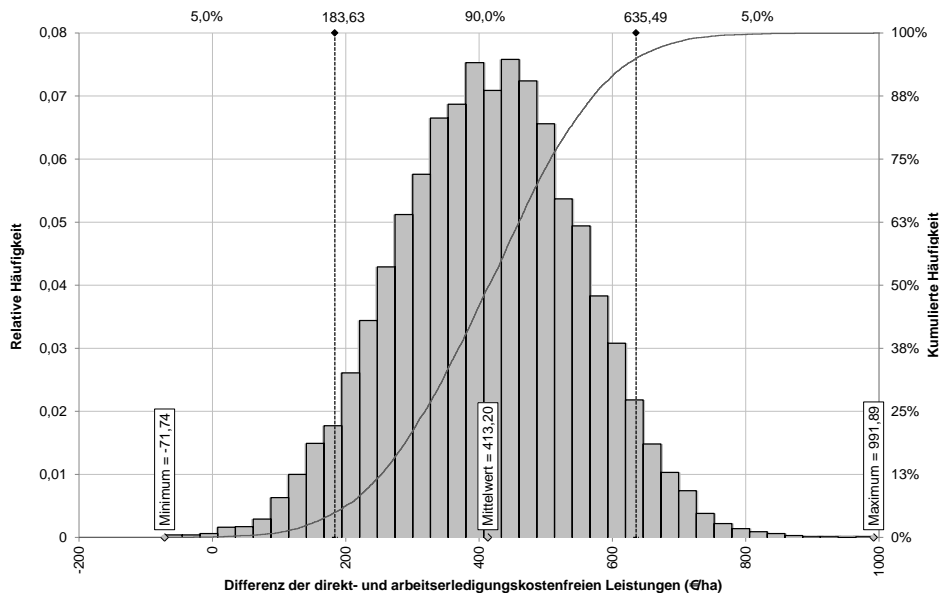
**Abbildung 235: Verteilung der durchschnittlichen direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen im Sommererbsenanbau über 16 Praxisbetriebe, bei Übertragung der Ertragsvariation aus Projektversuchen**



**Abbildung 236: Verteilung der direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen für den Wintererbsen-Triticale-Gemeeanbau im Durchschnitt über 16 Praxisbetriebe, bei Übertragung der Ertragssteigerung und -variation aus Projektversuchen**

Es zeigt sich, dass das Niveau gegenüber dem Sommererbsenanbau deutlich ansteigt, auch wenn die DAKL weiterhin in einem weiten Bereich variieren. Je nach Ertragsdifferenz zwischen den Sommererbsen und dem Wintererbsen-Triticale-Gemenge sind in 90 % der Fälle eine Erhöhung der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung von +183,63 bis +636,49 €/ha zu verwirklichen (vgl. Abbildung 237). Geringere DAKL der Wintererbsen-Triticale-Gemenge als bei den Sommererbsen sind nur in Ausnahmefällen zu beobachten. Zum einen ist das auf den deutlich höheren Ertrag der Wintererbsen zurückzuführen. Er ist nur in wenigen Fällen geringer

als der vergleichbare Sommererbsenertrag. Zum anderen gibt es – wie oben dargestellt - die zusätzlichen weiteren positiven Verbesserungen (Triticaleertrag, Verringerung der Saatgut- und Maschinenkosten). Im Durchschnitt lassen sich im Rahmen der hier vorgestellten Modellberechnungen, so die oben aufgeführten Annahmen für die Kalkulationen und Simulationen zutreffend sind, eine Steigerung der DAKL um +413,20 €/ha verwirklichen.



**Abbildung 237: Differenz der direkt- und arbeitsledigungskostenfreien Leistungen zwischen Sommererbsenreinsaat und Wintererbsen-Triticale-Gemengeanbau für 16 Praxisbetriebe, bei Übertragung der Ertragssteigerung und -variation aus Projektversuchen**

## Schlussfolgerung

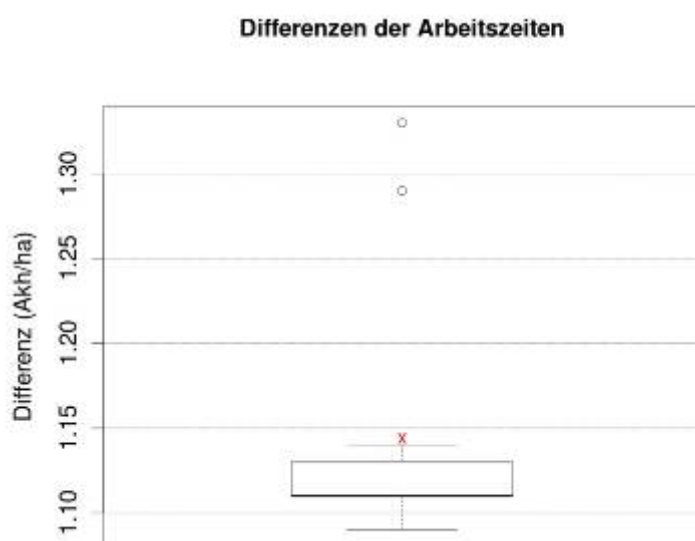
Einzelbetrieblich ist zu entscheiden, inwiefern ein Wintererbsen-Gemenge auf dem Betrieb verwirklicht werden kann. Wichtig sind die Berücksichtigung von arbeitswirtschaftlichen Aspekten zwecks Vermeidung von Arbeitsspitzen. Aber auch pflanzenbaulichen Gesichtspunkten sollte Beachtung geschenkt werden und mit Blick auf die Fruchtfolge die Integration einer weiteren Winterfrucht geprüft werden. Zudem ist sowohl die Verwendbarkeit eines Erbsen-Getreidegemenges als auch einer anderen Erbsensorte für die gewünschten Einsatzzwecke abzuwägen. Die Ergebnisse sprechen deutlich zugunsten eines Gemengeanbaus von Wintererbsen anstatt von Sommererbsen und eine Umstellung sollte in Betracht gezogen werden, wenn die oben aufgeführten Aspekte positiv beantwortet werden können.

### 4.8.3.4 Monetäre Aspekte einer kombinierten Drill-Kompostausbringungstechnik für die Erbsenaussaat

Die Umbau- bzw. Anschaffungskosten für eine Drillmaschine mit aufgesetztem Kompostbehälter sowie der entsprechenden Verteilerschare bei 3 m Arbeitsbreite wird auf 16.000 bis 21.000 € geschätzt. Da es sich um einen Prototypen handelt, ist eine genauere Vorhersage des Kaufpreises am Markt derzeit nicht möglich. Zur Kalkulation wurde ein Anschaffungspreis von 18.375 € abgeschätzt und zugrunde gelegt (vgl. Kap. 3.1.6).

Die Befüllung der Kompostdrille mit Kompost wird bei einem Bunkervolumen von 1,6 m<sup>3</sup> auf etwa 5 bis 7 min bei einer Beladung per Frontlader bei lose am Feldrand gelagerter Ware eingestuft. Für eine Ausbringungsmenge von rd. 7 t Frischmasse (5 t Trockenmasse) an Kompost ergeben sich acht Füllungen je Hektar. Zusätzlich zu den üblichen Wende- und Rüstzeiten ist also ein Arbeitszeitbedarf von rd. 0,8 Akh/ha zu veranschlagen.

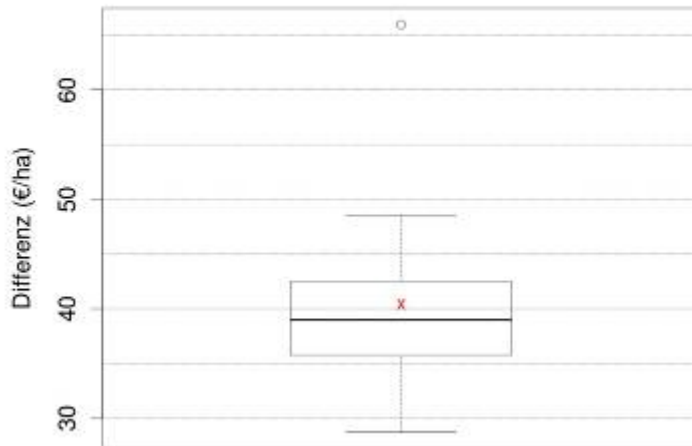
Weiterhin ist zugrunde gelegt, dass sich die mittlere Fahrgeschwindigkeit bei der Aussaat von 6,8 km/h auf 4 km/h verringert werden muss, damit eine korrekte Ablage des Komposts und des Saatguts sichergestellt ist. Damit verändert sich die Grundarbeitszeit der Aussaat von Erbsen in Abhängigkeit von der Schlaggröße. Insgesamt ergäben sich für die zugrunde gelegten Praxisbetriebe Mehrarbeitszeiten von +1,09 bis +1,33 Akh/ha bei der Aussaat der Erbsen, wenn zusätzlich Kompost in der Saatreihe abgelegt wird. Im Durchschnitt sind +1,14 Akh/ha zusätzlich für die Arbeitszeit zu veranschlagen (vgl. Abbildung 238).



**Abbildung 238: Differenzen der Arbeitszeiten der Verwendung einer Kompostdrille zur Aussaat von Erbsen für 13 praxisnahe Modellbetriebe**

Neben der Arbeitszeit verändern sich auch die Maschinenkosten. Die variablen Maschinenkosten erhöhen sich durch den höheren Zugkraftbedarf, vor allem jedoch durch die verlängerten Fahrzeiten. Die fixen Maschinenkosten erhöhen sich durch die zusätzliche Abschreibung und den Ansatz für Reparatur und Wartung. Für die zugrunde gelegten Betriebe sind es für die variablen und fixen Maschinenkosten zwischen +28,72 und +48,54 €/ha und in einem Ausnahmefall +65,98 €/ha. Im Durchschnitt sind zusätzlich +39,00 €/ha für die gesamten Maschinenkosten zu veranschlagen (vgl. Abbildung 239).

### Differenzen der gesamten Maschinenkosten

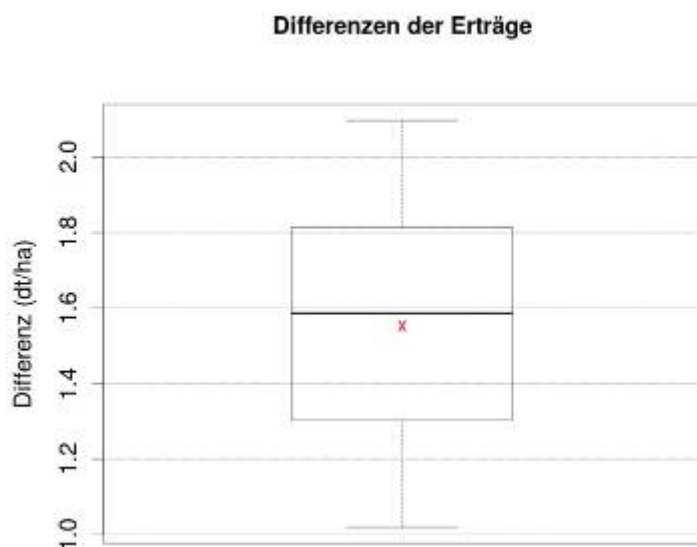


**Abbildung 239: Differenzen der gesamten Maschinenkosten bei der Verwendung einer Kompostdrille zur Aussaat von Erbsen für 13 praxisnahe Modellbetriebe**

Der Nutzen für die Betriebe soll einerseits in höheren Ertragsleistungen der Erbsen durch verringerten Krankheitsbefall mit bodenbürtigen Krankheitserregern liegen. Wie beschrieben, sind hierfür noch keine statistisch belastbaren Ergebnisse aus Feldversuchen vorhanden. Jedoch sind aus zwei Versuchsjahren Einschätzungen in Höhe rd. +6 % gegeben. Es sind ein einjähriger Versuch, bei dem die Kompostmengen von 7 t Frischmasse Grüngutkompost per Hand in die Saatreihen abgelegt wurden und ein einjähriger Versuch, in dem die beschriebene Drill-Kompost-Kombination mit der gleichen Kompostmenge getestet wurde (vgl. Kapitel 4.4.1).

Bezogen auf die Ergebnisse der Praxisbetriebe bedeutet das +1,0 bis +2,1 dt/ha an zusätzlichem Ertrag, im Mittel wurden für die Kalkulation +1,5 dt/ha angesetzt (vgl. Abbildung 240). Andererseits sind weitere Nutzen für den Landwirt durch positive Veränderungen in der Fruchtfolge zu beachten. Diese ergeben sich zum einen durch den direkten Düngungseffekt des Komposts, der auch in der nachfolgenden Kultur noch gegeben ist. Zum anderen weist ein höherer und gesunderer Erbsenertrag eine höhere N-Fixierleistung auf. Außerdem bedeutet ein Ackerschlag mit erkrankten Erbsen negative Nachwirkungen in der Fruchtfolge aufgrund der stärkeren Vermehrung von Unkräutern und Krankheitserregern und damit Schäden in nachfolgenden Kulturen.

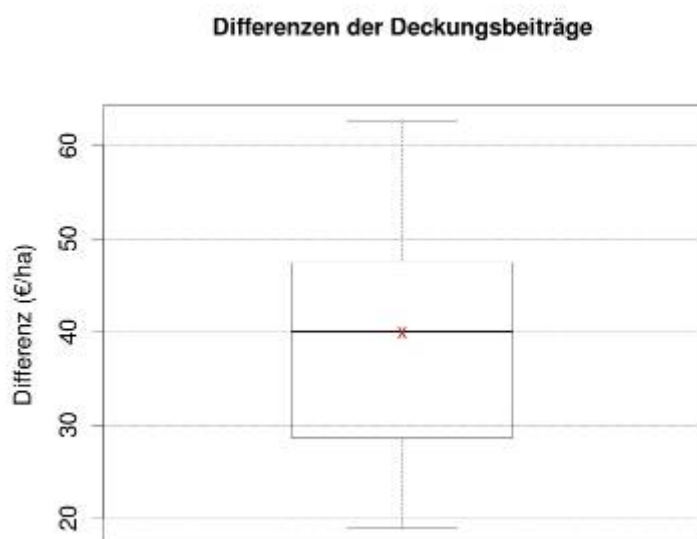




**Abbildung 240: Differenzen der absoluten Erträge bei der Verwendung einer Kompostdrille zur Aussaat von Erbsen für 13 praxisnahe Modellbetriebe**

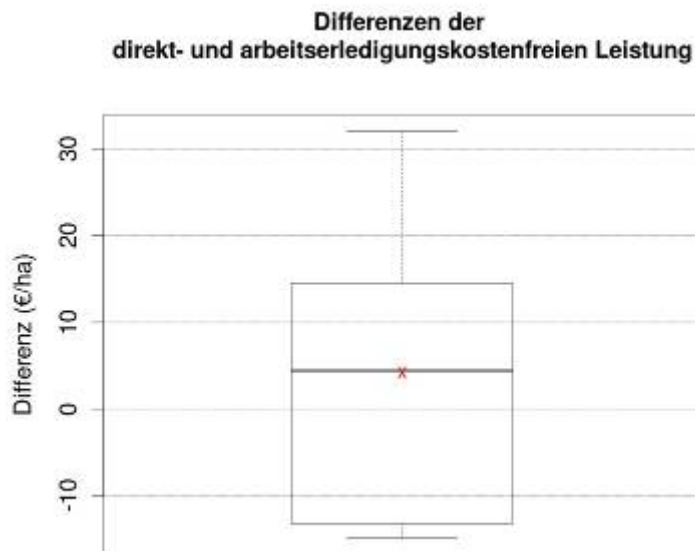
Analog zur Ausbringung von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen (vgl. Kap. 4.8.3.2) wurde der Einkaufspreis für den ausgebrachten Grüngutkompost nicht in die Kalkulation mit aufgenommen. Zum einen sind die Preise für das Material örtlich und qualitätsabhängig sehr unterschiedlich. Zum anderen erfolgt die Nährstoffbewertung für die Kulturen über den Entzug. Entsprechend ist zu prüfen, ob die Nährstoffmengen im Kompost mit den betrieblich zugrunde gelegten monetären Nährstoffwerten multipliziert mindestens dem Preis für die eingekaufte Ware entsprechen.

Aus den Veränderungen der Erträge und der variablen Maschinenkosten ergeben sich die Deckungsbeitragsveränderungen für die Erbse. Wie in Abbildung 241 dargestellt, sind es im Durchschnitt +40 €/ha bei einer Spannweite von +18,94 bis +62,57 €/ha.



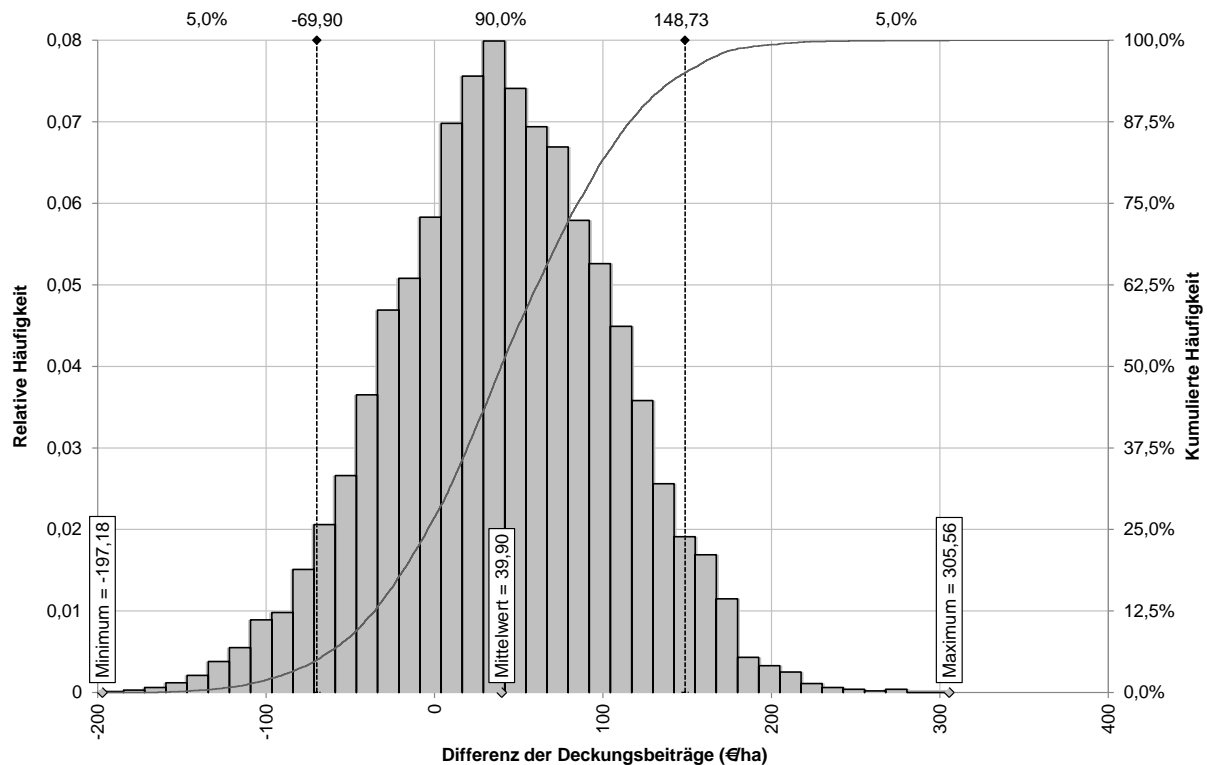
**Abbildung 241: Differenzen der Deckungsbeiträge bei der Verwendung einer Kompostdrille zur Aussaat von Erbsen für 13 praxisnahe Modellbetriebe**

Die Betrachtungsebene wird erweitert, indem Veränderungen der Arbeitszeit sowie der fixen Maschinenkosten mit einbezogen werden. Die sich daraus ergebenden direkt- und arbeits-erledigungskostenfreien Leistungen sind in Abbildung 242 dargestellt. Die zusätzlichen Leistungen durch den leicht erhöhten Ertrag gleichen die Mehrkosten für Maschinen und Arbeitszeit in etwa aus, so dass die Veränderungen der DAKL gegen Null tendieren. Je nach betrieblicher Gegebenheit sind zwischen -14,91 und +32,07 e/ha zu erwarten, wenn die Ertragsveränderungen pauschal mit +6 % eingerechnet werden.



**Abbildung 242: Differenzen der direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistungen bei der Verwendung einer Kompostdrille zur Aussaat von Erbsen für 13 praxisnahe Modellbetriebe**

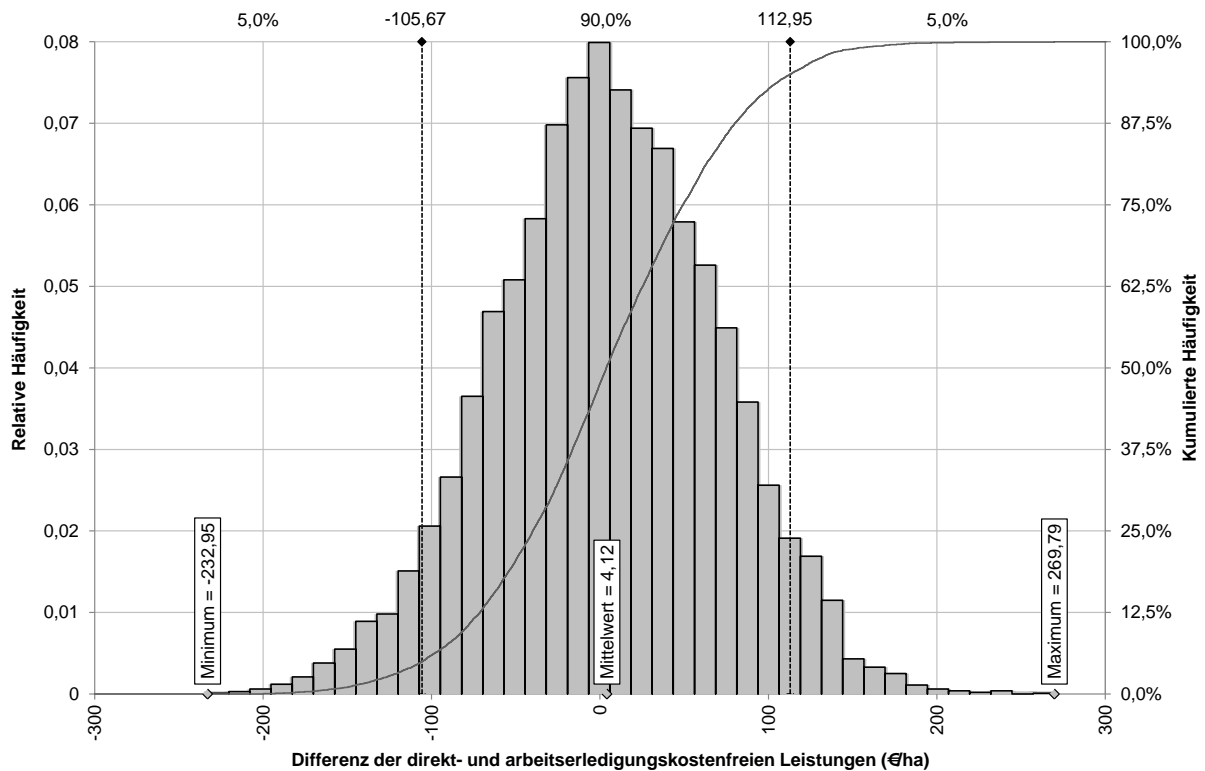
Zur Modellierung des Risikos der Veränderung des Aussaatverfahrens bei Erbsen auf den Betrieben wurde die in den Feldversuchen erhobene Ertragsvariabilität mittels Monte-Carlo-Simulation in die Betrachtung einbezogen. Die Auswirkungen auf die Differenz der Deckungsbeiträge ist in Abbildung 243 dargestellt. Im Durchschnitt sind auch in den Monte-Carlo-Simulationen etwa 40 €/ha als Deckungsbeitragsdifferenz für das veränderte Anbauverfahren ausgewiesen. Aufgrund der Erbsenertragsschwankungen zeigt sich, dass Veränderungen über alle Betriebe und die jeweils 10.000 Ertragsvariation je Betrieb zwischen -197,18 und +305,56 €/ha im Erwartungsbereich liegen. In 75 % der berechneten Deckungsbeitragsimulationen sind positive Ergebnisse zu verzeichnen. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass ähnliche Ertragsschwankungen auch vorkommen, wenn keine Veränderungen bei der Aussaattechnik vorgenommen werden. Die Deckungsbeiträge und direkt- und arbeits-erledigungskostenfreien Leistungen der Betriebe liegen allgemein auf einem niedrigen Niveau (vgl. Kap. 4.8.2), so dass Ertragsschwankungen auch in der Status quo-Situation für negative Ergebnisse bei der Deckungsbeitrags- und DAKL-Berechnung sorgen.



**Abbildung 243: Verteilung der Differenzen der Deckungsbeiträge zwischen herkömmlichem Aussaatverfahren und Aussaat mit einer Drill-Kompostausbringungs-Kombination für 13 praxisnahe Modellbetriebe bei Übertragung der Ertragssteigerung und -variation aus den Projektversuchen**

Die Differenzen der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen des Erbsenanbaus zwischen dem Saatverfahren bei Einsatz der Kompostdrille und dem gegenwärtig ausgeführten Verfahren unter der Variation des Erbsenertrages anhand der Feldversuchsdaten für die 13 ausgewählten Modellbetriebe sind in Abbildung 244 aufgeführt. Es zeigt sich, dass die DAKL sich im Durchschnitt nicht verändern. Die Hälfte der berechneten Fälle verzeichnet eine negative Differenz, die andere Hälfte ist positiv. Die Spannweite reicht dabei von -232,95 €/ha bis +269,79 €/ha. Wie bei den Deckungsbeiträge angesprochen, ist zu berücksichtigen, dass die Ertragsschwankungen in der Status quo-Situation ebenfalls zu beobachten sind und diese gleichfalls zu negativen Ergebnissen führen kann, wenn sie gegen einen statischen mittleren Ertrag abgeglichen wird.

Zu berücksichtigen wären der Fruchtfolgeeffekt durch die Düngungswirkung des Grüngutkomposts und der verbesserte Vorfruchteffekt, der sich durch einen gesünderen Erbsenschlag für die nachfolgende Kultur ergibt. Die Kalkulation hierfür kann analog zu den aufgezeigten Bewertungsmethoden durchgeführt werden, wie sie für die Ausbringung von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen durchgeführt vorgestellt wurde (vgl. Kap. 4.8.3.2), wenn die Auswirkungen auf die Nachfrucht quantitativ bekannt sind.



**Abbildung 244: Verteilung der Differenzen der direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistung zwischen herkömmlichem Aussaatverfahren und Aussaat mit einer Drill-Kompostausbringungs-Kombination für 13 praxisnahe Modellbetriebe bei Übertragung der Ertragssteigerung und -variation aus den Projektversuchen**

### Schlussfolgerungen:

Die Aussaat der Erbsen mit einer Drill-Kompost-Kombination, die zeitgleich unterhalb der Aussaatreihe Kompost ablegt, führt singular auf die Erbse bezogen zu keiner wirtschaftlichen Verbesserung. Die zugrunde liegenden Ertragsdaten sind jedoch statistisch nicht abgesichert und können daher nur als Anhaltswerte dienen. Andererseits sind in der obigen Betrachtung keine – in der Praxis zu erwartenden – Fruchtfolgeeffekte berücksichtigt. Insgesamt kann also von einer wirtschaftlich sinnvollen Veränderung des Anbauverfahrens ausgegangen werden. Eine Nutzung bei anderen Kulturen zur Kompostdüngung würde wirtschaftliche Verbesserung der Deckungsbeträge und direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistung gleichfalls steigern.

### 4.8.3.5 Differenzialdiagnostik – Kosten und Nutzen der gezielten Schlagauswahl für Erbsen nach phytopathologischer Eignung

#### Hintergrund

Mit der einfachen Differenzialdiagnose ist es möglich, das Risiko von Mindererträgen bei Erbsen durch biologische, bodenbürtige Ursachen – die sogenannte Bodenmüdigkeit – zu verringern. So können Ackerschläge ausgewählt werden, die eine möglichst geringe Schad-erregerbelastung ausweisen. Die Methodik der vereinfachten Differenzialdiagnostik ist in Kapitel 3.1.5 nachzulesen. An dieser Stelle soll der Frage nachgegangen werden, wie hoch die Kosten der Durchführung sind und unter welchen Bedingungen ein Einsatz lohnend ist.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Der Aufwand bei der Durchführung einer Differenzialdiagnostik hängt von den betrieblichen Rahmenbedingungen ab, insbesondere der Größe und Anzahl der Schläge sowie der Homogenität innerhalb eines Schlages.

Die Kostenelemente, die berücksichtigt werden müssen, lassen sich grob in „Bodenproben ziehen“, „Aufbereitung der Bodenproben“ sowie „eigentliche Differenzialdiagnostik“ gliedern

### ***Kosten der Bodenbeprobung***

Je zu untersuchenden Schlag sind vier Töpfe mit der unbehandelten und vier Töpfe mit der sterilisierten Erde zur Untersuchung auf Bodenmüdigkeit notwendig (vgl. Kap. 3.1.5). Die Anzahl an Proben, die je Schlag genommen werden, ist abhängig von der Homogenität des Schlages und weniger von seiner Größe. Dies gilt bei homogenen Schlägen bis zu einer Schlaggröße von 5 ha Schlaggröße. Ab einer Schlaggröße von 5 ha ist eine Durchmischung nicht zu empfehlen, sondern entsprechend mehrere Untersuchungen durchzuführen. Es wird je Untersuchungsschlag eine repräsentative Mischprobe aus 10-20 Einstichen im Schlag und insgesamt etwa 10 - 20 Liter Erde benötigt. Die Schlagentfernung hat einen Einfluss, da die Anfahrt berücksichtigt werden muss. Die Arbeitszeit auf dem Feld ist vor allem durch die Bodenprobenentnahme beeinflusst und liegt zwischen 0,42 und 1 Akh je Erbsenschlag (bei 1 bis 5 ha/Schlag; Anfahrt mit dem PKW, Bodenentnahme mit dem Spaten).

### ***Kosten der Aufbereitung der Bodenproben***

Benötigt werden an Material 4 Aluschalen zur Bodensterilisation im Backofen für die Kontrolle sowie 8 Blumentöpfe (jeweils 1 Liter) für die Aussaat der Erbsen. Zudem muss elektrischer Strom für die Bodensterilisation der Kontrolle in Ansatz gebracht werden. Insgesamt verursacht die Aufbereitung Kosten von etwa 9,04 bis 11,65 €/Erbsenschlag.

### ***Durchführung der Differenzialdiagnostik***

Insbesondere für die Verarbeitung der Bodenprobe, Pflege der Erbsentöpfe und die Auswertung der Pflanzen sind Arbeitszeitaufwendungen monetär zu bewerten. Der Aufbau der Versuchsreihe wird mit etwa 1 Akh / Untersuchungsschlag kalkuliert (Bodenprobe sieben, sterilisieren, einfüllen in die Töpfe und aussäen). Für die Pflege der acht Töpfe je Untersuchungsschlag werden zweitäglich 5 bis 10 Minuten über die Versuchszeit von sechs Wochen zugrunde gelegt. Das Ernten und Auswertung der Pflanzen ist mit einer halben Stunde je Untersuchungsschlag zu kalkulieren. Insgesamt ergibt sich so ein Arbeitszeitbedarf von 4,55 bis 5,12 Akh je Erbsenschlag. Kalkuliert man die Kosten einer Arbeitsstunde mit 15,00 €, dann ergeben sich Arbeitskosten in Höhe von 68,25 – 76,80 € je Untersuchung.

Bei einer Gesamtkostenbetrachtung sind inklusive der Materialien dementsprechend 77,21 – 88,52 € je Erbsenschlag zu berechnen. Je nach Anzahl an Ackerschlägen, die für den Erbsenanbau zur Verfügung stehen und getestet werden sollen, sind die Arbeitszeit und die Kosten zu vervielfachen. Gewisse Synergieeffekte bei der Untersuchung mehrere Schläge – insbesondere bei der Pflege – können dabei berücksichtigt werden.

Der Arbeitszeitbedarf und die Kosten je Hektar Erbsenfläche zur Schlagauswahl mit Differenzialdiagnose sind in Tabelle 173 aufgeführt.

**Tabelle 173: Arbeitszeitbedarf und Kosten für die einfache Differenzialdiagnose zur krankheitsvorhersagebasierten Schlagauswahl zum Erbsenanbau (Quelle: eigene Berechnungen und KTBL 2012)**

Schlaggröße	Arbeitszeitbedarf (Akh/ha)	Variable & fixe Kosten (€/ha)	Gesamtkosten (€/ha)
<b>Schlagentfernung: 2 km</b>			
1 ha	4,55	9,04	77,22
2 ha	2,44	4,76	41,32
5 ha	1,02	2,01	17,38
<b>Schlagentfernung: 5 km</b>			
1 ha	4,55	9,34	77,52
2 ha	2,44	4,96	41,52
5 ha	1,02	2,17	17,55
<b>Schlagentfernung: 10 km</b>			
1 ha	4,55	9,69	77,87
2 ha	2,44	5,19	41,75
5 ha	1,02	2,33	17,71

Wenn es also gelingt, durch die Differenzialdiagnostik einen Schlag oder mehrere Schläge zu identifizieren, auf denen kein Erbsenanbau stattfinden sollte, muss der Erbsenanbau auf den alternativ gewählten Feldern diese Untersuchungskosten wieder auffangen. Berücksichtigt man die in Tabelle 173 aufgeführten Gesamtkosten je Hektar und bezieht diese betriebsindividuell auf die untersuchten Praxisbetriebe hinsichtlich Schlaggröße und –entfernung, so ergeben sich notwendige Mehrerträge zwischen 0,40 und 1,78 dt/ha. Dann wären bei einem Preis von 43,50 €/dt Erbsen die Kosten für die krankheitsvorhersagebasierte Schlagauswahl amortisiert. Für die wenigen Betriebe, bei denen die Kalkulation der durchschnittlichen direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistung der Erbsen einen negativen Wert aufweist (vgl. Kapitel 4.8.2) sind die Aufwendungen möglicherweise der notwendige Schritt, um einen lohnenswerten Erbsenanbau auf dem Betrieb zu etablieren. Für die Betriebe, die positive DAkL im Erbsenanbau erreichen, sind Mehrkosten von – je nach Schlaggröße und -entfernung – 17,38 und 77,87 €/ha zum Erreichen eines produktiveren Erbsenanbaus oder zur Vermeidung von Totalausfällen durchaus bedenkenswert.

### Schlussfolgerung

Die Untersuchung des kommenden Erbsenschlages auf Bodenmüdigkeit mit hauseigenen Mitteln ist den Landwirten zu empfehlen. Wenngleich aus dem Projekt keine konkreten Daten für Ertragsteigerung oder –stabilisierung aufgrund eines Ackerschlagwechsels durch die vereinfachte Differenzialdiagnose vorliegen, so ist die aufgezeigte Kosten-Nutzen-Relation als eine klare Empfehlung anzusehen. Notwendig ist allerdings die Möglichkeit, verschiedene Schläge für einen Erbsenanbau zur Verfügung zu haben.

Abgesehen vom direkten, vorgestellten Nutzen für den Erbsenanbau auf dem Betrieb, bringt die differenzierte Schlagauswahl einen weiterreichenden, an dieser Stelle nicht bewerteten Nutzen. Ein Ackerschlag mit erkrankten Erbsen bedeutet negative Nachwirkungen in der Fruchtfolge



aufgrund der stärkeren Vermehrung von Unkräutern und Krankheitserregern und damit Schäden in nachfolgenden Kulturen.

#### 4.8.4 Abschätzung der bearbeiteten Verfahren und Maßnahmen zum Bodenfruchtbarkeitsmanagement in einem halbquantitativen Technology Impact Assessment

Für die ökologische Bewertung war ein „comparativ sustainability assesment“ (CSA) vorgesehen. Umgesetzt wurde es mit Gruppendelphi-Befragung. Als Experten konnten projektbeteiligte Wissenschaftler gewonnen werden. Diesen wurde ein Fragebogen ausgehändigt, welcher die erwarteten Auswirkungen ausgewählter Maßnahmen aus dem Projekt auf bestimmte Umweltindikatoren abfragte. Ausgewählt wurden die Maßnahmen:

- › Reduzierung der Bodenbelastung bei der Aussaat von Kulturen
- › Grünguthäckseldüngung zu Ackerbohnen
- › Strohreicher Pferdemist zu Rotklee-Gras
- › Umstellung von Sommererbsen auf Wintererbsen-Triticale-Gemenge
- › Einsatz des Stoppelhobels anstatt des Pfluges
- › Ausbringung von suppressiven Komposten zur Aussaat von Erbsen
- › Krankheitsvorhersagebasierte Schlagauswahl beim Erbsenanbau

Die langfristige Veränderung folgender Umweltindikatoren wurde - jeweils systemspezifisch und langfristig - betrachtet:

- › Kohlenstoffdioxid-Bilanz im System
- › Humusgehalt
- › Distickoffoxid-Emission
- › Nitratauswaschung ins Grundwasser
- › Bodenstruktur
- › Wasserbedingte Bodenerosion
- › Windbedingte Bodenerosion

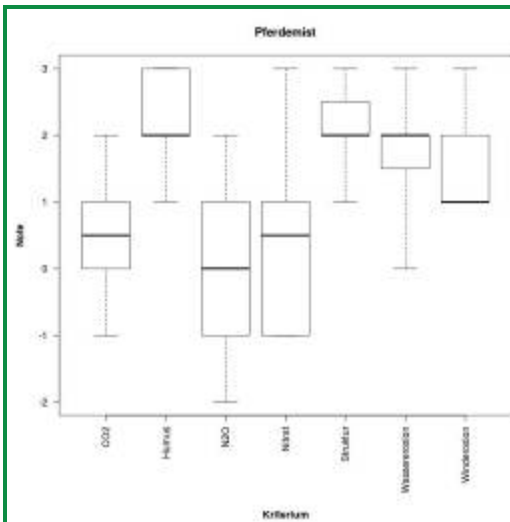
Die jeweiligen Umweltindikatoren konnten jeweils auf einer Skala von -5 bis +5 bewertet werden. Dabei bedeutete -5 jeweils eine deutliche Verschlechterung des Umweltindikators gegenüber dem IST-Zustand (deutlicher Humusabbau, deutlich schlechtere Bodenstruktur, deutlich kräftigere Nitratauswaschung etc.) und +5 eine deutliche Verbesserung. Die Fragebögen für die erste Befragungsrunde wurden mit einer ausführlichen Erläuterung per Email verschickt und vor dem Workshop eingesammelt. In vorbereiteten Auswertungsschritten wurden erste Ergebnisse zusammengestellt und den Experten präsentiert. Anschließend fand eine ausgiebige Gruppendiskussion zu jedem Umweltindikator und jeder Maßnahme statt. Danach wurden erneut die Fragebögen für die zweite Delphirunde verteilt. Die hier präsentierten Ergebnisse beruhen auf Daten aus dieser zweiten Befragungsrunde. Die Ergebnisse der zweiten Delphirunde hatten nach der ausführlichen Diskussion nur noch eine geringe Streuung. Daher wurde auf eine dritte Befragungsrunde verzichtet. Die Ergebnisauswertung zeigt auf, dass für alle ausgewählten Maßnahmen bei fast allen abgefragten

Umweltindikatoren von den Experten eine leichte Verbesserung erwartet wird. In einzelnen Fällen wird angenommen, dass keine Veränderung eintreten.

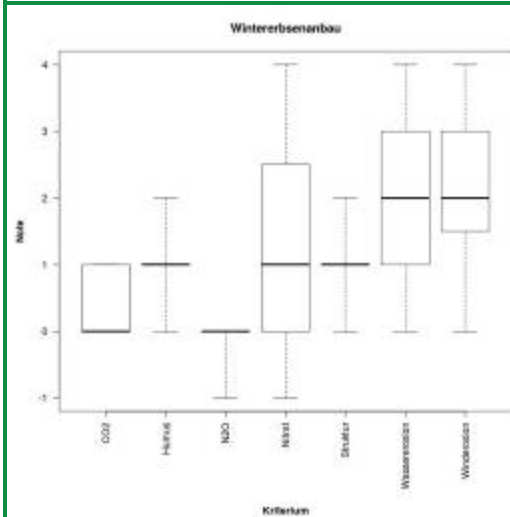
Die Ergebnisse sind für verschiedene Maßnahmen in Tabelle 174 zusammengefasst. Zum einen sind Box-Whisker-Plots abgebildet, die einen Überblick über die Einschätzung der Experten zu den qualitativen Auswirkungen der verschiedenen Maßnahmen auf die gewählten Umweltindikatoren zeigt. Zum anderen sind kurze Statements aus den Diskussionen und zu den Ergebnissen aufgeführt.

