

Sensorgestützte herbizidfreie Unkrautregulierung

Schriftenreihe, Heft 16/2022



Sensorgestützte herbizidfreie Unkrautregulierung in pfluglos angebauten Futtererbsen und Ackerbohnen

Dr. Robert Hommel; Ulf Jäckel; Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG);
Prof. Dieter Trautz; Tim Zurheide; Hochschule Osnabrück (HO)

Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	10
1.1.1	Gegenstand des Vorhabens	11
1.1.2	Ziele und Aufgabenstellung des Projekts	12
2	Wissenschaftlicher und technischer Stand	13
3	Material und Methoden	14
3.1.1	LfULG	14
3.1.2	HO	20
4	Ergebnisse	25
4.1.1	LfULG	25
4.1.2	2018	25
4.1.3	2019	38
4.1.4	2020	51
4.1.5	2021	65
4.1.6	HO	67
4.1.7	2018	67
4.1.8	2019	73
4.1.9	2020	81
4.1.10	2021	82
5	Diskussion	85
5.1.1	Wie kann der Zwischenfruchtanbau erfolgreicher etabliert werden	85
5.1.2	Wie gut funktioniert eine Unkrautregulierung in "Echtzeit" durch Sensorik	85
5.1.3	Biologie und Technik im Verbund	86
6	Verwertbarkeit der Ergebnisse	87
7	Weiterführende Fragestellungen	87
8	Zusammenfassung	88
9	Veröffentlichungen	88
	Literaturverzeichnis	89
	Anhang	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsstandorte A1 – A3 in der Region Mittelsachsen, Deutschland	14
Abbildung 2: Versuchsplan vom Standort Rulle in 2019 mit beigefügten Versuchsvarianten	21
Abbildung 3: Darstellung eines Schnellaushubmechanismus	22
Abbildung 4: Darstellung eines doppelten Hackrahmens inkl. Drehpunkt	24
Abbildung 5: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Starbach-Ackerbohne	25
Abbildung 6: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Starbach-Futtererbse	26
Abbildung 7: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat.....	27
Abbildung 8: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat	28
Abbildung 9: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne (A3) in Mulchsaat	29
Abbildung 10: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne (A3) in Mulchsaat	29
Abbildung 11: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten 2018 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten.	30
Abbildung 12: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten.	31
Abbildung 13: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2018 und (B) Unkrautdeckungsgrad [%].....	35
Abbildung 14: Beziehung zwischen Oberboden N_{\min} -Veränderung im Zeitraum von 08/2017 auf 04/2018 und der atro Unkrautbiomasse zum 11/2017 und Oberboden- N_{\min} zum 08/2017 und der atro Unkrautbiomasse zum 08/2018.	36
Abbildung 16: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Starbach-Futtererbse	40
Abbildung 17: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat.....	41
Abbildung 18: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat	42
Abbildung 19: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne in Direktsaat	43
Abbildung 20: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne in Mulchsaat	43
Abbildung 21: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten 2018 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten.....	44
Abbildung 22: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten.	45
Abbildung 23: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha atro] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2019 bzw. (B) Unkrautdeckungsgrad [%].....	48
Abbildung 24: Beziehung zwischen der N_{\min} -Veränderung im Oberboden im Zeitraum von 07/2018 auf 03/2019 und der atro Unkrautbiomasseerhebung zum 11/2017 und Oberboden- N_{\min} -Gehalt zum 08/2019 und der atro Unkrautbiomasse zum 08/2019.	49

Abbildung 25: Verhältnis zwischen sensorisch und manuell erfassten Deckungsgraden [%] in unterschiedlichen BBCH-Stadien der Kulturpflanze Ackerbohne sowie Verhältnis zwischen sensorisch und manuell erfassten Deckungsgraden in unterschiedlichen BBCH-Stadien der Kulturpflanze Futtererbse.....	50
Abbildung 27: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Siebenlehn-Ackerbohne.....	51
Abbildung 28: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 2 Zeitpunkten am Standort Siebenlehn-Futtererbse	52
Abbildung 29: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat.....	53
Abbildung 30: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat	54
Abbildung 31: PH-Wert in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten 2020 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefen an den 3-Praxisstandorten.	55
Abbildung 32: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten.	56
Abbildung 33: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha atro] und Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2020 bzw. Unkrautdeckungsgrad [%].	59
Abbildung 34: Zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort K2 und Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=500) und Unkrautdeckungsgrad, für teilflächenspezifische und flächige Unkrautregulierung in Futtererbse	65
Abbildung 35: Zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort Nossen und Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=1000) für teilflächenspezifische Unkrautregulierung, flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck und für teilflächenspezifische Unkrautregulierung, flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck und für teilflächenspezifische Unkrautregulierung, flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck in Ackerbohne.....	66
Abbildung 36: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen (08.05. und 17.05. 2018) in Ackerbohne und Erbse	68
Abbildung 37: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen in Ackerbohne und Erbse verglichen mit Handbonitur	68
Abbildung 38: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Vorfrüchte (Messdurchführung mittels Sensor).....	69
Abbildung 39: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Zwischenfrüchte inkl. Aufsplittung in mono- und dikotyle Beikräuter	70
Abbildung 40: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Beikrautregulierungsvarianten (Messdurchführung mittels Sensor)	71
Abbildung 41: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Beikrautregulierungsvarianten (Messdurchführung mittels Handbonitur).....	72
Abbildung 42: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Unkrautregulierungsvarianten inkl. Aufsplittung in mono- und dikotyle Beikräuter	73
Abbildung 43: Ermittlung von Unkrautdeckungsgraden [%] der Parzelle von monokotylen und dikotylen Unkräutern (Beispiel vom 13.05.2019)	74
Abbildung 49: Prozentuale Pflanzenverluste im Laufe der Vegetation	79

Abbildung 52: Zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort Osnabrück und Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=100), für flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck , flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck, flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck und für flächige Unkrautregulierung schwacher Zinkendruck in Ackerbohne	83
Abbildung 53: Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Anzahl der Kulturpflanzen, für flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck, flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck, flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck und für flächige Unkrautregulierung schwacher Zinkendruck in Ackerbohne.....	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ablaufschema relevanter Feldtermine	15
Tabelle 2:	Eigenschaften des Oberbodens (0-30 cm Tiefe) an den Untersuchungsstandorten (A1 - A3) 2018.....	17
Tabelle 3:	Meteorologische Daten einschließlich Niederschlag (P) und Temperatur (T) am Standort Nossen.....	17
Tabelle 4:	Leitunkräuter auf den Standorten A1 – A3 2018 in [%].....	18
Tabelle 5:	Kornertrag 2018 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	33
Tabelle 6:	Unkrautbiomasse 2018 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	34
Tabelle 7:	Abschätzung manueller Unkrautdeckungsgrade [%] mit Standardabweichung (SD) für Ackerbohne in Starbach	37
Tabelle 8:	Abschätzung Unkrautdeckungsgrade [%] mittels H-Sensor mit Standardabweichung (SD) für Ackerbohne alle Behandlungen in Starbach	37
Tabelle 9:	Kornertrag 2019 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	46
Tabelle 10:	Unkrautbiomasse 2019 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/ Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	47
Tabelle 11:	Kornertrag 2020 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	57
Tabelle 12:	Unkrautbiomasse 2020 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat).....	58
Tabelle 13:	Ökonomische Auswertung [€/ha], Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Starbach (A1) für Futtererbse und Ackerbohne in Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode	61
Tabelle 14:	Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Rhäsa für Futtererbse und Ackerbohne in Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode.....	62
Tabelle 15:	Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Kleinwaltersdorf (A2) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode	62
Tabelle 16:	Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Kleinwaltersdorf (A2) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode	63
Tabelle 17:	Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Naundorf (A3) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode	64
Tabelle 18:	Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Naundorf (A3) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode	64

Tabellenverzeichnis im Anhang

Tabelle A 1: Mittelwerte des Ertrags [t/ha] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey-Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (RT, NT); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode.	92
Tabelle A 2: Mittelwerte der Unkrautbiomasse [t/ha] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey-Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (MS, DS); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode.	92
Tabelle A 3: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrad [%] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey-Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (MS, DS); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode	93

Abkürzungsverzeichnis

AB	Arbeitsbreite
atro	absolut trocken
c	chemisch
DAL	Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung
DG	Deckungsgrad
DS	Direktsaat
GIS	Geoinformationssystem
HF	Hauptfrucht
HO	Hochschule Osnabrück
HS	Rauhafer/Sommerroggen
HTW	Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
IT	Informationstechnik
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
m	mechanisch
MS	Mulchsaat
n.a.	nicht Verfügbar
RR	Ramtillkraut/Rispenhirse
SD	Standardabweichung
ZF	Zwischenfrucht