**Tabelle 174: Zusammenfassung der ökologischen Bewertung ausgewählter Maßnahmen**

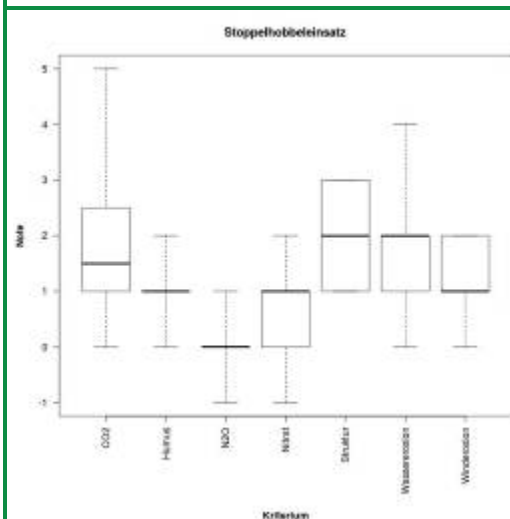
<p>Reduzierte Belastung</p> <p>Box-Whisker-Plot zur Bewertung der Auswirkungen von Maßnahmen auf Umweltindikatoren. Die Y-Achse zeigt die Note von -4 bis 4. Die X-Achse listet die Kriterien CO<sub>2</sub>, Humus, N<sub>2</sub>O, Nitrat, Struktur, Wasserosion und Winderosion auf. Die Boxen zeigen den Median (horizontale Linie), den Interquartilsbereich (Box) und den Bereich der Daten (Whisker).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Reduzierte Belastung = Weniger Bodenbelastung:</li> <li>› Weniger Kraftaufwand für Bodenbearbeitung, geringerer Dieserverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß</li> <li>› leicht verbesserter Humusaufbau</li> <li>› geringere N<sub>2</sub>O-Emission, da reduzierende Verhältnisse auf verdichteten Böden</li> <li>› geringere NO<sub>3</sub>-Auswaschung, da verbessertes Wurzelwachstum und N-Aufnahme</li> <li>› verbesserte Bodenstruktur</li> <li>› wasserbedingte Bodenerosion verringert, da verbesserte Infiltration</li> <li>› eher neutral hinsichtlich windbedingter Erosion</li> </ul>
<p>Grünguthäckseln</p> <p>Box-Whisker-Plot zur Bewertung der Auswirkungen von Maßnahmen auf Umweltindikatoren. Die Y-Achse zeigt die Note von -6 bis 5. Die X-Achse listet die Kriterien CO<sub>2</sub>, Humus, N<sub>2</sub>O, Nitrat, Struktur, Wasserosion und Winderosion auf. Die Boxen zeigen den Median (horizontale Linie), den Interquartilsbereich (Box) und den Bereich der Daten (Whisker).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› CO<sub>2</sub>-Emission ansteigend, durch Dieserverbrauch bei Ausbringung und CO<sub>2</sub>-Respiration aus dem Häcksel, andererseits C-Bindung im Boden – in der Bilanz ggf. leicht verringert</li> <li>› Humusgehalt wird langfristig steigen</li> <li>› N<sub>2</sub>O-Emission ist schwer einzuschätzen, ggf. leicht verringert wegen verbesserter Struktur (verringerte reduzierende Verhältnisse)</li> <li>› Nitrat-Auswaschung verringert, da N gebunden wird</li> <li>› Verbesserte Bodenstruktur zu erwarten</li> <li>› Verringerte Wassererosion, bei Winderosion ist es abhängig vom sich entwickelnden Bestand</li> </ul>



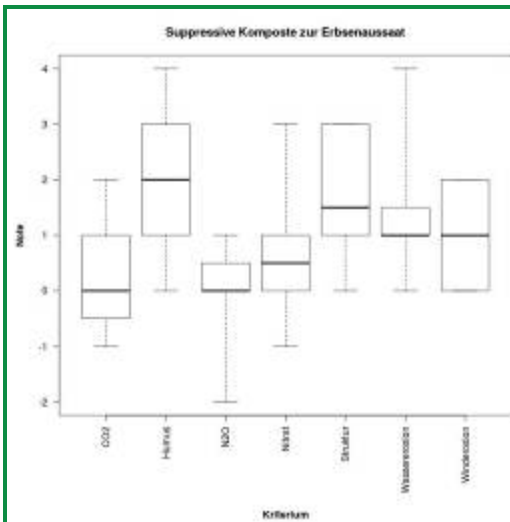
- > CO<sub>2</sub>-Emission ansteigend, da Dieserverbrauch bei Ausbringung und CO<sub>2</sub>-Respiration aus dem Mist, andererseits C-Bindung im Boden, ggf. in der Bilanz leicht verringert.
- > Humusgehalt wird langfristig steigen, jedoch geringer als bei Grünguthäcksel
- > N<sub>2</sub>O-Emission ist schwer einzuschätzen, ggf. leicht ansteigend, wegen erhöhtem N-Gehalt
- > Nitrat-Auswaschung ist abhängig von der tatsächlichen Ausbringungsmenge, der Bodenart und der Witterung, ggf. leicht erhöht
- > Verbesserte Bodenstruktur zu erwarten
- > Erosion: Mist auf unbedeckten Flächen ist erosionsschützend, vor allem wenn nur flach eingearbeitet wie vorgesehen; sobald der Bestand etabliert ist, wird der Effekt jedoch geringer



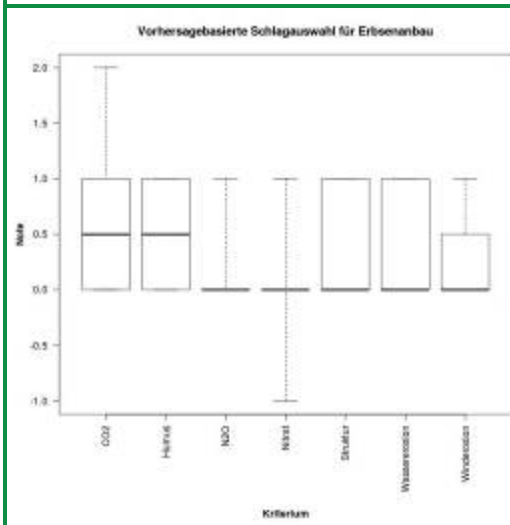
- > Keine Veränderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen erwartet
- > Humusgehalt wird mit leicht positiver Tendenz erwartet
- > Keine Veränderung von N<sub>2</sub>O-Emissionen erwartet
- > Verringerte Nitrat-Auswaschung durch Wintererbsen, wenn im Vergleich zu Sommererbsenanbau ohne nachfolgende Winterzwischenfrucht angebaut werden
- > Auswirkung auf Bodenstruktur ist abhängig von Witterung und Standort, schwere Böden mit feuchten Frühjahre profitieren vom Wintererbsenanbau; außerdem bessere und kräftigere Durchwurzelung
- > Bodenerosion, wasser- und windbedingt, sollte sich verringern



- > Geringere CO<sub>2</sub>-Emission, da geringerer Zugkraftbedarf und Dieserverbrauch
- > leichter Anstieg des Humusgehaltes wird erwartet
- > N<sub>2</sub>O-Emission wird neutral bleiben, sich u. U. auch leicht verringern gegenüber Pflug
- > Nitrat-Auswaschung sollte sich leicht verringern
- > auf mittleren und schweren Böden sollte sich die Struktur verbessern, auf leichten Sandböden wird sie sich verschlechtern
- > Wasserbedingte Erosion wird sich verringern, da Poren im Unterboden erhalten bleiben, windbedingte Erosion sollte gleichfalls leicht abnehmen



- > CO<sub>2</sub>-Emission leicht ansteigend wegen des höheren Zugkraftbedarfs bei der Aussaat und CO<sub>2</sub>-Respiration aus dem Kompost, andererseits C-Bindung im Boden, so dass Bilanz neutral bis leicht positiv sein könnte.
- > N<sub>2</sub>O-Emission und NO<sub>3</sub>-Auswaschung ohne Veränderung, da das Material wenig N enthält
- > Struktur, Humusgehalt, Erosion dürfte sich jeweils leicht verbessern



- > Richtige Flächenwahl kann zusätzliche Bearbeitungsgänge einsparen, deswegen positive Auswirkung auf CO<sub>2</sub>-Bilanz
- > Andere Umweltindikatoren sind davon abhängig, was alternativ auf der Fläche gemacht wird: neutrale bis leicht positive Einschätzung

## 4.8.5 Praxisrückkopplung: Validierung und Evaluierung der Szenariorechnungen

### Hintergrund

Im Rahmen des Teilprojektes WP 6 wurden die Ergebnisse aus WP 2 bis WP 5 auf Basis der in WP 1 erfassten Praxisbetriebe auf ihre ökonomischen und ökologischen Auswirkungen anhand von Szenariorechnungen evaluiert (siehe Kap. 3.1.6). In Erweiterung gegenüber dem ursprünglichen Antrag erfolgte eine Rückkopplung mit den Betriebsleitern der Praxisbetriebe, die als Grundlage für die Modellbetriebe in den Szenariorechnungen dienten. Sie wurden durchgeführt als qualitative Experteninterviews. Dieses Feedback wurde genutzt zur Validierung, Operationalisierung und Evaluierung des Modells und der Szenariorechnungen. Als Beispiel dienten die Maßnahmenbewertung zur Ausbringung von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen und zur Bodenentlastung durch Nachrüstung einer Reifeninnendruckregelanlage. Die Ergebnisse der Befragungen sind im Folgenden vorgestellt.

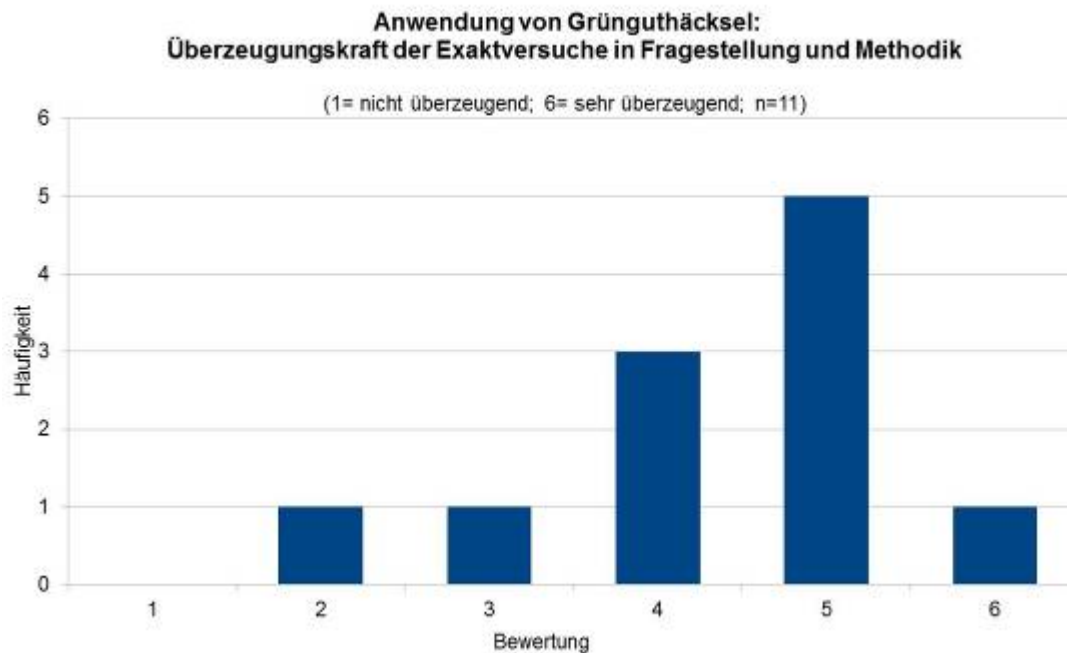
### 4.8.5.1 Ergebnisse für die Verbesserungsmaßnahme Grünguthäcksel

#### Bekanntheitsgrad der Maßnahme

Der Maßnahme „Ausbringung von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen“ war der Ansatz zugrunde gelegt, Leguminosen gezielt mit organischem Düngemitteln zu versorgen, der ein weites C/N-Verhältnis besitzt. Fünf der elf befragten Landwirte war dieser Ansatz der Leguminosendüngung bekannt. Hauptsächlich durch Vorträge auf landwirtschaftlichen Seminaren oder Tagungen, auf Feldtagen oder durch landwirtschaftliche Berater, der ökologischen Anbauverbände oder der allgemeinen landwirtschaftlichen Beratung ist über die Maßnahme informiert worden. Allerdings hat bislang nur ein Landwirt die Methode umgesetzt, wobei in er keinen Grünguthäcksel auf seine Flächen fährt, sondern im Herbst nach Abfuhr der Zwischenfrucht, ein strohareiches Mist-Laubgemisch auf die Flächen der nächstjährigen Ackerbohnen fährt. Begründet ist es jedoch mit dem gleichen Ansatz, wie die Ausbringung von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen. Immerhin haben drei der fünf Landwirte schon vor dem Interview die Umsetzung der Maßnahme auf ihrem Betrieb in Erwägung gezogen oder getestet (mit Grüngutkompost).

#### Fachliche Einschätzung der Exaktversuche durch die Landwirte

Die Idee, N-arme und C-reiche organische Düngemittel bei Leguminosen einzusetzen, beispielhaft dargestellt an den Ergebnissen des Grünguthäcksel zu Ackerbohnen, stieß bei den Landwirten auf hohes Interesse. Die vorgestellten Versuche in ihrer Methodik und Fragestellung fanden 82% der befragten Landwirte (9 von 11) überzeugend bis sehr überzeugend (vgl. Abbildung 245). Die dahinterstehende Überlegung der durch das ausgebrachte Material hervorgerufenen N-Sperre und die damit verbundene Mehrfixierung von Stickstoff durch die Ackerbohnen, sind für die Landwirte logisch nachvollziehbar.



**Abbildung 245: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie überzeugend ist die Versuchsanstellung zur Maßnahme ‚Grünguthäcksel zu Ackerbohnen‘ in Methodik und Fragestellung?“**

Von zwei Landwirten wurde angemerkt, dass die verwendete Menge (43 t/ha) in der Praxis zu hoch sei: Zum einen aus Gründen der Materialverfügbarkeit, zum anderen aus arbeitswirtschaftlichen Gründen. Vor allem die Beschaffung der notwendigen Materialmenge, gerade für flächenstarke Betriebe wird als nicht umsetzbar angesehen. Angesichts der ausgebrachten Menge entsteht die Frage, inwieweit die Flächen dann für eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung noch striegelbar sind bzw. bleiben, da der Striegel, wenn gegebenenfalls auch verringert, dennoch weiterhin eingesetzt werden soll.

Kritisch sehen viele Landwirte den Termin der Ausbringung: Zum einen bestehen Bedenken, im Frühjahr mit hohen Lasten auf Böden zu fahren, die noch hohe Winterfeuchte enthalten und damit Verdichtungen zu erzeugen, die die positiven Ergebnisse aus den Versuchen nicht aufheben können. Zum anderen gibt es Zweifel, ob die Förderung der Gare durch die Winterfurche, welche viele Landwirte vor den Ackerbohnen durchführen, nicht durch die Überfahrten mit dem Mist-/Kompoststreuer bei der Ausbringung des Grünguthäcksels wieder zerfahren wird. Überlegungen bestehen jedoch parallel dazu, den Häcksel zeitig im Jahr und bei gefrorenem Boden auszubringen, wobei hier aus Sicht der Landwirte auch die Erfordernisse seitens der Düngeverordnung berücksichtigt werden müssen.

Für einige Landwirte kommt hinzu, dass die Zeitspanne der potentiellen Ausbringung von hoher Arbeitsbelastung gekennzeichnet ist, bedingt durch die Aussaat der Sommerungen und Pflanzvorbereitungen (Vorkeimen). Die Lösung wäre hier die Beauftragung eines Lohnunternehmers, wie es in den Berechnungen als Alternative auch berücksichtigt wurde.

### **Glaubwürdigkeit der Ergebnisse aus dem Feldversuch**

Die Ergebnisse der Versuche werden sowohl hinsichtlich des Effektes der Unkrautunterdrückung als auch mit Blick auf die Ertragssteigerungen bei den Ackerbohnen und dem nachfolgenden Getreide als glaubwürdig angesehen. Für acht der befragten elf Landwirte sind die Ergebnisse aus den Exaktversuchen glaubwürdig bis sehr glaubwürdig (vgl. Abbildung 246).

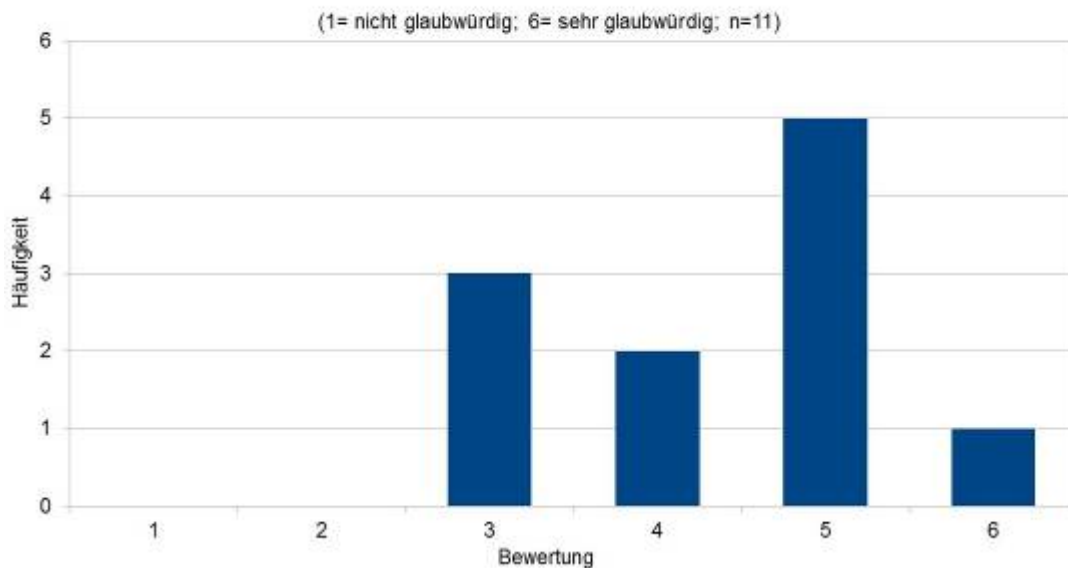


Teilweise wurden die Erträge jedoch nur eingeschränkt als übertragbar auf die eigene Situation bzw. andere Standorte gesehen. So sahen es Landwirte, die Stallmist zur Verfügung haben und diesen derzeit nach den Ackerbohnen zum Folgegetreide ausbringen es skeptisch, ob auch bei ihnen ähnliche Ertragssteigerungen der Folgekultur realisiert werden können, wie im dargestellten Versuch. Für viehlose Betriebe wird die mit der Maßnahme verbundene C-Zufuhr und die N-Lieferung als wichtig und notwendig sowie in ihren Effekten als sehr glaubwürdig beurteilt. Teils wurden die Ertragssteigerungen für die Nachkultur als glaubwürdig angesehen, jedoch Einschränkungen bei den Ackerbohnen gemacht: Fraglich war hier, inwieweit die Effekte noch auftreten, wenn die Flächen nicht jungfräulich mit Ackerbohnen bebaut werden, sondern sich schon seit Jahrzehnten in einer Fruchtfolge mit Ackerbohnen befinden. Hinterfragt wurde auch, wie deutlich die dargestellten, prozentualen Ertragssteigerungen tatsächlich noch auftreten, wenn schon eine hohe Standortertragsfähigkeit vorliegt. Auch die positiven Effekte werden derart eingeschätzt, dass sie umso stärker auftreten, je geringer der Humushaushalt ist. Für die im Projekt ausgewählten vieharmen bzw. -losen Betriebe mit geringer Verwendung organischer Düngemittel werden die Ergebnisse als glaubwürdig erachtet. Eine niedrigere Wirtschaftlichkeit wird für viehstarke Betriebe erwartet.

Ähnliche Diskussionspunkte wurden hinsichtlich der N-Versorgung in die Diskussion eingebracht. Die Böden auf denen Ackerbohnen angebaut werden, haben aufgrund der Stellung der Ackerbohne in der Fruchtfolge schon geringe N-Gehalte. Wie wirksam ist die Maßnahme zur N-Sperre durch den Grünguthäcksel in den Ackerbohnen zur Steigerung der N<sub>2</sub>-Fixierung und daraus folgende Ertragsteigerungen der Folgekultur?

Die prozentuale Höhe der Ertragszuwächse wird nicht unbedingt als gültig für höhere Ertragsleistungen gesehen, auch wenn dieses Argument in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen durch die Begrenzung der maximalen Erträge schon berücksichtigt wurde. Es wird konstatiert, dass eine individuelle, standortangepasste Einschätzung notwendig ist. Die Ertragszuwächse aufgrund von Standort, N-Versorgung, Humushaushalt und Standortertragsfähigkeit durch die Maßnahme sind vor ihrer Einführung einzuschätzen und nachträglich zu kontrollieren. und durch nachträgliche Kontrolle zu überprüfen.

### Anwendung von Grünguthäcksel: Glaubwürdigkeit der Versuchsergebnisse aus den Exaktversuchen



**Abbildung 246: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie glaubwürdig sind die Versuchsergebnisse zur Maßnahme ‚Grünguthäcksel zu Ackerbohnen?‘“**

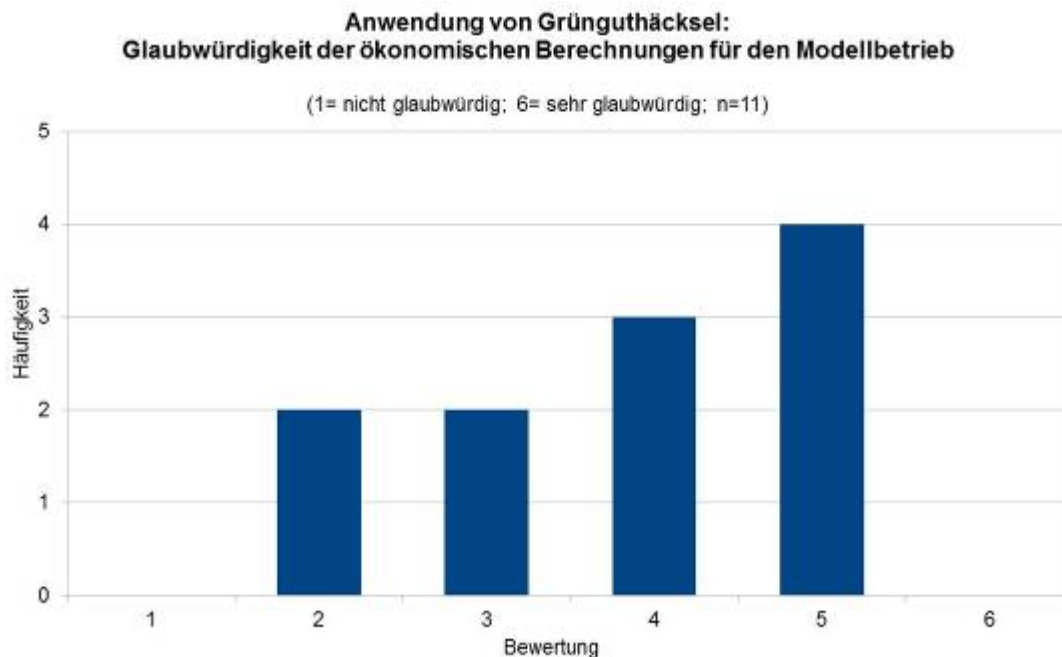
Einige Landwirte haben Erfahrungen aus eigener Anschauung, wenn beispielsweise der Nachbar Kompost zu Ackerbohnen ausgebracht hat oder aber Versuchsflächen aus dem Projekt begutachtet wurden: Das Unkrautunterdrückungsvermögen und die Ertragssteigerungen konnten hier bestätigt werden. Insbesondere mit Blick auf die Wirkung gegen eine Spätverunkrautung der Ackerbohne wurden Demonstrationsversuche als Anschauungsobjekte gewünscht.

#### **Glaubwürdigkeit der ökonomischen Bewertung der Maßnahmen**

Die ökonomischen Bewertungen der Ausbringung von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen inklusive der Betrachtung des nachfolgenden Getreides fanden sieben von elf Landwirten (knapp Zweidrittel – vgl. Abbildung 247) glaubwürdig oder bedingt glaubwürdig. Allerdings war kein Landwirt, der die ökonomischen Ergebnisse als sehr glaubwürdig bezeichnete. Hintergrund sind verschiedene Aspekte. Die Landwirte begründen die Glaubwürdigkeit der ökonomischen Bewertung anhand der Überzeugungskraft der zugrundeliegenden Daten, Konstruktion der Modellbetriebe (Abstraktion der Praxisbetriebe), Annahmen der Maßnahmenumsetzung und Berechnungsmethodik. Die Betriebsleiter nehmen zum Beispiel Bezug auf eigene Berechnungen für andere Maßnahmen auf ihrem Betrieb. Sie leiten von diesen Ergebnissen ihre Einschätzung für die vorgestellte Maßnahmenbewertung ab. Eine Bestätigung der Datengrundlage wurde beispielweise von Landwirten gegeben, die selbst als Lohnunternehmer für die Ausbringung von organischen Düngemitteln tätig sind. In einzelnen Fällen sind die Berechnungen nicht mit der Note 6 (=sehr glaubwürdig) benotet, weil durch die Abstraktionen vom Praxis- zum Modellbetrieb und die Nutzung von Katalogdaten bzw. Vereinfachungen, Landwirte einzelne Aspekte ihres Betriebes nicht wie erwartet fanden.

Es gab die Einschätzung, dass die Berechnungen für die getroffenen Annahmen im Durchschnitt durchaus glaubwürdig sind, nicht jedoch direkt auf die zugrunde liegenden real existierenden Betriebe übertragen werden können. Der Umfang der eingesparten

mechanischen Unkrautregulierung wird als zu hoch angesehen, da die Wurzelunkräuter und die dennoch aufgelaufenen Samenunkräuter in gleichem Maße wie bislang bekämpft würden. Angesichts suboptimaler mechanischer Unkrautbekämpfung ist eine zusätzliche Maßnahme zwar erwünscht, würde aber nicht zu einer Reduktion der bisherigen Arbeitsgänge führen. Angemerkt wurde außerdem, dass die Wirkungen der Grünguthäckselausbringungen und der damit verbundenen Humussteigerung sowie direkten und indirekten Stickstoffzufuhr nicht nur, wie kalkuliert, in der ersten Folgekultur, sondern auch in weiteren Kulturen zum Tragen kommt.



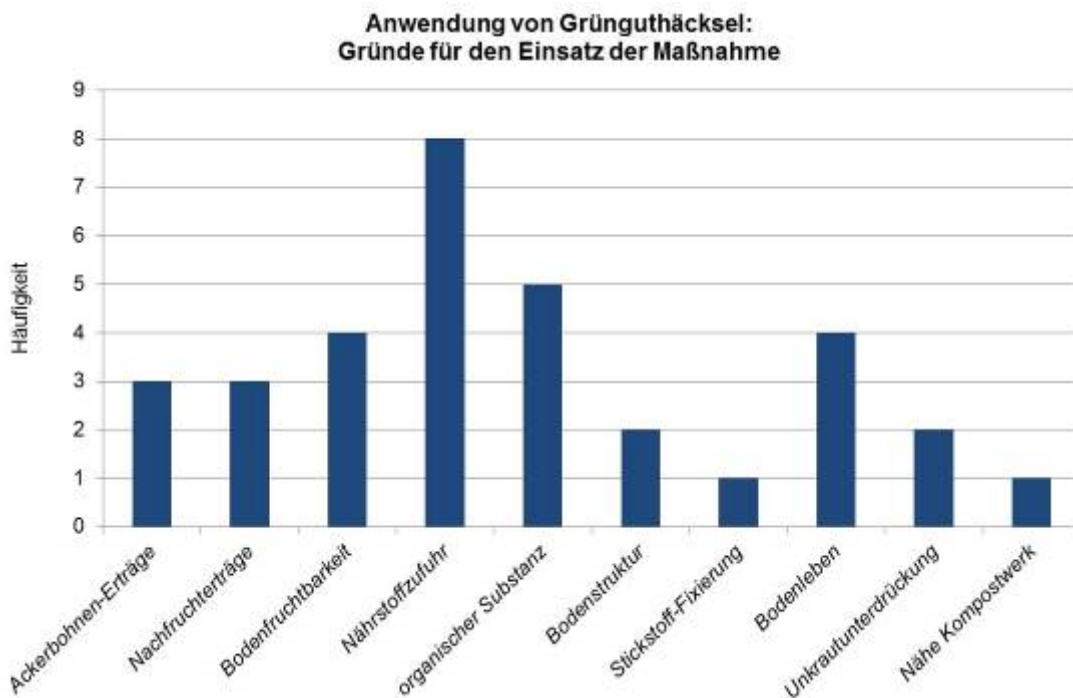
**Abbildung 247: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie glaubwürdig sind die Ergebnisse zu den ökonomischen Berechnungen zur Maßnahme ‚Grünguthäcksel zu Ackerbohnen‘ für den modellierten Betrieb?“**

Kritik wird ferner an den Berechnungen geübt, weil die Transport- bzw. Anlieferungskosten nicht explizit in den Berechnungen berücksichtigt wurden. Diese werden von einigen Landwirten mit 80,- bis 200,- €/ha bei einer Ausbringungsmenge von 43 t/ha eingeschätzt. Eine Summe, die die dargestellte Wirtschaftlichkeit wieder in Frage stellt. In diesen Fällen ist – falls die Maßnahme eingesetzt werden soll – eine individuelle Wirtschaftlichkeitsbetrachtung notwendig, da die (Anlieferungs-)Kosten je nach Anbieter des Materials sehr unterschiedlich sind.

Die Düngungskosten für alle Kulturen wurden über den Entzug berechnet. Die dafür angesetzten Kosten je kg N, kg P und kg K sind in ihrer Summe für die im Grünguthäcksel enthaltenen Nährstoffe höher als der Bezugspreis ermittelt werden konnte. Da teilweise das Material kostenlos ist und nur die Anlieferung gezahlt werden muss oder aber in dem zugrundeliegenden Beispiel die Anlieferungskosten enthalten waren, d. h. die Nährstoffzufuhr immer noch günstiger war als die Verrechnung über den Entzug, sind sie für die unterstellte Mischkalkulation gedeckt.

## Argumente für und gegen die Maßnahme

Die Landwirte schätzen die Vor- und Nachteile der Maßnahme sehr unterschiedlich ein. Die als direkt monetär greifbaren Vorteile aufgeführten Aspekte wie Steigerung der Erträge bei den Ackerbohnen und der Folgekultur sowie eine mögliche Reduzierung der Unkrautregulierung sind nur von wenigen Landwirten als vordergründiges Argumente für den Einsatz von Grünguthäcksel zu Ackerbohnen aufgeführt (vgl. Abbildung 248). Ein Komplex, der für viele Landwirte als Pro-Argument für den Grünguthäcksel aufgeführt wird, ist die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit bzw. Teilaspekte davon wie die Zufuhr an organischer Substanz, verbesserte Bodenstruktur, Förderung des Bodenlebens und die durchgeführte Nährstoffzufuhr. Für die meisten Landwirte ist die Nährstoffzufuhr durch den Grünguthäcksel ausschlaggebend, damit ist nur bedingt die gesteigerte Stickstoff-Fixierung durch die Ackerbohnen gemeint. Für viele Landwirte ist hier die Zufuhr an Phosphat und Kalium interessant. Interessant ist, dass nur ein Landwirt die zusätzliche Stickstoff-Fixierung als eigenständigen Grund für die Maßnahme „Grünguthäcksel zu Ackerbohnen“ angeführt hat, obwohl viele in der Diskussion die Idee der Maßnahme logisch, interessant und anwendungsorientiert benannten. Im Komplex der Gründe für die Maßnahme tritt die Stickstoff-Fixierung dann gleichrangig mit der Zufuhr der anderen Nährstoffe auf.



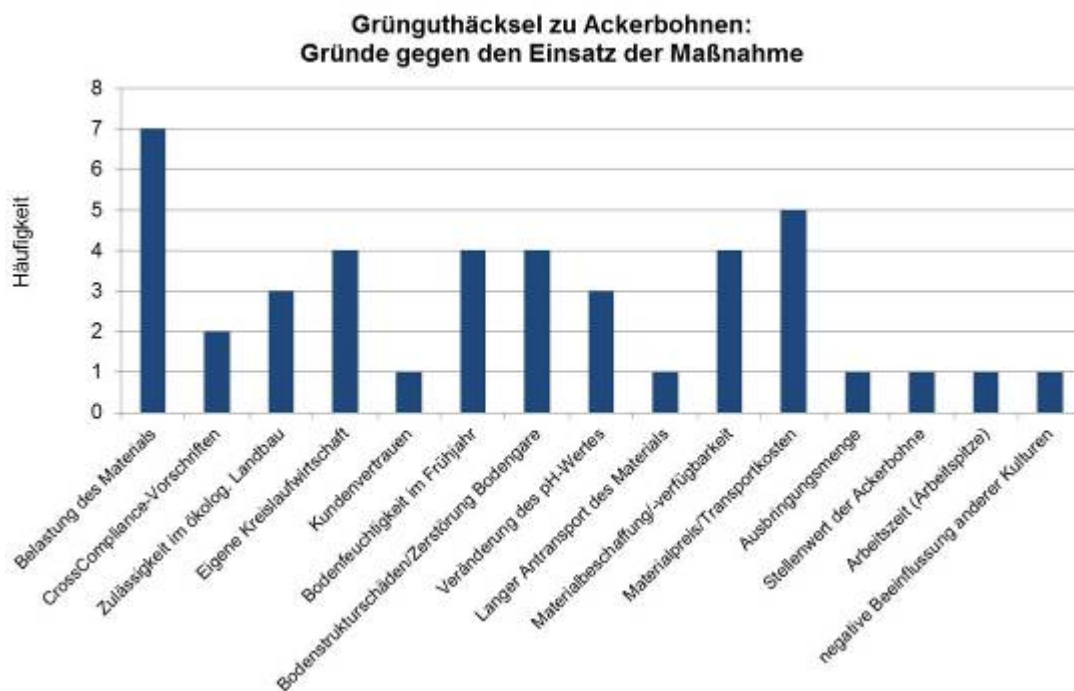
**Abbildung 248: Von den Betriebsleitern der landwirtschaftlichen Betriebe aufgeführte Gründe für die Anwendung der Maßnahme: „Grünguthäcksel zu Ackerbohnen“ auf dem Betrieb (Mehrfachnennungen möglich).**

Die reinen monetären Aspekte, d. h. die Steigerung der Erträge der Kulturen treten damit für viele Landwirte nicht in den Vordergrund. Ausschlaggebend ist, wie es auch für den ökologischen Landbau gewünscht und gefordert ist, die Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit mit all ihren Teilaspekten. Daraus folgend dann natürlich, aber eben nicht als erstes Ziel aufgeführt, die Stabilisierung und Erhöhung der Erträge der angebauten Kulturen.

Andererseits gibt es auch eine nicht unerhebliche Anzahl an Gründen, die für die Landwirte gegen die Verwendung des Grünguthäcksels auf ihrem Betrieb und in ihren Ackerbohnen sprechen (vgl. Abbildung 249). An erster Stelle steht ihr die Sorge, dass mit dem Material Schadstoffe in die Betriebe eingeführt wird. Es sind Belastungen mit Schwermetallen und Müll, die hier im Fokus stehen. Schwermetalle wurden genannt, da es sich bei dem Grünguthäcksel zum einen um Material handelt, das möglicherweise aus Ziergärtnereien stammt, die einen hohen Kupfereinsatz aufweisen. Zum anderen gibt es die Befürchtung, dass es sich um Häcksel von Baum- und Heckenschnitt von Straßenrändern handelt, die entsprechende Belastungen des Straßenverkehrs aufweisen. Bei diesem Material gibt es aber auch die Ängste, dass es mit Spritzmitteln umliegender Felder oder aber mit Straßenrandmüll verunreinigt ist. Vielfach wird von den Landwirten Material, das von Kompostwerken stammt, mit Verunreinigungen durch Hausmüll in Verbindung gebracht. Diese Furcht vor Belastungen, die auf die eigenen Felder importiert wird, spiegelt sich dann auch in den weiteren Gründen wider, die die Landwirte als Contra-Argument gegen die Maßnahme benennen: Die strikte Einhaltung eigener (Nähr-)Stoffkreisläufe, die so weit als irgend möglich nicht durchbrochen werden soll. Damit verbunden ist vor allem für die direktvermarktenden Landwirte das Vertrauen der eigenen Kunden in die auf dem Hof produzierten Waren und deren Unbedenklichkeit. Denkbar ist für einzelne Landwirte jedoch die Verwendung von Material, dessen Herkunft sie sich absolut sicher sind oder aber, welches nach Möglichkeit auf dem eigenen Betrieb erzeugt wurde, sofern hier Gelegenheit dazu besteht. Selbst Zertifizierungen und Untersuchung des Materials sind hier nicht für alle Landwirte als Absicherung ausreichend, für einige sind dies die Minimalvoraussetzungen.

Ungeklärt und damit ein Argument gegen das Material ist für viele Landwirte die Konformität von Grünguthäcksel als Düngungsmaterial aus betriebsfremder Herkunft mit den Regelungen des ökologischen Landbaus. In Zusammenhang mit der Ausbringung des Häcksels vor der Ackerbohnenaussaat und aus Bodenschutzgründen im Winter auf gefrorenem Boden haben einige Landwirte bezüglich der Cross-Compliance-Regelungen Bedenken. Sie halten dies aber für den einzig gangbaren Weg, Grünguthäcksel sowohl bodenschonend als auch bodenwasserschonend auszubringen.

Es wird angenommen, dass durch die erforderlichen schweren Maschinen und Belastungen auf frühjahrsfeuchten Böden Bodenstrukturschäden geschaffen werden, die den positiven Effekt der Maßnahme ins Negative überführen. Auch die durch den Winter erreichte Frostgare würde zerstört werden.



**Abbildung 249: Von den Betriebsleitern der landwirtschaftlichen Betriebe aufgeführte Gründe gegen die Anwendung der Maßnahme: „Grünguthäcksel zu Ackerbohnen“ auf dem Betrieb (Mehrfachnennungen möglich).**

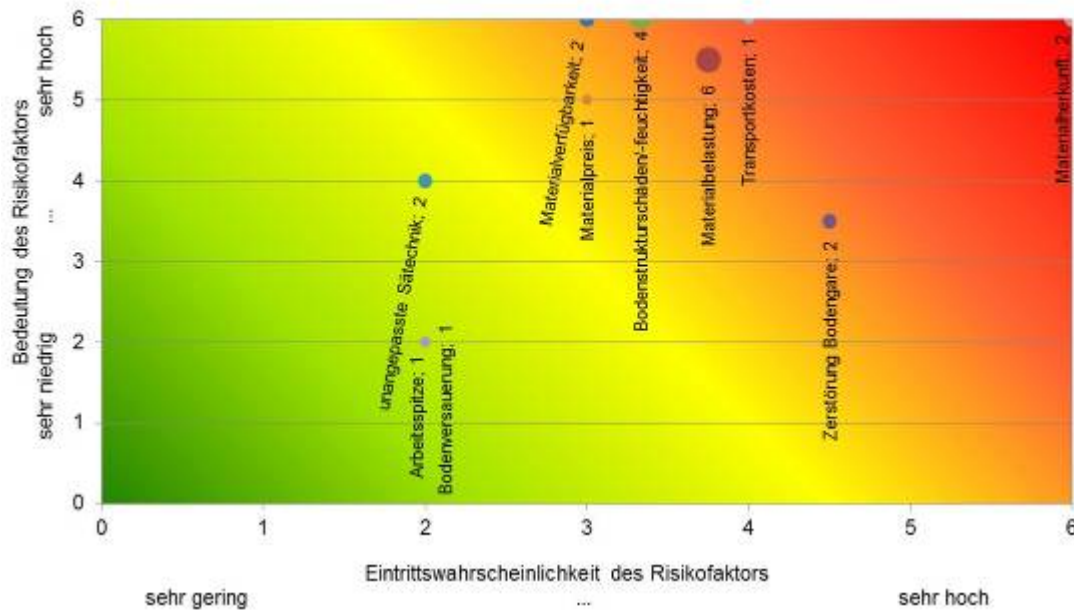
Ein weiteres wichtiges Gegenargument sind Materialpreis und die Transportkosten. Die Verrechnung der enthaltenen Nährstoffe über den Entzug der Kulturen und das Argument, dass entzogene Nährstoffe in jedem Fall und zu den unterlegten Kosten wieder ersetzt werden müssen, ist nicht für jeden Landwirt nachvollziehbar. Auch wenn die im Material enthaltenen Nährstoffe den Preis, der für das Versuchsmaterial gezahlt wurde, bei weitem überwiegen, bestehen hier Vorbehalte gegenüber den Berechnungen. Die Berechnung der Transportkosten ist aufgrund der uneinheitlichen Lage der Kompostwerke nicht berücksichtigt worden, kann im Einzelfall aber ein bedeutsames Argument sein.

### Risikofaktoren

Die Landwirte wurden zusätzlich befragt, welche Risikofaktoren sie sehen, die eine erfolgreiche Umsetzung des Verfahrens verhindern könnten, für die auch eine entsprechende Einschätzung mit abgegeben werden sollte. Die Risikogründe, die die Landwirte als Behinderung einer erfolgreichen Umsetzung der Maßnahme, wenn auf dem Betrieb angewendet, sehen, sind teils deckungsgleich mit den Gründen, die sie als grundsätzliche Entscheidungsgründe gegen die Maßnahme aufführten (s. o.). Eine Übersicht der Ergebnisse zeigt Abbildung 250.



**Grünguthäcksel zu Ackerbohnen:  
Risikofaktoren zur Maßnahme und deren Einschätzung**



**Abbildung 250: Von den Betriebsleitern der landwirtschaftlichen Betriebe benannte Risikofaktoren, deren Bedeutung und Eintrittswahrscheinlichkeit, die einer erfolgreichen Umsetzung der Maßnahme: „Grünguthäcksel zu Ackerbohnen“ auf dem Betrieb entgegenstehen würden (Mehrfachnennungen möglich; Werte und Blasengröße geben Anwahrscheinlichkeit an).**

Für sechs Landwirte ist die Materialbelastung ein wichtiger Risikofaktor. Im Durchschnitt wird auf der Bedeutungsskala zwischen sehr niedrig (=1) bis sehr hoch (=6) mit dem Wert 5,5 eingestuft. Die Auswirkung würde, wenn der Faktor eintreten würde, mit 4 (Skala von 1 (=sehr gering) bis 6 (=sehr hoch)) auch mit einem relativ hohen Schädigungsgrad für den Betrieb belegt. Wie in der Risikomatrix darstellt, ist diese Kombination als hoch risikoreich eingestuft und bei Maßnahmenanwendung wäre Handlungsbedarf hinsichtlich Risikovermeidung dringend anzuraten. Für einige der Landwirte besteht er darin, dass sie Grünguthäcksel als Maßnahme grundsätzlich ausschließen. Andere würden beim Einsatz des Materials auf eine gesicherte Herkunft bzw. untersuchtes und zertifiziertes Material zurückgreifen. Die potentielle Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit wird von Landwirten, die dieses als Voraussetzung der Materialverwendung sehen, entsprechend geringer angesetzt. Für andere Landwirte sind Zertifizierungen keine ausreichende Risikoverminderung, weshalb der Risikofaktor von ihnen als Ausschlusskriterium gesehen wird. Die potentielle Belastung mit Müll, Schwermetallen oder Spritzmitteln wird für ihren Betrieb als zu risikoreich gesehen, als dass eine Umsetzung in Betracht gezogen würde.

Ein zweiter, sehr wichtiger Risikofaktor ist für vier Landwirte die Möglichkeit, dass die Bodenstruktur durch das Befahren des Ackers bei der Ausbringung mit schwerem Gerät nachhaltig geschädigt wird, vor allem bedingt durch die hohe Bodenfeuchtigkeit im Frühjahr. Auch dieses Risiko ist für einige Landwirte zu hoch, als dass sie die Maßnahme umsetzen würden. Andere sehen die einzige Chance in der Ausbringung auf gefrorenem Boden im Winter, womit das Risiko für sie vermindert werden könnte. Entsprechend verringert ist für sie die Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadauswirkungsgröße. Andere Landwirte sehen es ähnlich, wenn sie die Befahrbarkeit als Ausschlusskriterium benennen: Das heißt, in Jahren, in denen eine Ausbringung auf tief gefrorenem Boden nicht möglich ist (teils werden Minimumtemperaturen von -10 bis -15°C genannt), müsste sie entfallen. Einschätzungen liegen bei 10 – 60 % der Jahre, in denen aufgrund des Risikos der Bodenschädigung die Maßnahme

ausfallen müsste. Selbst bei oberflächlich abgetrockneten Böden werden von den Landwirten Strukturschäden erwartet, die nachträglich nicht mehr zu beseitigen sind.

Als risikoreich wird auch die mögliche Zerstörung der Bodengare angesehen, die durch die Befahrung mit schwerem Gerät im Frühjahr befürchtet wird. Die Auswirkungen schätzen sie höher ein als potentiellen Bodenschadverdichtungen, allerdings wird die Eintrittswahrscheinlichkeit als niedriger eingestuft (siehe Abbildung 250). Dies gilt jedoch nur, wenn die Ausbringung des Materials auf gefrorenem Boden geschieht.

Ein absolutes Ausschlusskriterium für zwei Landwirte ist die Materialherkunft aus betriebsfremden, nicht zu kontrollierenden Quellen, weshalb die vorgestellte Maßnahme auch als absolut nicht umsetzbar angesehen wird. Die Einordnung dieses Faktors auf der Risikomatrix spiegelt auch genau diese Einstellung wider. Andere Landwirte benennen den Faktor, setzen ihm allerdings keine Schadenswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit gegenüber, da für sie ausschließlich Material vom eigenen Betrieb in Betracht kommt, d. h. eine absolut gesicherte Materialherkunft ausschlaggebend ist.

Zwei Landwirte sehen ein Risiko für die erfolgreiche Umsetzung der Maßnahme in der Verfügbarkeit von ausreichend Grünguthäcksel. Allerdings ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eher begrenzt eingestuft, da die Landwirte (noch) nicht über eine Bezugsquelle informiert haben.

Als weniger problematisch, aber bedenkenswert wird von zwei Landwirten die Möglichkeit benannt, dass die Sämaschine durch den aufliegenden Grünguthäcksel bei der Aussaat verstopft. Die Möglichkeit, dass es tatsächlich eintritt, wird aber als relativ gering eingeschätzt und auch die Auswirkungen sind weniger gravierend.

Weitere, von einzelnen Landwirten benannte Risikofaktoren sind:

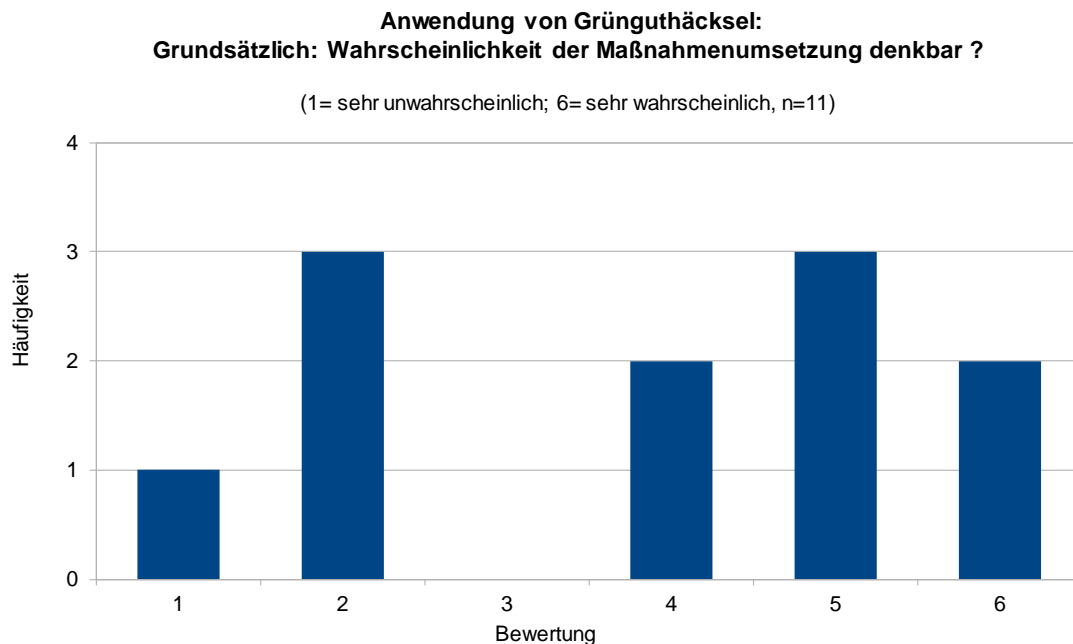
- › Die Gefahr der Versauerung des Bodens, wenn Grünguthäcksel im Frühjahr hauptsächlich aus Nadelgehölzen bestehen, mit Mengen von 43 t/ha ausgebracht wird.
- › Die Höhe für die Kosten für den Grünguthäcksel bzw. dessen Antransport, die eine wirtschaftliche Umsetzung verhindern.
- › Eine vorhanden Arbeitsspitze im Frühjahr, da zu dieser Zeit die Kartoffeln, als Hauptkultur des Betriebes, vorgekeimt werden. Eine Abmilderung würde die Ausbringung des Materials durch einen Lohnunternehmers bringen, weshalb die Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit auch als gering eingeschätzt ist.

### **Potentieller Einsatz der Maßnahme auf dem Betrieb**

Bei der Einschätzung, ob grundsätzlich die Anwendung von Grünguthäcksel auf dem Betrieb vorstellbar wäre, zeigen sich deutliche Unterschiede. Für vier der elf Betriebsleiter kommt die Anwendung überhaupt nicht in Betracht (vgl. Abbildung 251). Hauptgrund hierfür sind überwiegend die Befürchtungen, dass das Material belastet ist und/oder die Bodenstruktur bzw. Frostgare im Frühjahr durch die Befahrung geschädigt werden (siehe oben). Zwei Landwirte sind unentschieden gegenüber der Methode, jedoch mit positiver Einstellung. Für fünf Landwirte ist die Anwendung wahrscheinlich bis sehr wahrscheinlich denkbar.

Für sie sind vor allem Aspekte ausschlaggebend, die die Förderung der Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffmanagement umfassen (vgl. oben). Es sind vor allem Landwirte, die keine Viehhaltung haben. Landwirte, die eher negativ gegenüber der Maßnahme eingestellt sind, verfügen durch eigene Viehhaltung oder Mistkooperationen über organische Düngemittel. Für einige Landwirte

käme die Maßnahme jedoch nur unter der Bedingung zum Einsatz, dass die Herkunft des Materials eindeutig ist.



**Abbildung 251: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie wahrscheinlich ist grundsätzlich die Umsetzung der Maßnahme ‚Grünguthäcksel zu Ackerbohnen‘ auf dem Betrieb?“**

#### 4.8.5.2 Ergebnisse für die Verbesserungsmaßnahme Reifeninnendruckregelanlage

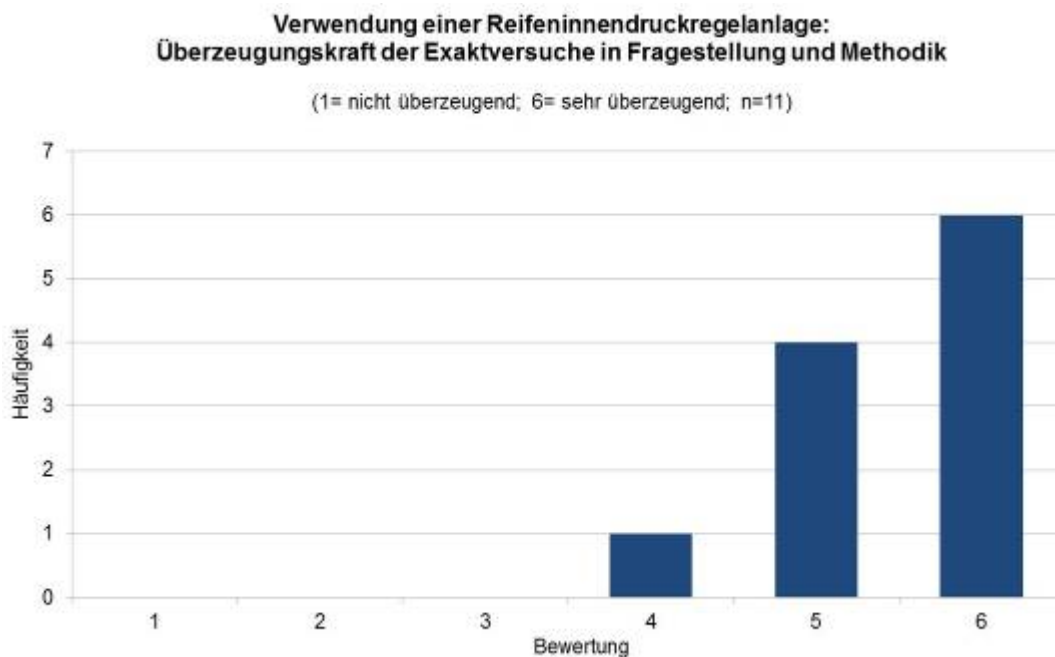
##### **Bekanntheitsgrad der Maßnahme**

Alle Landwirte, die über die Verwendung einer Reifeninnendruckregelanlage interviewt wurden, war diese Technik schon im Vorfeld bekannt. Allerdings verwenden bislang nur zwei Landwirte eine Technik, ihren Reifendruck gezielt für einzelne Schlepperarbeiten (Straßenfahrt, Bodenbearbeitung) anzupassen. Eine festverbaute oder nachgerüstete automatische Regelanlage verwendet allerdings niemand. Beide Landwirte passen ihren Reifeninnendruck über Schnellentlüftungsventile und einen mitgeführten Kompressor an. Die Entscheidung zwischen dem zeitlichen Mehraufwand und den Kosten für die Nachrüstung des Schleppers mit einer Regelanlage wurde bei beiden zugunsten der Kosteneinsparung und der Mehrarbeit (die allerdings als gering eingeschätzt wird), getroffen. So werden dann für einzelne Schlepper-einsätze (Drillarbeiten, Bodenbearbeiten, längere Straßenfahrten) der Reifeninnendruck darauf abgestimmt. Schon diese einfachen, kostengünstigen Anpassungsmaßnahmen, haben laut Aussage der beiden Landwirte deutlich sichtbare, positive Auswirkungen. Zwei weitere Landwirte fahren grundsätzlich mit sehr niedrigem Reifendruck (0,8 bar) sofern keine ausschließlichen Straßenfahrten anstehen. Der Verschleiß bei den Reifen ist in diesen Fällen natürlich höher, jedoch sind beide Betriebe so strukturiert, dass die Straßenanfahrten zu den Ackerflächen sehr kurz sind. Auch Zusatz-/Zwillingsbereifung ist auf einem Betrieb für die Drillarbeiten vorhanden, andere Betriebe senken den Reifeninnendruck für bestimmte Schlepperarbeiten sporadisch ab.

Immerhin haben aber schon sieben der elf Landwirte sich intensiver mit der Anschaffung einer Reifeninnendruckregelanlage auseinandergesetzt, zumeist im Zusammenhang mit einer Schlepperanschaffung. Auch konkrete Entscheidungen gegen eine Reifeninnendruckregelanlage sind drei Betrieben in der letzten Zeit getroffen worden. Dafür werden und wurden Alternativen geprüft und angewendet, zum Beispiel der Kauf bestimmter Niedrigdruckreifen, die dann dauerhaft mit niedrigem Reifeninnendruck von 0,8 bar gefahren werden sollen (drei Landwirte). Der Kauf einer Reifeninnendruckregelanlage scheiterte in zwei Fällen in jüngster Zeit auch daran, dass die Technik nicht serienmäßig zur Ausstattung der Schlepper gehört und gesondert bestellt werden müsste. Die Betriebe kauften dann fertig konfigurierte Schlepper, die bei den Händlern ab Hof verfügbar waren. Für zwei Landwirte bestand die individuelle Lösung aus dem Kauf gezielt ausgewählter und im Verhältnis zur Zugkraft leichter Schlepper.

### Einschätzung der Exaktversuche durch die Landwirte

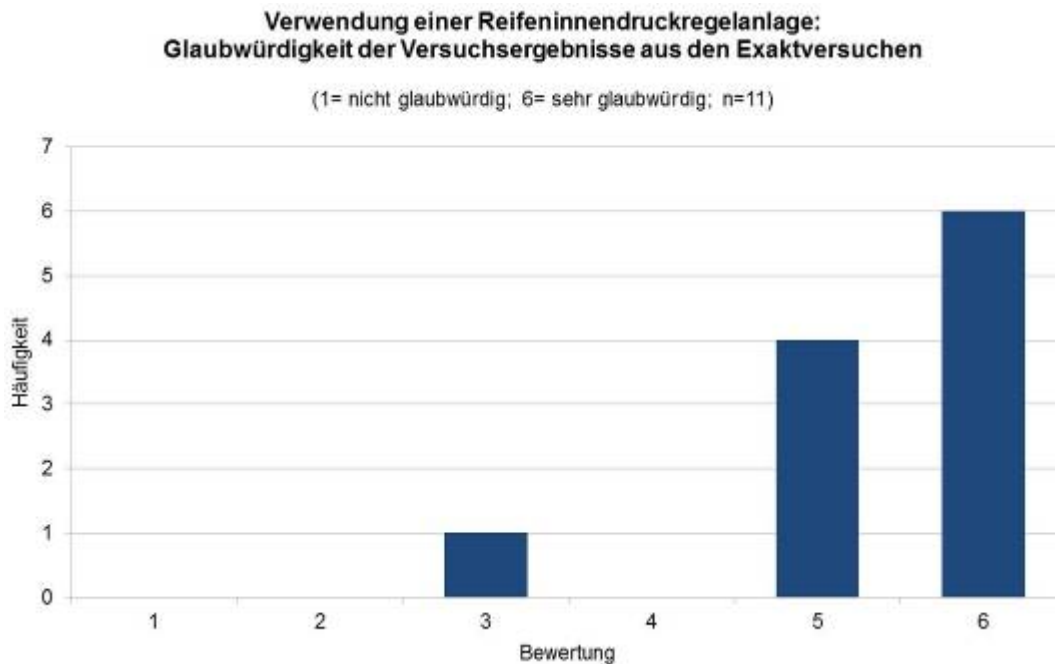
Für alle Landwirte sind die Versuche überzeugend und sehr überzeugend. Vielen Landwirten sind die Auswirkungen der starken Belastungen im Frühjahr zur Aussaat durchaus bewusst. Fünf Landwirte konnten konkrete Beispiele vom eigenen Betrieb und aus den letzten drei Jahren berichten. Vereinzelt wurde nachgefragt, inwiefern die schmalen Parzellen die Aussagekraft beeinflussen bzw. das 4 t – Szenario in der Realität nur im Vorgewende und bei befüllter und ausgehobener Sämaschine so wie dargestellt auftritt. Ansonsten wären die Belastungen und damit die Auswirkungen geringer. Nichtsdestotrotz sind die Belastungen zur Aussaat und deren Darstellung bzw. Übertragung in den Versuchen für alle Landwirte einleuchtend (Abbildung 252).



**Abbildung 252: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie überzeugend ist die Versuchsanstellung zur Frage ‚Auswirkung von Belastungen bei der Aussaat von Erbsen‘ in Methodik und Fragestellung?“**

## Glaubwürdigkeit der Ergebnisse aus dem Feldversuch

Auch die Ergebnisse aus den vorgestellten Feldversuchen sind für die Landwirte absolut überzeugend. Wie oben aufgeführt sind auch hier die eigenen Erfahrungen bzw. Beobachtungen bei Nachbar-Landwirten eine individuelle Bestätigung der Daten aus den Projektversuchen (vgl. Abbildung 253). Vereinzelt werden auch noch höhere Ertragseinbußen aus den eigenen Erfahrungen als realistisch genannt. Nur in einem Fall wurden die Ertragsrückgänge durch die Bodenverdichtung als zu hoch eingeschätzt und entsprechend die Glaubwürdigkeit nur als mittelmäßig eingestuft.



**Abbildung 253: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie glaubwürdig sind die Ergebnisse zum Versuch: ‚Auswirkung von Belastungen bei der Aussaat von Erbsen‘?“**

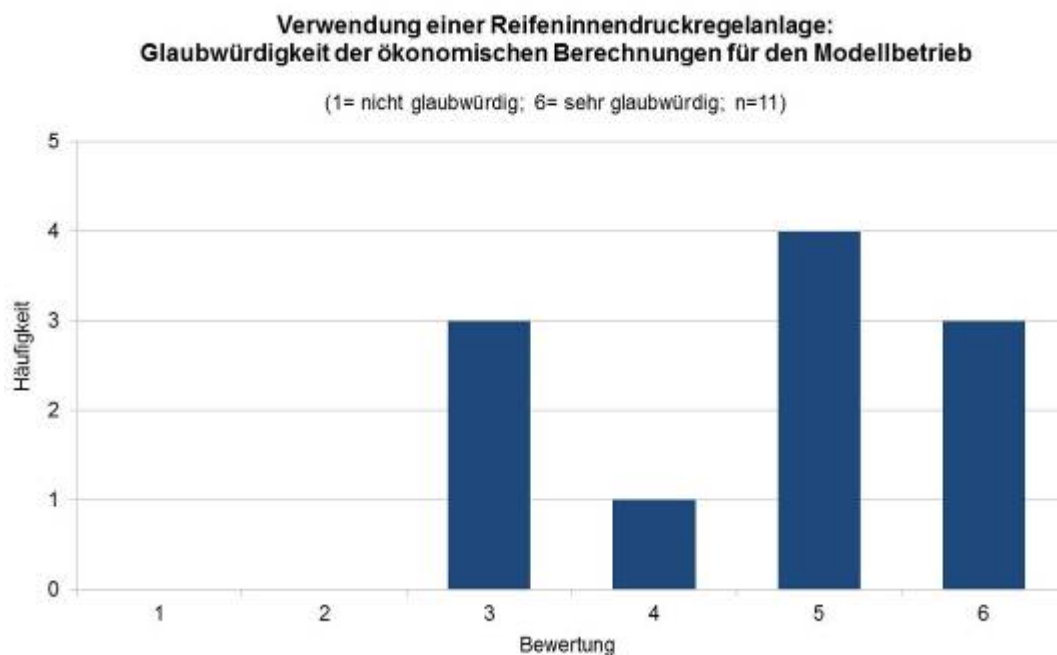
## Glaubwürdigkeit der ökonomischen Bewertung der Maßnahmen

Die Glaubwürdigkeit der aus den Feldversuchen und aus den auf den Betrieben erhobenen betriebswirtschaftlichen Daten individuell berechneten ökonomischen Auswirkungen ist differenzierter als es bei der allgemeinen Betrachtung der Versuchsergebnisse gewesen ist. Für vier der elf Landwirte sind die Berechnungen nur bedingt glaubwürdig (Abbildung 254). Die Ursachen begründen die Landwirte unterschiedlich. So sehen sie die Ergebnisse für die getroffenen Annahmen als durchaus realistisch und zutreffend, nicht jedoch für die auf dem eigenen Betrieb realistisch anzutreffenden Bedingungen. So wurde in den Berechnungen nicht berücksichtigt, wenn schon jetzt dauerhaft mit niedrigem Reifendruck gefahren wird, so dass die monetären Auswirkungen bspw. durch Dieseleinsparungen dann nicht in den der aufgeführten Höhe auftreten, wie sie für den aus dem Betrieb abstrahierten Modellbetrieb ausgewiesen sind. Einige Landwirte sehen die unterstellten Dieseleinsparungen als zu hoch an. Auch die Auswirkungen moderner Schleppertechnik und deren Einfluss auf die Berechnungsgrundlagen wurden vereinzelt als nicht ausreichend beachtet eingeschätzt. Genannt werden hier zum Beispiel Anti-Schlupfregelung, Sperrsysteme, Allrad und Breitreifung, die damit auch einen Teil der prognostizierten Dieseleinsparung verursachen können. Andererseits bestätigen beide Landwirte, die ihren Reifeninnendruck über Schnellentlüftungsventile regeln, die Höhe der



Dieseleinsparung aus eigener Erfahrung. Interessant ist, dass bei beiden die Technik erst in den letzten beiden Jahren angeschafft wurde, so dass der berechnete Betriebsspiegel als Ausgangssituation und die Optimierungsvariante sehr gut die Vergleichssituation durch die Veränderung auf den Betrieben widerspiegelt. Die Grundlage der Maschinenkosten aus den KTBL-Daten wird von Betriebsleitern, die mit älterer, abgeschriebener Technik wirtschaften als kritisch gesehen. Allerdings besteht hier auch die Flexibilität, den eigenen Betrieb auf den Grafiken der Monte-Carlo-Simulation entsprechend einzuordnen. Die Auslastung der Technik ist einer weiterer Gesichtspunkt, der für einzelne Betriebe aus Sicht der Betriebsleiter in der Auswertung nicht ausreichend betrachtet wurde.

Allerdings gibt es auch Kritikpunkte, die die Höhe der berechneten monetären Auswirkungen als zu niedrig ansehen: zu niedrig angesetzter Dieselpreis und Nichtberücksichtigung anderer Sommerkulturen (Sommergerste), die gleichfalls durch die Technik profitieren würden.



**Abbildung 254: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie glaubwürdig sind die Ergebnisse der ökonomischen Berechnungen zur Maßnahme ‚Einsatz einer Reifeninnendruckregelanlage zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen‘ für den modellierten Betrieb?“**

Die illustrierte Schwankungsbreite der Ergebnisse auch und besonders mit Bezug auf die Ertragsvariabilität der Erbsen und in ihrer monetären Auswirkung auf den Betrieb wird von den Landwirten so bestätigt.

### Argumente für und gegen die Maßnahme

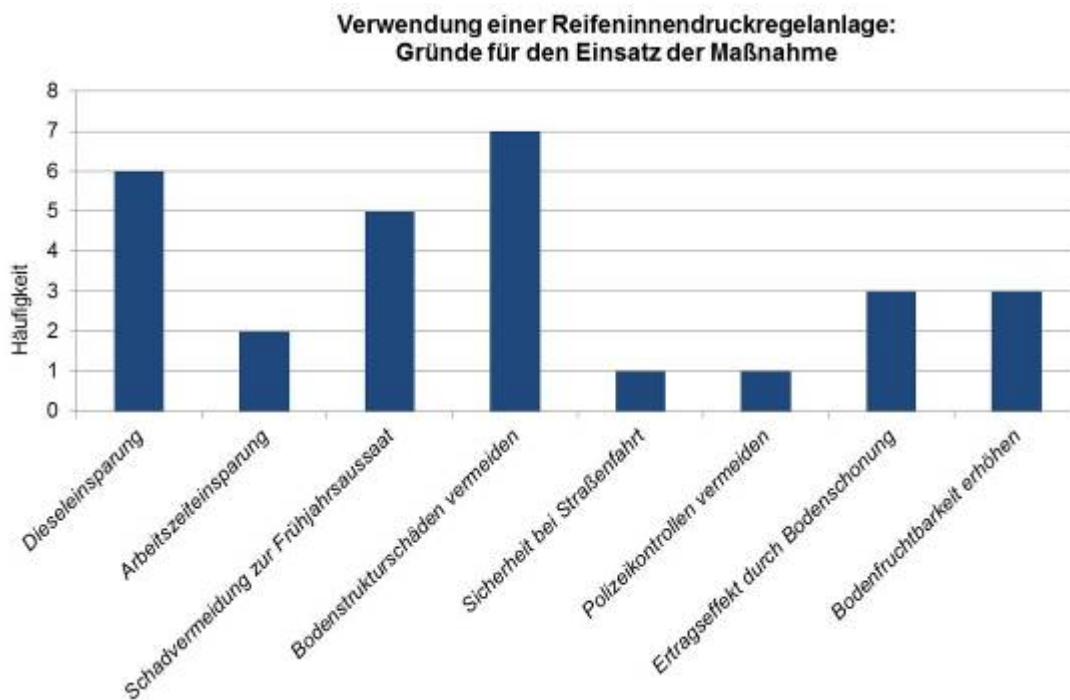
Die positiven Aspekte einer Reifeninnendruckregelanlage stehen auch für die Mehrzahl der befragten Landwirte als wichtige Argumente für die Technik im Vordergrund (vgl. Abbildung 255). Hierzu gehört die Vermeidung von Bodenstrukturschäden im Allgemeinen und zur Aussaat der Sommerkulturen im Speziellen. Seltener genannt werden die die allgemeine Förderung der Bodenfruchtbarkeit und die daraus resultierenden Ertragseffekte. Häufiger wird als Grund für eine Reifeninnendruckregelanlage die Vermeidung von Bodenschadverdichtungen von den



Landwirten aufgeführten, die auf schwereren und schweren Böden wirtschaften. Sie berichten von verringerten Erträgen durch Bodenschadverdichtungen, gerade und besonders im Vorgewende, die auch in der Vegetationsperiode optisch deutlich sichtbar sind.

Aber auch die stark diskutierte Dieseleinsparung ist ein wichtiger Gesichtspunkt für sechs der elf befragten Landwirte. Hier wird nicht nur auf die Dieseleinsparung durch verringerten Schlupf bedacht, sondern auch verringerten Kraftaufwand, wenn durch zurückgehende Bodenschadverdichtungen durch bodenschonendere Technik der notwendige Kraft-, d. h. Energie-, d. h. Dieselaufwand verringert wird.

Interessanterweise weniger wichtig ist den Betriebsleitern die potentiell mögliche Arbeitszeiteinsparung. Sie wird nur von zwei der elf Landwirte angeführt.



**Abbildung 255: Von den Betriebsleitern der landwirtschaftlichen Betriebe aufgeführte Gründe für die Verwendung einer Reifeninnendruckregelanlage zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen auf dem Betrieb (Mehrfachnennungen möglich).**

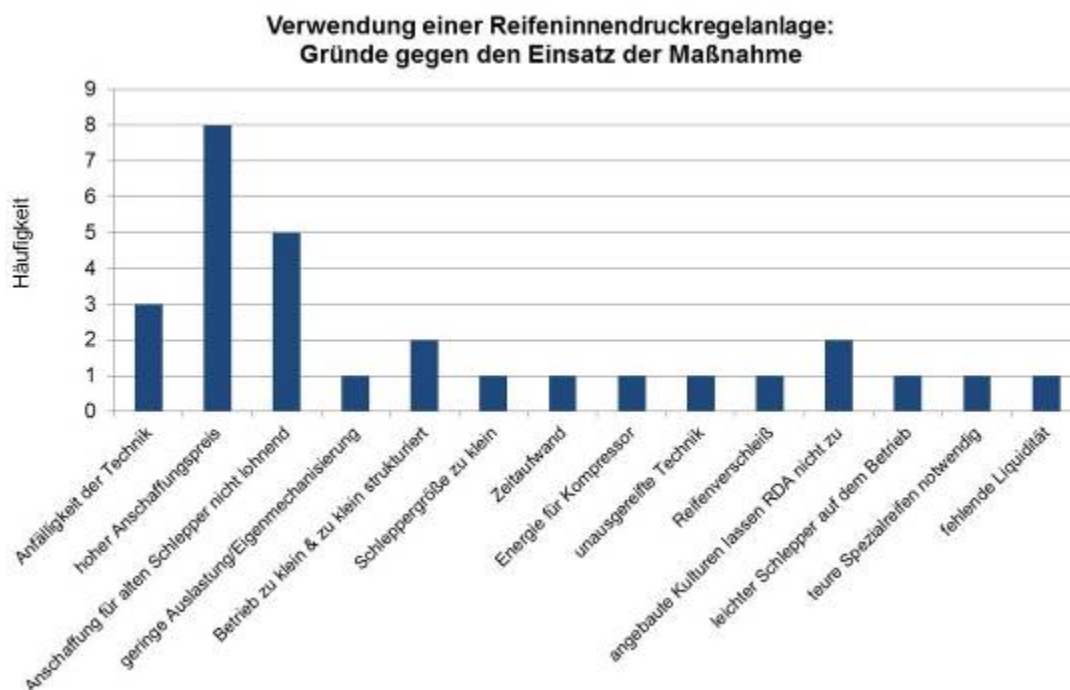
Der Anschaffungspreis ist der Hauptgrund für acht der elf Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe gegen eine Anschaffung einer Reifeninnendruckregelanlage (vgl. Abbildung 256). Für fünf Betriebsleiter ist dieser Grund teilweise eingeschränkt auf den gegenwärtigen Fuhrpark, weil sie die Anschaffung einer nachgerüsteten Anlage für den vorhandenen, alten Schlepper als nicht lohnend ansehen. Auch die genannte fehlende Liquidität und der zusätzlich notwendige Kauf von Spezialreifen sind weitere finanzielle Hinderungsgründe. Trotz der Beispielrechnung sind die Landwirte skeptisch, ob sich die Anschaffung amortisieren würde. Die eigene Kurzsichtigkeit über die Problematik langfristiger Bodenschonung und gegenwärtiger Geldausgabe wurde von einem Betriebsleiter selbst klar benannt.

Als Grund keine Anlage anzuschaffen, sehen drei Betriebsleiter die außen verlaufenden Schläuche bei einer nachgerüsteten Anlage, da sie hier eine Schwachstelle sehen. Mehrere Landwirte haben Schläge zu bewirtschaften, die von Hecken gesäumt sind oder an Wälder

grenzen. Die Befürchtung sind hier abgerissene Schläuche. Alternativ wären hier Systeme möglich, wo die Technik vom Werk aus in die Radnabe verbaut ist. Diese scheiden für alle befragten Landwirte jedoch sofort aus Kostengründen aus (10.000 € Mehrpreis bei Schlepperanschaffung, nicht nachrüstbar).

Für andere ist die Technik insgesamt noch zu unausgereift bzw. die Kompressorleistung noch zu schwach, weil das Befüllen der Reifen bei einer kurzen Straßenfahrt (häufige Schlagwechsel wegen geringer Schlaggrößen) nicht zügig genug geschieht. In diesem Zusammenhang wird auch der zusätzliche Energieverbrauch durch die Kompressoren hinterfragt und skeptisch angemerkt.

Für mehrere Betriebsleiter gibt es dann betriebsindividuelle Gründe, warum sie sich gegen die Anschaffung einer derartigen Technik aussprechen: Zu geringe Schleppergröße; zu geringe Auslastung der Technik, da viele Arbeiten durch Lohnunternehmer ausgeführt werden; zu geringe Betriebsgröße insgesamt oder zu geringe Schlaggröße (zu kleinstrukturiert), so dass häufig zwischen den Schlägen gewechselt werden muss.



**Abbildung 256: Von den Betriebsleitern der landwirtschaftlichen Betriebe aufgeführte Gründe gegen die Verwendung einer Reifeninnendruckregelanlage zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen auf dem Betrieb (Mehrfachnennungen möglich).**

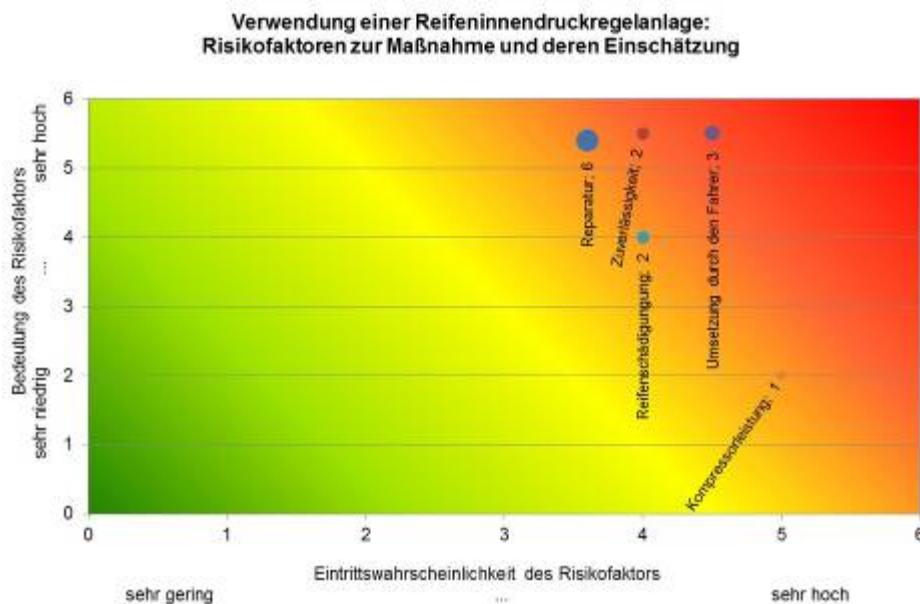
Für zwei Betriebe ergibt sich zusätzlich das Problem, dass die RDA bei Spezialkulturen Probleme bereiten (Abreißgefahr bei Hopfenanbau, häufiger Wechsel auf Pflegebereifung).

Aufgeführt wird als Gegenargument auch der potentielle zusätzliche Reifenverschleiß wenn die Reifen noch nicht auf Straßenfahrtdruck aufgepumpt sind, wenn die Straßenfahrt beginnt, da dieser Vorgang eine gewisse Zeit benötigt.

### Risikofaktoren

Die Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe wurden gleichfalls befragt, welche Risikofaktoren sie sehen, die einer erfolgreichen Verwendung einer Reifeninnendruckregel-

anlage auf dem Betrieb entgegenstehen. Die aufgeführten Gründe und deren Einstufung hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkungshöhe sind in der Risikomatrix (Abbildung 257) aufgeführt.



**Abbildung 257: Von den Betriebsleitern der landwirtschaftlichen Betriebe benannte Risikofaktoren, deren Bedeutung und Eintrittswahrscheinlichkeit, die einer erfolgreichen Verwendung einer Reifeninnendruckregelanlage zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen auf dem Betrieb entgegenstehen würden (Mehrfachnennungen möglich; Werte und Blasengröße geben Antworthäufigkeit an).**

Der wichtigste Risikofaktor mit hoher Auswirkung, den die meisten Landwirte (sechs von elf) benennen, sind die möglichen Reparaturen des Schleppers aufgrund einer defekten Reifeninnendruckregelanlage wegen abgerissener Schläuche. Damit zusammenhängend ist auch der Risikofaktor „Zuverlässigkeit“ zu sehen, welcher von zwei Landwirten genannt ist. So von einem Betriebsleiter, der mehrere Mitarbeiter auf dem Betrieb beschäftigt hat und einen Zusammenhang zwischen Anzahl der Mitarbeiter und Häufigkeit von Defekten an Maschinen sieht. Ein anderer Betriebsleiter sieht beim Faktor Zuverlässigkeit jedoch auch die Garantiezeit für die Technik als einen gewissen Erprobungszeitraum an.

Kritisch wird auch die Nutzung der Reifeninnendruckregelanlage an sich gesehen: Wenn der Schlepperfahrer die Technik nicht anwendet (Zeitdruck, Desinteresse u. a.), dann ist deren Nutzen entsprechend nicht vorhanden. Vor allem von Betriebsleitern, die (mehrere) Mitarbeiter auf ihrem Betrieb beschäftigen, wird das Risiko als entsprechend hoch angesehen. Die Schadenshöhe ist gleichfalls als entsprechend hoch angesehen, da dann Kosten für eine Technik aufgebracht wurden, die keinen (monetären) Nutzen bringt.

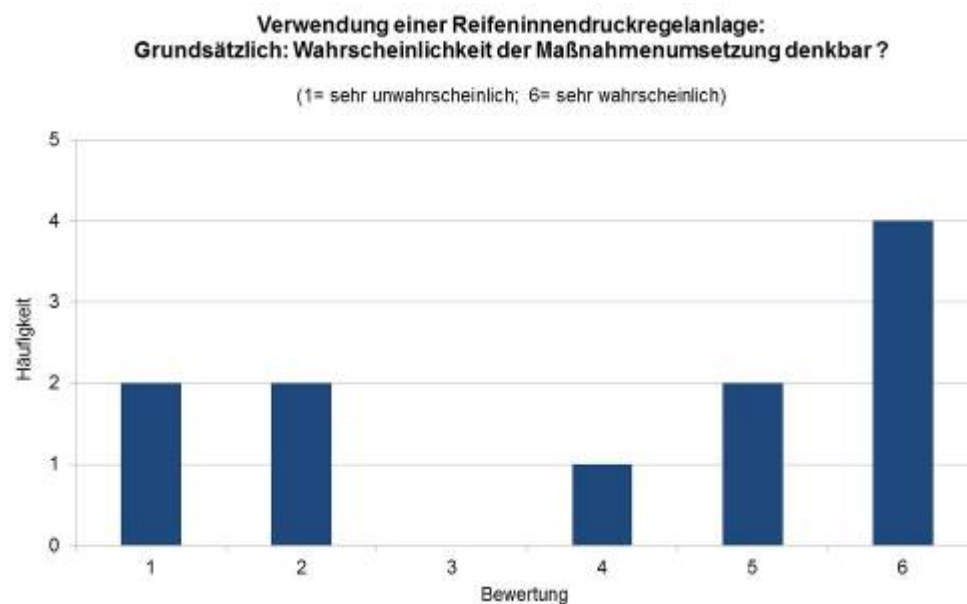
Ein weiterer, von zwei Landwirten genannter Grund ist die Reifenschädigung als Risikofaktor, wenn Straßenfahrten stattfinden, der Reifeninnendruck nach der Ackerarbeit aber noch nicht auf die Straßenfahrt angepasst wurde. Hierzu zählt auch der genannte Risikofaktor der unzureichenden Kompressorleistung, die von einem Landwirt als Risiko einer nicht erfolgreichen Verwendung einer Reifeninnendruckregelanlage genannt wird. Diese beiden letztgenannten Faktoren liegen jedoch eher in einem Bereich der Risikomatrix, der als zu managen eingeschätzt wird. Die anderen Gründe liegen aufgrund der Einschätzung der Landwirte in

Risikobereichen, die grundsätzliche Handlungsentscheidungen der Betriebsleiter abverlangen. Diese Risikofaktoren sind jedoch auch die Ursachen, die als Hinderungsgrund gegen den Kauf einer Anlage genannt wurden und entsprechend der nicht vorhandenen Techniken auf den Betrieben auch umgesetzt sind.