1 Einführung

Die deutsche Eiweißpflanzenstrategie und die Europäische Gemeinsame Agrarpolitik fördern die Einbeziehung von Leguminosen in Fruchtfolgen, um die Leistungsfähigkeit von Anbausystemen und die Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion zu verbessern (BMEL 2018). Mehrjährige Fruchtfolgen mit Leguminosen werden mit einem geringeren Auftreten von Schädlingen und Krankheiten, einer verbesserten Bodenqualität und einem geringeren Bedarf an Unkrautbekämpfung und Düngemitteln in Verbindung gebracht, was zu geringeren Treibhausgasemissionen und einer erhöhten Förderung der Biodiversität führt (NEMECEK et al. 2008; FOLEY et al. 2011). Daher sollte das Wissen über den Anbau, die Verarbeitung und die Nutzung von Leguminosen erhalten und kontinuierlich weiterentwickelt werden (KLEMCKE et al. 2013; RÜHLEMANN et al. 2015). Der derzeitige Leguminosenanbau in Deutschland beläuft sich auf 55.000 ha für Ackerbohne und auf ca. 80.000 ha für Futtererbse, wobei er jährlichen Schwankungen unterliegt (BMEL 2018). Der Anbau von Futtererbse ist starken Veränderungen unterworfen. Zum einen weisen Schmidt und Wild (2013) auf eine veränderte Förderung durch den Staat hin und auch Zander et al. (2016) berichten von großen Ertragsunsicherheiten, die zu Einkommensrückgängen führen. Andererseits haben PREISSEL et al. (2015) und RECKLING et al. (2016, 2018) gezeigt, dass die Erträge von Körnerleguminosen nicht per se weniger stabil sind und unter Berücksichtigung der Fruchtfolge sogar wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zu anderen Kulturen aufweisen. Die Regulierung von Unkräutern in pfluglos angebauten Futtererbsen und Ackerbohnen erfolgt derzeit im konventionellen Ackerbau fast ausschließlich mit Herbiziden. Zunehmende Herbizidresistenzen von Unkräutern (WOLBER 2014), abnehmende Akzeptanz des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in der Bevölkerung (HEIßENHUBER et al. 2015) sowie die aktuell laufenden Überlegungen zum Verbot des Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf ökologischen Vorrangflächen im Rahmen des Greening sind Anlass für eine Suche nach Alternativen. Im ökologischen Landbau sind bereits erfolgreich Verfahren etabliert, Erbsen und Ackerbohnen ohne Herbizide anzubauen. Allerdings erfolgt hier in aller Regel der Anbau nach Pflugeinsatz, was wiederum die Erosionsgefahr bei entsprechender Exposition erhöht. Ziel des hier beantragten Vorhabens ist es, pflanzenbauliche Verfahren für den pfluglosen Anbau von Erbse und Ackerbohne ohne Einsatz von Herbiziden durch praktische Erprobung der Maßnahmen Zwischenfruchtanbau vor dem Anbau der Körnerleguminosen und mechanische Beikrautregulierung mit Rollstriegeln im konventionellen Ackerbau zu entwickeln. Im ökologischen Landbau sollen zusätzlich Verfahren der Mulch- und Direktsaat auf bisher nicht in Untersuchungen einbezogene Standorte weiterentwickelt werden, wobei ein Schwerpunkt im Einsatz von Sensoren zur mechanischen Unkrautregulierung mit einem Rollstriegel liegen soll. Die Untersuchungen sollen deshalb sowohl in ökologisch als auch konventionell wirtschaftenden Betrieben an drei Standorten in Sachsen, Ackerbohnen auf einem Verwitterungs(V)-Standort, Erbsen am diluvialen (D-) Standort) und Ackerbohnen und Erbsen auf Löss (Lö)-Standort sowie an zwei Standorten in Brandenburg durchgeführt werden. Dabei soll ein neues Verfahren der Erfassung des Unkrautdeckungsgrades mittels eines Sensors erprobt werden, um in einem ersten Schritt Richtwerte zum Geräteeinsatz (Rollstriegel) zu erhalten und in einem zweiten Schritt dieses Gerät teilflächenbezogen zu steuern. Dazu ist aus dem Messergebnis des Sensors ein Steuersignal abzuleiten, das einen im Projekt zu entwickelnden Segmentheber steuert, der einzelne Rollstriegelsegmente in Arbeits- bzw. Ruhestellung bringt. Mit dem teilflächenbezogenen Einsatz sollen keimstimulierende Lichtreize und ein N-Mineralisierungsschub im Boden infolge des Striegeleinsatzes, die beide eine Verunkrautung fördern können, auf die Teilbereiche mit bekämpfungsbedürftiger Verunkrautung begrenzt werden. Gleichzeitig lassen sich so Beschädigungen an den Kulturpflanzen durch den Rollstriegel reduzieren. Der Anbau von Hülsenfrüchten in Europa gilt als Schlüssel zur Bewältigung aktueller Herausforderungen wie der Unabhängigkeit von Importen, dem Klimawandel und der nachhaltigen Entwicklung des ländlichen Raums (PETERSON et al. 1992; SCHUHMACHER et al. 2011; DAVIS et al., 2012, BLOCH et al. 2014). Leguminosen wie

Ackerbohne sind sehr wichtig für die Lebensmittelsicherheit; sie liefern hochwertige Proteine (WITTEN et al. 2015), die für eine ausgewogene Ernährung von Mensch und Vieh wichtig sind (IGBASAN et al. 1996; BASTIANELLI et al. 1998; MACARULLA et al. 2001; KRUPA 2008). Bis 2013 war der Anbau von Körnerleguminosen in der Europäischen Union auf 1,8 Mio. ha Ackerland zurückgegangen, wobei Erbsen, Ackerbohnen und Sojabohnen auf 0,5 Mio. ha angebaut wurden, was ca. 1,5 % der europäischen Ackerfläche entspricht (WATSON et al. 2017). Seit 2013 ist die Produktion von Körnerleguminosen in der Europäischen Union jedoch auf 5,2 Millionen Tonnen im Jahr 2018 gestiegen (FAOSTAT 2019). In der konventionellen Landwirtschaft werden Unkräuter auf gepflügten und nicht gepflügten Leguminosenflächen fast ausschließlich mit Herbiziden bekämpft. In den letzten Jahren hat jedoch die herbizidfreie Unkrautbekämpfung an Bedeutung gewonnen (von Richthofen et al. 2006), obwohl die Direktsaat ohne Stoppelbearbeitung am Ende eines Erntezyklus ein erhöhtes Risiko für mehrjähriges Unkrautwachstum birgt (PEKRUN und CLAUPEIN 2006). Die sinkende Akzeptanz des Pestizideinsatzes in der Bevölkerung (HEIßENHUBER et al. 2015; Münze et al. 2015) sowie das aktuelle Verbot von Pestiziden auf ökologischen Vorrangflächen (siehe BMEL 2018) haben jedoch dazu geführt, dass in Europa und insbesondere in Deutschland nach Alternativen zur chemischen Unkrautbekämpfung gesucht wird.

1.1.1 Gegenstand des Vorhabens

Ein Ansatz zur herbizidfreien Unkrautbekämpfung ist die Verwendung von Zwischenfrüchten, die das Unkrautwachstum durch Beschattung und Verstärkung der interspezifischen Konkurrenz um pflanzenverfügbare Nährstoffe unterdrücken (KRUIDHOF et al. 2008). Verschiedene Zwischenfrüchte haben sich für diesen Zweck als geeignet erwiesen (MIYAZAWA et al. 2010; RÜHLEMANN und SCHMIDTKE 2015). So zeigen Resultate mit der Körnererbse aus dem Versuchsjahr 2014, dass die Art des Zwischenfruchtbaus vor der Erbse vor allem bei Direktsaat der Erbse das Wachstum der Unkräuter in Erbse und die Ertragsleistung der Erbse deutlich beeinflussen. Mehrere Nicht-Leguminosen-Zwischenfrüchte akkumulieren große Mengen an Bodenstickstoff in der Biomasse. Neben der Verringerung des für Unkräuter verfügbaren Bodenstickstoffs ergibt sich daher auch der Vorteil einer verringerten Stickstoffauswaschung (VOISIN et al. 2002; RÜHLEMANN und SCHMIDTKE 2016). Um diese Effekte zu erzielen, sollte die Nicht-Leguminosen-Zwischenfrucht eine große Menge an Biomasse aufbauen und ein hohes C:N-Verhältnis entwickeln (STEER et al. 1985; TEASDALE et al. 1991). Wenn die Zwischenfrüchte schnell wachsen, langlebig werden und ein hohes C:N-Verhältnis entwickeln, können sie Unkräuter deutlich unterdrücken, was sich in einem höheren Kornertag in der Hauptkultur auswirken kann (CARR et al. 1995; JENSEN et al. 1996). In der Regel verbleibt nach dem Auffrieren der Zwischenfrüchte die abgestorbene Biomasse (sogenannte Mulchschicht) oberirdisch auf dem Boden und verhindert durch Beschattung und Zersetzungsprozesse neues Unkrautwachstum (TEASDALE und MOHLER 2000). Für eine effiziente Unkrautunterdrückung sind jedoch mindestens 4 t ha⁻¹ trockenes Mulchmaterial erforderlich (BÄRBERI 2002). Leguminosen wie z. B. Ackerbohnen (die in der vorliegenden Studie verwendet wurden) sind nicht auf die verzögerte und geringere Freisetzung der Stickstoffmineralisierungsrate des Bodens in Direktsaatsystemen angewiesen (KÖPKE und NEMECEK 2010). Die Fixierung von atmosphärischem Stickstoff im Boden stellt einen Wettbewerbsvorteil für Leguminosen gegenüber Unkräutern dar (ROGERS et al. 2009). Eine weitere Tatsache ist, dass Körnerleguminosen mit ihren großen Samen gut mit den Bedingungen der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat zurechtkommen. In beiden Systemen findet nur eine geringe (Mulchsaat) bzw. keine Bodenbewegung (Direktsaat) statt. Daher finden insbesondere in Direktsaat-Systemen kaum mikrobielle Prozesse zur N-Mineralisierung statt (PEIGNÉ et al. 2007). Daher haben wir zusätzlich Mulch- und Direktsaat Systeme verglichen. Darüber hinaus bleibt gleichzeitig die Mulchaufgabe der Zwischenfrucht mit ihrer unkrautunterdrückenden Wirkung länger erhalten. Unkräuter sind auf hohe Stickstoffkonzentrationen im Boden angewiesen, Leguminosen

nicht. Dieser Wettbewerbsvorteil der Leguminosen ermöglicht nur wenige mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen (SPRENT 2009). Viele dieser oben genannten Faktoren sind abhängig vom Aussaatzeitpunkt und den klimatischen Bedingungen. Zusätzlich schützt eine Mulchauflage den Boden vor Erosion. Ein weiterer Ansatz zur herbizidfreien Unkrautregulierung ist der Einsatz verschiedener mechanischer Geräte und Methoden; für Details siehe HILTBRUNNER et al. (2012), JOBST et al. (2015) und URBATZKA et al. (2017). Wir konzentrierten uns auf einen Rollstriegel für die mechanische Unkrautbekämpfung und auf zwei verschiedene Zwischenfruchtmischungen für die Reduzierung des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffs. Rollstriegel können zwischen den Pflanzenreihen regulieren und arbeiten sehr effizient in mächtigen Mulchauflagen, ohne zu verstopfen. Der Rollstriegel bietet andererseits gute Möglichkeiten der Regulation von Samenunkräutern in Systemen der Mulch- und Direktsaat wie Untersuchungen zeigen (HÄNSEL 2015). Auch JUNG und RAUBER (2015) zeigen, dass in Systemen des herbizidfreien Anbaus von Ackerbohne und Erbse Samenunkräuter notfalls auch direkt reguliert werden können. Ähnliche Ergebnisse werden erzielt beim Einsatz von Turbostriegeln (z. B. Rotary Hoe), die auch in der Lage sind, verkrustete Bodenoberflächen aufzubrechen. Trotz leichter Beschädigung der Ackerbohnen durch einen Rollstriegeleinsatz konnte mit dieser direkten Unkrautregulierung ein besserer Erfolg erzielt werden als durch die indirekte Regulierung mit Gemengesaat Hafer und Ackerbohne (KÖPKE et al. 2016). Unseres Wissens gibt es jedoch bisher keine Studie in der Literatur, die mechanische Unkrautregulierung und die Verwendung von Nicht-Leguminosen Zwischenfruchtmischungen kombiniert.

1.1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Die vorliegende Studie liefert Felddaten von zwei Anbausystemen (Mulch- und Direktsaat) in Bezug auf Ertrag, Unkrautunterdrückung, N_{\min} -Dynamik, C:N-Verhältnis im Boden und in den verschiedenen Pflanzen wie Feldfrüchten, Unkraut, Mulch sowie die Menge der Makronährstoffe im Boden und in den verschiedenen Pflanzen.

Hypothesen

Der Einsatz von Nicht-Leguminosen-Zwischenfrüchten führt i) zu einer Verringerung der N_{\min} -Werte im Oberboden (< 30 cm) im Vergleich zu einer Behandlung ohne Nicht-Leguminosen-Zwischenfrüchte führt und ii) Unkräuter in den Leguminosen-Hauptkulturen und den Nicht-Leguminosen-Zwischenfrüchten werden ebenso effizient unterdrückt wie durch synthetische Herbizide (gemessen an Unkrautbiomasse und Unkrautdeckungsgrad [%]). Wir stellten ferner die Hypothese auf, dass iii) es einen Unterschied zwischen der Mulch- und der Direktsaat hinsichtlich des Kornertrags und der Ertragsqualität gibt, aber kein Unterschied zwischen der mechanischen und der chemischen Unkrautbekämpfung innerhalb der einzelnen Bodenbearbeitungssysteme besteht. Wir erwarteten, dass die Erträge und die Ertragsqualität im Mulchsaat System höher ausfallen.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Weiterentwicklung der mechanischen Unkrautregulierung durch den Einsatz von Sensorik

Teilflächenspezifische Unkrautregulierung hat in den letzten Jahren zunehmendes Interesse im Bereich der modernen Landwirtschaft gefunden. Die Unkrautregulierung auf Teilflächen innerhalb eines Schlages erfordert die Messung der unterschiedlichen Unkrautverteilung (Abbildung der Heterogenität). Entscheidungsmodelle helfen bei der Auswahl und der Steuerung der Maßnahmen abhängig von der tatsächlichen Unkrautverteilung. Die Unkrautregulierung kann entweder biologisch, mechanisch oder chemisch erfolgen. Mechanische teilflächenspezifische Unkrautbekämpfungstechnik, die auf die Verunkrautung eingestellt ist, kann in einem weiten Kulturpflanzenspektrum angewendet werden. So ein System für die Differenzierung von Unkräutern und Kulturpflanzen mittels Bildanalyse und der dementsprechenden leistungsfähigen Aktorik ist für eine nachhaltige Landwirtschaft nach unserem Ermessen unverzichtbar. Somit wird im Projekt, untersucht ob ein kamerabasierter Unkrautsensor (H-Sensor) einen Striegel so steuern kann, dass dieser nur auf stärker verunkrauteten Teilflächen arbeitet, deren Unkrautbesatz eine Bekämpfung erfordert. Weiterhin könnte auch durch die teilflächig gestriegelten Abschnitte die Verdunstung ganzflächig reduziert werden. Darüber hinaus gibt es keine zusätzliche Stickstoffmineralisierung auf den nicht gestriegelten Teilflächen. Ein weiteres Ziel ist, das in der Praxis mitunter beobachtete Anregen der Keimung neuer Unkrautsamen z.B. durch Lichtreiz nach einem Striegel-Durchgang auf die Teilflächen zu reduzieren. Die Untersuchungen erfolgen an unterschiedlichen Standorten am LfULG sowie an der Hochschule Osnabrück. Die Sensormessung erfolgt an den Kulturpflanzen Futtererbse und Ackerbohne simultan zur manuellen Unkrautbonituren je Striegelgang. In der ersten Projektphase werden die Sensordaten hinsichtlich diverser Schwellenwerte zum Geräteeinsatz validiert, in der zweiten Projektphase mit der Zielstellung, das Absenken von Striegelsegmenten an den verunkrauteten Teilflächen zu steuern. Die komplette Realisierung erfolgt mittels Einsatz des H-Sensors. Die Erfassung von Sensordaten erfolgt über ein GPS-gekoppeltes Parzellengerät. Der Einsatz kamerabasierter Unkrautsensoren, zur Erkennung und Klassifizierung von Unkräutern, ist im Grundsatz möglich (GERHARDS et. al 2007; WEIS et al. 2008) und teilweise spezifisch getestet (GUTJAHR et al. 2012). Der Einsatz des H-Sensors zur Entscheidungsunterstützung zum Einsatzzeitpunkt sowie zur teilflächenbezogenen "Echtzeit-Steuerung" mechanischer Geräte in der Unkrautregulierung ist bisher nicht erfolgt. Die vorhandenen Mulchauflagen auf der Bodenoberfläche nach Direkt- bzw. Mulchsaat stellen zudem an die Sensortechnik besondere Anforderungen. Der H-Sensor ist eine bi-spektrale Kamera, welche je Sekunde ca. 10 Aufnahmen generiert. Dabei wird das Ergebnis der Pixelauswertung in den Aufnahmen der Kulturpflanzen sowie der Unkräuter unterschieden. Für einige Kulturpflanzen gibt es definierte Klassifikationen (Algorithmen), um die Kulturpflanzen vom Restpflanzenbestand optisch klar auswertbar abzugrenzen. Die Kulturpflanzenhäufigkeit und der Unkrautbesatz werden als Deckungsgrad [%] erfasst.

3 Material und Methoden

3.1.1 LfULG

Untersuchungsstandorte

Die Untersuchungsstandorte befinden sich in der zentralen Region Sachsens (siehe Abb. 1). An allen drei Untersuchungsstandorten wurde der Oberboden von Löß dominiert (bis zu 45 %), der aus eiszeitlichen Ablagerungen stammt.

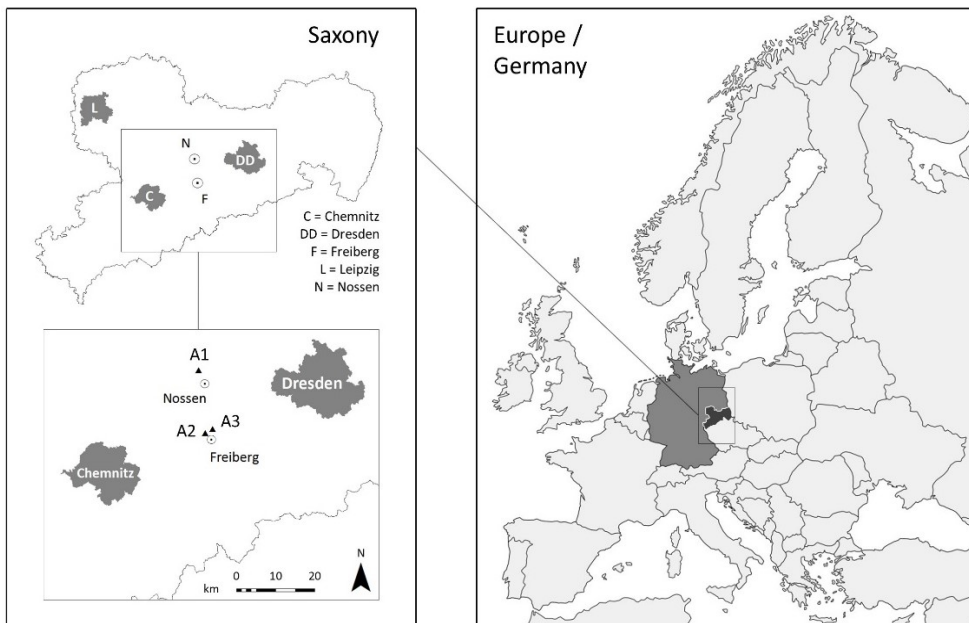


Abbildung 1: Untersuchungsstandorte A1 – A3 in der Region Mittelsachsen, Deutschland

Von A1 bis A3 nahm der Ton- und Schluffanteil ab und der Sandanteil zu. A1 enthält überwiegend Schluff (> 75 %). A2 enthält fast 60 % Schluff; A3 weist eine geringe Bodenmächtigkeit auf und wird hauptsächlich von Schluff (> 45 %) und Sand (> 40 %) dominiert. Die Bodentypen wurden von der internationalen Weltreferenzdatenbank für Bodenressourcen (WRB) abgeleitet. Alle drei Standorte wiesen einen sehr guten Makronährstoffstatus mit einer ähnlichen Makronährstoffverteilung auf. Die pH-Werte des Oberflächenbodens (CaCl₂) lagen im Bereich des Silikat Puffer (6,2 – 5,0); im Oberboden von A1 wurde der höchste pH-Wert gemessen. Außerdem zeigte das C:N-Verhältnis von A1 einen signifikanten Unterschied zu A3. A1 wies das niedrigste C:N-Verhältnis auf, was auf sehr niedrige Ct-Werte zurückzuführen sein könnte, die durch eine geringere Ausbringung organischer Düngemittel verursacht wurden.