### Einsatz der Maßnahme auf dem Betrieb

Für vier der elf befragten Betriebe kommt die Anschaffung einer Reifeninnendruckregelanlage grundsätzlich nicht in Frage. Für vier andere Betriebe ist die Umsetzung hingegen sehr wahrscheinlich, nur ist sie bislang aus unterschiedlichen Gründen noch nicht erfolgt. Für drei weitere Betriebe liegt die Anschaffung grundsätzlich im Bereich des Möglichen (vgl. Abbildung 258).

Grundlegend ist jedoch, dass der Kauf der Technik nur zusammen mit der Neuanschaffung eines Schleppers realisiert werden soll. Ein Nachrüsten des vorhandenen Schleppers kommt für die meisten Landwirte nicht in Frage. Von einer Anschaffung gehindert werden sie dann aber dadurch, dass ihnen nachgerüstete Reifeninnendruckregelanlagen suspekt sind und fest in den Radnaben verankerte Systeme zu teuer sind. Unerklärlich ist ihnen, dass verschiedene dieseleinsparende Techniken beworben werden, dass vielfach bodenschonende Technik propagiert wird – aber Reifeninnendruckregelanlagen nicht ab Werk mit den Schleppern angeboten werden. Diskutiert wurde ebenfalls der Aspekt, dass viele Landwirte die Anschaffung nicht konkret nachrechnen, sondern pauschal davon ausgehen, dass sich aufgrund der Betriebsgröße der Kauf einer solchen Anlage nicht amortisieren würde. Andererseits wird dann aber bei Anschaffungen der Maschinenringe o. ä. auf solche Ausstattungsdetails kein Wert gelegt, gleiches gilt für Lohnunternehmer.



**Abbildung 258: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie wahrscheinlich ist grundsätzlich die Verwendung einer Reifeninnendruckregelanlage zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen auf dem Betrieb?“**

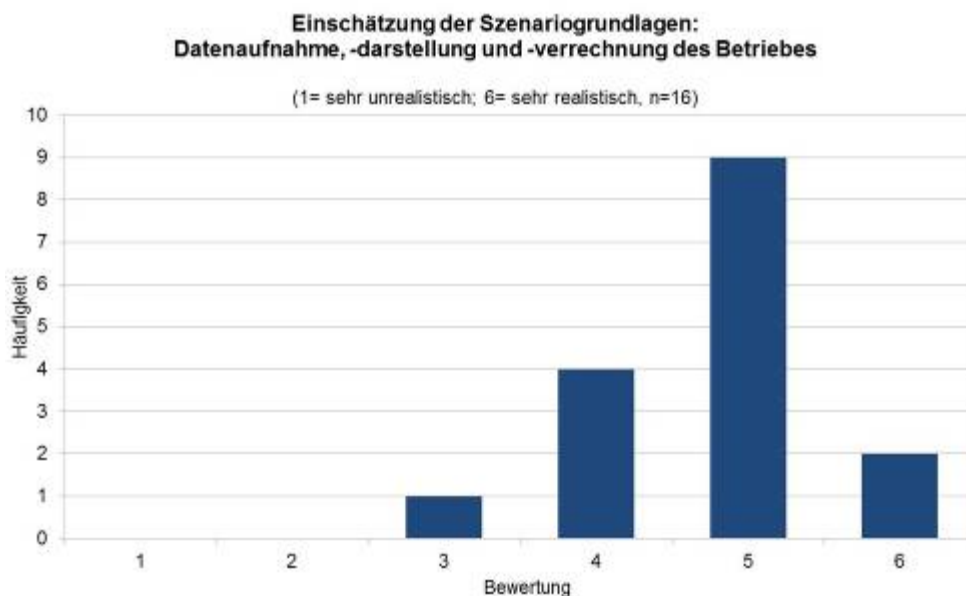
Für alle Landwirte ist die Bodenschonung ein wichtiger Aspekt ihrer Arbeit. Sie setzen sich verschiedentlich damit auseinander. Auch die Landwirte, für die eine Anschaffung einer Reifeninnendruckregelanlage nicht in Betracht kommt, sehen die Notwendigkeit, die Bodenschadverdichtungen zu vermeiden. Viele Betriebsleiter haben auf ihren Betrieben auch

schon entsprechende Maßnahmen umgesetzt, wie dauerhaft niedriger Reifendruck, Auswahl besonders leichter Schlepper, Doppelbereifung, Schnellentlüftungsventile etc. Nur den Kauf einer nachgerüsteten Reifeninnendruckregelanlage hat niemand umgesetzt.

#### 4.8.5.3 Allgemeine Einschätzung der Betriebsmodelle und des Ansatzes zur ökonomischen Bewertung pflanzenbaulicher Maßnahmen

##### Entwicklung der Modellbetriebe

Von den insgesamt 16 interviewten Betriebsleitern finden elf Betriebsleiter die Modellbetriebe, die auf Daten ihrer landwirtschaftlichen Betriebe beruhen, als realistisch dargestellt (vgl. Abbildung 258). Unter der Einschränkung, dass gewisse Daten nicht abgefragt werden konnten und somit aus Standardwerken übernommen werden mussten. Aus eigenen betriebs- und arbeitswirtschaftlichen Berechnungen und Einschätzungen verschiedener Maßnahmen, Kulturen oder des Betriebszweiges beurteilen sie die vorgestellten Daten des Modellbetriebes als zutreffend.



**Abbildung 259: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie realistisch zutreffend sind die Daten ihres Betriebes aufgenommen, dargestellt und verrechnet für den Modellbetrieb?“**

Knapp ein Drittel der Betriebe sehen nur bedingt ihren eigenen Betrieb in dem Modellbetrieb, auf deren Basis er entwickelt wurde. Die Einschränkungen sind meist in veränderten Betriebsstrukturen begründet. Wenn Fruchtfolgen oder die Betriebsgröße sich in der Projektlaufzeit, d. h. zwischen Datenaufnahme und Interviewzeitpunkt verändert hat, spiegeln die vorgestellten Modellbetriebe nur bedingt die Realität wider. In einigen Fällen sind auch die Abstraktionen, die zur Datenaufnahme und –verrechnung notwendig gewesen sind, nicht zur vollen Zufriedenheit der Landwirte ausgefallen sind. Soweit möglich wurden die Berechnungen aufgrund der Anmerkungen der Landwirte zu ihren Betrieben und den daraus entwickelten Modellbetrieben angepasst.

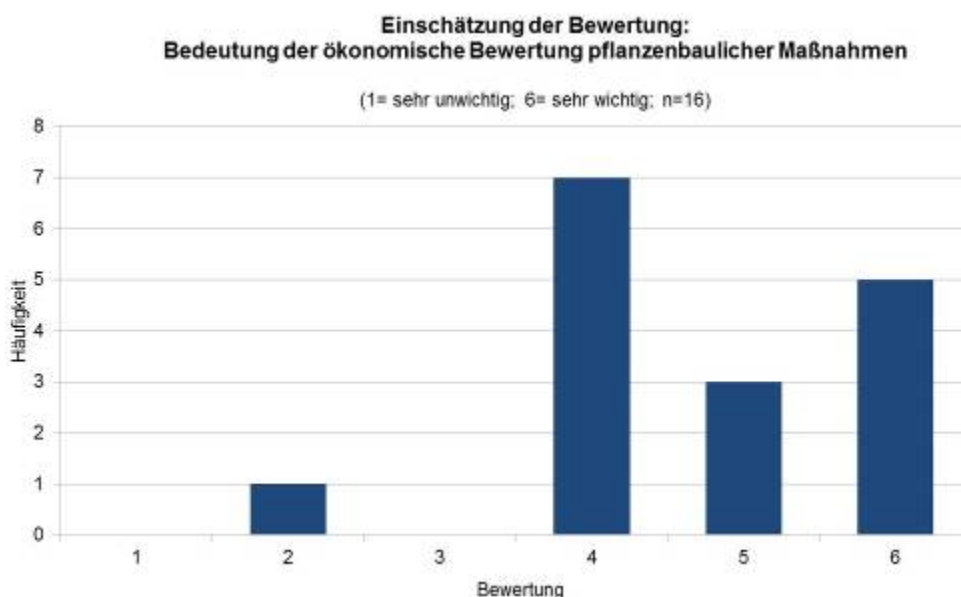


Andere Landwirte sehen die angesetzten Marktpreise skeptisch, wobei hier die Kritik sowohl lautete, dass sie zu hoch als auch dass sie zu tief angesetzt sind – je nach Betrieb und dessen Vermarktung. Auch die Betriebsstruktur hat sich bei einigen geändert. Dadurch waren dann für zwei Landwirte die Angaben zu Schlaggröße oder –entfernung nicht ganz stimmig. So zum Beispiel, wenn die Schläge eines Hofes sich durch Hofübernahmen oder veränderte Pachtbedingungen in Größe und Entfernungen untereinander deutlich unterscheiden und die Mittelwertbildung die Situation einzelner Fläche nicht korrekt erfasst.

Letztlich hat die Mehrzahl der Betriebsleiter in dem dargestellten Modellbetrieb jedoch ihren Betrieb wiedergefunden oder sie konnten es zumindest mit geringen Abstrichen.

### Ökonomische Bewertung optimierter pflanzenbaulicher Maßnahmen als Einzelmaßnahme

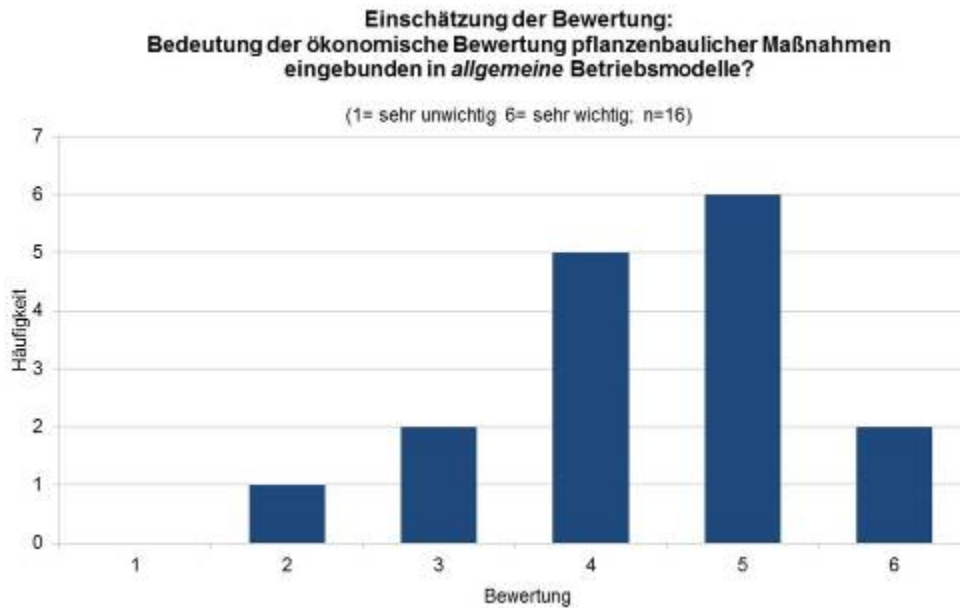
Die ökonomische Bewertung von pflanzenbaulichen Maßnahmen, die in Feldversuchen entwickelt und erprobt wird, ist bei der Vorstellung der Methoden in der landwirtschaftlichen Presse, Seminaren oder auf Feldtagen für die fast alle interviewten Landwirte wichtig bis sehr wichtig (vgl. Abbildung 260). Knapp der Hälfte der Betriebsleiter ist die unabhängige Einzelbewertung der ökonomische Bewertung einer einzelnen Maßnahme nur bedingt wichtig ist. Wichtig ist ihnen die Betrachtung der Maßnahme im Kontext von Fruchtfolge und Gesamtbetrieb, besonders bei ackerbaulichen Methoden, wie im Projekt, die kulturübergreifend wirken.



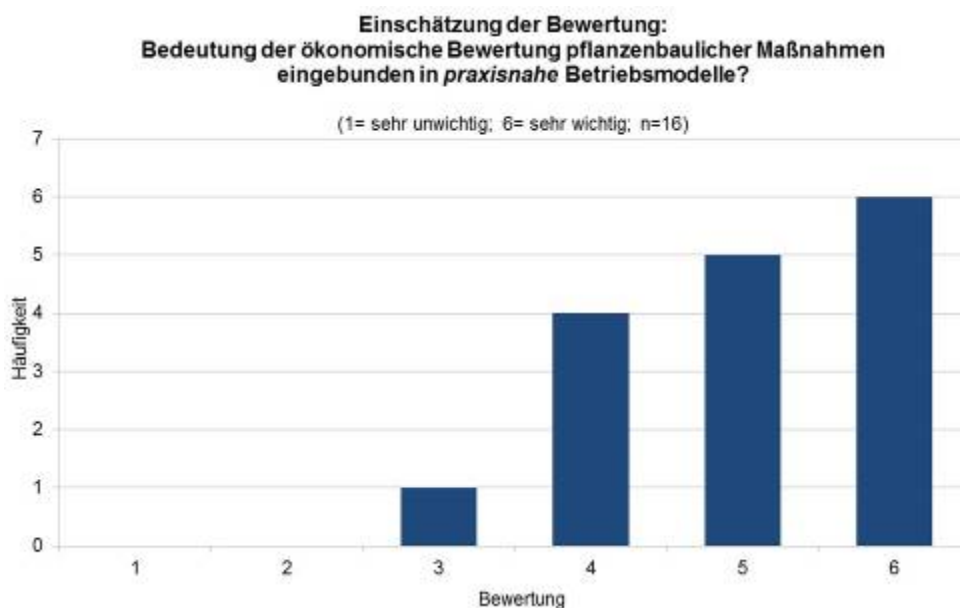
**Abbildung 260: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie wichtig ist für die Vorstellung ackerbaulicher Optimierungsmaßnahmen eine ökonomische Bewertung der einzelnen Maßnahme?“**

Die Bedeutung, die ökonomische Bewertung neuer Methoden im Ackerbau in einen betrieblichen Kontext zu stellen, ist für dreizehn der 16 Landwirte wichtig bis sehr wichtig (vgl. Abbildung 261). Allerdings sehen weniger Landwirte diese Bewertungsmethode als sehr wichtig an, wenn für die gesamtbetriebliche Bewertung ein typisierter Modellbetrieb zugrunde gelegt wird. Die ökonomische Bewertung von Maßnahmen anhand gesamtbetrieblicher Beispiele gewinnt deutlich an Zuspruch, wenn die Bewertungen anhand real existierender Betriebe erfolgen.





**Abbildung 261: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie wichtig ist für die Vorstellung ackerbaulicher Optimierungsmaßnahmen eine ökonomische Bewertung der einzelnen Maßnahme im Kontext eines typisierten Betriebsmodells?“**



**Abbildung 262: Einschätzung der Betriebsleiter der landwirtschaftlichen Betriebe zur Frage: „Wie wichtig ist für die Vorstellung ackerbaulicher Optimierungsmaßnahmen eine ökonomische Bewertung der einzelnen Maßnahme im Kontext praxisbasierter Betriebsmodelle?“**

Zuspruch findet die im Projekt entwickelte und angewandte Methode, Modellbetriebe aus real existierenden Betrieben zu entwickeln. Immerhin ist elf der 16 Betriebsleitern die monetäre Bewertung von ackerbaulichen Maßnahmen sehr wichtig und vier weiteren ist sie wichtig (vgl. Abbildung 262). Der Ansatz, pflanzenbauliche Versuchsergebnisse um eine monetäre Betrachtung zu erweitern, stieß fast durchgehend auf Zuspruch. Argumente waren, dass die

betriebswirtschaftliche Bewertung zwar auch selbst durchgeführt werden kann, hier jedoch das Risiko besteht, sich etwas aufgrund bestimmter Vorlieben schön oder schlecht zu rechnen.

Andere betonen, dass sie die monetäre Einschätzung vorgestellter Maßnahmen zwar grundsätzlich selbst vornehmen oder sie zumindest für ihren Betrieb überschlagen. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung helfen den Landwirten bei der Einordnung ihrer Ergebnisse. Die Daten und Berechnungsgrundlagen der monetären Analysen dienen den Landwirten bei ihrer betriebsindividuellen Bewertung. Daher wurde gewünscht, dass Praxisbetriebe anhand von Betriebsspiegeln und den monetären Bewertungen optimierter Verfahren betriebsindividuell vorgestellt werden.

Andere Betriebsleiter argumentieren, dass sie sich in ihrer Betriebsführung in ihrem eigenen Trott befinden und daher die Vorstellung von Optimierungsmaßnahmen die detailliert pflanzenbauliche und betriebswirtschaftliche Aspekte abhandeln, als Denkanstoß sehen, sich selbst und ihre Betriebsführung zu reflektieren.

Für die Mehrzahl der Betriebswirte ist eine einzelne Maßnahmenbetrachtung als auch eine gesamtbetriebswirtschaftliche Betrachtung wichtig, insofern sie nachvollzieh- und übertragbar sind. Die Relevanz, wirtschaftliche Betrachtungen über eine Maßnahme oder Kultur hinaus zu ziehen, wird von vielen Betriebsleitern durchgeführt und auch für die vorgestellten Ergebnisse begrüßt.

#### 4.8.6 Bewertung der Sekundärrohstoffe

Der Einsatz von Sekundärrohstoffe tangiert eine Reihe von grundlegenden Prinzipien<sup>4</sup> der ökologischen Landwirtschaft. Von besonderem Interesse sind dabei die Bereiche „Geschlossener Betriebskreislauf“, „Pflanzenschutz“, „Bodenfruchtbarkeit“, „Düngung sowie Hochwertige Lebensmittel“.

##### **Definition Sekundärrohstoffe; Substratooptionen**

Klassischen Düngemittel wie Mineraldünger und Wirtschaftsdünger stehen mittlerweile eine Vielzahl von Nebenprodukten, Rest- und Abfallstoffen zur Seite, die zur Düngemittelproduktion eingesetzt werden oder direkt landwirtschaftlich verwertet werden können. Diese werden als Sekundärrohstoffdünger bezeichnet. Zu nennen sind konkret Kompost aus der getrennten Sammlung organischer Haushaltsabfälle (Bioabfall), Grüngut-Komposte aus kommunaler Sammlung organischer Stoffe wie Baum- und Strauchschnitt und Gartenabfälle, kommunale Klärschlämme sowie auch Abwässer und Abfälle verschiedener Industriesparten, insbesondere des Nahrungs- und Genussmittelsektors, aber auch aus der Biotechnologie. Dazu bekommen Stoffe aus Fällungs-, Flockungs- und Filtrationsverfahren sowie Aschen aus Verbrennungsprozessen mit z. B. hohen Phosphatanteilen zunehmende Bedeutung. Auch das Interesse an Gärresten als Produkt der anaeroben Behandlung nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen – Kofermente, Monochargen – hat mit dem Ausbau der Biogastechnologie zugenommen.

Für den ökologischen Landbau stehen insbesondere derzeit Grüngut- und Bioabfallkomposte in der Diskussion, da sie bedeutende Nährstoff- und Kohlenstoffquellen darstellen. Kritisch werden Einträge von Schwermetallen und organischen Schad- und makroskopischen Störstoffen wie Plastik-, Glas- oder Metallrückstände betrachtet.

<sup>4</sup> <http://www.oekolandbau.de/erzeuger/grundlagen/hintergruende/prinzipien-des-oekolandbaus/>

Grundsätzlich bilden Komposte und die Kompostierung ein Kernstück des ökologischen Landbaus, da in einem aeroben Prozess zunächst schwer für Pflanzen zugängliche organische Rohstoffe aus dem Betrieb in pflanzenverwertbare Stoffe transformiert werden. Dies hat vor allem auch in Zeiten während der Vegetation Bedeutung, wenn organische Dünger nicht ausgebracht werden können und auf diese Weise aufbereitet und konserviert werden. Während des Kompostierungsprozesses entstehen aber vor allem auch wertvolle Dauerhumusvorstufen. Die positiven Effekte auf physikalische, chemische und biologische Eigenschaften von Böden und die Vorzüglichkeit von Komposten findet ein beredtes Beispiel in Langzeitversuchen wie dem DOK-Versuch in der Schweiz.

Bio- und Grüngut-Komposte aus Sekundärrohstoffen bilden dahingehend ein komplementäres Produkt, das in vieler Hinsicht genau die gleichen positiven Effekte wie andere Komposte hat wie in diesem Projekt und an anderer Stelle nachgewiesen. Diese Komposte haben somit in 2-facher Hinsicht einen positiven Effekt: sie sind Nährstoffträger (Makronährstoffe, vor allem P und K, Mikronährstoffe) und Bodenverbessernder Stoff aufgrund der Zugabe von organischer Substanz und basisch wirksamen Stoffen. Die Einführung der getrennten Sammlung organischer Abfälle entstammt dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft und wurde maßgeblich von Wissenschaftlern und gesellschaftlichen Gruppen initiiert, die eng dem ökologischen Landbau und seinen Prinzipien verbunden sind. Die bundesdeutsche Gesetzgebung hat in dieser Hinsicht seit nunmehr 30 Jahren eine Vorbildfunktion. Mit der Bioabfallverordnung, der EU Ökorichtlinie, den Richtlinien auf Verbandsebene sowie in ganz besonderem Maß durch die freiwillige Selbstkontrolle der Kompostindustrie (Bundesgütegemeinschaft Kompost) sind Regelwerke geschaffen, die die Kompostqualität überwachen. Seit 2006 findet eine definierte Auswahl (u.a. Überprüfung der Einhaltung der Schwermetallgrenzwerte nach EU Öko VO (EG) Nr. 889/2009 Anhang I) und Listung gütegesicherter Kompostanlagen in der FiBL-Betriebsmittelliste für den ökologischen Landbau statt. Derzeit sind etwa 200 Kompostanlagen in Deutschland in der FiBL-Liste aufgeführt. Dass von Seiten der Verbände wie Bioland, Naturland und Demeter bisher die Nutzung von Bioabfallkomposten nicht anerkannt ist, stellt ein Manko für die Nutzung wertvoller, zirkulierender Nährstoffquellen dar. Jedoch zeigen die Diskussion auf Verbandsebene zwischen den Bioland, Naturland und der Bundesgütegemeinschaft Kompost, dass hier Bewegung entstanden ist. Es sei nur an diese Stelle kurz darauf hingewiesen, dass das Hauptargument bzgl. der bedenklichen Anreicherung von Schwermetallgehalten durch Biokomposte aus Langzeitversuchen nicht bestätigt werden kann. So kam es nach 10-jähriger intensiver Düngung mit Bioabfallkomposten zwar zu Erhöhungen der Gehalte an Blei und Zink, jedoch blieben sie weit unter einem aus Bodenschutz-Gesichtspunkten bedenklichen Grenzwert (EMMERLING et al., 2010).

Grünguthäcksel bzw. Holzhäcksel aus Monochargen ausgewählter Holzarten bilden eine besondere Gruppe, dürften aber als eine interessanter Stoff gelten; sie haben neben den Komposten auch andere bisher zu wenig beachtete positive Eigenschaften wie dies im Projekt mit der Anwendung gegenüber Unkräutern gezeigt worden ist. Prinzipiell unterliegen diese Stoffgruppen den gleichen Regelwerken wie teilweise oben genannt.

Pferdemist gilt nur indirekt als SeRO Dünger, denn er wird zunächst eher zu den klassischen Wirtschaftsdüngern gezählt. Anders verhält es sich, wenn die Pferdehaltenden Betriebe keine ausreichende Verwertungsfläche haben. Tritt der Ökobetrieb als Abnehmer auf, dann gelten die Regeln der Richtlinie zum Import externer Stoffe. Grundsätzlich sind auch die Strohqualitäten hier im Vordergrund zu sehen, wenn Pferdehaltende Betriebe zu 100 % Stroh aus konventionellem Anbau verwenden, das nicht unerhebliche Pestizidrückstände enthalten kann.

## **Bedeutung für die Schließung von Nährstoffkreisläufen**

Ob Sekundärrohstoffe einzusetzen sind, muss an den gängigen Regelwerken festgemacht werden, jedoch ist es in Bezug auf begrenzte Ressourcen notwendig, intensiver über ein erweitertes Kreislaufwirtschaftssystem und die Schließung regionaler Stoffkreisläufe nachzudenken. Insbesondere aufgrund der abnehmenden Phosphorverfügbarkeit aber auch in Bezug auf den Kohlenstoffhaushalt bilden die o. g. Stoffgruppen einen wichtigen Bestandteil in der Konzeption von Stoffströmen, denen sich ökologisch wirtschaftende Betriebe, die Defizite auf der Nährstoffseite aufweisen, nicht verschließen sollten.

## **Wirkungen innerhalb des Systems „Ökologische Landwirtschaft“**

Grüngutkomposte, Grünguthäcksel und Pferdemist sind positiv in Hinsicht auf die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit zu bewerten. Das gilt in besonderem Maß dem Humushaushalt in vielschwachen oder hackfruchtintensiven Betrieben. Werden diese Dinge vernachlässigt, führt das die Idee des ökologischen Landbaus ad absurdum, denn die Betriebe verursachen letztlich mehr Schäden als dass die Böden nachhaltig erhalten oder verbessert werden. Neben dem Humushaushalt ist besonders an Phosphor zu denken, der als stark begrenzte Ressource über diese Quellen gut zugeführt werden kann. Ähnliches gilt für andere Makro- und Mikronährstoffe. Von bisher deutlich untergeordneter Bedeutung ist bisher die Erkenntnis zur positiven Auswirkung auf die Boden- und Pflanzengesundheit zu sehen. Besonders Grüngutkomposte haben im Projekt gezeigt, dass messbare Kulturstabilisierende Erfolge für die Hauptfrucht Leguminose aber auch in der gesamten Fruchtfolge auftreten können. Das ist einer additiven Wirkung dieser Stoffgruppen zuzuschreiben, denn neben Nährstoffanreicherungen, erhöht sich mikrobielle Aktivität in den Böden und kann damit Voraussetzungen schaffen wie sich die Böden selbst in einem Gleichgewicht zuungunsten von Pflanzenkrankheitserregern bewegen können, wenn die genannten organischen Dünger eingesetzt werden.

## **Handlungsoptionen**

Um den Einsatz von Sekundärrohstoffen im ökologischen Landbau zu etablieren, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen den Anbauverbänden notwendig. Die Sekundärrohstoffe müssen regional gut verfügbar sein, dafür ist ein flächendeckendes Netz an Kompostanlagen notwendig. Die Chaagen müssen eine gesicherte Qualität aufweisen, weshalb sie einem exakten Monitoring unterzogen werden sollten. Außerdem ist eine regionale Beratung der Landwirte zum Einsatz dieser Rohstoffe notwendig.

## 4.9 Wissenstransfer

### 4.9.1 Pressemeldungen

**Tabelle 175: Veröffentlichte Pressemeldungen**

Datum	Titel
13. Oktober 2008	Meldung zum Projektstart
5. Dezember 2010	Meldung zum Tag des Bodens
6. Dezember 2012	Meldung zur Abschlussveranstaltung, zur Praxisbroschüre und zum Projektende

Fazit: Mit den Pressemeldungen konnten die einschlägigen Fachmagazine des ökologischen Landbaus, landwirtschaftliche Wochenblätter sowie insbesondere Onlinemedien (oekolandbau.de, agrarheute, topagrar, lw-heute, agra-europe etc.) gut erreicht werden. Insbesondere zum Projektstart war die Meldung ein wichtiges Medium, um eine gewisse Bekanntheit des Projektes und damit auch Aufmerksamkeit für die folgenden Maßnahmen zum Wissenstransfer zu erzeugen.

## 4.9.2 Nicht-wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Projekt

**Tabelle 176: Veröffentlichungen in landwirtschaftlichen Fachzeitschriften und Internetmedien aus dem Bereich Wissenstransfer**

Medium/Medien	Titel	Datum
www.oekolandbau.de	Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau	Juli 2009
www.oekolandbau.de Landpost Lübecker Nachrichten	Großer Feldtag auf Gut Obbach	August 2009
www.oekolandbau.de www.agrarheute.de	Großer Anklang beim Feldtag zur Bodenfruchtbarkeit und Bodenbearbeitung	Dezember 2009
www.oekolandbau.de	Bodenfruchtbarkeit und Leguminosenanbau	Juni 2010
www.oekolandbau.de	Praxis-Feldtag: Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit	Juli 2010
aid-Presseninfo Ausgabe Nr. 32/10 Innovations-Report	Bodenfruchtbarkeit im Ökobetrieb: Kann organische Düngung Unkraut unterdrücken?	August 2010
BW agrar online	Fruchtbaren Boden erhalten	Mai 2010
BW agrar 36/2010	Wenig Druck auf den Boden	August 2010
Fränkische Nachrichten	Organische Düngung, weniger Unkraut?	
www.kdb-sachsen.de	Bodenfruchtbarkeit zentrales Thema in Köllitsch	Juni 2010
Landpost 20/2010	Unkrautunterdrückung durch organische Düngemittel	Juni 2010
Naturland Nachrichten 2/2010	Humusbilanzierung – was ist zu beachten?	April 2010
Naturland Nachrichten 2/2010	Anbaupausen bei Leguminosen einhalten	April 2010
Naturland Nachrichten 2/2010	Höhere Wertschöpfung durch Management der Bodenfruchtbarkeit	April 2010
Naturland Nachrichten 4/2010	Bodenfruchtbarkeits-Feldtag in Köllitsch	August 2010
Naturland Nachrichten 5/2010	Reduzierte Bodenbearbeitung: Geht das im Öko-Landbau?	Oktober 2010
www.oekolandbau.de	Bodenfruchtbarkeit und Leguminosenanbau	Juni 2010
www.oekolandbau.de	Praxis-Feldtag: Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit	Juli 2010
Ökologie & Landbau 155, 3/2010	Feldtag zu Bodenfruchtbarkeit und Leguminosenanbau	Mai 2010
www.proplanta.de	Boden schonen leicht gemacht – Verbund-Projekt im Ökolandbau gibt antworten	August 2010
www.proplanta.de	Kann organische Düngung Unkraut unterdrücken?	August 2010



Medium/Medien	Titel	Datum
Rheinische Bauernzeitung Nr. 30/2010	Bodenbelastungen und Gemengeanbau von Leguminosen untersucht	Juli 2010
www.oekolandbau.de	Ist mein Boden fit für den Anbau von Körnerleguminosen?	Januar 2011
LZ Rheinland, 2/2011	Wie lässt sich die Bodenfruchtbarkeit fördern?	Januar 2011
„Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis“, ergänzender Tagungsband zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau	Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau	März 2011
Naturland Nachrichten 3/2011	Klee- und Luzernebestände leistungsfähig halten	Juni 2011
Landwirtschaft ohne Pflug 11/2011	Für die Bodenfruchtbarkeit ist weniger mehr	November 2011
Neue Landwirtschaft	Fruchtbare Partnerschaft	November 2011
Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 42/2011	Erbsen belohnen lockere Erde	Oktober 2011
Landwirtschaft ohne Pflug 11/2011	Die Probleme beim Erbsenanbau an der Wurzel packen	November 2011
Hessenbauer	Der Bodenfruchtbarkeit auf der Spur	Juni 2011
aid-Newsletter 27/11	Komposteinsatz gegen bodenbürtige Pilzkrankheiten: Sämaschine zur Reihen-Applikation entwickelt	Juni 2011
Giessener Allgemeine	Mit Grünguthäcksel das Unkraut eindämmen	Juli 2011
agrarheute	Kompost gezielt in die Reihe bringen	August 2011
Naturland Nachrichten	Erbsen im Gemenge mit Hafer oder in Reinsaat	Februar 2012
Südwestpresse	Feldtag an der Uni	Juni 2012
Proplanta	Feldtag zur Bodenfruchtbarkeit an der Universität Hohenheim	Juni 2012
Stuttgarter Nachrichten	Pferdemist ist gut für Erbsen	Juli 2012
Schwäbischer Bauer BW Agrar 29	Fruchtbarer Boden	Juli 2012
BioNachrichten 5/2012	Erbsen anbauen mit Erfolg	Oktober 2012
DSV Magazin	Kleegras und Luzernegras	
www.oekolandbau.de	Körnererbsen: Sortenunterschiede in der Anfälligkeit gegen bodenbürtige Krankheiten?	April 2013
LW Hessenbauer	Die Anbaupausen müssen noch größer werden	Juni 2013

**Tabelle 177: Nicht-wissenschaftliche Veröffentlichungen aus den WPs**

Autoren	Datum	Titel	Journal
Schmidtke, K.	2009	Fruchtfolge, Düngung und Gemengeanbau - Schlüsselfaktoren im Anbau von Körnerleguminosen	Ökologie und Landbau 152, 19-21
Böhm, H.	2009	Körnerleguminosen in Not – Einführungsbeitrag.	Ökologie & Landbau, Heft 3/2009
Böhm H., Alvermann G.	2009	Feldtag zur Bodenfruchtbarkeit	Bauernblatt Schleswig-Holstein und Hamburg 63./159. Jahrgang, 28. Ausgabe, 39-41
Böhm H., Alvermann G.	2009	Feldtag zur Bodenfruchtbarkeit am Institut für Ökologischen Landbau in Trenthorst.	Naturland Nachrichten 04/August 2009, 21-24
Böhm H., Alvermann G.	2009	Die Bodenfruchtbarkeit erhalten	Land & Forst162, Heft 31/2009, 31-33.
Böhm H. Alvermann G.	2009	Masterplan Körnerleguminosen.	Bioland 08/2009, 8-9.
Böhm H., Alvermann G.	2009	Gut abschneiden	Brandenburger Bauernzeitung 50. Jahrg., 29. Woche, 36-37.
Böhm H., Alvermann G.	2009	Die Mischung macht's	Brandenburger Bauernzeitung 50. Jahrg., 28. Woche, 24-25.
Brandhuber, R., Demmel, M., Koch, H.-J., Brunotte, J.	2008	Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen – Empfehlungen für die Praxis.	: DLG-Merkblatt 344. DLG e.V., Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.
Böhm, H.	2010	Körnerleguminosen – Grundlage für Ackerbau und Tierernährung	Lebendige Erde 04/2010: 20-23
Gronle A., Böhm H.	2010	Wintererbsen im Gemenge	Bioland Heft 8/2010: 8-9
Demmel, M., Brandhuber, R. und Wild, M.	2010	Auswirkungen von Bodenbelastung auf den Ertrag – Wie viel schaden Verdichtungen?	Landwirtschaft ohne Pflug
Verschiedene Autoren	2010	Verschiedene Beiträge	Dossier: Grundlagen der Bodenfruchtbarkeit
Lux, G., Schmidtke, K., Bruns, C.	2011	Bodenleben auf Trab bringen	Bioland 02/2011, 18-19
Bruns, C., Lux, G., Schmidtke, K.	2011	Komposte halten Leguminosen gesund	Bioland 06/2011, 10-11
Brandhuber, R., Demmel M., Wild M.	2011	Bodenverdichtung: Weniger Druck dem Boden zuliebe	Naturland Nachrichten 1/2011
Wild, M., Demmel, M. und Brandhuber, R.	2011	Auswirkungen von Bodenbelastung auf den Ertrag - Die Probleme beim Erbsenanbau an der Wurzel packen.	Landwirtschaft ohne Pflug 11/12, 12-16.
Wild, M., Demmel, M. und Brandhuber, R.	2011	Erbsen belohnen lockere Erde - Bodenverdichtungen führen zu Ertragseinbußen bei der Körnerleguminose	Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt Nr. 42., 26-27
Wild, M., M. Demmel und Brandhuber R.	2012	Bodenverdichtung und ihre Vermeidung. In: Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit	Merkblatt BioAustria, 24-25

Autoren	Datum	Titel	Journal
Brandhuber, R., M. Wild und Demmel, M.	2012	Bodenerosion und ihre Vermeidung. In: Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit	Merkblatt BioAustria, 26-27
Gronle A., Böhm H.	2012	Unkrautunterdrückung in Erbsen-Hafer-Gemengen	Naturland Nachrichten 1/2012, 32-33
Bruns C.	2012	Krankheiten an der Wurzel packen	Bioland 3/2012, 14-15
Wolf D., Möller D.	2012	Der Wert des Bodens: Bodenfruchtbarkeit wirtschaftlich bewerten	Ökologie & Landbau 02/2012: 19-21
Schmidt, H.	2012	Bodenfruchtbarkeit - Die Zusammenhänge besser verstehen	Ökologie & Landbau 02/2012: 22-23
Gronle A., Lux G., Schmidt H., Schmidtke K.	2013	Vorruchtwirkung optimieren	Naturland Nachrichten 5/2013, 27-28
Schmidt H., Fuchs J.	2013	Schlagauswahl für den Körnerleguminosenanbau	Naturland Nachrichten 5/2013, 17-18
Wild D., Möller D., Lux G., Schmidt H., Demmel M., Wild M., Brandhuber R.	2013	Den Boden für eine gute Körnerleguminosenernte bereiten	Naturland Nachrichten 5/2013, 19-21
Gronle A., Bruns C., Werren D., Lux G., Schmidt H., Finckh M.	2013	Pflanzengesundheit im Leguminosenanbau – auch eine Frage des Bodens	Naturland Nachrichten 5/2013, 22-26
Schmidt H., Fuchs J., Wolf D.	2013	Der richtige Schlag für Körnerleguminosen	Bioland 10/2013, 10-12
Gronle A., Böhm H.	2013	Wintererbsen zur Auflockerung der Fruchtfolge: Mehr Ertrag im Gemenge.	Landwirtschaft ohne Pflug 8/2013:36-39
Verschiedene Autoren	2010	Verschiedene Beiträge	Dossier: Grundlagen der Bodenfruchtbarkeit
Verschiedene Autoren	2013	Mehrere Inhaltliche Beiträge	KTBL-Heft 100: „Körnerleguminosen anbauen und verwerten“,

Fazit: Die Artikel und Themen aus dem Projekt wurden nicht nur von den Fachzeitschriften des ökologischen Landbau, sondern auch von der Bauernblättern in den einzelnen Bundesländern und überregionalen Print- und Onlinemedien gut angenommen. Nachdem ab Beginn 2010 damit begonnen wurde, vor allem die Themen des Monats intensiv in den Medien zu platzieren, konnte hier eine starke Zunahme des Abdrucks und des Interesses am Thema verzeichnet werden. Ab Mitte 2011 konnte ein gewisser Sättigungseffekt festgestellt werden, dennoch konnten einzelne Themen auch weiter gut platziert werden. Vor allem durch den Abdruck einzelner Themen aus der Praxisbroschüre erschienen zum Ende des Projektes wieder zahlreiche Artikel.

### 4.9.3 Feldtage

**Tabelle 178: Durchgeführte Feldtage**

Datum	Ort	Virtueller Feldtag
9. Juni 2009	Trenthorst	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/117.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/117.html</a>
11. August 2009	Obbach	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/121.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/121.html</a>
15. September 2009	Frankenhausen	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/120.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/120.html</a>
21. Mai 2010	Köllitsch	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/172.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/172.html</a>
6. Juli 2010	Esting	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/177.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/177.html</a>
9. Juni 2011	Gülzow	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/445.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/445.html</a>
17. Juni 2011	Alsfeld- Liederbach	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/446.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/446.html</a>
25. Juni 2012	Kleinhohenheim	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/676.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/676.html</a>
2. Juli 2012	Frankenhausen	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/685.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/685.html</a>
6. Juni 2013	Bolanden	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/842.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/842.html</a>

Fazit: Die Feldtage waren gut bis sehr gut besucht und erzeugten ein positives Feedback. Sie haben sich damit als Kernelement zum Wissenstransfer an Landwirte (und Berater) bewährt. Ihre besondere Attraktivität erhielten sie durch eine gute und informative Mischung aus Fachvorträgen, vielfältigen Anschauungsmöglichkeiten auf dem Feld sowohl verschiedener Kulturen und Anbautechniken, aber insbesondere auch durch Technikvorführungen.