Feldtermine

Durch das LfULG wurden insgesamt 3 Praxispartner, davon zwei konventionelle und ein ökologischer Landwirtschaftsbetrieb, herangezogen. An den drei Standorten (A1-A3) in Sachsen wurde untersucht, wie durch den Anbau nicht-legumer Zwischenfrüchte (ZF) das Keimen und Aufwachsen von Unkraut in nachfolgenden Körnerleguminosen reduziert werden kann. Die Auswahl und Randomisierung der Flächen/Exaktversuche (4-fache Wiederholung) erfolgte jeweils im dritten Quartal 2017, 2018 und 2019. Die Bestellung der Hauptfrucht, der Leguminosen Futtererbse und Ackerbohne, erfolgte in Mulch- (MS) und Direktsaat (DS) je im ersten Quartal 2018, 2019 und 2020. Weiterhin wurde zu mehreren Zeitpunkten in 2018, 2019 und 2020 mit einem kamera-basierten Sensor (H-Sensor) der Unkrautdeckungsgrad digital erfasst und simultan mit manuell erhobenen Unkrautdeckungsgraden verglichen und validiert. Zur Untersuchung der Notwendigkeit mehrfacher Striegelein-sätze und zur Ableitung von Einsatzempfehlung für Striegel (Grenzwert für die Sensorsteuerung) wurde im Jahr

2019 ein zusätzlicher Feldversuch etabliert. Diese Grenzwerte wurden 2021 in die Verarbeitung von Sensordaten zur Stiegelsteuerung im "Upscaling Prozess" berücksichtigt. Grundlegend wurden jeweils nach Ernteabschluss der Hauptfrucht je 3 „neue“ Flächen, in nahem Umkreis, der Praxisbetriebe für die Versuchsdurchführung des kommenden Jahres ausgewählt. Grundlegend entspricht dabei, über den Untersuchungszeitraum, zum Beispiel der Standort A1 (beinhaltet Starbach 2018, Rhäsa 2019 Siebenlehn 2020) vergleichbare Bodeneigenschaften. Ein Überblick ist dem Ablaufschema in Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1:Ablaufschema relevanter Feldtermine

Ereignisse	Zeitpunkt
Auswahl der Betriebe und Etablierung Untersuchungsdesign	III Q. 2017
Bodenbearbeitung der Parzellen	III Q. 2017
N _{min} Bodenbeprobung vor Aussaat der Zwischenfrucht (ZF)	III Q. 2017
Aussaat Zwischenfrucht (A1) 08.08., (A2) 04.08., (A3) 06.09.2017	II und III Q. 2017
Teilspezifische Ernte der ZF (vor Frost)	IV Q. 2017
N _{min} Bodenbeprobung vor Aussaat der Leguminosen,	I Q. 2018
Aussaat Leguminosen (09-11.04.2018)	II Q. 2018
Herbizidbehandlung (Vorauflauf) chemisches Versuchsglied	11.04.2018
1te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2018
1te DG-Sensormessung (simultan zur 1ten DG-Bonitur)	II Q. 2018
1ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2018
2te Bonitur Deckungsgrad (2te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	II Q. 2018
2ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2018
Herbizidbehandlung (Nachauflauf) chemisches Versuchsglied	28.04.2018
3te Bonitur Deckungsgrad (3te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	II Q. 2018
3ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2018
4te Bonitur Deckungsgrad (4te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	18.05.2018
Ernte Futtererbse	24.07.2018
Ernte Ackerbohne	06.08.2018
N _{min} Bodenbeprobung nach Ernte	III Q. 2018
Aufbau und Etablierung Untersuchungsdesign	III Q. 2018
Bodenbearbeitung der Parzellen	III Q. 2018
N _{min} Bodenbeprobung vor Aussaat der ZF	III Q. 2018
Aussaat Zwischenfrucht (A1) 19.07.,(A2) 20.07., (A3) 07.09.2018	II und III Q.2018
Teilspezifische Ernte der ZF (vor Frost)	IV Q. 2018
N _{min} Bodenbeprobung vor Aussaat der Leguminosen,	I Q. 2019
Aussaat Leguminosen (08-09.04.2019)	II Q. 2019
Herbizidbehandlung (Vorauflauf) chemisches Versuchsglied	11.04.2019
1te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2019
1te DG-Sensormessung (simultan zur 1ten DG-Bonitur)	II Q. 2019
1ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2019
2te Bonitur Deckungsgrad (2te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	II Q. 2019
2ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2019
3te Bonitur Deckungsgrad (3te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	II Q. 2019
3ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2019
Abschlussmessung im Striegelversuch (insg. 7 Striegeleinsätze)	20.05.2019

Ereignisse	Zeitpunkt
Bodenbeprobung vor Aussaat ZF 2019	III Q. 2019
Aussaat Zwischenfrucht (A1) 18.07., (A2) 19.07., (A3) 03.09.2019	III Q. 2019
Ernte Futtererbse	23.07.2019
Ernte Ackerbohne	07.08.2019
N _{min} Bodenbeprobung nach Ernte 2019	III Q. 2019
N _{min} Bodenbeprobung vor Aussaat der Leguminosen,	I Q. 2020
Aussaat Leguminosen (27.03 und 01.04.2020)	I-II Q. 2020
Herbizidbehandlung (Voraufbau) chemisches Versuchsglied	II Q. 2020
1te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2020
1ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2020
2te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2020
2ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2020
3ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2020
3te Bonitur Deckungsgrad (3te DG-Sensormessung simultan zur Bonitur)	12.05.2020
Ernte Futtererbse	23.07.2020
Ernte Ackerbohne	14.08.2020
Aufbau und Etablierung Untersuchungsdesign	I Q. 2021
Bodenbearbeitung der Parzellen	I Q. 2021
Aussaat Leguminosen (29.03.2021 Nossen, 03.04.2021 Köllitsch)	I Q. 2021
1te DG-Sensormessung	I Q. 2021
1ter Rollstriegeleinsatz	I Q. 2021
2te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2021
2ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2021
3te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2021
3ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2021
4te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2021
4ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2021
5te Bonitur Deckungsgrad	II Q. 2021
5ter Rollstriegeleinsatz	II Q. 2021
Ernte Futtererbse	02.08.2021
Ernte Ackerbohne	18.08.2021

Tabelle 2: Eigenschaften des Oberbodens (0-30 cm Tiefe) an den Untersuchungsstandorten (A1 - A3) 2018

	A1	A2	A3
Bewirtschaftung	konventionell	konventionell	ökologisch
Ton [%]	16.78 ± 1.19	12.41 ± 0.76	9.61 ± 3.72
Schluff [%]	78.46 ± 0.49	58.58 ± 7.72	46.70 ± 5.58
Sand [%]	4.76 ± 1.31	29.01 ± 8.32	43.72 ± 6.45
K_{DL} [mg 100 g⁻¹]*	17.03 ± 4.65	18.57 ± 3.23	21.70 ± 3.29
P_{DL} [mg 100 g⁻¹]*	3.75 ± 0.78	5.47 ± 1.22	5.07 ± 1.14
Mg [mg 100 g⁻¹]	10.87 ± 5.35	13.57 ± 2.39	15.22 ± 0.59
pH	6.16 ± 0.12	5.11 ± 0.25	5.18 ± 0.2
Nt [%]	0.15 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.16 ± 0.02
Ct [%]	1.18 ± 0.21	1.43 ± 0.15	1.57 ± 0.28
C:N Verhältnis	8.03 ± 0.51	8.74 ± 0.41	9.76 ± 0.71
Bodenwassersaugspannung [pF] Anomalien (0-15 cm)	0.04	0.05	0.08

* K_{DL} und P_{DL} extrahiert nach dem Doppellaktatansatz

Die meteorologischen Daten wurden an der Beobachtungsstation Nossen, Deutschland (308 m ü.d.M.; 13°31'E, 51°05'N) aufgezeichnet. Die Mittelwerte für die Jahrestemperatur und die Niederschlagssumme wurden aus den Monatswerten berechnet (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Meteorologische Daten einschließlich Niederschlag (P) und Temperatur (T) am Standort Nossen

	P [mm]					T [°C]				
Monat	1970-2000	2017	2018	2019	2020	1970-2000	2017	2018	2019	2020
Januar	43	25	39	97	20	-0.9	-2.9	4.1	0.1	3.8
Februar	38	29	5	32	99	-0.1	2.6	-2.5	3.9	5.6
März	44	60	31	53	33	3.3	7.5	1.7	6.9	4.9
April	54	34	37	30	3	7.2	7.5	13.2	9.6	9.9
Mai	65	7	27	51	57	12.3	14.5	16.2	11.2	11.3
Juni	70	77	82	54	33	15.3	17.9	18.1	21.4	17.5
Juli	71	87	33	36	38	17	19.1	20.1	19.1	18.7
August	75	68	22	36	124	16.6	19.1	21.3	20.2	20.8
September	52	32	42	44	46	13.1	13.5	15.9	14.6	15.3
Oktober	45	83	26	46	90	9	11.9	11.2	11.7	11
November	47	49	10	28	9	4.1	5.6	5.1	5.7	6.3
Dezember	57	45	80	31	25	0.8	3.1	4.1	4.5	3.6
Summe/Mittelwert	661	596	434	537	577	8.2	9.9	10.7	10.7	10.7

Die drei ausgewählten Untersuchungsstandorte (A1 – A3) weisen die gleiche Fruchtfolge und einen vergleichbaren Makronährstoffstatus auf. Die Leitunkräuter unterscheiden sich zwischen den Untersuchungsstandorten (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Leitunkräuter auf den Standorten A1 – A3 2018 in [%]

Standort	Saatsystem und ZF	ohne Unkrautregulierung	mechanisch	chemisch
A1	MS ohne	Chenopodium album 100 %	Chenopodium album 100 %	kein Leitunkraut
	MS RR	Chenopodium album 100 %	Chenopodium album 75 %	kein Leitunkraut
	MS HS	Chenopodium album 100 %	Chenopodium album 75 %	kein Leitunkraut
A2	DS ohne	Hordeum vulgare 100 %	Hordeum vulgare 100 %	Matricaria chamomilla 75 %
	DS RR	Elymus repens 50 %	Hordeum vulgare 50 %	Matricaria chamomilla 75 %
	DS HS	Elymus repens 50 %	Elymus repens 50 %	Matricaria chamomilla 50 %
	MS ohne	Thlaspi arvense 50 %	Thlaspi arvense 75 %	Hordeum vulgare 50 %
	MS RR	Thlaspi arvense 75 %	Thlaspi arvense 75 %	Hordeum vulgare 50 %
	MS HS	Thlaspi arvense 75 %	Thlaspi arvense 75 %	Persicaria 50 %
A3	DS ohne	Matricaria chamomilla 75 %	Matricaria chamomilla 100 %	kein Leitunkraut
	DS RR	Matricaria chamomilla 100 %	Matricaria chamomilla 75 %	kein Leitunkraut
	DS HS	Matricaria chamomilla 25 %	Matricaria chamomilla 25 %	kein Leitunkraut
	MS ohne	Chenopodium album 50 %	Cirsium arvense 50 %	kein Leitunkraut
	MS RR	Matricaria chamomilla 50 %	Matricaria chamomilla 50 %	kein Leitunkraut
	MS HS	Sonchus arvensis 25 %	Sonchus arvensis 50 %	kein Leitunkraut

Versuchsaufbau und -durchführung

A1 und A2 sind Standorte mit konventionellem Anbau, während A3 ein Standort mit ökologischem Anbau ist. In dieser Studie wurden 3 Faktoren getestet: Bodenbearbeitungsmethode (MS/DS) als Faktor A, Zwischenfruchtmischung (RR/HS/ohne) als Faktor B und Unkrautbekämpfungsmethode (ohne/chemisch/ mechanisch) als Faktor C. Es wurde ein 3-Faktoren (A,B,C) Split-Plot-Design mit vier Wiederholungen gewählt (siehe Anhang). Auf den Versuchsflächen A1 und A2 umfasste der Feldversuch insgesamt 72 Parzellen, auf der Fläche A3 48 Parzellen. Die Parzellengröße betrug 3 m x 20 m. An allen drei Versuchsstandorten wurde zu Beginn des Versuchs die gleiche Bodenbearbeitung durchgeführt. Die Stoppelbearbeitung erfolgte zweimal mit einem geflügelten Schargrubber und anschließend mit einer Scheibenegge. Anschließend wurden die Zwischenfrüchte (je Zwischenfruchtart 150 Saatgut/m²) unter Einsatz einer Einzelkornsämaschine (Saphir, LEMKEN, Deutschland) an allen Untersuchungsstandorten ausgesät. Die erste Zwischenfruchtmischung bestand aus Ramtillkraut und Rispenhirse (RR), die zweite Mischung enthielt Rauhafer und Sommerroggen (HS). Ramtillkraut ist ursprünglich in Ostafrika beheimatet. Seine Höhe reicht von 40 bis 180 cm. Rispenhirse ist eine einjährige krautige Pflanze mit einer Höhe von 30 – 150 cm. Das ursprüngliche Verbreitungsgebiet von Rispenhirse befindet sich in Zentralasien. Rauhafer und Sommerroggen sind in Mitteleuropa beheimatete Getreidearten aus der Familie der *Poaceae*. Rauhafer erreicht eine Höhe von 60 bis 200 cm, während Sommerroggen 40 bis 120 cm lange Stängel hat. Die Zwischenfruchtmischungen wurden aufgrund der guten Ergebnisse einer Vor-

untersuchung in Bezug auf Unkrautunterdrückung, C:N-Verhältnis und Biomasseentwicklung ausgewählt (KÖPKE, unveröffentlichte Daten). Nachdem die Zwischenfrucht durch den ersten Frost Ende Oktober abgestorben war, wurden zwei verschiedene Bodenbearbeitungsmethoden getestet. Bei der MS-Bearbeitung erfolgte die Saatbettbereitung für die Hauptkultur bis zu einer Bodentiefe von 6-8 cm mit Grubber und Scheibenege. Beim MS-Ansatz wurde die Aussaat mit der gleichen Sämaschine durchgeführt, die auch für die Aussaat der Zwischenfrüchte verwendet wurde. Beim DS-Ansatz wurde die Aussaat mit einer Cross-Slot-Maschine (Cross-Slot, HALDRUP, Deutschland) durchgeführt. Bei Futtererbse, Sorte: RESPECT, betrug die Saattiefe 5 cm mit einer Saatgutmenge von 80 Samen m², und für Ackerbohne, Sorte: FUEGO, betrug die Saattiefe 7 cm mit einer Saatgutmenge von 40 Samen m². Auf jeder Parzelle wurde der Aufgang der Deckfrucht auf einer Fläche von 1 m² manuell bewertet. An den Standorten A1 und A2 wurde Bandur© und Fusilade Max© auf Parzellen mit chemischer Unkrautbekämpfung ausgebracht. An jedem Standort wurde das Unkraut dreimal mechanisch mit einem Rollstriegel (ANNABURGER, Deutschland) reguliert.

Probenaufbereitung und Analytik

An jedem Untersuchungsstandort wurden zu drei Zeitpunkten Bodenproben entnommen. Die Proben wurden getrennt für C:N-Verhältnis, Makronährstoffe, pH-Wert (0-30 cm Tiefe) und N_{min} (0-30, 30-60, 60-90 cm Tiefe) mit einem maschinell angetriebenen Bohrkern (Gator, NIETFELD, Deutschland) entnommen. Die Bodenproben für das C:N-Verhältnis, die Makronährstoffe und den pH-Wert wurden bei 40 °C getrocknet; Wurzeln, Pflanzenreste und sichtbare Steine wurden entfernt. Die Bodenproben für die N_{min}-Bestimmung wurden sofort für die Analysen gekühlt. Anschließend wurden die getrockneten Proben < 2 mm gesiebt und pulverisiert (Pulverisette, FRITSCH, Deutschland). Der pH-Wert des Bodens wurde in einer CaCl₂-Lösung bestimmt (pH-Instrument, WTW, Deutschland). Die Bodentextur wurde nach Köhn (DIN ISO 11277) mit einer Sedimentationsmaschine (Sedimat, UGT, Deutschland) quantifiziert. Mineral-N (N_{min}) wurde mittels kontinuierlicher Durchflussanalyse (SAN, SKALAR, Niederlande) analysiert. Die Gesamtkohlenstoffkonzentration (C_t) und der Gesamtstickstoff (N_t) wurden mit einem CN-Elementaranalysator (CN, LECO, USA) quantifiziert. Der verbleibende Bodenkern wurde zur Quantifizierung der Makronährstoffe, z. B. des pflanzenverfügbaren Kaliums (K_{DL}) und Phosphors (P_{DL}), verwendet. K_{DL} wurde gemäß VDLUFA 6.2.1.2 (Doppel-laktatansatz TGL 25418/08) mit einem Flammenphotometer (FP, SHERWOOD, UK) analysiert. P_{DL} wurde ebenfalls gemäß VDLUFA 6.2.1.2 mit einem Spektralphotometer (AA3, SEAL, UK) bestimmt. Darüber hinaus wurde das Bodenwasserpotenzial in 15 cm Bodentiefe mit einem Tensiometer (Tensio100, UGT, Deutschland) quantifiziert. Alle Messungen wurden vor der Aussaat der Leguminosen und nach der Ernte der Hauptkulturen durchgeführt, um kleinräumige Heterogenität in der Bodenwasserverfügbarkeit auszuschließen (Daten nicht gezeigt). Im Dezember wurden die Zwischenfrüchte geerntet und die zugehörigen Unkräuter beprobt (erste Unkrautsammlung); im Juli und August wurden die Hauptfrüchte Futtererbse und Ackerbohne in BBCH 89 geerntet; auch hier wurden die zugehörigen Unkräuter beprobt (zweite Unkrautbonitur). Die Ernte wurde auf einer Fläche von 1 m² in der Mitte jeder Parzelle (Kerndrusch) durchgeführt, um Randeffekte zu vermeiden. Die Körner von den Hauptkulturen wurden manuell von den Hülsen getrennt. Der Ertrag wird in Körnern [t/ha] auf der Grundlage der Trockenmasse (atro) angegeben. Die Schätzung des Artenreichtums und des Unkrautbesatzes (DG) erfolgt nach Braun-Blanquet unter Verwendung eines "Göttinger Zähl- und Schätzrahmens" (Kreisrahmen). Das frisch geerntete Pflanzenmaterial wurde jeweils sofort gewogen und ein Aliquot bei 60 °C und ein weiterer aliquoter Teil bei 105 °C getrocknet, um den Wassergehalt bzw. die Trockenmasseausbeute zu bestimmen. Anschließend wurde das bei 60 °C getrocknete Pflanzenmaterial mit einer Ultra-Zentrifugalmühle (ZM, Retsch, Deutschland) auf 0,25 mm gemahlen. Das gemahlene Pflanzenmaterial wurde nach DIN 38414-S7 extrahiert und die Konzentrationen der Makronährstoffe mittels induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES, Agilent, USA) nach DIN ISO 15510 gemessen.