Das Konzept der Zusammenarbeit mit einem Co-Veranstalter vor Ort hat sich bewährt, sowohl was die Organisation vor Ort als auch die Bekanntmachung betrifft. So konnte neben der Verbreitung des Termins über einen eigens eingerichteten Verteiler und in einschlägigen Print- und Onlinemedien der Feldtag auch gezielt regional bekannt gemacht werden. Die Aufbereitung zu virtuellen Feldtagen hat sich auch bewährt um die Feldtage zu dokumentieren. Die Berichte zum Feldtag konnten auch jeweils in der Presse platziert werden.

### 4.9.4 Vorträge

**Tabelle 179: Vorträge**

Veranstaltung	Wer	Datum
Niedersächsisches Fachforum Ökolandbau „Leguminosen und Pflanzenernährung“, Altwarmbüchen	Knut Schmidtke	17. Dezember 2008
Gäa-Wintertagung, Krögis	Knut Schmidtke	16. Januar 2009
Praktikerveranstaltung in Niddatal	Klaus-Peter Wilbois	27. Januar 2009
Praktikerveranstaltung in Obenhausen	Werner Vogt-Kaute	28. Januar 2009
Praktikerveranstaltung in Frankenhausen	Thorsten Haase	03. Februar 2009
Praktikerveranstaltung in Bernburg	Klaus-Peter Wilbois	05. Februar 2009
Praktikerveranstaltung in Cottbus	Dritte	10. Februar 2009
Praktikerveranstaltung in Landshut	Dritte	11. Februar 2009
Praktikerveranstaltung in Limpach	Dritte	17. Februar 2009

Veranstaltung	Wer	Datum
Ackerbauseminar in Freising	Dritte	18. Februar 2009
Praktikerveranstaltung in Wemding	Dritte	25. Februar 2009
Praktikerveranstaltung in Hameln	Werner Vogt-Kaute	26. Februar 2009
Praktikerveranstaltung in Werneck	Werner Vogt-Kaute	02. März 2009
Praktikerveranstaltung in Himmelskron	Werner Vogt-Kaute	03. März 2009
Praktikerveranstaltung in Burgpreppach	Werner Vogt-Kaute	04. März 2009
Praktikerveranstaltung in Sugenheim	Dritte	04. März 2009
Praktikerveranstaltung in Oberpfaunhofen	Dritte	26. März 2009
JKI-Fachgespräch Leguminosen „Anbau und Züchtung von Leguminosen in Deutschland – Sachstand und Perspektiven“, Braunschweig	Herwart Böhm	21. April 2009
Seminar „Strategien für den erfolgreichen Körnerleguminosenanbau“, Natendorf	Knut Schmidtke	28. Mai 2009
Fortbildungsseminar „Ökologischer Landbau“ für Berater und Lehrkräfte der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Dr. J. Thaysen), Trenthorst	Herwart Böhm	19. Juni 2009
Feldtag „Körnerleguminosen im ökologischen Landbau – Probleme und Chancen“, Universität Gießen, Gladbacherhof	Knut Schmidtke	02. Juli 2009
Vortragsveranstaltung „Leguminosen im ökologischen Landbau – Zwischenfruchtbau, Vermehrung und Technologien“ des Biopark e.V., Stahlbrode, Landwirtschaftsbetrieb Schulz,	Knut Schmidtke	14. Oktober 2009.
Bioland-Veranstaltung: „Leguminosen – Wie können Anbauprobleme gelöst werden?“, Aichach	Harald Schmidt	24. November 2009
Naturland-Ackerbau-Seminar, Trenthorst	Herwart Böhm	03. Dezember 2009
Gäa-Wintertagung, Krögis	Knut Schmidtke, Guido Lux	29. Januar 2010
Naturland Ackerbautagung, Würzburg	Knut Schmidtke	03. Februar 2010
Mitgliederversammlung Naturland e.V. NRW, Bad Sassendorf	Klaus-Peter Wilbois	02. März 2010
Stoppelhobeltag, Roth am See	Guido Lux	05. März 2010
LfULG-, HTW-, Bofru-Feldtag: „Bodenfruchtbarkeit und Leguminosenanbau“, Köllitsch	Harald Schmidt	21. Mai 2010
Feldtag Ökologischer Landbau des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Güterfelde	Herwart Böhm	15. Juni 2010
Treffen mit SPD-Politikern	Maria Finckh	18. Juni 2010
53. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Hohenheim	Guido Lux, Annkathrin Gronle	28. bis 30. September 2010
Wissenstransferveranstaltung ÖkoBeratungsGesellschaft, Langendorf	Werner Vogt-Kaute	24. November 2010
Wissenstransferveranstaltung ÖkoBeratungsGesellschaft, Maroldsweisach	Werner Vogt-Kaute	25. November 2010
Naturland-Verband, Mitgliederversammlung, Rendsburg	Herwart Böhm	30. November 2010
Tag des Bodens, Frankfurt	Alle	03. Dezember 2010
Kolloquium am Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Witzenhausen	Annkathrin Gronle	20. Dezember 2010

Veranstaltung	Wer	Datum
Bioland-Wintertagung 2011, Hermannsburg	Herwart Böhm	11. Januar 2011
Vorstellung beim Naturland Ackerbauseminar in Erdweg	Werner Vogt-Kaute	19. bis 20. Januar 2011
Vorstellung beim Naturland Seminar Fruchtfolge und Leguminosen, Lich	Harald Schmidt	25. Januar 2011
Vorstellung beim Naturland Seminar Fruchtfolge und Leguminosen, Grebenstein	Harald Schmidt	27. Januar 2011
Workshop „Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau“ beim Praktikertag der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau in Gießen	alle	17. März 2011
Poster „Mischfruchtanbau von Wintererbsen mit Raps oder Triticale bei flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung“ bei der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau	Annkathrin Gronle & Herwart Böhm	15. bis 18. März 2011
Reduzierte Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau -Stoppelhobeltag, Rot am See	Herwart Böhm	14. April 2011
Vorstellung beim Naturland Feldtag Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung, Niddatal	Werner Vogt-Kaute	25. Mai 2011
Vorstellung beim Naturland Feldtag Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung, Braunfels	Werner Vogt-Kaute	02. Juni 2011
Vorführung der Kompostapplikationsmaschine beim Praktikertag in Eichenberg/Göttingen	Christian Bruns	14. Juni 2011
Vortrag beim Bioland-Praktikertag, Pfänder Hof	Christian Bruns	24. Juni 2011
Vortrag beim Leguminosentag in Wiebrechtshausen	Christian Bruns	30. Juni 2011
Vortrag „Vergleich von flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung beim Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer“ bei der Pflanzenbautagung in Kiel	Annkathrin Gronle	28. September 2011
Poster „Flach- und tiefwendende Bodenbearbeitung beim Anbau von Sommer- und Wintererbsen-Getreide-Gemengen“ bei der Agritechnika	Annkathrin Gronle, Herwart Böhm	13. bis 19. November 2011
Poster „Optimierung des Anbaus von Körnerleguminosen - Mischfruchtanbau von Wicken und Wintererbsen“ bei der Agritechnika	Annkathrin Gronle, Herwart Böhm	13. bis 19. November 2011
Ackerbauseminar Naturland, Trenthorst	Herwart Böhm	07. Dezember 2011
Vortrag „Ursachen der Unkraut unterdrückenden Wirkung beim Mischfruchtanbau von Sommererbsen und Hafer“ beim Fachkolloquium des Fachgebiets Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Universität Kassel	Annkathrin Gronle	12. Dezember 2011
Naturland-Ackerbautagung, Würzburg	Werner Vogt-Kaute	25. bis 26. Januar 2012
LfL-Kolloquium	Melanie Wild	13. März 2012
Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, Braunschweig	Annkathrin Gronle	13.-15 März 2012
Gäa Feldtag Bodenfruchtbarkeit, Großroppershausen	Christian Bruns	24. Mai 2012
Gäa Ackerbauseminar	Christian Bruns	31. Mai 2012
Tagung Thüringer Ökoherz, Mittelsömmern	Christian Bruns	8. Juni 2012



Veranstaltung	Wer	Datum
Feldtag Trenthorst	Annkathrin Gronle	19. Juni 2012
DLG-Feldtage, Bernburg-Strenzfeld, Poster zum Anbau von Wintererbsen	Annkathrin Gronle	19.-21. Juni 2012
ABL/Biolandtagung, Werther	Christian Bruns	27. Juni 2012
Ökolandbautag der LfL	Melanie Wild	29. Juni 2012
12th Congress of the European Society for Agronomy, Helsinki, Finland	Annkathrin Gronle	20.-24. August 2012
58. Deutsche Pflanzenschutztagung	Christian Bruns	10. bis 14. September 2012
58. Deutsche Pflanzenschutztagung	Christian Bruns	10. bis 14. September 2012
Tagung der Österreichische Gesellschaft für Agrarökonomie	Daniel Wolf	20. bis 21. September 2012
55. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Berlin	Annkathrin Gronle, Melanie Wild	25. September 2012
Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V	Daniel Wolf	26.-28. September 2012
Herbsttagung der AbL, Lauenbrück	Harald Schmidt	04. November 2012
SÖL-Berater-Tagung „Pflanzenbau im Ökolandbau“, Veitshöchheim-Gadheim	Harald Schmidt	07. November 2012
LLH-Arbeitskreis Öko-Ackerbau „Körnerleguminosenanbau, Risikomanagement und Kleinbiogasanlagen“, Bad Hersfeld	Harald Schmidt	23. November 2012
Seminar Bodenfruchtbarkeit, Beratungsdienst Ökologischer Landbau, Giengen-Burgberg	Ann-Kathrin Spiegel	27. November 2012
Vortragsveranstaltung FG Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Witzenhausen	Annkathrin Gronle	04. Dezember 2012
Tag der Bodenfruchtbarkeit Bio Austria	Melanie Wild	04. Dezember 2012
Demeter-Wintertagung NRW: „Biologisch-Dynamische Landwirtschaft im Spannungsfeld von Spezialisierung und vielseitigem Organismus am Beispiel der Bodenfruchtbarkeit“, Schloß Hamborn	Harald Schmidt	12. Januar 2013
Naturland Ackerbau-Tagung, Erdweg	Harald Schmidt	16. Januar 2013
Bofru-Praktiker-Workshop Süd, Freising	Harald Schmidt, Melanie Wild	24. Januar 2013
Zukunft findet heute statt – Stickstoff-Effizienz & Bodenfruchtbarkeit im Fokus, INGUS, Braak	Herwart Böhm	29. Januar 2013
Bodenpraktikertag Bio Austria	Melanie Wild	30. Januar 2013
Bofru-Praktiker-Workshop Mitte, Fulda	Harald Schmidt	30. Januar 2013
Naturland Ackerbauseminar, Groß Lobke	Harald Schmidt	05. Februar 2013
Bofru-Praktiker-Workshop Nord, Trenthorst	Harald Schmidt, Annkathrin Gronle	06. Februar 2013
Bioland-Veranstaltung: „Bodenfruchtbarkeit fördern im ökologischen Ackerbau“, Bad Kreuznach	Harald Schmidt	21. Februar 2013
2. Leguminosentag in Luxemburg, Bio-Letzebuerg und IBLA, Beringen	Herwart Böhm	22. Februar 2013
BOFRU-Praktiker-Workshop Ost, Nossen	Harald Schmidt	25. Februar 2013
12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn	Annkathrin Gronle, Harald Schmidt, Guido	06. bis 08. März 2013

Veranstaltung	Wer	Datum
	Lux, Melanie Wild	
Forschungsstrategisches Fachforum 2013 der DAFA, Freising	Harald Schmidt	08. Oktober 2013
Naturschutz und Landwirtschaft im Dialog: Konzepte zur Etablierung eines nachhaltigen und vielfältigen Leguminosenanbaus, Insel Vilm	Annkathrin Gronle	23. Oktober 2013
European workshop: Grain legumes for organic agriculture, Copenhagen	Herwart Böhm	28. Oktober 2013
SÖL-Berater-Tagung „Pflanzenbau im Ökolandbau“, Trier	Harald Schmidt	19. November 2013
Naturland Workshop Öko-Leguminosenanbau, Trenthorst	Harald Schmidt	10. Dezember 2013

Fazit: Neben den Feldtagen waren die Vorträge, die durch alle Projektbeteiligten gehalten wurden, ein wichtiges Instrument um das Projekt in Praxis und Beratung bekannt zu machen und die Ergebnisse zu streuen.

## 4.9.5 Webseite

Zu Beginn des Projektes (im Februar 2009) wurde eine Website unter der URL [www.bodenfruchtbarkeit.org](http://www.bodenfruchtbarkeit.org) eingerichtet und mit ersten Informationen zum Projekt befüllt. Zum Jahresbeginn 2010 wurde ein Relaunch der Website erarbeitet, bei dem einerseits das Layout angepasst und andererseits die Inhaltsplanung überarbeitet wurde.

### 4.9.5.1 Aufbau und Inhalte

Die Website basiert auf dem Content-Managementsystem Typo3, was es den jeweiligen Redakteuren ermöglicht, Inhalte auch ohne Programmierungkenntnisse einfach und eigenständig einzupflegen.

Im ursprünglichen Aufbau bestand die Website aus den Themengebieten Projekt (Hintergrundinformationen zum Projekt, den Workpackages und Versuchsfragestellungen, den Versuchsstandorten und den Projektpartnern), Termine, Virtuelle Feldtage (Rückblicke auf die im Rahmen des Projektes veranstalteten Feldtage und Intern (Möglichkeit zur Ablage und zum Austausch von Dateien für Projektpartner).

Im Rahmen des Relaunch wurde die Website in Richtung eines Portals mit Informationen und Hintergrundwissen rund um die Bodenfruchtbarkeit weiterentwickelt. Neben dem Servicebereich mit Download-Optionen, Literatur- und Linktipps wurde das Thema des Monats angelegt. Daneben kam der Informationsblock zum Tag des Bodens hinzu. Außerdem kam 2011 die HTML-Version der Grundlagenbroschüre Boden hinzu, wodurch die Zugriffe auf die Website gesteigert werden konnten.

### 4.9.5.2 Thema des Monats

Das Thema des Monats wurde als Element auf der Website integriert, um regelmäßig neuen Content veröffentlichen zu können, der ggf. auch an die Presse weitergegeben werden kann. Über diese Regelmäßigkeit sollten Leser an die Website gebunden werden und zum erneuten anklicken animiert werden. Es wurde als Bodenfruchtbarkeitsnewsletter zusammen mit Neuigkeiten aus dem Projekt an einen Kreis von Beratern und interessierten Landwirten verschickt. Die dafür generierten pdf-Dateien zum Thema des Monats wurden auch zum Download angeboten. Nach Ende des Projektes werden die Themen des Monats auch unter <http://orgprints.org/20443/> verfügbar sein.

**Tabelle 180: Thema des Monats (incl. Versand als Bodenfruchtbarkeitsnewsletter an Berater-Verteiler und Medien)**

Monat	Titel	Link
Februar 2010	Bodenuntersuchungen - was ist wirklich drin?	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/158.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/158.html</a>
März 2010	Humusbilanzierung – was ist zu beachten?	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/166.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/166.html</a>
April 2010	Alnatura Bauerntag mit Schwerpunkt Bodenfruchtbarkeit	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/167.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/167.html</a>
Mai 2010	Unkrautunterdrückung durch organische Düngemittel	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/169.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/169.html</a>
Juni 2010	„Die Zusammenhänge zwischen Bodenbelastung und Bodenfruchtbarkeit sind sehr komplex“	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/171.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/171.html</a>
Juli 2010	Pausen tun gut – das gilt auch für Leguminosen	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/176.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/176.html</a>
August 2010	Was macht den Boden müde?	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/179.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/179.html</a>
September 2010	Reduzierte Bodenbearbeitung – geht das im Ökolandbau	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/182.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/182.html</a>
Oktober 2010		
November 2010	Tipps für die Grünbrache	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/188.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/188.html</a>
Dezember 2010	Der Boden lebt – aber er ist in Gefahr	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/189.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/189.html</a>
Januar 2011	Auszeichnung für den Regenwurm	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/267.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/267.html</a>
Februar 2011	Die Sojabohne – eine Körnerleguminose mit Zukunft? (Teil 1)	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/268.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/268.html</a>
März 2011	Die Sojabohne – eine Körnerleguminose mit Zukunft? (Teil 1)	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/269.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/269.html</a>
April 2011	Sommer- und Wintervarianten von Erbse und Ackerbohne im Vergleich	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/300.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/300.html</a>
Mai 2011	Klee- und Luzernebestände leistungsfähig halten	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/361.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/361.html</a>
Juni 2011	Vielfältiges Bodenleben	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/418.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/418.html</a>
Juli 2011	Nematoden – Fluch oder Segen	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/505.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/505.html</a>
August 2011	Mykorrhiza – faszinierende Lebensgemeinschaft im Boden	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/504.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/504.html</a>
September 2011	Ackerbegleitstrukturen nützen auch dem Boden	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/524.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/524.html</a>
Oktober 2011	Blattrandkäfer – erst die Blätter, dann die Knöllchen	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/536.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/536.html</a>
November 2011	Unkrautunterdrückung in Erbsen-Hafer-Gemengen – Was sind mögliche Ursachen?	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/600.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/600.html</a>
Dezember 2011	Erbsen wachsen besser ohne Druck	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/608.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/608.html</a>
Januar 2012	Erbsen im Gemenge mit Hafer oder in Reinsaat: Wie reagieren verschiedene Standorte im Ertrag?	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/611.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/611.html</a>
Februar 2012	Wickler und Käfer: Nicht nur uns	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/616.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/616.html</a>

Monat	Titel	Link
	gefallen Körnerleguminosen	
März 2012	Grünguthäcksel wirkt vielfach	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/639.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/639.html</a>
April 2012	Bodenbeurteilung leicht gemacht	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/731.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/731.html</a>
Mai 2012	So funktionieren die Knöllchen	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/651.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/651.html</a>
Juni 2012	Über Bodenfruchtbarkeit nachdenken	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/656.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/656.html</a>
Juli 2012	Körnerleguminosen im Fokus – das Bodenfruchtbarkeitsprojekt bei den DLG-Feldtagen	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/665.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/665.html</a>
August 2012	Grüngutkompost in der Praxis	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/683.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/683.html</a>
September 2012	Pionier in Kompostierung und reduzierter Bodenbearbeitung	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/686.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/686.html</a>
Oktober 2012	Die reduzierte Bodenbearbeitung wird weiter erforscht	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/721.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/721.html</a>
November 2012	Kompost für gesunde Erbsen	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/724.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/724.html</a>
Dezember 2012	Kompostausbringung in der Reihe	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/725.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/725.html</a>
Januar 2013	Direktsaat im Ökologischen Landbau?	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/733.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/733.html</a>
Februar 2013	Die Lupine – Königin der Sandböden (Teil 1)	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/734.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/734.html</a>
März 2013	Die Lupine – Königin der Sandböden (Teil 2)	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/782.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/782.html</a>
April 2013	Gibt es bei Körnererbsen Sortenunterschiede in der Anfälligkeit gegenüber bodenbürtigen Krankheiten?	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/816.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/816.html</a>
Mai 2013	Welche Körnerleguminose passt zu meinem Standort?	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/836.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/836.html</a>
Juni 2013	Feldtag in Bolanden	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/843.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/843.html</a>

Fazit: Das Thema des Monats kam bei Beratern und Landwirten positiv an und wurde gut aufgenommen. Insbesondere im ersten Jahr wurde zahlreiche der Artikel auf von den landwirtschaftlichen Wochenblättern bzw. den Magazinen des Ökolandbaus abgedruckt. Das Thema des Monats hat das Ziel der Leserbindung erreicht und dafür gesorgt, dass das Projekt in den Köpfen von Beratern und Fachpresse präsent blieb.

#### 4.9.6 Weitere Medien zum Projekt

Zum Projektstart wurde neben der Pressemeldung Anfang 2009 auch ein Flyer mit Informationen zum Projekt erstellt, der einen Überblick über die Ziele und Partner des Projektes gibt. Der Flyer wurde sowohl gedruckt und auf Veranstaltungen ausgelegt, als auch auf der Website zum Download angeboten. Als Hinweis auf die Projektwebsite wurden außerdem Visitenkarten mit Logo und Link erstellt.

Im Jahr 2009 gab die BLE außerdem eine themenbezogene Broschüre mit dem Titel „Forschung im Bundesprogramm Ökologischer Landbau – Schwerpunkt Bodenfruchtbarkeit“ heraus, die als Einleger im Fachmagazin Ökologie & Landbau erschienen ist. In dieser Broschüre wurde auch das Bodenfruchtbarkeitsprojekt ausführlich vorgestellt. Die Broschüre kann auch auf der Projektwebsite heruntergeladen werden.

Ein weiteres Element waren Themenblätter zu unterschiedlichen Aspekten der Bodenfruchtbarkeit. Diese wurden zu Projektfeldtagen erstellt und dort in gedruckter Form als zusätzliches Informationsmaterial zur Bodenfruchtbarkeit sowie als Hinweis auf das Projekt ausgelegt. Um die Attraktivität der Website zu steigern, wurden außerdem Videos erstellt und angeboten.

Daneben arbeiteten zahlreiche Projektpartner inhaltlich am FiBL-Dossier „Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit“ mit. Diese wurde dann als HTML-Version auch auf die Bodenfruchtbarkeits-Website gestellt.

Aus den praxisrelevanten Ergebnissen des Projekts wurde eine Praxisbroschüre erarbeitet, die Beratern und interessierten Praktikern mit den neuen Erkenntnissen aus dem Projekt versorgen soll. Sie wird unter folgendem Link als Download verfügbar sein: <http://orgprints.org/20443/>

**Tabelle 181: Weitere Medien zum Projekt**

Medium	Titel	Link
Flyer	Bodenfruchtbarkeit – von allen Seiten beleuchtet	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/115.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/115.html</a>
Themenbezogene Broschüre „Forschung im Bundesprogramm Ökologischer Landbau – Schwerpunkt Bodenfruchtbarkeit“	Bodenfruchtbarkeit verbessern: geeignete Strategien für den Ökologischen Landbau erforschen	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/fileadmin/bfbk/documents/BLE_BOeL_Boden_V2.pdf">http://bodenfruchtbarkeit.org/fileadmin/bfbk/documents/BLE_BOeL_Boden_V2.pdf</a> und erschienen als Einleger in der Ökologie & Landbau 152 /4(2009)
Themenblatt	Zwischenfruchtanbau lohnt sich gleich mehrfach	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/fileadmin/bfbk/documents/bofru_themenblatt_zwischenfrucht.pdf">http://bodenfruchtbarkeit.org/fileadmin/bfbk/documents/bofru_themenblatt_zwischenfrucht.pdf</a>
Themenblatt	Grünbrachemanagement in viehlosen Ökobetrieben	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/fileadmin/bfbk/documents/bofru_themenblatt_gruenbrache.pdf">http://bodenfruchtbarkeit.org/fileadmin/bfbk/documents/bofru_themenblatt_gruenbrache.pdf</a>
Themenblatt	Bodenverdichtung: Wenig Druck dem Boden zuliebe	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/fileadmin/bfbk/documents/Bofru_Themenblatt_Bodendruck.pdf">http://bodenfruchtbarkeit.org/fileadmin/bfbk/documents/Bofru_Themenblatt_Bodendruck.pdf</a>
Visitenkarten für die Projektwebsite	-	-
Video auf der Website	Stoppelbearbeitung	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/138.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/138.html</a>
Video auf der Website	Bodenbearbeitung und Aussaat	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/137.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/137.html</a>
Video auf der Website	Kompostapplikation zur Saat mit neuer Technik	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/725.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/725.html</a>
Video auf der Website	Spatenprobe	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/899.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/899.html</a>
Grundlagenbroschüre Boden (Inhaltliche Mitarbeit, Bereitstellung auf der Website)	Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit	<a href="http://bodenfruchtbarkeit.org/grundlagen.html">http://bodenfruchtbarkeit.org/grundlagen.html</a>
Praxisbroschüre Bodenfruchtbarkeit		Ab Januar 2014 unter <a href="http://orgprints.org/20443/">http://orgprints.org/20443/</a> und auf der Bodenfruchtbarkeitswebsite

Fazit: Flyer und Visitenkarten sind gut geeignet, das Projekt bekannt zu machen und interessierte Personen auf die Website weiterzuleiten. Die Themenblätter kamen bei der Zielgruppe ebenfalls gut an, insbesondere die gedruckten Versionen die bei Veranstaltungen ausgelegt wurden. Videos sind eine interessante Option, um Inhalte auf Websites aufzuwerten und aufzulockern. Wenn sie als wiederkehrendes Element verwendet werden sollen, sollte die Produktion so einfach wie möglich gehalten werden, um den Zeitaufwand gering zu halten. Die



Grundlagenbroschüre Boden ist gut nachgefragt, und die Projektwebsite konnte durch das Verfügbarmachen der HTML-Version an Klicks gewinnen.

Mit der Praxisbroschüre ist aus einem Forschungsprojekt heraus ein Nachschlagewerk für Beratung und Praxis entstanden, das zahlreiche Hintergründe und neue Erkenntnisse zum Thema Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit enthält. Dadurch wird der Körnerleguminosenanbau auf den Betrieben in Zukunft optimiert werden können.

#### 4.9.7 Veranstaltungen im Rahmen des Projektes

Im Rahmen des Projektes wurden mehrere überregionale Veranstaltungen organisiert bzw. das Projekt wurde auf solchen vorgestellt.

Zum Tag des Bodens fand am 3. Dezember 2010 im Rahmen des Bodenfruchtbarkeitsprojekts die Veranstaltung "Boden leben" statt. Den Teilnehmern wurden Einblicke in wichtige Aspekte zum Boden und zur Bodenfruchtbarkeit geboten: Welche Bedeutung hat der Boden, wodurch wird er gefährdet, welchen Stellenwert hat er in der Landwirtschaft und wie kann im ökologischen Landbau Bodenstruktur und -fruchtbarkeit optimal gepflegt und damit der Schutz des Bodens verbessert werden?

Im Rahmen der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau wurde ein Dialogworkshop zum Thema „Körnerleguminosen vor dem Aus?“ organisiert. Ein Protokoll des Workshops kann auf der Bodenfruchtbarkeitswebsite nachgelesen werden: <http://bodenfruchtbarkeit.org/425.html>

Am 2. Dezember 2013 fand im Rahmen der Witzenhäuser Hochschultage und gemeinsam mit dem LLH die Abschlussveranstaltung zum Projekt statt, bei dem die Ergebnisse gebündelt vorgestellt wurden.

Daneben war das Projekt auf zwei Großveranstaltungen präsent: Bei den DLG-Feldtagen 2012 in Bernburg-Strenzfeld vom 19. bis 21. Juni hatten die Feldtagsbesucher die Möglichkeit, sich am Naturland-Stand über die verschiedenen Aspekte des Projekts zu informieren. Im Zelt boten die ausgestellten Poster Anregung zu intensiven Diskussionen. Daneben wurde in einem Topfversuch die Differenzialdiagnose vorgestellt. Außerdem konnten Schauparzellen zu verschiedenen Aspekten des Projektes besichtigt werden. Bei der Internationalen Grünen Woche 2013 in Berlin wurde das Projekt mit einem Stand in der BMELV-Halle vorgestellt. Verbraucher hatten die Möglichkeit, sich mit einem interaktiven Drehpuzzle über Körnerleguminosen zu informieren und in Topfversuchen die positiven Wirkungen von Grüngutkompost zu begutachten.

**Tabelle 182: Veranstaltungen**

Veranstaltung	Ort	Vorstellung aus dem Projekt	Datum
Tag des Bodens	Frankfurt am Main	Erste Ergebnisse	3. Dezember 2010
Dialogworkshop Bodenfruchtbarkeit bei der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau	Gießen	Erste Ergebnisse und Impulse	17. März 2011
DLG-Feldtage	Bernburg-Strenzfeld	Topfversuche, Poster, Infomaterialien und Schauparzellen	19. bis 21. Juli 2012
Internationale Grüne Woche	Berlin	Informationen zu Leguminosen, Topfversuche, Präsentation	18. bis 27. Januar 2013
Abschlussveranstaltung	Witzenhausen	Ergebnisse und Projektabschluss	2. Dezember 2013

Fazit: Im Rahmen des Projektes organisierte Veranstaltungen bieten eine gute Gelegenheit, auch anderen Zielgruppen (Politik, Forschung) die Inhalte des Projektes zugänglich zu machen. Das Interesse an den Veranstaltungen war groß, sodass sich der relativ große Vorbereitungsaufwand durchaus lohnt. Auch hier ist die Zusammenarbeit mit Co-Veranstaltern sinnvoll und bringt Synergieeffekte mit sich, da unter anderem das Teilnehmerspektrum größer wird. Auch die Präsenz auf den DLG-Feldtagen hat sich bewährt, hier konnten neben Biolandwirten auch zahlreiche konventionelle Landwirte angesprochen und auf den Körnerleguminosenanbau aufmerksam gemacht werden. Die intensiven Diskussionen spiegeln das vorhandene Interesse wider. Insbesondere wenn für den konventionellen Landbau eher unübliche Kulturen gezeigt werden, kann auf dieser Veranstaltung Interesse geweckt werden. Auf Grund der ansprechenden Standgestaltung konnte das Bodenfruchtbarkeitsprojekt auch auf der IGW gut präsentiert werden. Allerdings ist es schwer, Verbrauchern im Rahmen einer Messe mit dem eindeutigen Schwerpunkt Lebensmittel ackerbauliche Themen nachzubringen.

#### 4.9.8 Wissenschaftliche Veröffentlichungen

**Tabelle 183: Wissenschaftliche Veröffentlichungen**

Autoren	Datum	Titel	Journal
Böhm H	2009	Körnerleguminosen – Stand des Wissens sowie zukünftiger Forschungsbedarf aus Sicht des Ökologischen Landbaus	Journal für Kulturpflanzen 61, 324-331
Wild, M., Demmel, M. und Brandhuber, R	2009	Interdisziplinäres Forschungsvorhaben „Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit“ - Bodenverdichtung und Bodenbearbeitung	Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 7/2009 S. 125-131.

Autoren	Datum	Titel	Journal
Sayeed, F.; Bruns, C.; Schmidt, H.; Finckh, M.	2010	Einfluss der samenbürtigen Pathogene von Erbsen ( <i>Pisum sativum</i> L.) und Fababohnen ( <i>Vicia faba</i> L.) auf den Befall des Erntegutes - Effects of species and amounts of seed-borne pathogens on the pathogens associated with the harvested crop in organic pea ( <i>Pisum sativum</i> L.) and faba bean ( <i>Vicia faba</i> L.)	JKI: Julius Kühn-Archiv 428, Kurzfassungen der Beiträge der 57. Deutschen Pflanzenschutztagung 2010. Julius Kühn-Institut, Berlin
Lux, G., Schmidtke, K.	2010	Kurzfristige Wirkungen organischer Düngemittel mit unterschiedlichem C:N-Verhältnis auf Ertrag und N <sub>2</sub> -Fixierleistung von Rotklee und Ackerbohne	Märländer, B. (Hrsg.) (2010). 53. Jahrestagung vom 28. bis 30. September 2010 in Hohenheim. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 22, 93-94, Kiel: Verlag Liddy Halm Göttingen
Gronle A, Böhm H	2010	Anbau von Wintererbsen in Rein- und Mischsaat mit Raps und Triticale bei kurzfristig variiert Intensität der Bodenbearbeitung	Märländer B, Christen O, Düker A, Kenter C, v Tiedemann S (eds). 54. Jahrestagung vom 28. bis 30. September 2010 in Hohenheim. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 22: 183-184. Göttingen: Verlag Liddy Halm
Brandhuber, R., Demmel, M. und Wild, M	2010	Bodenstrukturprobleme – Verdichtung, Erosion und Gegenmaßnahmen	FiBL-Dossier: Grundlagenbroschüre Boden
Lux, G., Schmidtke, K.	2011	Kurzfristige Wirkungen organischer Düngemittel mit unterschiedlichem C/N-Verhältnis auf den Ertrag von Ackerbohne und nachfolgender Kultur Winterweizen sowie Unkrautwachstum	Leithold G, Becker K, Brock C, Fischinger S, Spiegel A-K, Wilbois K-P, Williges H (eds). Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau: Es geht ums Ganze – Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis. Köster, Berlin: 185-188
Gronle A, Böhm H	2011	Unkrautauflkommen und Ertragsleistung beim Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer bei flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung	Rahmann G (ed). Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2010. Landbauforschung – Agricultural and Forestry Research – Sonderheft 346: 15-24.
Gronle A, Böhm H	2011	Mischfruchtanbau von Wintererbsen mit Raps oder Triticale bei flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung	Leithold G, Becker K, Brock C, Fischinger S, Spiegel A-K, Wilbois K-P, Williges H (eds). Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau: Es geht ums Ganze – Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis. Köster, Berlin: 36-39.
Gronle A, Böhm H	2011	Vergleich von flach- und tiefwendender Bodenbearbeitung beim Anbau von Sommererbsen in Reinsaat und im Gemenge mit Hafer	Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 23: 71-72
Lux G, Schmidtke K	2011	Wirkungen mechanischer Bodenbelastung nach unterschiedlicher Intensität der Bodenbearbeitung auf Sprossertrag, N-Ertrag und symbiotische N <sub>2</sub> -Fixierleistung von Körnererbsen.	Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 23, S.73-74

Autoren	Datum	Titel	Journal
Wild, M., Demmel, M., Brandhuber, R., Gronle A., Böhm H., Lux G., Schmidtke K. und Haase, T	2011	Auswirkungen differenzierter mechanischer Bodenbelastungen auf die Erträge von Erbse, Hafer und Erbse-Hafer-Gemenge.	Leithold G, Becker K, Brock C, Fischinger S, Spiegel A-K, Wilbois K-P, Williges H (eds). Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau: Es geht ums Ganze – Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis. Köster, Berlin: 72-75
Wild, M., Demmel, M. und Brandhuber, R	2011	Mechanische Beikrautregulierung – Bodenbelastung im Bereich der Fahrgassen	Landtechnische Lösungen zur Beikrautregulierung im Ökolandbau (2011), Herausgeber: Wilhelm, B., Hensel, O., S. 35-42
Lux, G. & K. Schmidtke	2012	Reduzierung der Verunkrautung durch Einsatz von Grünguthäcksel unter Bedingungen des ökologischen Landbaus	Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 24, 128-129
Gronle A, Böhm H	2012	Kann ein Mischfruchtanbau von Erbsen und Getreide bei flachwendender Bearbeitung das im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung vorhandene höhere Unkrautaukommen im Ökologischen Landbau kompensieren?	Julius-Kühn-Archiv, Band 343: 243-249
Gronle A, Böhm H	2012	Level and causes of weed control in organic pea cultivation via intercropping under varying ploughing depths	Stoddard F (Hrsg.). 12th Congress of the European Society for Agronomy: Abstracts, 20-24. August 2012, Helsinki: 530-531
Gronle A, Böhm H	2012	Rein- und Mischfruchtanbau von Sommer- und Wintererbsen bei differenzierter Bodenbearbeitungstiefe im Ökologischen Landbau	Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 24: 136-137
Wild, M., R. Brandhuber, M. Demmel, A. Gronle, H. Böhm, G. Lux, K. Schmidtke und C. Bruns	2012	Auswirkung differenzierter mechanischer Bodenbelastungen auf ausgewählte Eigenschaften des Oberbodens und den Ertrag von Erbse in Reinsaat und Gemenge	Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 24, 170-171
Wolf D., Möller, D., Schmidt H., Wild M. & Demmel M.	2012	Reifeninnendruckverstellanlage ohne Risiko?!	22. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie (ÖGA): Ökosystemdienstleistungen und Landwirtschaft Herausforderungen und Konsequenzen für Forschung und Praxis. 20.-21. September 2012. Universität für Bodenkultur Wien. Tagungsband 2012: 45-46
Wolf D., Möller, D., Schmidt H., Wild M., Brandhuber R. & Demmel M.	2012	Die Erbsen entlasten - Wirtschaftlichkeit der Reduktion des Reifeninnendrucks im Erbsenanbau	52. Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus: „Herausforderungen des globalen Wandels für Agrarentwicklung und Welternährung“. 26. – 28. September 2012. Universität Hohenheim

Autoren	Datum	Titel	Journal
Gronle, A. & H. Böhm	2013	Blattlaus- und Erbsenwicklerbefall in Wintererbsen-Reinseten: Ein Vergleich zu Sommererbsen-Reinseten und Wintererbsen-Mischseten. In: Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 102-105.
Bruns, C.; Werren, D.; Bacanovic, J.; Fuchs, J.; Heß, J. und Finckh, M.	2013	Kontrolle bodenbürtiger Krankheiten des Fußkrankheits-komplexes an Erbsen mit Komposten	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 248-251
Finckh, M. Saeed, M.F.; Butz, A. F. und Bruns, C.	2013	Einfluss von Mischbau mit Hafer, flacher Bodenbearbeitung und Biofumigationsbrassicaceen auf Beikrautbesatz, Erbsenkrankheiten und Erträge in der Fruchtfolge mit Winterweizen	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 90-93
Finckh, M. Saeed, M.F.; Schmidt, H. und Bruns, C.	2013	Samenbürtige Erreger in Saat- und Erntegut von Erbsen und Fababohnen auf Ökobetrieben	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 244-247
Fuchs, J. Bruns, C.; Mäder, P.; Schmidt, H.; Thürig, B.; Wilbois, K.-P. und Tamm, L.	2013	Differenzialdiagnose: Eine Methode zur Ursacheneingrenzung bei Bodenmüdigkeit.	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 14-15
Lux, G.; Pöttsch, F. und Schmidtke, K.	2013	Regulierung annualer Samenunkräuter durch den Einsatz von Grünguthäcksel unter Bedingungen des ökologischen Landbaus	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 312-315
Schmidt, H., Wild, M.	2013	Faktoren des Körnererbsenertrages in der Ökolandbaupraxis	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 86-89
Schmidt, H., Wild, M.	2013	Wichtige Faktoren des Wintergetreideertrages nach Körnerleguminosen in der Ökolandbaupraxis	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 98-101
Wolf, D.; Möller, D.; Schmidt, H.; Gronle, A. und Böhm, H.	2013	Wintererbsenanbau: Ökonomische Aspekte für Praxisbetriebe	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 144-145

Autoren	Datum	Titel	Journal
Wolf, D.; Möller, D.; Schmidt, H.; Lux, G. und Schmidtke, K.	2013	Wirtschaftlichkeit von Grünguthäcksel: Eine risikoorientierte Systembewertung	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landwirtschaft (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 648-651
Wolf, Daniel; Möller, Detlev; Schmidt, Harald; Wild, Melanie und Demmel, Markus	2013	Monetäre Auswirkungen angepassten Reifeninnendrucks im Ackerbau unter besonderer Berücksichtigung der Erbsen	Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landwirtschaft (Hrsg. D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm, U. Köpke), Köster-Verlag, Berlin, 38-41



## 5 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Die Ergebnisse der Praxiserhebungen in WP 1 können eine Grundlage für neue Aspekte in der Beratung und in Praxisempfehlungen hinsichtlich des Anbaus von Erbse, Ackerbohne und dem folgenden Getreide bieten. Weiterhin sind die Erkenntnisse zum Einfluss von verschiedenen Bewirtschaftungsverfahren auf Aspekte der Bodenfruchtbarkeit wichtige Argumente in der Diskussion zum Thema Nachhaltigkeit und Weiterentwicklung des Ökolandbaus.

Das Interesse der Praxis am Einsatz von reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren und am Gemengeanbau, insbesondere auch von Wintererbsen ist groß, wobei nach wie vor Wissenslücken vorhanden sind. Die im Rahmen von WP 3 erzielten Ergebnisse zeigen, dass eine Anwendung von reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren im praktischen Erbsenanbau grundsätzlich möglich ist und Vorteile bietet, wenn Erbsen auf leicht zur Verdichtung neigenden Böden angebaut werden sollen. Langfristige Untersuchungen sind allerdings notwendig, um die im Rahmen des Vorhabens nur kurzfristig erzielbaren Ergebnisse untermauern zu können. Ein Anbau von normalblättrigen Wintererbsen ist insbesondere hinsichtlich der N<sub>2</sub>-Fixierleistung, des Krankheitsbefalls, der Ertragsleistung und der Nachfruchtwirkung dem Anbau der im Vorhaben untersuchten halbblattlosen Sommer- und Winterformen der Erbse überlegen und kann damit einen wichtigen Beitrag zur Sicherstellung der Eiweißversorgung und der Verbesserung der Nährstoffausnutzung auf Marktfruchtbetrieben leisten. Dabei hat sich der Gemengeanbau von Erbsen hinsichtlich der Unkrautkontrolle beim Anbau von halbblattlosen Erbsen, der Reduzierung der Lagergefahr bei normalblättrigen Erbsen, der Gesamtertragsleistung und der Kornqualität als effektiv erwiesen. Teilweise konnte durch den Gemengeanbau auch ein geringeres Schädlingsaufkommen wie etwa von Erbsenblattläusen festgestellt werden. Die in WP 3 untersuchten Anbaumaßnahmen wie etwa der Einsatz von krankheitsvermindernden Zwischenfrüchten oder der Gemengeanbau hatten allerdings nur geringe Effekte auf das Krankheitsgeschehen.

Die in WP 4 gefundenen Zusammenhänge zwischen Bodenbelastung, der Reaktion des Bodens und dem Ertrag der Erbse bestätigen teils frühere Ergebnisse, und geben Landwirten konkrete Handlungsempfehlung worauf beim Einsatz der Technik (Wahl der Reifen und Höhe der Radlast) beim Anbau der empfindlichen Kultur Erbse geachtet werden sollte.

Die in WP 5 entwickelten Differenzialtests stellen eine technisch einfache Methode dar, um die Ursachen der Leguminosen-Bodenmüdigkeit einzugrenzen. Um mit dieser Methode Erregerkomplexe eindeutig nachweisen zu können, müssten die Differenzialtests der zweiten Stufe nicht nur mit einzelnen Pestiziden, sondern auch mit Kombinationen von Pestiziden durchgeführt werden. Leicht verändert könnte sich dieser Test als Prognose-Tool eignen, um die Anbaueignung schlagspezifisch zu prüfen. Eine Optimierung des Tests durch eine bessere Standardisierung der Topfbewässerung sollte die Aussagekraft des Tests verbessern. Eine Verfeinerung der Testaussagen wird auch mit mehr Felddaten möglich sein.

Die Analyse der Grundbodenbearbeitungskosten aus WP 6 gibt Landwirten, Beratern und Wissenschaftlern die Möglichkeit, die eigenen Betriebe bzw. Datengrundlage sowie die nachfolgenden Analysen der bodenfruchtbarkeitsverbessernden Maßnahmen einzuordnen. Die Systemanalyse sensibilisiert für die komplexen Zusammenhänge und die Auswirkungen unterschiedlicher Einflüsse der Bodenfruchtbarkeit und des Vorfruchtwertes sowie den Anforderung an die monetären Bewertungen derselben. Die Präsentation des Status quo der Wirtschaftlichkeit des Leguminosen-Anbaus auf den untersuchten Praxisbetrieben beweist die Notwendig verbesserter Anbaumaßnahmen. Die Ergebnisse zur monetären Auswirkung veränderter Bewirtschaftungsmaßnahmen geben den Landwirten und Beratern Anhaltspunkte

für Kosten und Nutzen der Maßnahmen und durch die umgesetzte Risikoanalyse eine Spannweite zur Einordnung des eigenen Betriebes und Standortes.

Die wichtigsten praxisrelevanten Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Projekt wurden in einer Praxisbroschüre zusammengefasst, die ab Januar 2014 als Printversion und online verfügbar sein wird. So wird eine optimale Praxisverwertbarkeit der Ergebnisse sichergestellt. Die Broschüre wurde und wird über Pressemeldungen und die Veröffentlichung von Auszügen bekannt gemacht, sodass ihre Existenz bei der Zielgruppe gut bekannt ist. Daneben ist für Anfang 2014 geplant, die Landwirtschaftskammern, -ämter und Fachschulen der Länder gezielt über die Broschüre und die Bestellmöglichkeit zu informieren und so den Bekanntheitsgrad weiter zu erhöhen.

## 6 Gegenüberstellung geplanter und erreichter Ziele

### 6.1 Workpackage 1: Analyse von Praxiserfahrungen und Praxiserhebungen

- › Nutzung von Praxisbetrieben als Basis der Untersuchungen sowohl durch Evaluation der Betriebsleitererfahrungen als auch durch detaillierte Untersuchungen langjährig ökologisch bewirtschafteter Flächen auf den Betrieben.

Im Projektzeitraum wurden 32 Ökobetriebe evaluiert. Die Betriebsleiter wurden anhand von Fragebögen intensiv befragt und die gewonnenen Ergebnisse anhand eigener Beobachtungen validiert. Auf insgesamt 156 Schlägen wurde ein umfassendes Untersuchungsprogramm durchgeführt. Die erfassten Daten wurden strukturiert und entsprechend den Ansprüchen einer statistischen Auswertung aufbereitet.

- › Neue Erkenntnisse zu Zusammenhängen von Standort, Umwelt, Bodenfruchtbarkeit und Ertragsniveau auf Ökobetrieben. Konkret Ermittlung von Parametern oder Parameterkombinationen aus den Bereichen Boden, Pflanze, Bewirtschaftung und Umwelt die wesentliche Faktoren des Ertragsniveaus und der Gesundheit von Erbse und Ackerbohne, des Ertragsniveaus des folgenden Wintergetreides und von Aspekten der Bodenfruchtbarkeit abbilden.

Auf Basis der erfassten Daten von den Untersuchungsschlägen, den Betriebsleiterangaben und den Witterungsdaten wurde eine Vielzahl von Zusammenhängen geprüft.

Für Erbse und Ackerbohne konnten eine Reihe von in der Praxis einflussreicher Faktoren der Pflanzengesundheit und des Ertrags ermittelt und ihrer Bedeutung nach gewichtet werden. Dabei wurden zum Teil bestehende Erkenntnisse bestätigt aber auch neue Zusammenhänge aufgezeigt.

Auch für das den Körnerleguminosen folgende Wintergetreide war die Ableitung der wesentlichen Faktoren des Ertrags möglich. Für wichtige Einflussgrößen des Ertrags konnten wiederum die beeinflussenden Faktoren ermittelt werden. Besonderes Augenmerk lag dabei auf den Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Zur Abdeckung möglichst vieler Aspekte der Bodenfruchtbarkeit wurde eine Vielzahl von Parametern erfasst. Die Auswertung ergab eine große Anzahl von Zusammenhängen zwischen Standortbedingungen, Bewirtschaftung und Bodeneigenschaften.

Insgesamt erlauben die Ergebnisse die Ableitung von Empfehlungen für die Schlagauswahl und die Bewirtschaftung beim Anbau der geprüften Kulturen und deren Auswirkungen auf einzelne Aspekte der Bodenfruchtbarkeit.

- › Ableitung von Kriterien, die eine auf Standort und Bewirtschaftungssystem bezogene Bewertung und Optimierung marktfruchtorientierter Öko-Betriebe hinsichtlich Ertrag und Bodenfruchtbarkeit ermöglichen – unter besonderer Berücksichtigung benachteiligter Standorte (Bodenqualität, Klima). Ermittlung bestimmter Bewirtschaftungsmaßnahmen bzw. -systeme, die - abhängig vom Standort - zur Erreichung bzw. Sicherung hoher Marktfruchterträge bei gleichzeitigem Erhalt oder Steigerung der Bodenfruchtbarkeit besonders beitragen

Aus den im Rahmen des Projekts erarbeiteten Ergebnissen zu den komplexen Zusammenhängen im System Boden-Pflanze unter praktischen Bedingungen des Ökolandbaus konnten eine Reihe von Punkten herausgearbeitet werden, die es erlauben Bewirtschaftungsmaß-

nahmen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Entwicklung der Kulturpflanzen als auch auf die Bodenfruchtbarkeit zu bewerten sowie Optimierungsstrategien abzuleiten.

- › Prüfung der Frage, in welchem Maße bestehende Erkenntnisse zu den komplexen Zusammenhängen von Standort, Umwelt, Bodenfruchtbarkeit und Ertragsniveau an die geprüften Standorte und Bewirtschaftungssysteme angepasst werden müssen.

Die Diskussion der Projektergebnisse vor dem Hintergrund des derzeitigen Wissensstandes ergab in vielen Fällen eine Bestätigung bestehender Erkenntnisse und Erfahrungen. Zum Teil wurden jedoch auch neue Zusammenhänge bzw. neue Bewertungen von Zusammenhängen ermittelt. Besonders wichtig und bisher wenig beschrieben sind die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse über die Auswahl von Faktoren die unter Praxisbedingungen eine große Rolle für die Ertragsleistung bzw. die Bodenfruchtbarkeit spielen sowie deren Gewichtung.

- › Bewertung von Bewirtschaftungssystemen bzw. ackerbaulichen Maßnahmen hinsichtlich ökonomischer und energetischer Gesichtspunkte

Die in den Praxiserhebungen ermittelten umfangreichen Daten zu den einzelnen Betrieben waren die Basis umfangreicher Auswertungen von ökonomischen und umweltbezogenen Fragestellungen – siehe WP 6.

## 6.2 Workpackage 2: Nährstoffinputs, Sekundärrohstoffe, Wirtschaftsdünger

Die im Projektantrag formulierten Forschungsziele des Teilprojektes WP 2 umfassten die

1. Erarbeitung einer pflanzenbaulichen Strategie zum Einsatz stickstoffarmer organischer Düngemittel in Fruchtfolgen mit hohem Marktfruchtanteil mit dem Ziel der Steigerung von Ertrag und symbiotischer N<sub>2</sub>-Fixierleistung beim Leguminosenanbau und der Zufuhr von Grund- und Mikronährstoffen über organische Düngemittel.
2. Förderung der Jugendentwicklung von Körnerleguminosen und der Regulierung bodenbürtiger Krankheiten mittels des Einsatzes von suppressiven Komposten mit einer spezifisch für den Körnerleguminosenanbau entwickelten Reihenapplikation für hochwertige Komposte.
3. Erfassung der Vorfruchtwirkung gedüngter versus nicht gedüngter Körner- und Futterleguminosen auf das nachfolgende Getreide (2008 - 2011).

Zu den einzelnen Forschungszielen wurden die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse erzielt:

zu 1.) Insbesondere bei Rotklee, welcher als Futterleguminose die längste Vegetationszeit im Feld im Vergleich zu den Zwischenfrucht- und Körnerleguminosen aufweist, wurden tendenziell deutliche höhere Schnittguterträge (zu einzelnen Schnittterminen signifikant) nach organischer Düngung, insbesondere bei Grüngutkomposteinsatz gegenüber der Kontrolle ohne Düngung erzielt. Nachgewiesen wurden bei allen untersuchten Leguminosen in beiden Versuchsjahren deutlich erhöhte Gehalte und Entzüge an Phosphor, Kalium und Schwefel in der Sprossmasse der Saatplatterbse und des Rotkleees bzw. dem Blatt der Ackerbohne nach organischer Düngung gegenüber der Kontrolle ohne Düngung. Darüber hinaus zeigten sich Vorteile des Einsatzes organischer Düngemittel gegenüber der mineralischen Düngung mit Blick auf die Versorgung der Leguminosen mit Spurennährstoffen (Molybdän, Bor).

zu 2.) Sowohl im Gefäßversuch im Gewächshaus, als auch im Feldversuch konnten in den durchgeführten Untersuchungen positive Effekte hinsichtlich der Regulierung bodenbürtiger Schaderreger an Körnererbsen und an Ackerbohne durch den Einsatz von Grüngutkompost erzielt werden. Grüngutkomposte besitzen hier im Vergleich zu anderen organischen Wirtschaftsdüngern oder zu Stroh ein signifikant höheres Potential. In Detailuntersuchungen mit den einzelnen Erregern, die zum Ascochyta-Komplex zu zählen sind sowie zu wichtigen aggressiven Vertretern der Fusarien, welche auch als Schaderreger in Getreide und anderen Leguminosen auftreten können, ergaben sich Befallsverminderungen bis zu 80%. Ein wichtiger Aspekt liegt sowohl bei der Qualität der Komposte als auch in der Menge der eingebrachten Materials. Um die Komposte in möglichst hoher Konzentration zur Verbesserung ihrer Wirkungen während der kritischen Phase im Jugendstadium der Pflanzen einzusetzen, wurde eine Drillmaschine mit Kompostbunker und Reihenapplikationsaggregaten entwickelt, die eine Saatgutablage der Leguminosen in einen Kompoststreifen ermöglicht. Insbesondere damit konnte gezeigt werden, dass eine genaue Platzierung zu einem deutlich besseren Gesundheitszustand im Vergleich zur flächigen Ausbringung führte. Die nachgewiesenen Wirkungen der eingesetzten Komposte im Freiland waren u. a. abhängig von der Befallsstärke und der Infektionsverteilung der erfassten Schaderreger, so dass in den Versuchen nicht unbedingt eine klare Steigerung des Ertrages durch den Komposteinsatz beobachtet werden konnte. Jedoch waren die Komposte im Überblick über die gesamten Versuche immer im Vorteil und haben wie unter 3) bemerkt zu deutlichen Verbesserungen der Getreidenachfrüchte beigetragen und damit ihren systemstabilisierenden Charakter verdeutlicht. In dieser Hinsicht kommt dem Einsatz der Komposte unter Bedingungen viehschwacher Betriebe ein wichtiger Stellenwert zu.

zu 3.) Die Vorfruchtwirkung von Ackerbohne und Rotklee konnte durch organische Düngemittel zu den Leguminosen teilweise deutlich verbessert werden. So konnten zum einen höhere Kornerträge als auch höhere Rohproteingehalte im Korn des nachfolgenden Winterweizens nach organischer Düngung der Vorfruchtleguminose im Vergleich zur Kontrolle ohne Düngung ermittelt werden.

Im Rahmen der Verlängerung des Projektes wurden die aus den erzielten Ergebnissen und Erfahrungen weiterführende bzw. vertiefende Fragestellungen formuliert:

- › Einfluss von Art und Eigenschaften der ausgebrachten Gehölzhäcksel auf das Wachstum der Kulturpflanzen und die Keim- und Wuchshemmung von Unkräutern,
- › Einfluss der Einarbeitungstiefe und Aufwandmenge von Pferdemist auf den Feldaufgang der Ackerbohne,
- › Nachweis und Quantifizierung der düngebürtigen Kohlenstoffaufnahme durch Rotklee nach Strohdüngung im Feld,
- › Verringerung des Krankheitsbesatzes bei Wintererbse im Gemenge mit Triticale und Roggen nach Kompostapplikation.

Erzielt wurden zu den angeführten Punkten:

- › Insbesondere die Untersuchungen von 10 verschiedenen Gehölzarten im Gefäßversuch zeigten einen deutlichen Einfluss auf die Keimung und das Wachstum der verwendeten Testpflanze Gartenkresse. Gezeigt werden konnten signifikante Effekte hinsichtlich einer wachstumshemmenden Wirkung durch die Art, der Partikelgröße und der Aufwandmenge des Gehölzhäcksel sowie dem Substrat in dem die untersuchten Pflanzen kultiviert wurden.



- › Der Feldaufgang der Ackerbohne verbesserte sich im Feld deutlich nach Verminderung der Aufwandmenge des eingearbeiteten Pferdemistes und nach tieferer Einarbeitung.
- › Es konnte mit dem Einsatz von <sup>13</sup>C-markiertem Stroh eine Aufnahme von Kohlenstoff aus dem Stroh durch den Rotklee im Feld nachgewiesen und quantifiziert werden.

Insgesamt wurden alle im Antrag der Projektphase 2008 bis 2011 und der Verlängerungsphase 2012 bis 2013 angegebenen Aufgabenstellungen wie beantragt bearbeitet.

### 6.3 Workpackage 3: Gemengeanbau und Bodenbearbeitung

Ein Hauptziel des WP 3 war es, einen Beitrag zur Erhöhung des Körnerleguminosenanteils in marktfruchtbetonten Fruchtfolgen durch einen Gemengeanbau von Erbsen mit Nichtleguminosen und den Anbau von bodengesundheitsfördernden Vorfrüchten, insbesondere nach flacher Einarbeitung, zu leisten. Diese Anbaumaßnahmen sollten vor allem zu einer Reduzierung des Krankheitsbefalls führen. Der Gemengeanbau, der Anbau von Brassicaceen-Zwischenfrüchten und die reduzierte Bodenbearbeitung haben jedoch nicht zu größeren Veränderungen des Krankheitsgeschehens an den Erbsen geführt. Die Ursachen hierfür sind vermutlich vielfältig. Es können Witterungsbedingungen in Frage kommen, aber auch fehlende Effekte auf die aufgetretenen Hauptpathogene oder Probleme mit dem Versuchsdesign.

Ein weiteres Ziel war die Erhöhung der Ertragssicherheit im Erbsenanbau. Dabei hat sich gezeigt, dass ein Gemengeanbau von Erbsen das Anbaurisiko senkt und mehrheitlich zu höheren Gesamterträgen führt. Dies war in besonderem Maße bei normalblättrigen Wintererbsen festzustellen, die sich auch hinsichtlich der Unkrautunterdrückung, der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der Nachfruchtwirkung gegenüber halbblattlosen Sommer- und Wintererbsen als vorteilhaft erwiesen haben. In einzelnen Jahren zeigte sich eine relativ starke Konkurrenz zwischen Erbsen und den Getreidearten als Mischungspartnern, die zu einer stärkeren Unterdrückung der Erbsen durch den Mischungspartner führte. Hierdurch bedingt kam es zu Schwankungen der Ertragsanteile der Gemengebestände. Die geringen Erbsenanteile in den Gemengen führten zu niedrigeren N<sub>2</sub>-Fixierleistungen, die sich wiederum auf die Ertragsleistung der Nachfrüchte auswirkten. Ursächlich für die unterschiedlichen Konkurrenzverhältnisse waren die Witterungsbedingungen an den Versuchsstandorten, die mit zum Teil deutlich trockeneren Frühjahren und nassen Sommer- und Herbstperioden sehr stark von den langfristigen Klimabedingungen abwichen. Dies führte zu Ernteverzögerungen und zu Problemen mit zeitgerechten Aussaaten, die beispielsweise eine vollständige Auswinterung des Mischungspartners Raps im Winter 2010/11 verursacht haben und dadurch zu einer Beeinträchtigung der Aussagekraft der Versuche geführt haben.

Die geplante Ermittlung der Auswirkung des Gemengeanbaus von Erbsen und unterschiedlicher Bodenbearbeitungsintensitäten sowie ihrer Interaktion auf das Unkrautaufkommen und das Unkrautunterdrückungsvermögen konnte in vollem Umfang realisiert werden. Dabei hat sich gezeigt, dass ein Anbau, insbesondere von halbblattlosen Erbsen, zu Problemen mit einer hohen Verunkrautung führte, die sich bei reduzierter Bodenbearbeitung nochmals verstärkten. In den Versuchen hat sich der Gemengeanbau als Mittel mit einer effektiven unkrautunterdrückenden Wirkung gezeigt und war aufgrund dessen an einzelnen Standorten auch in der Lage, das höhere Unkrautaufkommen nach reduzierter Bodenbearbeitung vollständig auszugleichen. Der Gemengeanbau erlaubt daher aufgrund der guten Unkraut unterdrückenden Wirkung den Einsatz reduzierter Bodenbearbeitungsverfahren im Erbsenanbau.



Die Auswirkung der anbautechnischen Maßnahmen auf die bodenmikrobiologische Aktivität sowie die Nährstoffaufnahme und -versorgung der Pflanzen wurde ebenfalls in vollem Umfang untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen verweisen auf eine etwas höhere mikrobielle Aktivität nach der kurzzeitig reduzierten Bodenbearbeitung.

In den Versuchen zur Optimierung des Gemengeanbaus von Wintererbsen (Versuchsjahr 2011/12) wurden die pflanzenbaulichen und phytomedizinischen Parameter wie geplant erfasst. Die unerwartet starken Frostereignisse im Winter 2011/12 mit starken bis kompletten Auswinterungsschäden bei den halbblattlosen Wintererbsen und den Getreidepartnern haben sich allerdings, ebenso wie die Trockenheit im frühen Frühjahr 2012, auf die Versuchsergebnisse ausgewirkt. Der Blattlausbefall fiel im Versuchsjahr 2011/12 an den Versuchsstandorten sehr gering aus, so dass keine Differenzierung zwischen den Varianten festgestellt werden konnte. Hierdurch konnte die Ursachenforschung des in den Vorjahren gefundenen deutlich geringeren Blattlausaufkommens beim Gemengeanbau von Wintererbsen nicht wie geplant umgesetzt werden. Die extremen Frostereignisse und Wildfraß beeinflussten in einzelnen Regionen auch die Ergebnisse der Praxisversuche zum vergleichenden Gemengeanbau von Winter- und Sommererbsen.

Sämtliche Fragestellungen wurden im WP 3 wie geplant bei unterschiedlichen Anbaubedingungen und auf Praxisbetrieben untersucht, die Feldversuche bei Feldtagen vorgestellt, die erfassten Daten für die ökonomischen Analysen zur Verfügung gestellt und die Ergebnisse in Form von Vorträgen, Postern und Praxisbeiträgen veröffentlicht.

## 6.4 Workpackage 4: Bodenverdichtung

- › Ein Ziel von WP4 war es, die Auswirkungen von Bodengefügeausprägungen auf den Ertrag, die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung, den Bodenwasserhaushalt und das Auftreten von Pflanzenkrankheiten (insb. Wurzelkrankheiten bei Erbsen) zu analysieren. Die Ergebnisse von Parzellen-Feldversuchen in verschiedenen Klimazonen Deutschlands zeigen einen eindeutigen Zusammenhang der Bodenbelastung auf die Bodengefügeeigenschaften (Trockenrohichte, Luftkapazität, Gesamtporenvolumen, Infiltrationsrate), sowie einen eindeutig negativen Effekt der Bodenbelastung auf den Ertrag der Erbse und die N<sub>2</sub>-Fixierleistung. Dieser Effekt ist in Reinsaat verstärkt zu beobachten. Obwohl die Daten bei der Auswertung von Versuchen auf verschiedenen Standorten eine größere Streuung aufzeigen, als bei Anlage der Versuche auf ein und demselben Standort, war dieses Herangehen doch zielführend. Die Wurzelkrankheiten der Erbse traten durch eine enge Fruchtfolgestellung zur vorangegangenen Erbse zwar immer auf, aber differenzierten nicht zwischen den Belastungsvarianten.
- › Analyse der Zusammenhänge zwischen Bodengefügeeigenschaften und Landtechnikeinsatz in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung. Eine Auswertung der Fragebögen zum Technikeinsatz der letzten 10 Jahre war nur in groben Zügen möglich, da die Angaben der Landwirte von sehr unterschiedlicher Qualität waren. Die betriebsinternen Aufzeichnungen erfassen normalerweise nicht den Technikeinsatz, daher lag es an der Erinnerungsfähigkeit des Landwirts, rückwirkend brauchbare Angaben zu machen. Die Beprobung der Bodengefügeeigenschaften der 32 Praxisbetriebe brachte einen umfangreichen Datensatz hervor, der in die Auswertungen von WP1 einfließt.
- › Ein weiteres Ziel war es, den Status quo der Bodengefügeeigenschaften auf repräsentativen Betrieben des ökologischen Landbaus in Deutschland zu bestimmen. Es

entstand ein umfangreicher Datensatz des Status quo in der Praxis, der in die Analysen von WP1 eingeflossen ist. Der Zustand der Böden aus bodenphysikalischer Sicht war sehr unterschiedlich. Ein Großteil der Betriebe nutzten den Pflug zur Grundbodenbearbeitung. Die Pflugtiefe wurde in den meisten Fällen von den Betriebsleitern weniger tief eingeschätzt als sie dann am Bodenprofil gefunden wurde. Dies deutet darauf hin, dass die Tiefe von den meisten Praktiker unterschätzt wird und das Potenzial zum bodenschonenden Arbeiten noch nicht ausgenutzt wird. Diese Daten halfen, Problempunkte beim Anbau der Erbsen aus Sicht des Bodens zu identifizieren und dienten als Grundlage für die Erarbeitung weiterer Handlungsempfehlungen.

- Ableitung von Handlungsempfehlungen aus dem aus den Punkten 1 bis 5 erarbeiteten Wissen. Neben Feldtagen und Veröffentlichungen wurde eine Praxisbroschüre erarbeitet, die aus den Ergebnissen abgeleitete Handlungsempfehlungen zum Anbau von Körnerleguminosen gibt.
- Analyse der Auswirkungen des Ist-Zustands und der zu empfehlenden Optimierungsstrategien im Bereich Bodenbearbeitung und Bodenbelastung auf Energieverbrauch mit CO<sub>2</sub>-Emissionen und auf Umweltgüter, die von der „Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebaute Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit“ landwirtschaftlichen Produktion beeinflusst werden (Landschaftswasserhaushalt, Erosionsanfälligkeit der Böden). Die Kombination der Versuchsergebnisse zur Reaktion der Erträge von Körnerleguminosen auf unterschiedliche Bodenbelastungen mit ausgewählten Maßnahmen zur Verminderung der Bodenbelastung bei der Saatbettbereitung (Reifendruckverstellanlage) und neuen Veröffentlichungen zu den Kosten und Effekten des bodenschonenden Einsatzes von Landmaschinen (KTBL-Heft 89, 2011) haben die Modellierung (WP6) der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen dieser Maßnahmen auf die Leguminosenproduktion bzw. die Pflanzenproduktion des Gesamtbetriebes ermöglicht.

## 6.5 Workpackage 5: Boden- und Pflanzengesundheit

Ziele im WP 5 waren für den Bereich der Bodenbiologie die Bereitstellung von Daten für die verschiedenen Workpackages WP 1 bis 4 mit der Analyse von bodenbiologischen Parametern. Die in der Planung aufgeführten Analysen der Proben auf diverse bodenmikrobiologische Parameter wurden alle ausgeführt.

Im Weiteren war es Aufgabe, an den Erbsen- und Ackerbohnenproben von 32 Betrieben in den Jahren 2009-2012 den Stellenwert und das Auftreten von Leguminosenkrankheiten sowie Dominanzstrukturen der Erreger zu ermitteln. Auch dies ist entsprechend der Planung erfolgt.

Schließlich wurde eine differenzialdiagnostische Methode zur Identifikation von biotischen und abiotischen Faktoren, die an der Leguminosenmüdigkeit beteiligt sind, erprobt und weiterentwickelt und damit dazu beigetragen, Probleme auf Betriebsebene bzw. bei der Schlagauswahl für den späteren Leguminosenanbau zu unterstützen.

## **6.6 Workpackage 6: Ökonomik und Umweltwirkung**

### **6.6.1 Bestimmung des Status quo der Arbeitserledigungskosten (Bodenbearbeitung) in Abhängigkeit von Mechanisierungsvarianten, Standort und Fruchtfolge auf den Betrieben des ökologischen Landbaus in Deutschland (Schwerpunkt viehlose Betriebe)**

Die im Status quo ermittelten Arbeitserledigungskosten sind im gleichnamigen Ergebniskapitel (4.8.1) ausführlich beschrieben. Die Praxisbetriebe des WP 1 wurden für ausführliche statistische Analysen zugrunde gelegt. Das Ziel wurde wie geplant erreicht.

### **6.6.2 Systemanalytische Identifizierung und Quantifizierung von Wirkungszusammenhängen zwischen Bodenbearbeitung, Rolle von Körnerleguminosen in der Fruchtfolge und Wirtschaftlichkeit der Arbeitserledigung**

Neben der Systemanalyse für Fruchtfolge und Vorfruchtwert wurden die Daten der Praxisbetriebe aus WP 1 für eine statistische Analyse und Quantifizierung genutzt. Das Ziel wurde wie geplant erreicht.

### **6.6.3 Modellierung und Implementierung eines Kosten-Leistungs-Rechnungsansatzes zur Entscheidungsunterstützung im Spannungsfeld landtechnischer Optionen in Abhängigkeit von Standort, Fruchtfolge und Bewirtschaftung**

Ein Modell für die Kosten-Leistungs-Rechnung bzw. Kosten-Nutzen-Bewertung wurde entwickelt und zur monetären Beurteilung der im Projekt entwickelten und erprobten bodenfruchtbarkeitsverbessernden Maßnahmen eingesetzt. Auf diese Weise können Handlungsempfehlungen für Landwirte und Berater gegeben werden. Detailliert ist die Vorgehensweise in Kapitel 3.1.6 beschrieben. Das Ziel wurde wie geplant erreicht.

### **6.6.4 Durchführung von modellgestützten Szenariorechnungen zur Generierung von a) fallbezogenen Detailbetrachtungen und b) generalisierende Bewertungen von Mechanisierungsalternativen in unterschiedlichen Anbausystemen**

Die Szenariorechnungen wurden dargestellt. Entgegen des beschriebenen Ziels wurden diese Szenariorechnungen allerdings nicht auf einzelne, anhand von Literaturdaten erstellte Modellbetriebe bezogen. Stattdessen wurde eine deutlich sachgerechtere Abbildung betrieblicher Effekte dadurch erreicht dass die Modellbetriebe aus den Daten der Praxisbetriebe des WP 1 abgeleitet wurden (vgl. Kap. 3.1.6). Zur Bewertung der einzelnen Mechanisierungsalternativen bzw. Bewirtschaftungsoptimierungen wurde jeweils ein Pool an praxisnahen Modellbetrieben aus den Betriebsdaten der Praxisbetriebe, den Anforderungen der Optimierungsvariante entsprechend, zusammengestellt und detailliert einzelbetrieblich als auch für generalisierende

Aussagen bewertet. Ebenfalls über das geplante Zielhinaus sind Risikobewertungen für Veränderungen der Bewirtschaftungsverfahren erfolgt. (vgl. Kap. 4.8.3). Damit sind die Ziele nicht nur erreicht, sondern wurden hinsichtlich der bearbeiteten Daten und erzielten Ergebnisse deutlich ausgebaut und erweitert.

#### **6.6.5 Ableitung von technisch-biologisch-ökonomisch begründeten Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung von betrieblicher Wertschöpfung**

Die Handlungsempfehlungen bezüglich einzelner Maßnahmen anhand der ökonomischer Bewertung sind den einzelnen Ergebniskapiteln (in Kap. 4.8.3) zu entnehmen. Des Weiteren wurden diese Ergebnisse auch in verschiedenen Fach- und Praxispublikationen veröffentlicht. Die Ableitung von Handlungsempfehlungen wurde demnach wie geplant erreicht.

#### **6.6.6 Abschätzung der im Vorhaben bearbeiteten Verfahren und Maßnahmen zum Bodenfruchtbarkeitsmanagement in einem halbquantitativen technology impact assessment im Hinblick auf die Energiebilanz, Klimarelevanz, Auswirkung auf die Nährstoffkreisläufe, Bodenerosion und Wasserhaushalt.**

Die Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen mit dem beschriebenen methodischen Ansatz sind im Rahmen eines Expertenworkshop erarbeitet worden. Die einzelnen Oberthemen wie Energiebilanz und Klimarelevanz wurde dabei auf handhabbare Faktoren (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> etc.) fokussiert und bewertet. Die Ergebnisse sind im Kapitel zur ökologischen Bewertung (4.8.4) festgehalten. Das Ziel wurde wie geplant erreicht.

#### **6.6.7 Bewertung der im Vorhaben als prinzipiell geeignet eingestuften Sekundärrohstoffe in Bezug auf die Prinzipien des ökologischen Landbaus**

Das Projekt hat mit der Integration von Grüngutkomposten, Grünguthäcksel und Pferdemist aus externen Betriebsstoffe Daten und Fakten für Strategien geliefert, die sich positiv auf die Steigerung des acker-, pflanzenbaulich und ökonomischen Betriebserfolgs auf Basis einer verbesserten Bodenfruchtbarkeit auswirken. Die positiven Aspekte überwiegen deutlich mögliche negative Auswirkungen, die über existierende Regelungen kontrollierbar sind.

#### **6.6.8 Rückkopplung der berechneten einzelbetrieblichen und generalisierten Ergebnisse zu ausgewählten Maßnahmen auf ausgewählten Praxisbetrieben (Verlängerung)**

Wie geplant wurde die Datengrundlage auf Basis der sich aus den einzelnen WPs ergebenden neuen Versuchsergebnisse und anhand von Rückmeldungen der im Projekt beteiligten Wissenschaftler weiter validiert und verbessert. Zudem wurde für einzelne Maßnahmen mit Betriebsleitern auf ausgewählten Praxisbetrieben, deren Daten den praxisnahen Modellbetrieben zugrunde lagen, das Modell, die Annahmen, die Datengrundlage, die untersuchten

Maßnahmen und deren Bedeutung hinsichtlich der ökonomischen Ergebnisse für die Betriebe, diskutiert. Die im Verlängerungsantrag beschriebenen Ziele hinsichtlich der Evaluierung und Validierung des Modells und der Datengrundlage anhand von Rückkopplungen mit Wissenschaft und Praxis wurde damit erreicht.

## 6.7 Wissenstransfer

Ziel des Wissenstransfers war es, im Projekt generiertes Wissen nicht nur weiterzugeben, sondern sich darüber mit den externen Zielgruppen auch auszutauschen. Dies ist zum einen durch die enge Einbeziehung der 32 Praxisbetriebe gelungen. Zum anderen eröffnete sich mit der Einrichtung einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe (PAG) die Möglichkeit, einmal pro Jahr das Projekt und den Zwischenstand mit einer Expertengruppe zu diskutieren. Auch bei den Feldtagen sowie im Rahmen der zahlreichen Vorträge zum Projekt fand ein teils reger Austausch statt. Das Ziel des gegenseitigen Austauschs konnte somit erreicht werden. Hier sind insbesondere die DLG-Feldtage hervorzuheben, bei denen besonders viel Raum für Diskussionen, Fragen und neue Ideen ist. Die im Antrag geplante Anzahl der Feldtage bzw. Vorträge konnte um ein weites übertraffen werden und damit auch die Anzahl der erreichten Personen.

Auch die Kommunikation über Printmedien und Internet ist positiv zu bewerten. Die Themen aus dem Projekt wurden von den einschlägigen Print- und Online-Medien gut angenommen und erschienen zum Teil sogar in der Tagespresse, was für eine weitere Verbreitung sorgte. Mit der eigens eingereichten Projektwebsite hatten Interessierte eine zentrale Anlaufstelle für Informationen zum Projekt, außerdem konnte die Seite (über die ursprüngliche Planung hinaus) zu einem Wissensportal zu Bodenfruchtbarkeit und Körnerleguminosen ausgebaut werden. Als besonders gelungenes Element ist das Thema des Monats zu sehen, das nicht nur online verfügbar gemacht wurde, sondern gleichzeitig an die Fachpresse weitergegeben wurde und in Verknüpfung mit einem Newsupdate an Berater und Praktiker versendet wurde. Darüber erhielten das Projekt und die Website eine kontinuierliche Aktualität. Die Printmaterialien sowie weitere Artikel aus dem Projekt in Fachmedien konnten weiter dazu beitragen, dass das Projekt insgesamt einen großen Bekanntheitsgrad bei Fachpresse, Praxis, Beratung und Wissenschaftlern hatte und insgesamt deutlich häufiger in den Medien präsent war als geplant. Mit dem Erstellen einer Broschüre mit den praxisrelevanten Ergebnissen aus dem Projekt wurden in diesem Bereich der Kommunikation eine weitere große Plattform und damit ein Zusatznutzen geschaffen.



## 7 Zusammenfassung

Ein fruchtbarer, landwirtschaftlich genutzter Boden liefert unter dem gegebenen Standortpotenzial gute Erträge. Allerdings ist die Bodenfruchtbarkeit eine Art „Black-Box“: Es ist zwar definiert, was ein fruchtbarer Boden ist, auch die Einflussfaktoren sind grundsätzlich bekannt. Eine Quantifizierung der Wirkungen ist jedoch sehr schwierig, vor allem, wenn auch Wechselwirkungen beschrieben und vorhergesagt werden sollen. Der Anbau von Leguminosen, insbesondere von Körnerleguminosen, kann einen wichtigen Beitrag zum Erhalt und der Steigerung der Bodenfruchtbarkeit leisten. Gleichzeitig liefert er eine interessante Marktfrucht für den Betrieb. In Erhebungen auf Praxisbetrieben sowie in wissenschaftlichen Exaktversuchen und Praxisversuchen konnten innerhalb der 54-monatigen Projektlaufzeit zahlreiche Faktoren ermittelt und analysiert werden, die zur Steigerung von Wertschöpfung und Ertragsleistung von Körnerleguminosen und gleichzeitig zur Bodenfruchtbarkeit beitragen

### **Bodenzustand**

Der Ausgangszustand des Bodens hat entscheidenden Einfluss auf die Fruchtbarkeit und die Ertragsleistung im Körnerleguminosenanbau. Dabei spielen die nicht beeinflussbaren Standortfaktoren eine wichtige Rolle: Der Erbsenertrag wurde insbesondere durch die drei Standortfaktoren Tongehalt, Tiefgründigkeit und Wasservorrat beeinflusst, so das Fazit aus den Praxisuntersuchungen. Diese drei Faktoren erklärten zusammen ca. 20 % der ermittelten Ertragsunterschiede. Optimal für den Erbsenanbau sind tiefgründige Böden mit weniger als 20 % Ton und einem hohen Wasservorrat im Frühjahr. Der Ackerbohnenenertrag hängt im Wesentlichen vom Wasservorrat und dem Tongehalt ab, die zusammen ca. 30 % der ermittelten Ertragsunterschiede erklärten. Gut geeignete Standorte für den Ackerbohnenanbau weisen Tongehalte unter 24 % und einen hohen Wasservorrat im Frühjahr auf.

Aus den Praxiserhebungen war kein sehr starker Einfluss des Humusgehalts auf den Ertrag erkennbar. Während der Erbsenertrag auf humosen Böden sogar eher geringer war (hohe N-Nachlieferung und dadurch Förderung der Unkräuter), war der Ackerbohnenenertrag hingegen leicht erhöht.

Die Nährstoffgehalte des Bodens hatten in den Praxiserhebungen keinen deutlichen Einfluss auf den Ertrag von Erbse bzw. Ackerbohne. Die meisten der mit Erbse bzw. Ackerbohne bebauten Schläge lagen hinsichtlich der Makro- und Mikronährstoffe mindestens in Versorgungsstufe B. Lediglich die Erbse erbrachte bei einem Phosphorgehalt in Versorgungsstufe C höhere Erträge als in B.

In den Praxiserhebungen zeigte sich beim Erbsenanbau im ungestörten Bereich der Schläge kein deutlicher Effekt der Bodenstruktur auf den Ertrag. Es konnte jedoch beobachtet werden, dass die Erbse sehr empfindlich auf starke Verdichtungen, z. B. in Fahrspuren oder auf dem Vorgewende, reagiert. Dies gilt für die Ackerbohne. In dieser Kultur sanken jedoch die Erträge auch bei einer schlechten Unterbodenstruktur.

In Feldversuchen zur Auswirkung der Radlast auf den Erbsenertrag in Reinsaat und Gemenge zeigte der Erbsenertrag eine eindeutige Reaktion auf die Trockenrohddichte des Oberbodens: Je höher die Radlast bei der Überrollung zur Saatbettbereitung, desto höher war die Trockenrohddichte und desto niedriger war auch der Erbsenertrag. Der Haferertrag reagierte kaum auf die untersuchten Radlasten. Der Gesamtertrag eines Gemenges aus Erbse und Hafer lag in allen Fällen über dem der Erbsen-Reinsaat. Beim Erbsenanbau sollte also im Vorfeld und bei der Bestellung auf eine gute Bodenstruktur und eine geringe Bodenbelastung geachtet werden. Bei

ungünstigen Bodenverhältnissen kann der Anbau von Erbsen im Gemenge mit Hafer zur Ertragssicherung beitragen.

### **Grundbodenbearbeitung**

Auch mit einer angepassten Grundbodenbearbeitung kann Einfluss auf die Ertragsleistung von Körnerleguminosen am Standort genommen werden. Durch die natürliche Gefügebildung wird die Bodenstruktur nach flachwendender Bodenbearbeitung kompakter und dadurch tragfähiger. Daher wird eine mechanische Bodenbelastung nach flachwendender Bodenbearbeitung besser abgefedert als nach tiefwendender. Ein Anbau von Erbsen-Reinsaaten nach flachwendender Bodenbearbeitung führte im Vergleich zur tiefwendenden meist zu einem höheren Unkraut-aufkommen. Die Ertragsleistung der Erbsen in Reinsaat und im Gemenge sowie der Gesamt-ertrag des Gemenges waren in beiden Bodenbearbeitungsvarianten vergleichbar oder sogar nach flachwendender Bodenbearbeitung signifikant höher. Auf die Kornqualität hatte die Bodenbearbeitung kaum einen Einfluss.