Abschätzungen des Stickstoffs in den verschiedenen Pflanzenkompartimenten

Nt und Ct wurden im Unkraut, in den verschiedenen Pflanzenkompartimenten der Zwischenfrüchte, im Mulch, im Korn und im Stängel der Hauptkulturen bestimmt. Außerdem wurden sie im Boden vor der Aussaat, während der Entwicklung und nach der Ernte bestimmt. Messungen des Gesamt-N in den verschiedenen Pflanzenkompartimenten wurden durchgeführt, um die Verteilung und das N-Fixierungspotenzial in Bezug auf die Zwischenfrüchte, die verschiedenen Bodenbearbeitungsmethoden und die verschiedenen Unkrautmanagementansätze zu quantifizieren. Die N₂-Fixierung wurde nach KOLBE und KÖHLER (unveröffentlichte Daten) berechnet. Darüber hinaus wurden die Analysen der N-Trockensubstanz genutzt, um Informationen über die Kornqualität zu erhalten (z.B. wurde die Proteinmenge mit dem Faktor 6,25 berechnet).

Statistik

Alle gemessenen Variablen, bei mechanischer, chemischer Unkrautbekämpfung sowie bei der Behandlung ohne Unkrautbekämpfung, wurden auf Normalverteilung getestet und mit Hilfe der klassischen deskriptiven Statistik, Mittelwerte und Standardabweichung (SD) charakterisiert. Die Auswirkungen der Unkrautbekämpfungsbehandlung, der Zwischenfrüchte und der Bodenbearbeitung auf den Ertrag, die Unkrautbedeckung und die Unkrautbiomasse wurden mittels einer ANOVA unter Verwendung der kleinsten signifikanten Differenz (LSD) untersucht (siehe Anhang). Für die N-Vorräte im Oberboden verglichen wir nur die Unkrautbekämpfung und die Zwischenfruchtbehandlung zu jedem Probenahmezeitpunkt. Die Fehlerbalken in den Abbildungen stellen \pm SD dar. Statistische Analysen und Anpassungen wurden mit R 2.8.0 (NLME-Paket, DEBROY und SARKAR 2010) und SIGMAPLOT 12.3 (Systat Software, San Jose, USA) durchgeführt.

3.1.2 HO

Untersuchungsstandort

Der Untersuchungsstandort befindet sich in der Bodenregion der Geest und gehört zu der Bodenlandschaft der Lehmgebiete. Der Bodentyp ist ein mittlerer brauner Plaggenesch, welcher sich durch eine Unterlagerung von Braunerde auszeichnet. Die Fläche liegt auf einer Höhe von ca. 97 m ü.d.M. Für den Versuch wurde eine Fläche im Ortsteil Rulle der Gemeinde Wallenhorst genutzt. Diese liegt im Landkreis Osnabrück in Niedersachsen. In der Schlagkartei wird die Fläche unter dem Namen Rulle III geführt. Die Fläche bestand aus sandigem Lehmboden, welcher ca. 60 Bodenpunkte vorweisen konnte. In den vorherigen Jahren wurde zunächst Sommerweizen dann Hafer und zuletzt Dinkel als Hauptfrucht angebaut. Eine im Herbst ausgesäte Zwischenfrucht (Winterroggen/Sommerwicke) begründete die Fläche über die Wintermonate bis zur Aussaat der Ackerbohne. Die Durchschnittstemperatur in der Gemeinde Wallenhorst liegt im Jahresdurchschnitt bei 8,9°C. Hinzu kommt noch eine Niederschlagsmenge von ca. 850 mm pro Jahr.

Versuchsaufbau und -durchführung

An der Hochschule Osnabrück wurde ein vierfach wiederholter voll randomisierter Feldversuch angelegt (Versuchsbetrieb Waldhof, ökologische Bewirtschaftung), in dem die optimale Ableitung der Schadschwelle zur Unkrautregulierung im Ackerbohnenanbau getestet werden sollte. Nachstehend ist der Versuchsplan sowie die beschriebenen Versuchsvarianten aufgeführt:

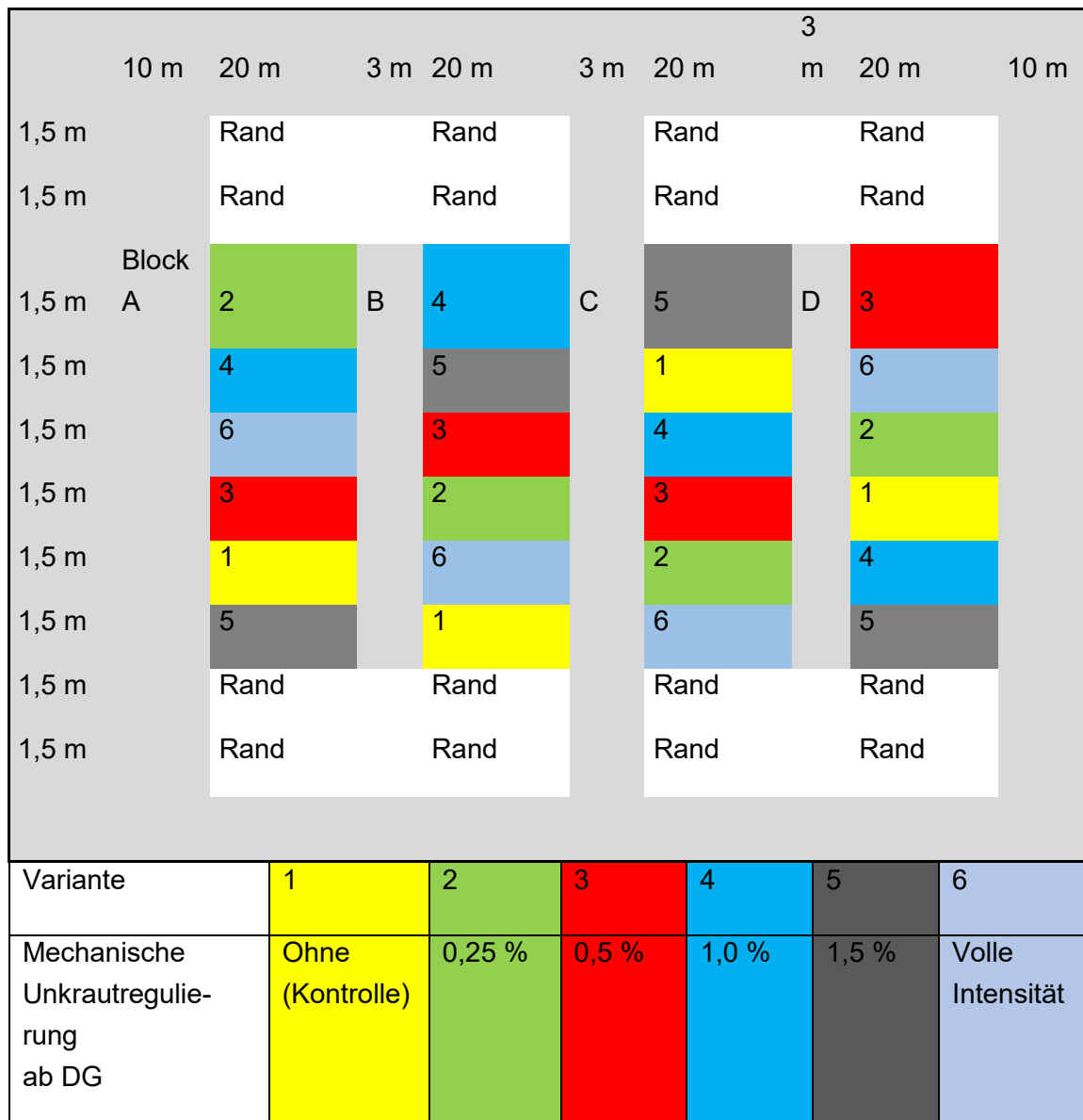


Abbildung 2: Versuchsplan vom Standort Rulle in 2019 mit beigefügten Versuchsvarianten

Die Vorbereitung der Versuchsanlage fand durch die Hochschule Osnabrück statt. Auf dem langjährig ökologisch genutzten Versuchsstandort in Rulle wurde als Vorfrucht ein Ölrettich (Zwischenfrucht) angebaut. Die Fläche besteht aus sandigem Lehmboden mit ca. 60 Bodenpunkten. In den vorherigen Jahren wurde zunächst Sommerweizen, dann Hafer und zuletzt Dinkel (Hauptfrucht) angebaut. Nach einer wendenden Bodenbearbeitung wurden am 15.04.19 Ackerbohnen (Sorte: TIFFANY) ausgesät. Die Parzellen wurden mit einer Breite von 1,50 m ausgedrillt. Um genügend Fläche für die Bearbeitung mit der Rollhacke zu schaffen, wurde jede Parzelle mit einer Länge von 20 m angelegt. Zwischen jedem Block wurde ein Bereich von 3 m erstellt, damit ausreichend Platz zum Absenken und Anheben der Rollhacke vorhanden war. Insgesamt wurden über 7 Wochen nach der Aussaat in einem absetzigen Verfahren Unkrautbonituren mittels H-Sensor zweimal wöchentlich durchgeführt, direkt ausgewertet und dann mit einer Rollhacke reguliert, sobald der gesetzte Unkrautdeckungsgrad erreicht wurde. In Summe wurden somit über einen Zeitraum von 6 Wochen insgesamt 13 Sensormessungen und Regulierungsmaßnahmen durchgeführt. Für die Durchführung der Hackmaßnahmen wurde von der Firma APV eine Rollhacke angefertigt und bereitgestellt (Rollhacke APV RH 150 M1). Hierbei handelte es sich um eine Sonderanfertigung für das Versuchswesen. Sie wurde im Dreipunktbau des Traktors montiert. Auf der Arbeitsbreite von 1,50 m befanden sich 12 Sternhackringe,

wodurch sich eine zu bearbeitende Breite von 12,5 cm pro Hackring ergab. In Variante 1 erfolgte neben der Sensormessung keine Unkrautregulierung, da diese ausschließlich zur Kontrolle genutzt wurde, um nachvollziehen zu können, welcher bodentypische Unkrautdruck auf der Versuchsfläche vorhanden ist. Wurde in der Variante 2 der Unkrautdeckungsgrad von 0,25 % überschritten, so fand eine mechanische Bearbeitung mit der Rollhacke statt. Dasselbe erfolgte in der Variante 3 bei 0,5 %, in der Variante 4 bei 1,0 % und in der Variante 5 bei 1,5 %. Eine Hackmaßnahme erfolgte nach jeder Messung in der Variante 6, in welcher möglichst kein Unkraut wachsen sollte. Diese Variante sollte derer aus dem Vorjahr gleichgestellt werden, indem zuvor ein Herbizid ausgebracht wurde.

Technischer Umbau und Softwareentwicklung 2020

Im Versuchsjahr 2020 wurden auf dem ökologischen Versuchsbetrieb Waldhof der Hochschule Osnabrück Testparzellen auf dem Schlag Sudendey angelegt, in denen die Koppelung zwischen Sensor und Rollstriegelelement getestet werden konnte. In enger Absprache mit den Ingenieuren der Firma APV Technische Produkte wurde zu Jahresbeginn 2020 die vorhandene Rollhacke RH 150 M1 dahingehend umgebaut, dass diese elektrisch angesteuert werden kann und mit Hilfe einer verbauten Hydraulik ein Schnellaushub zum Ein- und Aussetzen der Rollstriegelelemente realisiert wird. In Abbildung 3 ist schematisch ein Schnellaushubmechanismus zu sehen, der bis zu einer Aushubhöhe von 320 mm automatisch die Anbauwerkzeuge im Feld aus dem Boden nehmen kann. Die Tasträder der Maschine bleiben dabei vollständig auf der Fläche. Die Ansteuerung erfolgt rein elektrisch, ohne dass der Schlepperfahrer eingreifen muss.

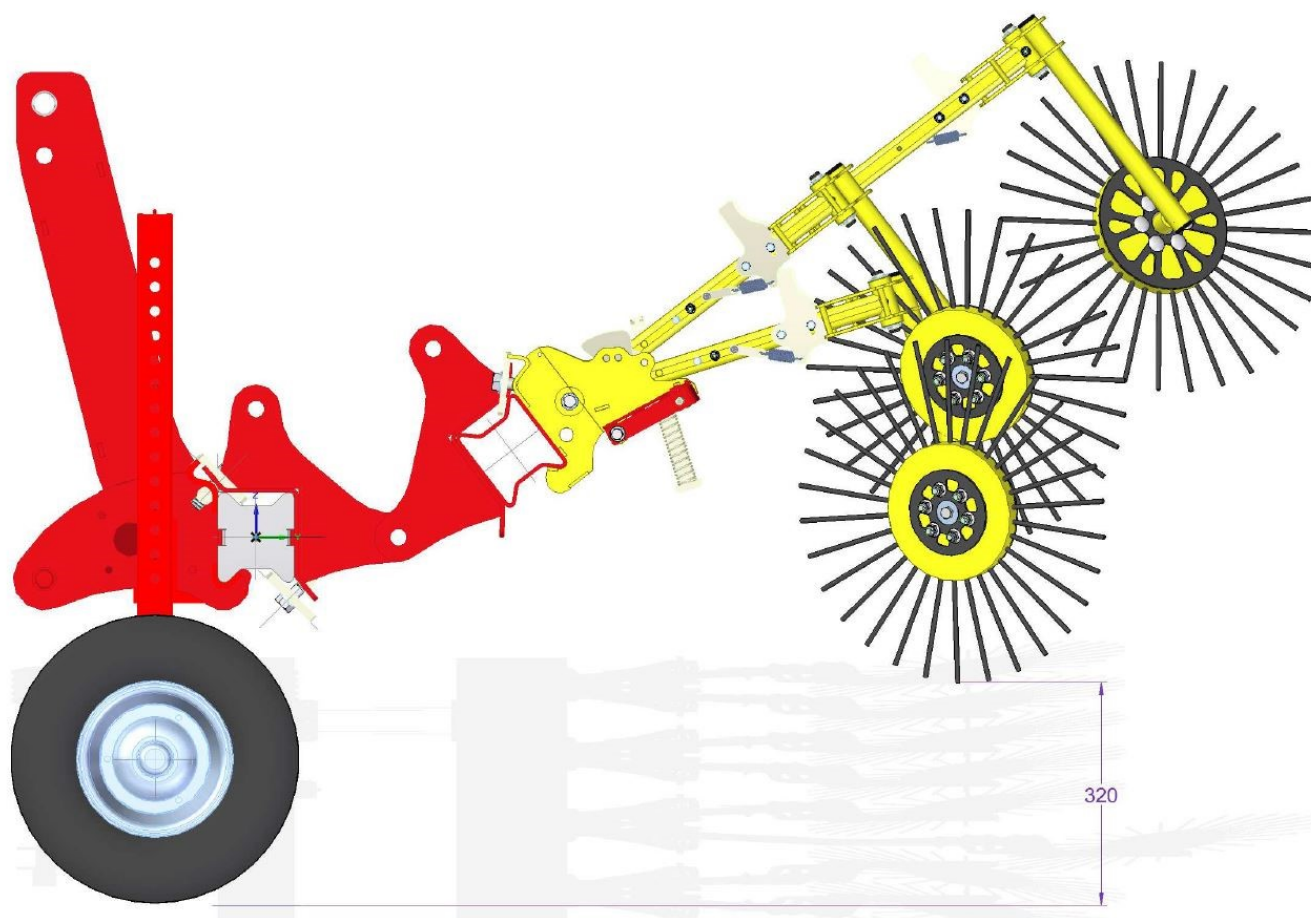


Abbildung 3: Darstellung eines Schnellaushubmechanismus

Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, wurde im Rahmen des Umbaus ein zusätzlicher Metallrahmen mit daran angebrachten Rollstriegelementen montiert. Dieser zusätzliche Metallrahmen wird durch zwei Hydraulikstempel in einen abgesenkten bzw. ausgehobenen Arbeitszustand gebracht. Die Ansteuerung der Hydraulikstempel erfolgt mittels elektrischem Signal und Magnetventilen. Die Ein- und Aushubgeschwindigkeit ist von der Leistungsfähigkeit der Schlepperhydraulik abhängig. In der getesteten Variante auf dem Versuchsbetrieb Waldhof der Hochschule Osnabrück war die Leistungsfähigkeit der Schlepperhydraulik so hoch, dass eine Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h während der Messung erreicht werden konnte. Dabei ist die entwickelte Technik in der Lage, die Empfehlung der Arbeitsgeschwindigkeit des Herstellers zu erreichen. Um das Sensorsignal in ein Steuersignal umzuwandeln, wurde speziell für diese Anforderung eine Verarbeitungssoftware entwickelt, die es ermöglicht, in Echtzeit während der Fahrt (Fahrgeschwindigkeit von ca. 6 km/h) den Schnellhubmechanismus des Striegels anzusteuern und diesen teilflächenspezifisch ein- und aussetzen zu lassen. Um diese Verarbeitungssoftware dahingehend zu entwickeln, wurde der vorhandene H-Sensor in Betrieb genommen und das vorhandene System modifiziert. Im Folgenden konnte die Sensorkommunikation aufgezeichnet, nachgebildet und analysiert werden. Durch die Transkription der Sensordaten wurden diese extern auf spezieller IT (Raspberry Pi) nachgebildet und mittels Modulsoftware ausgewertet. Neben weiteren Modifikationen, die es ermöglichten, die Schadschwelle beispielsweise variabel einzusetzen, konnten nun auch gleitende Mittelwerte errechnet werden, damit die Ansteuerung an den Striegel auch technisch umsetzbar war. Hierfür wurden mindestens 20 Einzelmesswerte gemittelt, bevor überhaupt ein Signal erstellt werden konnten. Das war notwendig, damit der Rollstriegel nicht permanent zwischen Ein- und Aussetzen wechselte. Bei der mechanischen Beikrautregulierung kann speziell kein Bezug auf ein- oder zweikeimblättrige Beikräuter genommen werden, weil diese mit der vorhandenen Technik nicht separat reguliert werden können. Neben vieler weiterer Softwareeinstellungen konnten somit die Sensormesswerte als Ansteuerung der Aktorik umgewandelt werden. Diese gekoppelte Technik zwischen Sensor und Rollstriegel konnte erstmals im Feld als Prototyp eingesetzt werden. Im weiteren Jahresverlauf wurden bei einer Vielzahl von Feldmessungen und Tests permanent Optimierungen durchgeführt sowie Einstellparameter erweitert.