Ein Vergleich des Unkrautdrucks von Ökobetrieben mit Pflug-Grundbodenbearbeitung und mit Systemen reduzierter Bearbeitung zeigte einen deutlich höheren Unkrautbesatz in Winter-getreide bei den reduziert arbeitenden Betrieben. Bei den empfindlichen Kulturen Erbse und Ackerbohne waren in den Praxiserhebungen negative Ertragseffekte durch einen höheren Unkrautdruck zu erkennen.

### **Zufuhr organischer Substanz**

Auch die Zufuhr organischer Substanzen im Boden zeigte sich als wichtiger Faktor. Im Projekt wurde untersucht, welchen Einfluss der Einsatz organischer Düngemittel auf die Bodenfruchtbarkeit und den Ertrag von Leguminosen und deren Nachfrucht haben. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass beim einmaligen Einsatz von Grüngutkomposten und Pferdemit die Erträge der Erbsen bis zu 15 % steigen, wenn eine hohe Gabe von ca. 40 t/ha appliziert wurden, was etwa einer Menge von 10 t Kohlenstoff pro Hektar entsprach. Die hohen Gaben an organischer Substanz steigern die mikrobielle Aktivität im Boden, die Nodulation der Leguminosen sowie die N<sub>2</sub>-Fixierungsraten. Sehr positiv wirkten sich in den Versuchen die Kompost- und Pferdemitgaben auf die Nachfruchterträge im Getreide aus, wobei die Effekte in Reinsaat tendenziell stärker waren als im Gemenge. Neben der verbesserten N<sub>2</sub>-Fixierung war in Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt der organischen Düngemittel auch eine verbesserte N-Nachwirkung aufgrund der Steigerung des bodenbürtigen Stickstoffgehaltes zu beobachten, was auch den Vorteil einer Mistausbringung erklärt.

Der Einsatz der kohlenstoffreichen organischen Düngemittel wirkte sich insgesamt systemstabilisierend für den Anbau von Leguminosen in den jeweiligen Fruchtfolgen aus und ist für viehschwache Betriebe sehr empfehlenswert. Einschränkend ist jedoch zu sagen, dass spezielle Standortbedingungen, wie z. B. sehr schwere Böden, die Effekte deutlich einschränken können. Einschränkungen gibt es auch hinsichtlich des Einsatzes in Abhängigkeit der Leguminosenart (s. Unterpunkt Unkrautdruck).

Qualitativ hochwertige Grüngutkomposte weisen im Vergleich zu anderen eingesetzten organischen Wirtschaftsdüngemitteln und Stroh zusätzlich sehr gute suppressive Eigenschaften gegenüber bodenbürtigen Pilzkrankheiten auf. Dies konnte gegenüber wichtigen Vertretern des Aschochyta-Komplexes, *F. oxysporum* und gegenüber *P. ultimum* an Erbsen nachgewiesen werden. Sowohl die prinzipielle Wirkung der Komposte unter kontrollierten Bedingungen als auch unter Feldbedingungen konnten demonstriert werden. In Versuchen mit einer flächigen Ausbringung zeigte sich insbesondere der Vorzug der Grüngutkomposte aufgrund einer Reduktion der Befallssymptome an den Wurzeln. Mit einer im Projekt entwickelten Drill-

maschine mit Reihenapplikationsaggregaten für Komposte ist es möglich, die Komposte in hoher Konzentration am gewünschten Wirkort zu platzieren. Dies führte zu einer etwa dreifach erhöhten Wirkung gegenüber der flächigen Ausbringung in gleicher Ausgangsmenge.

### **Bestandeshomogenität**

Je homogener und dichter ein Bestand, desto höher seine Ertragsleistung, so die Ergebnisse zu Körnererbse und Ackerbohne aus den Praxiserhebungen. In der Praxis kann dies durch folgende Maßnahmen beeinflusst werden:

- Die Ablagetiefe: Wurden Erbsen auf 2 bis 6 cm abgelegt, waren die Erbsenerträge unabhängig von der Bodenart mit zunehmender Saattiefe im Mittel höher. Bei Ackerbohnen konnte bis 7 cm kein positiver Ertragseffekt einer tieferen Saat gefunden werden.
- Die Saattechnik: Bei der Saat von Körnerleguminosen sollten in jedem Fall alle Möglichkeiten genutzt werden, um eine gleichmäßige Ablage in der Reihe zu erreichen. Bei der Ackerbohne ergab der Einsatz von Einzelkornsäegeräten den besten Erfolg.
- Die Saatstärke: Bei der Ackerbohne sind die empfohlenen 40 bis 45 keimfähigen Körner/m<sup>2</sup> die Untergrenze, bei Erbsen sollte man sich eher in Richtung 100 keimfähige Körner/m<sup>2</sup> orientieren.

### **Unkrautdruck**

Auf einem Boden, bei dem es mit Managementmaßnahmen gelingt, den Unkrautdruck gering zu halten, kann das Ertragspotenzial der angebauten Körnerleguminose besser ausgeschöpft werden. Denn Leguminosen sind in der Regel sehr konkurrenzschwach gegenüber Verunkrautung.

Die Fruchtfolge konnte in der Praxiserhebung als ein Schlüsselfaktor für den Unkrautdruck identifiziert werden: ein hoher Anteil an Wurzel- und Knollenfrüchten und ein geringer Getreideanteil sind oft mit geringerem Unkrautdruck in Erbse und Ackerbohne verbunden. Dies gilt auch für eine tiefere und intensiver durchgeführte Stoppelbearbeitung sowie für den Pflugeinsatz im Herbst anstatt im Frühjahr. Bei den direkten mechanischen Maßnahmen zur Unkrautregulierung zeigte es sich, dass mit zunehmender Anzahl an Arbeitsgängen (0 bis 4) der Unkrautdruck abnahm.

Eine wichtige Rolle beim Unkrautdruck spielt auch der Ausgangsgehalt an mineralischem Stickstoff ( $N_{\min}$ ) im Boden zur Saat der Körnerleguminose. Je höher dieser vor allem im Oberboden ist, desto frühzeitiger und intensiver werden Keimung und Wachstum nichtlegumer Samenunkräuter gefördert und die Ertragsbildung der Leguminose gehemmt. Durch einen nichtlegumigen Zwischenfruchtbau vor der Körnerleguminose sowie die Einarbeitung von organischen Düngemitteln mit weitem C/N-Verhältnis wie z. B. Stroh und Gehölzhäcksel zur Saat der Körnerleguminose ließen sich in Versuchen die  $N_{\min}$ -Mengen im Oberboden senken. Bei Einarbeitung von gehölzreichem Häckselgut, das bis zu maximal 30 t je Hektar im Verlauf von drei Jahren ausgebracht werden darf, ließ sich in Exaktversuchen darüber hinaus gezielt die Keimung von Samenunkräutern in Körnerleguminosen deutlich reduzieren. Allerdings ist die Ausbringung von Grünguthäcksel nur bei Körnerleguminosenarten, die tiefer als 4 bis 5 cm gesät werden (Ackerbohne und Erbse), zu empfehlen, da hier bei oberflächennaher Einarbeitung des Gehölzhäcksel die Keimung und der Auflauf dieser Körnerleguminosen nicht negativ beeinflusst werden. Üblicherweise flacher gesäte Körnerleguminosen (z. B. Sojabohne und Lupine) reagieren hingegen empfindlich auf das eingearbeitete Gehölzhäcksel, da sich hier die Einarbeitungstiefe des Grünguthäcksel und die Saattiefe dieser Körnerleguminosen nicht wesentlich unterscheiden die keimhemmenden Effekte des Gehölzhäcksel auch auf die Kulturpflanzen wirken.

## **Gemengeanbau**

Auch die Anbauform der Leguminosen wirkt auf den Unkrautdruck: Ein Gemengeanbau von halbblattlosen Sommer- oder Wintererbsen und Getreidepartnern führte in den Versuchen zu einer signifikanten Reduzierung des Unkrautaufkommens im Vergleich zum Anbau der Erbsen in Reinsaat. Bei normalblättrigen Wintererbsen war zumeist kein Unterschied im Unkrautaufkommen zwischen dem Anbau in Rein- und Mischsaat festzustellen. Dennoch ist ein Gemengeanbau für normalblättrige, langstrohige Winter- und auch Sommererbsen hinsichtlich der notwendigen Stützfruchtwirkung durch den Gemengepartner für eine gute Beerntung unerlässlich. Zusätzlich kann ein Gemengeanbau von Erbsen und nichtlegumener Partner dazu beitragen, das oftmals höhere Unkrautaufkommen nach flachwendender Bodenbearbeitung auszugleichen. Der Anbau von Körnerleguminosen im Gemenge kann sich nicht nur positiv auf die Unkrautkonkurrenz und die Gesamterträge auswirken, sondern auch unter Stressbedingungen eine Pufferwirkung entfalten. Denn der Gemengeanbau ermöglicht es, das Anbaurisiko abzufedern, wenn es zu einem mehr oder weniger starken Ausfall eines der Gemengepartner kommt. Fällt vor allem der Leguminosenpartner aus, so beeinflusst dies allerdings die Leistung der Folgefrucht aufgrund der geringeren N<sub>2</sub>-Fixierleistung und damit auch die Ertragsleistung der gesamten Fruchtfolge.

Die Gesamtertragsleistung der Gemenge lag in der Regel über der der entsprechenden Erbsen-Reinsaaten. Je nach Standort- und Witterungsbedingungen kann es durch den Gemengepartner jedoch zu einer Unterdrückung insbesondere halbblattloser Erbsen kommen. Normalblättrige Erbsen haben hingegen das Potenzial, das Ertragsniveau der Reinsaat auch im Gemenge zu erreichen oder sogar zu übersteigen.

## **Wintererbsenanbau**

Die normalblättrigen Winterformen der Erbse stellen eine interessante Anbauoption dar, denn die Überwinterung der untersuchten normalblättrigen Wintererbse war in allen Versuchsjahren gut bis sehr gut. Bei der untersuchten halbblattlosen Wintererbse-Sorte kam es insbesondere bei einer etwas stärkeren Vorwinterentwicklung und bei ausgeprägten Kahlfrösten an windungeschützten Standorten zu Problemen mit der Überwinterung. Hinsichtlich der Ertragsleistung hat sich der Anbau der normalblättrigen, buntblühenden Wintererbse E.F.B. 33 im Gemenge mit Triticale im Gegensatz zum Anbau der halbblattlosen, weißblühenden Sorte in Reinsaat oder im Gemenge bewährt. Gemenge aus Wintererbsen und Triticale waren den Wintererbsen-Raps-Gemengen ertraglich überlegen und sind hinsichtlich der anbautechnischen Anforderungen einfacher zu handhaben. Trotz höherer Rohprotein- und Mineralstoffgehalte liegt der Futterwert der buntblühenden, normalblättrigen Wintererbse allerdings unter dem der weißblühenden, halbblattlosen Wintererbse, was auf die höheren Rohfasergehalte und auf die enthaltenen antinutritiven Inhaltsstoffe zurückzuführen ist.

## **Saatgutqualität**

Für einen erfolgreichen Anbau von Körnerleguminosen, insbesondere der Erbse, ist jedoch nicht nur die Anbaustrategie entscheidend, sondern auch die Qualität des verwendeten Saatguts. Zu diesem Aspekt konnte in den Praxiserhebungen nachgewiesen werden, dass die Verwendung möglichst unbelasteten Saatguts vor allem wichtig ist, um das Risiko der Einschleppung von problematischen Krankheitserregern auf die Flächen zu minimieren. Beim Besatz mit Pilzen des Ascochyta-Komplexes überschritten nur vier von 72 Saatgutproben den von der Arbeitsgemeinschaft der Anerkennungsstellen für landwirtschaftliches Saat- und Pflanzgut gesetzten Grenzwert für Z-Saatgut von 30 % der Körner. Mehr als 10 % Besatz wiesen vor allem Nachbauchargen, aber auch einzelne Z- oder Basissaatgutchargen auf. Bei Eigennachbau sollte deshalb das Saatgut auf jeden Fall untersucht werden. Des Weiteren sollte

das Saatgut mechanisch nicht verletzt sein. Hier ist anzumerken, dass Fraßschäden durch Erbsenwickler und Ackerbohnenkäfer nicht nur den Keimling schädigen können, sondern auch Eintrittspforten für bodenbürtige Erreger bilden.

Fusarium-Pilze wurden nur selten gefunden. War das Ackerbohnen Saatgut mit *S. sclerotiorum* infiziert, konnte eine Förderung des Wurzelbesatzes mit *F. solani* festgestellt werden. *A. fabae* trat etwas häufiger am Saatgut auf, ein Zusammenhang mit der Sprossgesundheit konnte jedoch nicht festgestellt werden. Insgesamt war die Saatgutqualität in Hinblick auf pilzlichen Befall meist akzeptabel.

### **Bodenbürtige Erreger und Wurzelkrankheiten**

Auch der Einfluss bodenbürtiger Erreger von Fuß- und Wurzelkrankheiten im Körnerleguminosenanbau sollte nicht unterschätzt werden.

In der Praxis konnten deutlich negative Effekte auf Erbsengesundheit bzw. Erbsenertrag auf die Erreger *M. pinodes*, *F. oxysporum* und *F. avenaceum* zurückgeführt werden. Negative Effekte auf Ertrag und Gesundheit der Ackerbohne waren vor allem auf den Erreger *F. solani* zurückführbar.

Neben dem Vorkommen der einzelnen Erreger im Boden spielt auch die Selbstunverträglichkeit insgesamt bei Erbse und Ackerbohne eine wichtige Rolle für Gesundheit und Ertrag. Praxiserhebungen ergaben, dass die bisher empfohlenen Anbauanstände nicht ausreichend sind was insbesondere für die vergleichsweise empfindliche Erbse gilt. Diese zeigte neben einer starken Selbstunverträglichkeit auch eine Empfindlichkeit gegenüber Rotklee/Luzerne in der Vorgeschichte des Schlags, bei der Ackerbohne konnte eine Empfindlichkeit gegenüber Erbse in der Schlagvorgeschichte nachgewiesen werden. Die Empfindlichkeit gegenüber anderen Leguminosenarten war bei Erbse und Ackerbohne aber weniger stark ausgeprägt als ihre jeweilige Selbstunverträglichkeit.

Die Praxiserhebungen deuten darauf hin, dass buntblühende Sommererbsen im Vergleich zu weißblühenden ähnlich empfindlich gegen Fußkrankheiten sind und insgesamt ein niedrigeres Ertragsniveau aufweisen.

Ist der Anbau von Erbse bzw. Ackerbohne auf einem bestimmten Schlag sinnvoll? Liegen Erreger im Boden vor? Ist der Anbauabstand zu anderen kritischen Leguminosenarten zu eng? Um auch ohne aufwändige Laboranalysen Antworten auf diese Fragen zu ermöglichen wurde die Differenzialdiagnose entwickelt, die auch ohne aufwändige Analysen eine relativ hohe Sicherheit über die Anbaufähigkeit liefert. Diese basiert auf einem einfachen Topfversuchsystem mit Böden vom jeweiligen Schlag. Sie kann im Labor in einer erweiterten Variante durchgeführt werden, die gleichzeitig Hinweise auf mögliche Ursachen von Bodenmüdigkeit liefert. Eine vereinfachte Variante kann aber auch auf Praxisbetrieben zur Unterstützung der Schlagsauswahl durchgeführt werden.

### **Sprossschädigungen**

Sprossschädigungen können bei Körnerleguminosen durch Krankheiten oder Schädlinge verursacht werden. In der Praxis konnten in Erbsenbeständen kaum Sprosskrankheiten und keine Wirkung auf den Ertrag festgestellt werden. Bei Ackerbohnen waren Sprosskrankheiten ebenfalls selten, am häufigsten trat die Schokoladenfleckenkrankheit auf, in Einzelfällen aber auch echter und falscher Mehltau, Brennfleckenkrankheit und Ackerbohnenrost, die den Ertrag leicht reduzierten.

Ein hoher Blattlausbefall war in der Praxis ein deutlicher Ertragsfaktor im Erbsenanbau. In Feldversuchen wirkte sich der Gemengeanbau von Wintererbsen positiv auf eine Reduzierung



des Blattlausbefalls an Wintererbsen aus. Ein früher Blüte- und Reifezeitpunkt der Erbsen erwies sich insgesamt als vorteilhaft für einen geringen Blattlausbefall. Ein Ertragseffekt des geringeren Befalls ist aber aus versuchstechnischen Gründen nicht ableitbar.

Bei der Ackerbohne trat in der Praxis häufig die Schwarze Bohnenlaus an Einzelpflanzen auf, was sich allerdings nicht auf den Ertrag auswirkte.

### **Vorfruchteffekte von Körnerleguminosen auf die Nachfrucht**

Sommer- und Wintererbsen haben eine bessere Vorfruchtwirkung als Nichtleguminosen. Ausgeglichenen Konkurrenzverhältnissen in den Gemengen vorausgesetzt, schneidet dabei der Anbau der Erbse im Gemenge genauso gut ab, wie der Anbau in Reinsaat. Normalblättrige Wintererbsen wiesen im Vergleich zu halbblattlosen Sommer- und Wintererbsen eine deutlich höhere N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung auf, führten zudem nach der Ernte zu höheren N<sub>min</sub>-Gehalten im Boden und zu höheren Erträgen der Folgefrucht Getreide.

Mit einer Düngung von C-reichen organischen Düngemitteln konnte vor allem bei Einsatz von Pferdemist zu Rotklee und Grüngutkompost zu Ackerbohne deren Vorfruchtwirkung erhöht werden. Diese kohlenstoffreichen organischen Düngemitteln haben die Nährstoffversorgung nicht nur für die Leguminosen, sondern auch die Folgefrucht Winterweizen verbessert, so dass die Ertragsleistung im Fruchtfolgeglied Körnerleguminose – Weizen insgesamt gesteigert werden konnte.

Zusammen mit vielfältigen weiteren Faktoren wird der Unkrautdruck im Getreide auch durch den vorhergehenden Leguminosenanbau beeinflusst: Nach stark verunkrauteter Erbse oder Ackerbohne wurde in den Praxiserhebungen im Frühjahr oft ein höherer Unkrautdeckungsgrad im Wintergetreide gefunden.

### **Ökonomie**

Die ökonomische Bewertung von Maßnahmen zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit ist komplex. Wie sich im Laufe der Projektbearbeitung gezeigt hat, ist eine Bewertung der wirtschaftlichen Vorteile einer einzelnen Maßnahme bezogen auf eine Kultur bzw. deren wirtschaftlichen Risiken wenig zielführend. Deutlich wird dies am Beispiel der Komplexe „Bodenfruchtbarkeit“ und „Vorfruchtwert“, für die Systemanalysen eine Vielzahl an Einflussfaktoren und Wirkungsbeziehungen aufzeigten. Demzufolge ist auch die generalisierende Bewertung möglicher Konsequenzen meist nur schwierig und unvollständig möglich. In Systemen des ökologischen Landbaus muss deshalb diese isolierende Betrachtung zugunsten einer weitergehenden Bewertung von Veränderung in der Fruchtfolge und auf Betriebszweigebene erweitert werden. So wurde im Rahmen des Projektes ein „Grey-Box-Modell“ (im Vergleich zur „Black-Box“ Bodenfruchtbarkeit) entwickelt, das zusammen mit der Verwendung systemtheoretisch fundierter Modelle Schritte in Richtung einer Fruchtfolge-Ökonomie (hinsichtlich Vorfruchtwert) bzw. einer Bodenfruchtbarkeits-Ökonomie (hinsichtlich Bodenfruchtbarkeitsmaßnahmen) darstellt. Da eine exakte Vorhersage des absoluten Erfolgs einer einzelnen Maßnahme nicht möglich ist, konnten mit dem entwickelten praxisbasierten und risikoorientierten Modell aufgezeigt werden, wie einzelne Maßnahmen anhand der Wirkungswahrscheinlichkeiten beispielhaft zu bewerten sind. Zudem wurde die Notwendigkeit einer bodenfruchtbarkeits- und fruchtfolgeorientierten ökonomischen Bewertung gezeigt.

Hinsichtlich der ökologischen Bewertung der im Projekt entwickelten Maßnahmen sind laut halbquantitativer Expertenbefragung positive Effekte gegenüber dem Status quo zu erwarten.

Eine Befragung von Praxisbetrieben ergab insgesamt ein positives Feedback hinsichtlich Methodik, Datenaufnahme und Auswertung der Versuche im Projekt. Dennoch besteht bei den



Landwirten gegenüber einzelnen Maßnahmen, häufig auch aus nicht-monetären Überlegungen heraus.

### **Wissenstransfer**

Ein wichtiges Ziel des Projektes war es auch, das generierte Wissen in die Praxis zu übertragen. Daher wurde besonderen Wert auf die Praxisanwendbarkeit sowie auf Maßnahmen zum Wissenstransfer gelegt. Über eine eigene Website ([www.bodenfruchtbarkeit.org](http://www.bodenfruchtbarkeit.org)) wurden Informationen zum Projekt und rund um die Themengebiete Bodenfruchtbarkeit und Körnerleguminosenanbau verfügbar gemacht. Das auf der Projektwebsite erscheinende Thema des Monats konnte Leser binden und fand auch in der landwirtschaftlichen Fachpresse Anklang. Für einen direkten Wissenstransfer sorgten die gut besuchten Feldtage und Vorträge zum Projekt sowie die Vorstellungen des Projekts bei den DLG-Feldtagen und auf der Grünen Woche. Die positiven Erfahrungen mit dem indirekten Wissenstransfer über die Projektwebsite und Fachpresse einerseits und dem direkten Wissenstransfer bei Feldtagen sowie durch die Einbindung der Beratung andererseits zeigen, dass die Informationsvermittlung über viele Kanäle sowie insbesondere der direkte Dialog mit der Zielgruppe erfolgsentscheidende Elemente einer glücklichen Wissensvermittlung sind.

## 8 Literaturverzeichnis

- ALBRECHT, H. & K. AUERSWALD, 2003: Arable weed seedbanks and their relation to soil properties. *Aspects of Applied Biology* 69, 11-20.
- ALI, S., NITSCHKE L. F., DUBE A. J., KRAUSE M. R. & B. CAMERON, 1978: Selection of pea lines for resistance to pathotypes of *Ascochyta pinodes*, *A. pisi*, and *Phoma medicaginis* var. *pinodella*. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 841-849.
- ANONYM, 2011: Zwischenfrüchte. <http://www.oekolandbau.de/erzeuger/spezieller-pflanzenbau/zwischenfruechte/> (abgerufen am 02.07.2013).
- ATTESLANDER, P., 2003: Methoden der empirischen Sozialforschung. 10. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Walter de Gruyter Verlag, Berlin.
- AUSKALNIS, A., 2001: Influence of sowing depth on productivity of peas on a sandy loam soil. *Zemdirbyste, Mokslo Darbai* 74, 105-111.
- BAEUMER, K., 1991: Bodenfruchtbarkeit als wissenschaftlicher Begriff: Kenngrößen und Prozesse im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Produktion im Agrarökosystem. In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Paul Parey Verlag, Hamburg. Bd. 1. Bodenfruchtbarkeit. Bericht über die Landwirtschaft, Sonderheft 203, S. 29-45.
- BAGHESTANI, A., C. LEMIEUX, G.D. LEROUX, R. BAZIRAMAKENGA & R.R. SIMARD, 1999: Determination of allelochemicals in spring cereal cultivars of different competitiveness. *Weed Science* 47, 498-504.
- BAIGYS, G., V. FEIZA, G. KUTRA & D. FEIZIEN, 2006: Physical soil properties and moisture impact on productivity of spring barley and peas after application of different tillage. *Water Management Engineering* 3, 23-31.
- BAKKEN, A. K., BRANDSAETER, L. O., ELTUN, R., HANSEN, S., MANGERUD, K., POMMERESCHE, R. & H. RILEY, 2009: Effect of tractor weight, depth of ploughing and wheel placement during ploughing in an organic cereal rotation on contrasting soils. *Soil & Tillage Research* 103, 433-441.
- BAKKEN, L. R., BORRESEN, T. & A. NJOS, 1987: Effect of soil compaction by tractor traffic on soil structure, denitrification, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Soil Science* 38, 541-552.
- BALDE, M. & S. RICHTER, 1993: Influence of water supply of the soil on broad bean and barley as well as development and reproduction of *Acyrtosiphon pisum* Harris and *Rhopalosiphum padi* L. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 28, 471-480.
- BARRY, P. & T.S. STOREY, 1977: A preliminary investigation into the production of field beans (*Vicia faba* L.) in Ireland. *Irish Journal of Agricultural Research* 16, 163-170.
- BASTIANELLI, D., F. GROSJEAN, C. PEYRONNET, M. DUPARQUE & J.M. RÉGNIER, 1998: Feeding value of pea (*Pisum sativum*, L.). 1. Chemical composition of different categories of pea. *Animal Science* 67, 609-619.
- BAUCHHENß, J., 1991: Regenwurmtaxozönosen auf Ackerflächen unterschiedlicher Düngungs- und Pflanzenschutzintensitäten. In: Auswirkungen abgestufter Intensitäten im Pflanzenbau auf Lebensgemeinschaften des Ackers, Bodenfruchtbarkeit und Ertrag. *Landwirtschaftliches Jahrbuch*, 68, 335-354.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), 2011: Ackerbohnen und Erbsen zur Kornnutzung. [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_34328.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_34328.pdf) (abgerufen am 15.12.2012)

BEAUDOIN, N., SAAD, J. K., LAETHEM, C., VAN MACHET, J. M., MAUCORPS, J. & B. MARY, 2005: Nitrate leaching in intensive agriculture in Northern France: effect of farming practices, soils and crop rotations. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 111, 292-310.

BECK, T., 1991: Auswirkungen abgestufter Pflanzenbauintensitäten nach 15jähriger Laufzeit auf wichtige bodenmikrobiologische Kennwerte. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch* 68, 361-367

BECK, T., BRANDHUBER, R. & G. POMMER, 1994: The rotation effects of different leaf crops in a long term monoculture with winter wheat. 3rd communication: influences on soil structure, organic matter contents and soil microbial activity. *Agribiological Research* 47, 67-74.

BECKMANN, U., GRÜNBECK, A., HÄNSEL, M., KARALUS, W., KOLBE, H., SCHUSTER, M., ARP, B., BEESE, G., KRELLING, B., PÖLITZ, B. & D. AUERBACH, 2001: Getreide im Ökologischen Landbau. *Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden*.

BEDOUSSAC, L., 2009: Analyse du fonctionnement des performances des associations blé dur-pois d'hiver et blé dur-féverole d'hiver pour la conception d'itinéraires techniques adaptés à différents objectifs de production en systèmes bas-intrants. *Dissertation, Universität Toulouse*.

BEGNA, S.H., D.J. FIELDING, T. TSEGAYE, R. VAN VELDHUIZEN, S. ANGADI & D.L. SMITH, 2011: Intercropping of oat and field pea in Alaska: An alternative approach to quality forage production and weed control. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* 61, 235-244.

BENOIT, R.E., WILLITS, N.A. & W.J. HANNA, 1962: Effect of rye winter cover crop on soil structure. *Agronomy Journal* 54, 419-420.

BERNER, A. GLOOR, S., FUCHS, J., TAMM, L., MÄDER, P., 2003: Gesunder Boden – Gesunde Pflanzen. In Freyer, B. (Hrsg.): *Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau: Ökologischer Landbau der Zukunft*. Inst. f organischen Landbau, Universität f. Bodenkultur, Wien, S. 443ff

BIDDLE, A.J. & N.D. CATTILIN, 2007: *Pests, Diseases and Disorders of Peas and Beans. A Colour Handbook*. Manson Publishing, London.

BILTENAU, G., RADOI, A. & O. NICA, 1996: Influence of the nitrogen, phosphorus and potassium content of the soil on seed germination of leguminous plants. *Lucrari Stiintifice, Institutul Agronomic 9A*, 113-133.

BLAIR, N., FAULKNER, R.D., TILL, A.R., KÖRSCHENS, M. & E. SCHULZ, 2006: Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part II: Bad Lauchstadt static and extreme FYM experiments. *Soil & Tillage Research* 91, 39-47.

BÖHM, H., 1993: Der Einfluß unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren auf mikrobielle Aktivitäten unter besonderer Berücksichtigung der N-Umsetzung. *Dissertation, Universität Gießen*.

BÖHM, H., 2009: Körnerleguminosen - Stand des Wissens sowie zukünftiger Forschungsbedarf aus Sicht des Ökologischen Landbaus. *Journal für Kulturpflanzen* 61, 324-331.

- BØRRESEN, T. & A. NJØS, 1994: The effect of ploughing depth and seedbed preparation on crop yields, weed infestation and soil properties from 1940 to 1990 on a loam soil in south eastern Norway. *Soil & Tillage Research* 32, 21-39.
- BOSSEL, H., 2004: Systeme, Dynamik, Simulation: Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Books on demand, Norderstedt.
- BRANDHUBER, R., GEISCHEDER, R. & M. DEMMEL, 2006: Effects of heavy agricultural machines for sugar beet harvesting on subsoil physical properties. *Proceedings of International Soil Tillage Research Organisation, 17th Triennial Conference*, 344-350.
- BRANDSTAETER, L.O., A.K. BAKKEN, K. MANGERUD, H. RILEY, R. ELTUN & H. FYKSE, 2011: Effects of tractor weight, wheel placement and depth of ploughing on the infestation of perennial weeds in organically farmed cereals. *European Journal of Agronomy* 34, 239-246.
- BRERETON, J.C., MCGOWAN, M. & T.C.K. DAWKINS, 1986: The relative sensitivity of spring barley, spring field beans and sugar beet crops to soil compaction. *Field Crops Research* 13, 223-237.
- BRONICK, C., J. & R. LAL, 2005: Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. *Soil & Tillage Research* 81, 239-252.
- BRUNOTTE, J., DEMMEL, M., FRÖBA, N., UPPENKAMM, N. & M. WEIßBACH, 2011: Boden schonen und Kosten senken. *KTBL-Heft 89*. KTBL e.V., Darmstadt.
- BRUNS, C. & C. SCHÜLER, 2002: Suppressiv effects of composted yard wastes against soil borne plant diseases in organic horticulture. In: Michel, F. J. jr., Rynck, R. and H.A.J. Hoitink (Ed.): *Proceedings 2002 International Symposium Composting and Compost Utilization*, Columbus, USA. The JG Press Inc., Emmaus, USA, CD Rom (peer reviewed)
- BRUNS, C., 1998: Suppressiv Effekte von Komposten aus der getrennten Sammlung organischer Abfälle und von Rindermistkompost gegenüber bodenbürtigen Schaderregern. *Dissertation, Univ. Kassel, Pahl-Rugenstein, Hochschulschriften 293*, Bonn.
- BRUNS, C., C. SCHÜLER & F. WALDOW, 2003: Einsatz suppressiver Grünabfallkomposte zur Kulturstabilisierung gegenüber bodenbürtigen Schaderregern im ökologischen Gartenbau. In Freyer, B. (Hrsg.): *Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau: Ökologischer Landbau der Zukunft*. Inst. f organischen Landbau, Universität f. Bodenkultur, Wien, S. 539ff
- BRUNS, C., C. SCHÜLER & F. WALDOW, 2003: Einsatz suppressiver Grünabfallkomposte zur Kulturstabilisierung gegenüber bodenbürtigen Schaderregern im ökologischen Gartenbau. In Freyer, B. (Hrsg.): *Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau: Ökologischer Landbau der Zukunft*. Inst. f organischen Landbau, Universität f. Bodenkultur, Wien, S. 539ff
- BULSON, H.A.J., SNAYDON, R.W. & C.E. STOPES, 1997: Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. *Journal of Agricultural Science* 128, 59-71.
- CAMPBELL, C. A., ZENTNER, R. P., SELLES, F., BIEDERBECK, V. O., MCCONKEY, B. G., LEMKE, R. & Y.T. GAN, 2004: Cropping frequency effects on yield of grain, straw, plant N, N balance and annual production of spring wheat in the semiarid prairie. *Canadian Journal of Plant Science*, 84, 487-501.
- CAMPBELL, C.A., BIEDERBECK, V.O., ZENTNER, R.P. & G.P. LAFOND, 1991: Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin black chernozem. *Canadian Journal of Soil Science* 71, 363-376.

- CANBOLAT, O., E. TAMER & E. ACIKGOZ, 2007: Chemical composition, Metabolizable Energy and digestibility in pea seeds of differing testa and flower colors. *Journal of Biological and Environmental Sciences* 1, 59-65.
- CAPRIEL, P., 2009: 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern Teil 3: Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.
- CAPRIEL, P., 2010a: Humusversorgung der Ackerböden. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.
- CAPRIEL, P., 2010b: Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.
- CASTILLO, S.R., R.H. DOWDY, J.M. BRADFORD & W.E. LARSON, 1982: Effects of applied mechanical stress on plant growth and nutrient uptake. *Agronomy Journal* 74, 526-530.
- CAZZATO, E., TUFARELLI, V., CECI, E., STELLACCI, A.M. & V. LAUDADIO, 2012: Quality, yield and nitrogen fixation of faba bean seeds as affected by sulphur fertilization. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 62, 732-738.
- CELAR, F., 2003: Competition for ammonium and nitrate forms of nitrogen between some phytopathogenic and antagonistic soil fungi. *Biological Control* 28, 19-24.
- CHILTON, S.J.P., HENSON, L. & H.W. JOHNSON, 1943: Fungi reported on species of *Medicago*, *Melilotus*, and *Trifolium*. United States Government Printing office, Washington.
- CIORLAUS, A., 1976: The influence of tillage depth alternation on the degree of weed infestation and the yields of pea, wheat and corn. *Analele Institutului de Cercetari pentru Cereale si Plante Tehnice, Fundulea* 41, 271-281.
- CORRE-HELLOU, G., A. DIBET, H., HAUGGAARD-NIELSEN, Y. CROZAT, M. GOODING, P., AMBUS, C. DAHLMANN, P., VON FRAGSTEIN, A. PRISTERI, M. MONTI & E.S. JENSEN, 2011: The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crops Research* 122, 264-272.
- COTTIN, C. & S. DÖHLER, 2009: Risikoanalyse . Modellierung, Beurteilung und Management von Risiken mit Praxisbeispielen . Vieweg & Teubner Verlag, Wiesbaden.
- COVENTRY, D., R. et al., 1985: Growth and nitrogen fixation by subterranean clover in response to inoculation, molybdenum application and soil amendment with lime. *Soil Biology and Biochemistry* Vol. 17, No. 6, 791-796.
- CROZAT, Y., J.P. GILLET & F. TRICOT, 1992: Effects of soil compaction on root distribution, N, P, K uptakes and growth of the pea crop. In: *Root Ecology and its practical application* (eds. L. Kutschera, E. Hübl, E. Lichtenegger, H. Persson & M. Sobotik), 3. ISRR Symposium, Wien, 411-414.
- CURCI, M., M.D.R. PIZZIGALLO, C. CRECCHIO, R. MININNI & P. RUGGIERO, 1997: Effects of conventional tillage on biochemical properties of soils. *Biology and Fertility of Soils* 25, 1-6.
- DAUGELIENE, N., ZEKONIENE, V., BARTKEVICIUS, E. & A. GAVENASKAS, 2010: Study of the earthworm population (*Lumbricus terrestris*) in grassland differing in management. In: *Grassland in a changing world. Proceedings of the 23rd General Meeting of the European Grassland Federation*, Kiel, Germany, 29th August - 2nd September 2010, p. :785-787.
- DEMMELE, M., BRANDHUBER, R. & M. WILD, 2011: Wie viel schaden Verdichtungen? *Landwirtschaft ohne Pflug. Sonderheft: Boden verbessern, Ertrag steigern.* 35-39.



DENKER S., VOLK L. UND LÜCKE W., 2007: Systematic approaches of soil mechanical stress induction in arable lands. VDI-Bericht 2001, 441-446.

DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT E.V. (DLG) (Hrsg.) 2007: Betriebszweigabrechnung im ökologischen Landbau. Arbeiten der DLG, Band 202, 1. Auflage, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt.

DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT E.V. (DLG) (HRSG.), 2011: Die neue Betriebszweigabrechnung - Ein Leitfaden für die Praxis. Arbeiten der DLG, Band 197, 3., vollständig überarbeitete Auflage, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt.

DILLY, O., BLUME, H.P., SEHY, U., JIMENEZ, M. & J.C. MUNCH, 2003: Variation of stabilised, microbial and biologically active carbon and nitrogen in soil under contrasting land use and agricultural management practices. Chemosphere 52, 557-569.

DIN 19684-8 (1977-02): Bestimmung der Austauschkapazität des Bodens und der austauschbaren Kationen.

DIN 38406-E22, 1998-03: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Kationen (Gruppe E); Bestimmung der 33 Elemente Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn und Zr durch Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) (E 22).

DIN ISO 13878, 1998-11: Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Gesamt-Stickstoffs durch trockene Verbrennung (Elementaranalyse) (ISO 13878:1998).

DITTMANN, B. & J. ZIMMER, 2010: Ökologische Fruchtfolge Güterfelde. In: SCHMIDT, H. (Hrsg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Verlag Dr. Köster Berlin, 227-231.

DLG, 2002: DLG-Futterwerttabellen, Schweine, DLG-Verlag, Frankfurt.

EHLERS, W., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER, 2003: Änderung der Dichte und Gefügefunktion südniedersächsischer Lößböden unter Ackernutzung. Landnutzung und Landentwicklung 44, 9-18

ELLMER, F., H. PESCHKE, W. KÖHN, F.-M. CHMIELEWSKI & M. BAUMECKER, 2000: Tillage and fertilizing effects on sandy soils. Review and selected results of long-term experiments at Humboldt-University Berlin. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163, 267-272.

ELWARAKY, M. K. & E. HAUNOLD, 1990: Studies of nitrogen fixation by legumes and its after-effect on cereals by means of <sup>15</sup>N. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten Reihe Kongressberichte 30, 135-140.

EMMERLING, C., UDELHOVEN, T., SCHNEIDER R., 2010. Long-lasting impact of biowaste-compost application in agriculture on soil-quality parameters in three different crop-rotation systems J. Plant Nutr. Soil Sci. 173, 391–398

EMMERLING, C., UDELHOVEN, T., SCHRÖDER, D., 2001: Response of soil microbial biomass and activity to agricultural de-intensification over a 10 year period. Soil Biol. Biochem. 33, 2105-2114.

ETEBU, E. & A.M. OSBORN, 2012: A review of indicators of healthy agricultural soils with pea footrot disease suppression potentials. Sustainable Agriculture Research 1, 235-250.

ETÉVÉ, G., 1985: Breeding for cold tolerance and winter hardiness in pea. In: The pea crop: A basis for improvement (eds. P.D. Hebblethwaite, M.C. Heath, T.C.K. Dawkins), Butterworth-Heinemann, London, 131-136.



- FEIFFER, A.: Erbsen professionell ernten. <http://archiv.saaten-union.de/index.cfm/article/3448.html?page=print> (abgerufen am 02.07.2013)
- FERNANDEZ, A.L., SHEAFFER, C.C., WYSE, D.L. & T.E. MICHAELS, 2012: Yield and weed abundance in early- and late-sown field pea and lentil. *Agronomy Journal* 104, 1056-1064.
- FLIEßBACH, A. & P. MÄDER, 1997: Carbon source utilization by microbial communities in soils under organic and conventional farming practice. In H. Insam, and A. Rangger, (eds.) *Microbial communities – functional versus structural approaches*. Springer Verlag, Berlin.
- FOX, J. 1997: *Applied Regression Analysis, Linear Models, and Related Methods*. Sage, Thousand Oaks.
- GARDARIN, A., GUILLEMIN, J.P., MUNIER-JOLAIN, N.M. & N. COLBACH, 2010: Estimation of key parameters for weed population dynamics models: base temperature and base water potential for germination. *European Journal of Agronomy* 32, 162-168.
- GARZ, D. & K. KRAIMER, 1991: *Qualitativ-empirische Sozialforschung : Konzepte, Methoden, Analysen* Westdeutscher Verlag, Opladen
- GATTINGER, A., BAUSENWEIN, U. & C. BRUNS, 2004: Microbial biomass and activity in composts of different composition and age. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 167: 556-561.
- GDALA, J., L. BURACZEWSKA & W. GRALA, 1992: The chemical composition of different types and varieties of pea and the digestion of their protein in pigs. *J. Anim. Feed Sci.* 1, 71-79.
- GEILSER, G., 1980: *Pflanzenbau*. Verlag Paul Parey, Berlin.
- GFE, 2008: Schätzung der Umsetzbaren Energie von Mischfuttermitteln für Schweine. *Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie*
- GRATH, T. & I. HÅKANSSON, 1992: Effects of soil compaction on development and nutrient uptake of peas. *Swedish Journal of Agricultural Research* 22, 13-17.
- GRATH, T. & J. ARVIDSSON, 1997: Effects of soil compaction on plant nutrition uptake and growth of peas and barley on a sandy loam. *Swedish Journal of Agricultural Research* 27, 95-104.
- GRÖMPING, U., 2007: Estimators of Relative Importance in Linear Regression Based on Variance Decomposition. *The American Statistician* 61, 139-147.
- GROSJEAN, F., D. BASTIANELLI, A. BOURDILLON, P. CERNEAU, C. JONDREVILLE & C. PEYRONNET, 1998: Feeding value of pea (*Pisum sativum*, L.). 2. Nutritional value in the pig. *Animal Science* 67, 621-625.
- GRUBER, S & W. CLAUPEIN, 2009: Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil & Tillage Research* 105, 104-111.
- GUDDAT, C. DEGNER, J. ZORN, W., GÖTZ, R., REICH, J. & G. RICHTER, 2007: *Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Ackerbohnen*. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- GUILLEMIN, J.P., OROZCO, M.O., GIANINAZZI-PEARSON, V. & S. GIANINAZZI, 1995: Influence of phosphate fertilization on fungal alkaline phosphatase and succinate dehydrogenase activities in arbuscular mycorrhiza of soybean and pineapple. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 53, 63-70.
- HAAS G., WETTERICH F. & U. GEIER, 2000: Life cycle assessment framework in agriculture on the farm level. *J. of Life Cycle Assessment* 5 (6), 345-348.
- HÄCKEL, H., 1999: *Meteorologie*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.

- HÄDER, M., 2009: Delphi- Befragungen . Ein Arbeitsbuch . 2. Auflage, Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- HÅKANSSON, I., M. STENBERG & T. RYDBERG, 1998: Long-term experiments with different depths of mouldboard ploughing in Sweden. *Soil Tillage Research* 46, 209-223.
- HÄNSEL, M., 2007: Anbau von Erbsen, Sommerweizen und -gerste in Reinsaaten und in Gemengen. In: Zikeli, S., Claupein, W., Dabbert, S., Kaufmann, B., Müller, T., Valle Zarate, A. (Hrsg.): *Zwischen Tradition und Globalisierung, Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Verlag Dr. Köster, Berlin, S. 133-136.
- HÄNSEL, M., 2013: Mündlich Mitteilung. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen.
- HANSEN, L.M., LORENTSEN, L. & B. BOELT, 2008: How to reduce the incidence of black bean aphids (*Aphis fabae* Scop.) attacking organic growing field beans (*Vicia faba* L.) by growing partially resistant bean varieties and by intercropping field beans with cereals. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Plant Soil Science* 58, 359-364.
- HAO, J., SUBBARAO K. V. & S. T. KOIKE, 2003. Effects of broccoli rotation on lettuce drop caused by *Sclerotinia minor* and on the population density of sclerotia in soil. *Plant Dis.* 87:159-166.
- HARMINDER, P., S. et al., 1999: Allelopathy of Gymnospermous Trees. *Journal of Forestry Research* 4, 245-254.
- HAUDE, W., 1955: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. *Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes*, 11, 1-24.
- HAUGGAARD NIELSEN, H., AMBUS, N., BRISSON, N., CROZAT, Y., DAHLMANN, C., DIBET, A., VON FRAGSTEIN, P., GOODING, M., KASYANOVA, E., LAUNAY, M. MONTI, M., PRISTERI, A. & E.S. JENSEN, 2006: Pea-barley intercrops use nitrogen sources 20-30% more efficiently than the sole crops. In: Andreasen, C. B., Elsgaard, L., Sondergaard-Sorensen, L., Hansen, G. *Proceedings Europ. Joint Organic Congress „Organic farming and European rural development. DARCOF, Dänemark. P. 206-207*
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., B. JØRNSGAARD, J. KINANE & E.S. JENSEN, 2008: Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic crop stands. *Renewable Agriculture Food Systems* 23, 3-12.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS & E.S. JENSEN, 2001: Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Research* 70, 101-109.
- HAUSER, S., 1987: Schätzung der symbiontisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. *Dissertation, Universität Göttingen*.
- HAYNES, R. J., 1999: Size and activity of the soil microbial biomass under grass and arable management. *Biol. Fertil. Soils*, 30, 210-216.
- HAYNES, R., J. & M. H. BEARE, 1997: Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biology and Biochemistry* Vol. 29, No 11/12, 1647-1653.
- HAZELTON, P. & B. MURPHY, 2007: *Interpreting soil test results: what do all the numbers mean*, CSIRO Publishing, Collingwood.
- HEINZE, S., OLTMANN, M., JOERGENSEN, R.G. & J. RAUPP, 2011: Changes in microbial biomass indices after 10 years of farmyard manure and vegetal fertilizer application to a sandy soil under organic management. *Plant and Soil* 343, 221-234.

- HENDERSON, C.W.L., 1991: Sensitivity of eight cereal and legume species to the compaction status of deep, sandy soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 31, 347-355.
- HILDEBRAND, E., 1979: Erfassung und Charakterisierung von Polyphenolen als potentiellen Wuchshemmstoffen in kompostierten Siedlungsabfällen. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 29, 609-622.
- HILL, C.B., LI, Y. & G.L. HARTMAN, 2006: Soybean aphid resistance in soybean Jackson is controlled by a single dominant gene. *Crop Science* 46, 1606-1608.
- HLÖDVERSSON, R., 1987: The nutritive-value of white-flowered and dark-flowered cultivars of pea for growing finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 17, 245-255.
- HOFFMANN, G.M. & H. SCHMUTTERER, 1983: Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Ulmer, Stuttgart.
- HOGH-JENSEN, H., J. K. SCHJOERRING & J. F. SOUSSANA, 2002: The influence of Phosphorus Deficiency on Growth and Nitrogen Fixation of White Clover Plants., *Annals of Botany* 90: 745-753.
- HOITINK H. A. J. & M. J. BOEHM, 1999: Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent Phenomenon. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 37: 427-446
- HÖPER, H., HOFFMANN, M., GROH, H., SEVERIN, K., ENGELKE, L. & V. PUVOGEL, 2012: Stoffbilanzen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. In Höper, H., Meesenburg, H. (Hrsg.): 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, 38-47.
- HÖPER, H. & B. KLEEFISCH, 2001: Untersuchung bodenbiologischer Parameter im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen - Bodenbiologische Referenzwerte und Zeitreihen. *Arbeitshefte Boden*, 2001/4, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.
- HORN, R. & H. FLEIGE, 2009: Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in Northwest Germany at farm scale. *Soil & Tillage Research* 102, 201-208.
- HU, Y.L., ZENG, D.H., LIU Y.X., ZHANG, Y.L., CHEN, Z.H. & Z.Q. WANG, 2010: Responses of soil chemical and biological properties to nitrogen addition in a Dahurian larch plantation in Northeast China. *Plant and Soil* 333, 81-92.
- HUBBARD, R.K., STRICKLAND, T.C. & S. PHATAK, 2013: Effects of cover crop systems on soil physical properties and carbon/nitrogen relationships in the coastal plain of southeastern USA. *Soil & Tillage Research* 126, 276-283.
- HUISKAMP, T. & J.G. LAMERS, 1992: Effects of cropping frequency on peas, *Vicia faba*, *Phaseolus vulgaris*, forage maize, fibre flax and onions. *Verslag - Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond* 143, 82.
- HÜLSBERGEN K.-J., DIEPENBROCK W. & D. ROST, 2000: Analyse und Bewertung von Umwelteinwirkungen im Landwirtschaftsbetrieb - Das Hallesche Konzept. In: Die Agrarwissenschaften im Übergang zum 21. Jahrhundert. *Wissenschaftliche Beiträge der 8. Hochschultagung Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg*, 75-87.
- HWANG, S.F., CONNER, R.L., CHANG, K.F., GOSSEN, B.D., SU, H., HOWARD, R.J. & G.D. TURNBULL, 2006: Impact of seeding rate and depth on mycosphaerella blight and seed yield of field pea. *Canadian Journal of Plant Science* 86, 845-853.

IGBASAN, F.A., W. GUENTHER & B.A. SLOMINSKI, 1997: Field peas, chemical composition and energy and amino acid availabilities for poultry. *Canadian Journal of Animal Science* 77, 293-300.

JANNOURA, R., BRUNS, C. & R.G. JOERGENSEN, 2013: Organic fertilizer effects on pea yield, nutrient uptake, microbial root colonization and soil microbial biomass indices in organic farming systems. *European Journal of Agronomy* 49: 32-41.

JÄNSCH, S. & J. RÖMBKE, 2009: Einsatz von Kupfer als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff: Ökologische Auswirkungen der Akkumulation von Kupfer im Boden. *Forschungsbericht* 360 03 040, UBA-FB 001261, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

JENSEN, E. S., AMBUS, N., BELLOSTAS, N., BIOSEN, S., BRISSON, N., CORRE-HELLOU, G., CROZAT, Y., DAHLMANN, C., DIBET, A., VON FRAGSTEIN, P., GOODING, M., HAUGGAARD-NIELSEN, H., KASYANOVA, E., LAUNAY, M. MONTI, M. & A. PRISTERI, 2006: Intercropping of cereals and grain legumes for increased production, weed control, improved product quality and prevention of N-losses in European organic farming systems. In: Andreasen, C. B., Elsgaard, L., Sondergaard-Sorensen, L., Hansen, G. *Proceedings Europ. Joint Organic Congress „Organic farming and European rural development. DARCOF, Dänemark. P. 180-181*

JENSEN, E., 1985: The influence of rate and time of nitrate supply on nitrogen fixation and yield in pea (*Pisum sativum* L.). *Fertilizer Research* 10, 193-202.

JENSEN, E.S. & H. HAUGGAARD-NIELSEN, 2003: How can increased use of biological N<sub>2</sub> fixation in agriculture benefit the environment? *Plant and Soil* 252, 177-186.

JORDAN, D., MILES, R.J., HUBBARD, V.C. & T. LORENZ, 2004: Effect of management practices and cropping systems on earthworm abundance and microbial activity in Sanborn Field: a 115-year-old agricultural field. *Pedobiologia* 48, 99-110.

JÖRGENSEN, R.G., 2005: Bodenleben und Bodenfruchtbarkeit aus mikrobiologischer Sicht. In: Frangenberg, A. (Hrsg.): *Bodenleben und Bodenfruchtbarkeit*. Institut für Landwirtschaft und Umwelt, Bonn, S. 77-92.

JOST, B., 2003: Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* in Reinsaat und von *Vicia faba* und *Pisum sativum* in Reinsaat und im Gemenge mit *Avena sativa*. Dissertation, Universität Göttingen.

JUNG, R., 2003: Stickstoff-Fixierleistung von Luzerne (*Medicago sativa* L.), Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Persischem Klee (*Trifolium resupinatum* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen. Experimentelle Grundlagen und Kalkulationsverfahren zur Ermittlung der Stickstoff-Flächenbilanz. Dissertation, Universität Göttingen

JURIK, T.W. & S. ZHANG, 1999: Tractor wheel traffic effects on weed emergence in Central Iowa. *Weed Technology* 13, 741-746.

KÄCHELE H., 1999: Auswirkungen großflächiger Naturschutzprojekte auf die Landwirtschaft. Ökonomische Bewertung der einzelbetrieblichen Konsequenzen am Beispiel des Nationalparks "Unteres Odertal". *Agrarwirtschaft Sonderheft* 163.

KAHLE, P. BAUM, C. & M. BORCHWARDT, 2005 Auswirkungen mehrjähriger ökologischer Bewirtschaftung auf ausgewählte Bodeneigenschaften In: Heß, J., Rahmann, G. (Hrsg.): *Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, kassel university press GmbH, Kassel, S. 21-22.

- KAHNT, G., 2008: Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
- KAHNT, G., 1985: What value do grain legumes have as preceding crops? DLG-Mitteilungen 100, 138-140.
- KAHNT, G., HIJAZI, L.A., & M. RAO, 1986: Effect of field bean and soybean cultivation on soil compaction amelioration and its influence on wheat and barley as subsequent crops. Journal of Agronomy and Crop Science 156, 57-66.
- KALBURTZI, K.L., GERAKIS, P.A. & D. VOKOU, 1989: Allelopathy between wheat and fababeans as expressed by inhibitory effects on seed germination and growth. Agricultura Mediterranea 119, 372-382.
- KAMPHUIS, E., 2009: Die Albrecht-Düngungsmethode. Boerderij 94, Ackerbau-Ausgabe, Heft 27.
- KANDELER, E. & M. STEMMER, 1998: Bodenmikrobiologische Untersuchungen am Zöbelboden 1993 und 1994. Umweltbundesamt, Wien.
- KAYGORODOV, R., 2004: Bilanzierung von Zink und Kupfer in ausgewählten Agrarökosystemen in Nordniedersachsen. Dissertation, Universität Lüneburg.
- KENNEDY, J.S., LAMB, K.P. & C.O. BOOTH, 1958: Responses of *Aphis fabae* Scop. to water shortage in host plants in pots. Entomologia Experimentalis et Applicata 1, 274-290.
- KHALIQ, A., MATLOOB, A., ASLAM, F. & M.B. KHAN, 2011: Influence of wheat straw and rhizosphere on seed germination, early seedling growth and bio-chemical attributes of *Trianthema portulacastrum*. Planta Daninha 29, 523-533.
- KIMPEL-FREUND, H., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER, 1998: Einfluss von Erbsen (*Pisum sativum* L.) mit unterschiedlichen morphologischen Merkmalen in Reinsaat und Gemenge mit Hafer (*Avena sativa* L.) auf die Konkurrenz gegenüber Unkräutern. Pflanzenbauwissenschaften 2, 25-36.
- KIRKEGAARD J.A., SARWAR M., WONG P.T.W. & A. MEAD, 1998: Biofumigation by brassicas reduces take-all infection. In: Proc. of the 9th Australian Agronomy Conference, Wagga Wagga, pp 465-468
- KIRKEGAARD, J. A. & M. SARWAR., 1999: Glucosinolate profiles of Australian canola (*Brassica napus annua* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars: implications for biofumigation. Aust.J.Agric.Res. 50:315-324.
- KÖHLER, G. & S. SCHUMANN, 2013: Stängelbasis-Erkrankungen an Gemüseerbsen. Gemüse, 49/2, 30-33.
- KOIKE, S.T., GLADDERS, P. & A.O. PAULUS, 2007: Vegetable diseases: a color handbook. Academic Press, Burlington.
- KOLBE, H., SCHUSTER, M., HÄNSEL, M., SCHLIEßER, I., PÖHLITZ, B., STEFFEN, E. & R. POMMER, 2007: Feldfutterbau und Gründüngung im Ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- KONTTURI, M., A. LAINE, M. NISKANEN, T. HURME, M. HYÖVELA & P. PELTONEN-SAINIO, 2011: Pea-oat intercrops to sustain lodging resistance and yield formation in northern European conditions. Acta Agricultura? Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science 61, 612-621
- KOUWENHOVEN, J.K., U.D. PERDOK, J. BOER & G.J.M. OOMEN, 2002: Soil management by shallow mouldboard ploughing in the the Netherlands. Soil & Tillage Research 65, 125-139.



- KRZYSCH, G., 1962. Der Verlauf der Bodenatmung während der Vegetationszeit und ihre Veränderung durch langjährige Düngungs- und Bodenbearbeitungsverfahren. Habilitationsschrift der Technischen Universität Berlin.
- KUMAR, J., 2011: Effect of phosphorus and Rhizobium inoculation on the growth, nodulation and yield of garden pea (*Pisum sativum* L.). *Legume Research* 34, 20-25.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (KTBL) (HRSG.), 2011: KTBL-Datensammlung - Ökologischer Landbau - Daten für die Betriebsplanung. 1. Auflage, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt.
- KUTSCHERA, L., E. LICHTENEGGER & S. SOBOTIK, 2009: Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßiger gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt a. Main.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN, 2009: Erfahrungssätze für überbetriebliche Maschinenarbeiten 2009. <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/beratung/veroeffentlichungen/erfahrungssaetze.htm>
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN, 2010: Erfahrungssätze für überbetriebliche Maschinenarbeiten 2010. <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/beratung/veroeffentlichungen/erfahrungssaetze.htm>
- LARUE, T.A. & T.G. PATTERSON, 1981: How much do legumes fix? *Advances in Agronomy* 34, 15-38.
- LAUK, R. & E. LAUK, 2008: Pea-oat intercrops are superior to pea-wheat and pea-barley intercrops. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* 58, 139-144.
- LAWS, W. & E. OLDENBURG, 1993: Zuckergehalte von Wintergerste und Mais. 2. Mitteilung: Methodenvergleich HPLC/Anthron. *Landbauforschung Völkenrode* 43, 60-63.
- LEA, J.W., GIBBS, D.A. & N.G. LAWRENCE, 1982: Morphological changes in a brown earth soil in response to applications of pig slurry. *Journal of Agricultural Science*, 98, 325-330.
- LEBLANC, M. L. & D.C. CLOUTIER, 2004: The effect of blind harrowing using a flex-tine harrow or a rotary hoe combined with manure amendment on bread wheat yield. *European weed research society. Proceedings of the 6th EWRS workshop on physical and cultural weed control, Lillehammer, Norway, 8-10 March, 2004*; 115-123.
- LEILAH, A. A. & S.A. AL-KHATEEB, 2005: Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid Environments* 61, 483-496.
- LEITERER, M., 2010: Untersuchung von  $N_{min}$ -Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen im Rahmen des  $N_{min}$ -Monitorings auf Dauertestflächen. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz, Jena.
- LEITHOLD, G., HÜLSBERGEN, K.-J., MICHEL, D. & H. SCHÖNMEIER, 1997: Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig.
- LEPIEC, J. & I. HÅKANSSON, 2000: Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. *Soil & Tillage Research* 53, 87-94.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL), 2012: Ergebnisse der Sortenversuche im Ökologischen Landbau in Bayern. <http://www.lfl.bayern.de/iab/oekologisch/pflanzenbau/06051/> (abgerufen am 15.12.2012).



- LIMON-ORTEGA, A. & K. SAYRE, 2012: Rainfall as a limiting factor for wheat grain yield in permanent raised-beds. *Agronomy Journal* 104, 1171-1175.
- MÄDER, P., FLIEßBACH, A., DUBOIS, D., GUNST, L., FRIED, P. & U. NIGGLI, 2002: Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296: 1694-1697.
- MAJCHRZAK, B., KUROWSKI, T.P. & P. PSZCZOLKOWSKI, 1996: Reaction of faba bean and pea cultivars to pathogenic fungi under different growing conditions. *Plant Breeding and Seed Science* 40, 65-78.
- MATERECHERA, S., A., 1992: Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant and Soil* 144, 297-303.
- MAYER, H., 2004. Interview und schriftliche Befragung. Entwicklung, Durchführung und Auswertung, 2. verbesserte Auflage, Oldenbourg Verlag, München.
- MCDONALD, G.K. & G.M. PAULSEN, 1997: High temperature effects on photosynthesis and water relations of grain legumes. *Plant Soil* 196, 47-58.
- MEUSER, M. & U. NAGEL, 1991: ExpertInneninterviews - vielfach erprobt, wenig bedacht : ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion. In: Garz, D. & Kraime, K., 1991: *Qualitativ-empirische Sozialforschung : Konzepte, Methoden, Analysen* Westdeutscher Verlag, Opladen
- MISRA, R., K. et al., 1986: Maximum axial and radial growth pressures of plant roots. *Plant and Soil* 95, 315-326.
- MOSS, D., N., R. B. MUSGRAVE & E. R. LEMON, 1961: Photosynthesis under field conditions.III. *Cropscience of America Vol. 1*, 37-41.
- MÜLLER-THOMSEN, U., MÜLLER, K. & H.P. BLUME, 1998: Soil mapping and experiments to estimate the nitrate load of the groundwater in the Water Protection Areas of Fohr Island. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung* 39, 169-174.
- MURRAY, G.A., D.L. AULD & J.B. SWENSEN, 1985: Winter pea/winter cereal mixtures as potential forage crops in Northern Idaho. *University of Idaho Experiment Station Bulletin No. 638*, 1-7.
- MURRAY, G.A. & J.B. SWENSEN, 1985: Seed yield of Austrian winter field peas intercropped with winter cereals. *Agronomy Journal* 77, 913-916.
- MURRAY, G.A. & J.B. SWENSEN, 1991: Winterhardiness of pea. *Pisum Genetics* 23, 4-13.
- MUSTONEN, L., 1985: The effect of different preceding crops on monocultures of potatoes. *Nordisk Jordbrugsforskning* 67, 287.
- NASIR, M. & H.-H. HOPPE 1991: Studies on pathotype differentiation within *Mycosphaerella pinodes* (Berk. Bloxam) Vestergren, a component of the Ascochyta-disease-complex of peas (*Pisum sativum* L.) *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 98, 619-626.
- NEUMANN, A., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER, 2007: Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. *Field Crops Research* 100, 285-293.
- NIELSEN, B.S., 1990: Yield responses of *Vicia faba* in relation to infestation levels of *Sitona lineatus* L. (Col., Curculionidae). *Journal of Applied Entomology* 110, 398-407.
- NOBLE, R. & E. COVENTRY, 2005: Suppression of soil-borne plant diseases with composts: A review 15: 3-20.

- OEHL, F. OBERSON, A., TAGMANN, H.U., BESSON, J.M., DUBOIS, D. MÄDER, P., ROTH, H.R. & E. FROSSARD, 2002. Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. *Nutr. Cyc. Agroec.*, 62, 25-35
- OEHL, F., OBERSON, A., PROBST, M., FLIEßBACH, A., ROTH, H.R. & E. FROSSARD, 2001: Kinetics of microbial phosphorus uptake in cultivated soils. *Biol. Fertil. Soils* 34, 31-41
- ORACLE DEUTSCHLAND B.V. & Co. KG, 2012: ORACLE Deutschland B.V. & Co. KG. München. <http://www.oracle.com/de/products/mysql/index.html>
- OTTOW, J.C.G., 2011: *Mikrobiologie von Böden*. Springer, Berlin.
- OYARZUN, P.J., GERLAGH, M. & A.E. HOOGLAND, 1993: Relation between cropping frequency of peas and other legumes and foot and root rot in peas. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 99, 35-44.
- OYARZUN, P.J., GERLAGH, M. & J.C. ZADOKS, 1998: Factors associated with soil receptivity to some fungal root rot pathogens of peas. *Applied Soil Ecology* 10, 151-169.
- PAGLIAI, M. MARCA, M. LA & G. LUCAMANTE, 1985: Relationships between soil structure and time of landspreading of pig slurry. In: Williams, J.H., Guidi, G., L'Hermite (Eds.): *Long-term effects of sewage sludge and farm slurries applications*. Elsevier Applied Science Publishers, London, pp. 45-56.
- PALISADE, 2012: Palisade Corporation. West Drayton Middlesex. <http://www.palisade.com/risk/de/>
- PFLUGHÖFT, O., 2008: *Pilzkrankheiten in Körnerfüttererbsen (Pisum sativum L.) - Diagnose, Epidemiologie, Ertragsrelevanz und Bekämpfung*. Dissertation, Universität Göttingen.
- PIEPHO, H.P., A. BÜCHSE & K. EMRICH, 2003: A hitchhiker's guide to mixed models for randomized experiments. *Journal of Agronomy and Crops Science* 189, 310-322.
- PILBEAM, C.J., HEBBLETHWAITE, P.D. & A.S. CLARK, 1989: Effects of different inter-row spacings on faba beans of different form. *Field Crops Research* 21, 203-214.
- PISKORZ, B. & W. ROSZAK, 1991: Potato cultivation in crop rotation and in monoculture. I. Effect of an increased share of potatoes in the crop rotation on their yield, the productivity of the rotation and soil structure. *Roczniki Nauk Rolniczych. Seria A, Produkcja Roslinna* 108, 69-85.
- PÖTZSCH, F., 2010: *Einfluss von Grünguthäckseln auf Keimung und Wachstum von Unkräutern sowie Ertragsbildung von Körnerleguminosen im ökologischen Landbau*. Diplomarbeit der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden.
- PRANAİTIS, K. & S. MARCINKONIS, 2005: Effect of stubble breaking and ploughing at different depths on cultivation of peas. *Agronomy Research* 3, 91-98.
- PUNITHALINGAM, E. & I.A.S. GIBSON, 1976: *Descriptions of pathogenic fungi and bacteria*. Commonwealth Mycological Institute, Ferry Lane, England.
- PUNITHALINGAM, E. & P. HOLLIDAY, 1972: *Mycosphaerella pinodes*. IMI Descriptions of Fungi and Bacteria. CAB International, Wallingford, p. 340.
- R FOUNDATION, 2012: The R Foundation for Statistical Computing. Wien. <http://www.r-project.org>
- Maché, R.: *Dünge den Boden und lasse den Boden die Pflanzen düngen*. Flur und Furche <http://www.beratung-mal-anders.de/impressum/> (abgerufen am 18.06.2013).

- R. ÖHLINGER, R., MARGESIN, R. & E. KANDELER, 1993: Phosphorkreislauf. In Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. Margesin, R. (Hrsg.): Bodenbiologische Arbeitsmethoden, Springer, Berlin. S. 195-215.
- RAUPP, J., PEKRUN, C., OLTMANN & M. KÖPKE, 2006 (Eds.): Long-term field experiments in organic farming. ISOFAR, Scientific Series, Verlag Köster, Berlin
- REITER, K., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER, 2002b: The influence of long-term tillage systems on symbiotic N<sub>2</sub> fixation of pea (*Pisum sativum* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). Plant and Soil 238, 41-55.
- RID, H. & H. WEIGELT, 1980: Compression, soil compaction and loosening of the surface soil and their effects on soil and plants. Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 57, 347-358.
- RILEY, H. & E. EKEBERG, 1998: Effects of depth and time of ploughing on yields of spring cereals and potatoes and on soil properties of a morainic loam soil. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science 48, 193-200.
- ROCHETTE, P., ANGERS, D.A., CHANTIGNY, M.H., GAGNON, B. & N. BERTRAND, 2006: In situ mineralization of dairy cattle manures as determined using soil surface carbon dioxide fluxes. Soil Science Society of America Journal 70: 744-752.
- ROGER, C., TIVOLI, B. & L. HUBER, 1999: Effects of interrupted wet periods and different temperatures on the development of ascochyta blight caused by *Mycosphaerella pinodes* on pea (*Pisum sativum*) seedlings. Plant Pathology 48, 10-18.
- SANSSENE, J., RIACHY, R., EL GRIMAUD, L. & T. DUCHENNE, 1998: Effect of soil compaction on root necrosis of peas (*P. sativum* L.). 3rd European conference on grain legumes. Opportunities for high quality, healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Spain, 14-19 November 1998, p 258.
- SAUERMAN, W., 2013: Landessortenversuche Futtererbsen: Sorten und ihre Standfestigkeit. [http://www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Bauernblatt/PDF\\_Toepper\\_2013/BB\\_07\\_16.02/43-46\\_Sauermann.pdf](http://www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Bauernblatt/PDF_Toepper_2013/BB_07_16.02/43-46_Sauermann.pdf), eingesehen am 28. Mai 2013.
- SCHÄFER-LANDEFELD, L., R. BRANDHUBER, S. FENNER, H.-J. KOCH & N. STOCKFISCH, 2004: Effects of agricultural machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. - Soil & Tillage Research 75, 75-86
- SCHANS, D.A. VAN DER BERG & W. VAN DEN, 1991: Yield variability of peas and field beans. Teelthandleiding - Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond 121, 104.
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL, P: Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum, Heidelberg.
- SCHERER, H.W., METKER, D.J. & G. WELP, 2011: Effect of long-term organic amendments on chemical and microbial properties of a luvisol. Plant, Soil and Environment 57, 513-518.
- SCHMID, V., 2013: Darstellung der Aspekte der Bodenfruchtbarkeit und darauf aufbauender Vergleich der Auswirkung zweier ökologischer Bearbeitungssysteme auf die Bodenfruchtbarkeit. Bsc.-Abschlussarbeit, Universität Kassel, FB Ökologische Landwirtschaft, Betreuung: Prof. Dr. Detlev Möller & Prof. Dr. Maria Finckh
- SCHMIDT, H. 1992: Organische Rest- und Abfallstoffe als Düngemittel in der ökologischen Landwirtschaft. Diplomarbeit, Universität Kassel.
- SCHMIDT, H., 1997: Viehlose Fruchtfolge im Ökologischen Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin

- SCHMIDT, H., 2005: Viehloser Öko-Ackerbau – Beiträge – Beispiele – Kommentare. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- SCHMIDT, H., 2010 (Hrsg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Verlag Dr. Köster Berlin.
- SCHMIDT, H., & C. CHRISTEN, 2010: Literaturübersicht zu Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung. In: Schmidt, H. (Hrsg.): Öko-Ackerbau ohne tiefes Pflügen. Verlag Dr. Köster Berlin, 203-226.
- SCHMIDT, H., SCHULZ, F. & G. LEITHOLD: 2006: Organic Farming Trial Gladbacherhof. Effects of different crop rotations and tillage systems. In: Raupp, J., Pekrun, C., Oltmanns, M., Köpke, U.: Long-term Field Experiments in Organic Farming. Köster, Berlin, p 165-182.
- SCHMIDTKE, K. (2004): Stickstoffwirkung von Körnerleguminosen als Druschfrucht und von Zwischenfruchtleguminosen. In: Schmidt, H. (Hrsg.) (2004): vieholoser Ackerbau, Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Berlin. S. 26-29
- SCHMIDTKE, K. & R. RAUBER, 2000: Grain legumes and nitrogen cycling in organic crop systems. Grain legume 30, 16-17
- SCHNEIDER, R., HEILES, E., SALZEDER, G., WIESINGER, K., SCHMIDT, M. & P. URBATZKA, 2012: Auswirkungen unterschiedlicher Fruchtfolgen im ökologischen Landbau auf den Ertrag und die Produktivität. In: Wiesinger, K., Cais, K. (Hrsg.): Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, Tagungsband - Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Nr. 4/2012, S. 87-93.
- SCHÜLER, C., J. PIKNY, M. NASIR & H. VOGTMANN, 1993: Effects of composted organic kitchen and garden waste on *Mycosphaerella pinodes* (Berk. et Blox) Vesterg., causal organism of foot rot on peas (*Pisum sativum* L.). Biol. Agric. Hortic., 9, 353-360
- SCHULTE, G., 1996: Bodenchemische und bodenbiologische Untersuchungen ökologisch bewirtschafteter Böden in Rheinland-Pfalz unter besonderer Berücksichtigung der Nitratproblematik. Dissertation, Universität Trier.
- SCHULZ, F., 2012: Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung. Dissertation, Universität Gießen
- SCHULZ, M. & O. RENN, 2009: Das Gruppendelphi - Konzept und Fragebogenkonstruktion. Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden
- SEIDEL, K. & A. MEYERCORDT, 2013: Landessortenversuche Öko-Körnerleguminosen 2012. <http://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/346,8f950920-e84e-4c03-bcab66cdeb277117~pdf.html> (abgerufen am 30.04.2013)
- SEIDENGLANZ, M., I. HUADY, J. POSLUŠNA & A.-K. LØES, 2011: Influence of intercropping with spring cereals on the occurrence of pea aphids (*Acyrtosiphon pisum* Harris, 1776) and their natural enemies in field pea (*Pisum sativum* L.). Plant Protection Science 47, 25-36.
- SEIF, E., & D.G. PEDERSON, 1978: Effect of rainfall on the grain yield of spring wheat, with an application to the analysis of adaptation. Australian Journal of Agricultural Research, 29, 1107-1115.
- SHETTY K.G., SUBBARAO K.V., HUISMAN O.C. & J.C. HUBBARD, 2000: Mechanism of broccoli-mediated *Verticillium* wilt reduction in cauliflower. Phytopathology 90, 305-310
- SHIVASHANKAR, K. & K. VLASSIK, 1978: Influence of straw and CO<sub>2</sub> on N<sub>2</sub>-fixation and yield of field-grown soybeans. Plant and Soil 49, 259-266.

- SIMMELSGAARD, S. E., 1998: The effect of crop, N-level, soil type and drainage on nitrate leaching from Danish soil. *Soil Use and Management* 14, 30-36.
- SINGH, D.K., SINGH, A.K., MANDHATA SINGH BORDOLOI, L.J. & O.P. SRIVASTAVA, 2012: Production potential and nutrient uptake efficiency of pea (*Pisum sativum* L) as influenced by different fertility levels and micronutrients. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 60, 150-155.
- SOGBEDJI, J. M., ES, H. M. VAN, YANG, C. L., GEOHRING, L. D. & F.R. MAGDOFF, 2000: Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type. *Journal of Environmental Quality* 29, 1813-1820.
- SPERBER, J. BARISICH, R., EDINGER, E. & W. WEIGL, 1988: Öl- und Eiweißpflanzen. Österreichischer Agrarverlag, Wien.
- SPIES, J.M., T.D. WARKENTIN & S.J. SHIRTLIFFE, 2011: Variation in field pea (*Pisum sativum*) cultivars for basal branching and weed competition. *Weed Science* 59, 218-223.
- SPIESS, E., 1989: Mähdrusch von Körnerleguminosen. *FAT-Berichte* 368, 1-19.
- STECK, U., T. BLOCK, F. BURGHause, M. FROsch, S. GOLTERMANN, M. HEGER, U. HEIMBACH, M. HOMMES, G. LAUENSTEIN & G.S. RAUPACH, 2005: I. 28 (2) EPPO-Richtlinie PP1/229 (1) Blattläuse an Leguminosen. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig
- STEIN-BACHINGER, K. & T. DEWES, 2004: Wirtschaftsdünger. In: Stein-Bachinger, K., Bachinger, J., Schmitt, L.: Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. KTBL, Darmstadt, S. 83-105.
- STONE, D.A., 1988: Subsoil strength and yield of vegetable crops. *Soil Use and Management* 4, 10-14.
- STRYDHORST, S. M., KING, J. R., LOPETINSKI, K. J., & K. N. HARKER, 2008: Weed interference, pulse species, and plant density effects on rotational benefits. *Weed Science* 56, 249-258.
- STÜLPNAGEL, R., 1982: Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 151:446-458.
- TAMM, L., BRUNS, C., LEIFERT, C., FUCHS, J.G., THÜRIG B., SPECHT, N. & A. FLIEßBACH, 2006: Impact of soil management practices on soil fertility and suppressiveness. In: Andreasen, C. B., Elsgaard, L., Sondergaard-Sorensen, L., Hansen, G. *Proceedings Europ. Joint Organic Congress „Organic farming and European rural development. DARCOF, Dänemark. P. 176-177*
- TARAFDAR, J. C. & N. CLAASSEN, 1988: Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. *Biology and Fertility of Soils* 5, 308-312.
- THODEN, T.C., HALLMANN J. & M. BOPPRÉ, 2009: Effects of plants containing pyrrolizidine alkaloids on the northern root-knot nematode *Meloidogyne hapla*. *European Journal of Plant Pathology* 123, 27-36.
- TRIEDSORD CONSULT GMBH & Co. KG, 2009: Triesdorf Consult GmbH & Co. KG. Weidenbach. <http://www.triesdorf-consult.de/schuh/max/>
- URBATZKA, P., 2010: Anbauwürdigkeit von Wintererbsen - Ein Vergleich zu Sommererbsen in Rein- und Gemengesaat unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Dissertation, Universität Kassel-Witzenhausen, Verlag Dr. Kovac, Hamburg.



- URBATZKA, P., R. GRAB, T. HAASE, C. SCHÜLER & J. HEß, 2012: Influence of different sowing dates of winter pea genotypes on winter hardiness and productivity as either winter catch crop or seed legume. *European Journal of Agronomy* 40, 112-119.
- URBATZKA, P., R. GRAB, T. HAASE, C. SCHÜLER, D. TRAUTZ & J. HEß, 2011a: Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Organic Agriculture* 1, 187-202.
- URBATZKA, P., R. GRAB, T. HAASE, C. SCHÜLER, D. TRAUTZ & J. HEß, 2011b: The level of N<sub>2</sub>-fixation of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea in pure and mixed stands. *Journal für Kulturpflanzen* 63, 374-386.
- USDA-NRCS, 1996: Soil quality resource concerns: compaction. [http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/sq\\_nin\\_1.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/sq_nin_1.pdf), eingesehen am 14. Mai 2013.
- VDLUFA, 1991: Die Untersuchung von Böden. Methodenbuch Band I, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VERSCHWELE, A., 2011: Mechanische Beikrautregulierung in Getreide und Körnerleguminosen. In: Wilhelm, B., Hensel, O.: Landtechnische Lösungen zur Beikrautregulierung im Ökolandbau. Deutsches Institut für Tropische und Subtropische Landwirtschaft (DITSL), Witzenhausen, pp. 165-170.
- VIGIER, B. & G.S.V. RAGHAVAN, 1980: Soil compaction effect in clay soils on common root rot in canning peas. *Canadian Plant Disease Survey* 60, 43-45.
- VILICH-MELLER V., 1989: Der Einfluss von Mischkulturen auf den Schaderregerbefall am Beispiel der Futtergetreide-Mischung Sommergerste - Hafer. PhD. Thesis, University Bonn, Germany
- VLEESHOUWERS, L.M., 1997: Modelling the effect of temperature, soil penetration resistance, burial depth and seed weight on pre-emergence growth of weeds. *Annals of Botany* 79, 553-563.
- VOCANSON, A. & M.-H. JEUFFROY, 2008: Agronomic performance of different pea cultivars under various sowing periods and contrasting soil structures. *Agronomy Journal* 100, 748-759.
- VOISIN, A.S., SALON, C., MUNIER-JLAIN, N.G. & B. NEY, 2002: Effect of mineral nitrogen on nitrogen nutrition and biomass partitioning between the shoot and roots of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and Soil* 242, 251-262.
- WALLER, G., R., 1987: Allelochemicals: Role in Agriculture and Forestry: developed from a Symposium sponsored by the Division of Agricultural and Food Chemistry at the 190th Meeting of the American Chemical Society, Chicago, Illinois, September 8-13, American Chemical Society.
- WATSON, C. A., ATKINSON, D., GOSLING, P., JACKSON, L. R. & F.W. RAYNS, 2002: Managing soil fertility in organic farming systems. *Soil Use and Management* 18 supplement, 239-247.
- WATSON, C.A., RITZ, K., YOUNIE, D. & M. FRANKLIN, 1996: Nitrogen and soil biomass dynamics in two crop rotations. *Aspects Appl. Biol.* 47, 43-50
- WENDLAND M., M. DIEPOLDER & P. CAPRIEL, 2011: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland (Hrsg. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft), LfL-Information, 35-40
- WHEATLEY, D., M., D.A. MACLEOD & R.S. JESSOP, 1995: Influence of tillage treatments on N<sub>2</sub> fixation of soybean. *Soil Biology Biochemistry* Vol. 27, 571-574.



- WIERMANN, C., D. WERNER, R. HORN, J. ROSTEK & B. WERNER, 2000: Stress/strain processes in a structured unsaturated silty loam Luvisol under different tillage treatments in Germany. *Soil & Tillage Research* 53, 117-128.
- WIIK, L. & T. EWALDZ, 2009: Impact of temperature and precipitation on yield and plant diseases of winter wheat in southern Sweden 1983-2007. *Crop Protection* 28, 952-962.
- WRIGHT, J., L. & E. R. LEMON, 1966, Photosynthesis under field conditions IX. *Agronomy Journal*, Vol. 58, 265-268.
- XU, Z. H., LADD, J. N. & D.E. ELLIOTT, 1996: Soil nitrogen availability in the cereal zone of South Australia. I. Soil organic carbon, total nitrogen, and nitrogen mineralisation rates. *Australian Journal of Soil Research* 34, 937-948.
- YAVUZCAN H.G., D. MATTHIES & H. AUERNHAMMER, 2005: Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content. *Soil & Tillage Research* 84, 200-215
- ZALLER, J. & U. KÖPCKE, 2004: Effects of traditional and biodynamic farmyard manure amendment on yields, soil chemical, biochemical and biological properties in a long-term field experiment. *Biol. Fertil. Soils* 40, 222-229.
- ZHAO, F., J., A. P. WOOD & S. P. MCGRATH, 1999: Effects of sulphur nutrition on growth and nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and Soil* 212, 209-219.
- ZIOLEK, E., 1976: Effect of intensive phosphorus and potassium fertilization on the yield and quality of seeds of Polish horse bean cultivars. *Acta Agraria et Silvestria, Agraria* 16, 117-129.