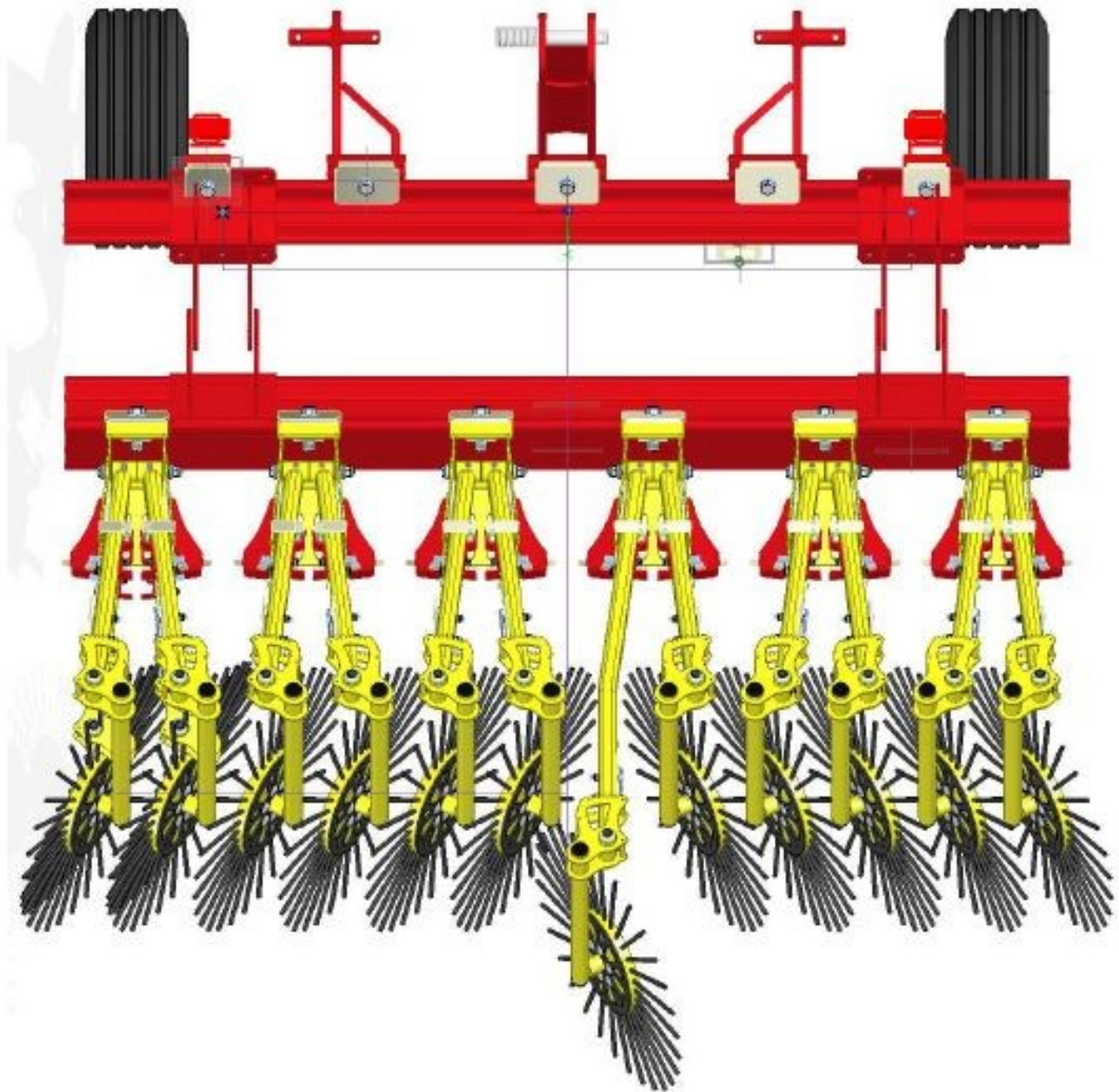


Abbildung 4: Darstellung eines doppelten Hackrahmens inkl. Drehpunkt

4 Ergebnisse

4.1.1 LfULG

4.1.2 2018

In den Abbildungen 5-10 werden die unterschiedlichen Standorte hinsichtlich N_{\min} Gehalt [kg/ha] von 0-30, 30-60, 60-90 cm dargestellt. Dabei wird differenziert zwischen „ohne Zwischenfrucht“, „mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse“, „mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer“ sowie „ohne Unkrautregulierung“, „mechanische Unkrautregulierung“ und „chemische Unkrautregulierung“. Abbildung 5 und 6 zeigen den N_{\min} Gehalt [kg N/ha] in Mulchsaat zu 4 Zeitpunkten in Ackerbohne und Futtererbse am Standort in Starbach (A1), die Abbildung 7 in Direktsaat zu 4 Zeitpunkten in Ackerbohne und Abbildung 4 in Mulchsaat zu 4 Zeitpunkten in Ackerbohne am Standort Kleinwaltersdorf. Die Abbildungen 9 und 10 zeigen Direktsaat und Mulchsaat zu 4 Zeitpunkten in Ackerbohne am Standort Naundorf. In keiner Parzelle wurde Stickstoff in den Unterboden (unterhalb 60 cm) verlagert. Darüber hinaus wird ersichtlich, dass alle Standorte bei der ersten Beprobung (1ter Termin) ein geringes Maß an N_{\min} -Heterogenität im Boden unterhalb von 30 cm aufweisen

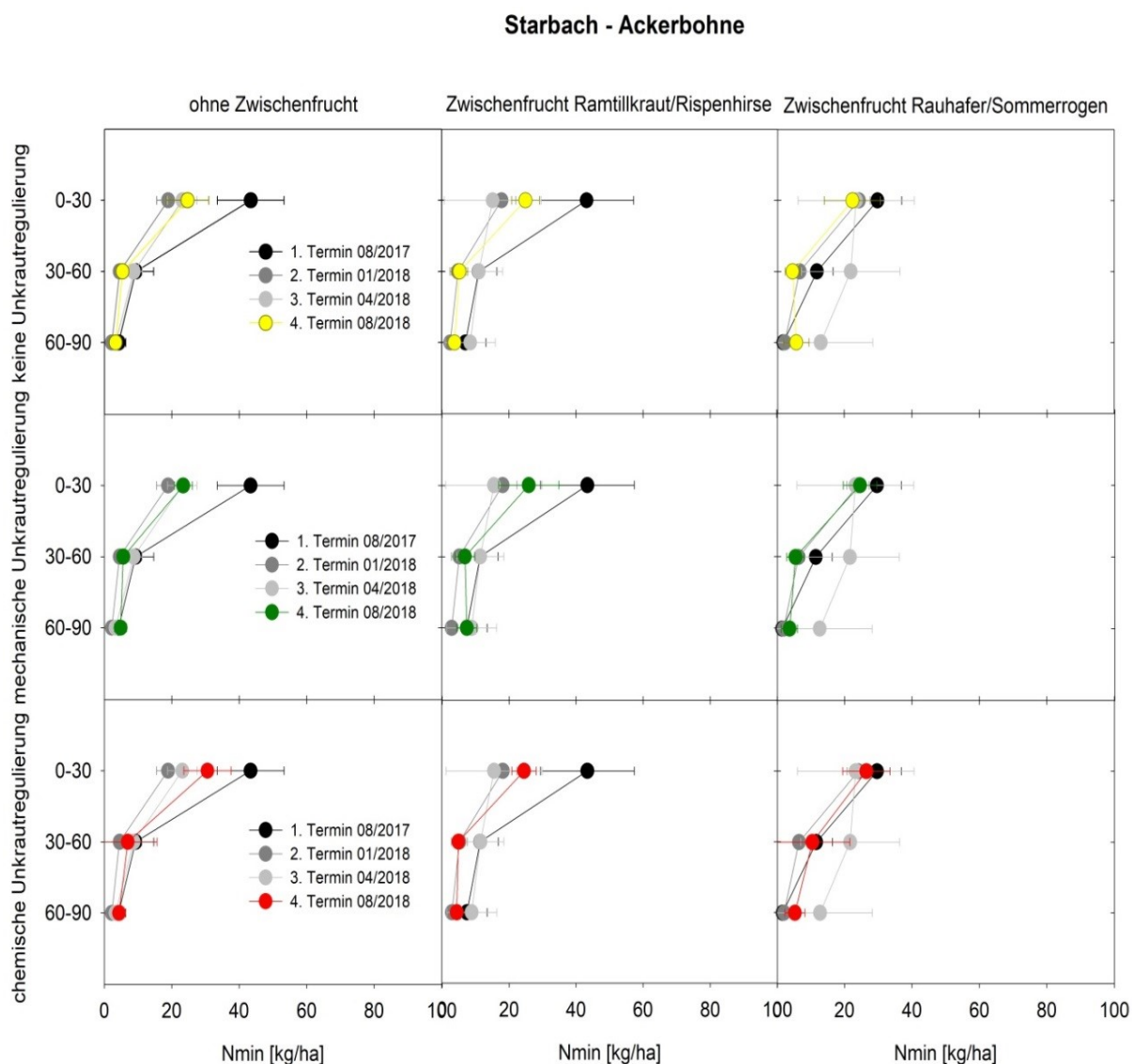


Abbildung 5: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Starbach-Ackerbohne

Die größte Dynamik wurde im Oberboden (0-30 cm) gemessen. Als sehr variabel zeigt sich der N_{min} -Ausgangswert im Oberboden auf den unterschiedlichen Standorten. Am Standort A2 wurde vor Versuchsanlage über längere Zeiträume Gülle ausgebracht, Anfang des Jahres 2017 letztmalig. Daraus resultieren relativ hohe N_{min} -Ausgangswerte mit dementsprechender Heterogenität. Ein signifikanter Einfluss der Zwischenfrüchte im Vergleich ohne Zwischenfrucht auf den N_{min} Gehalt konnte zu den unterschiedlichen Zeitpunkten der Beprobung nicht gezeigt werden. Dafür verantwortlich kann der mächtige Biomassezuwachs von der aufgelaufenen Ausfallgerste in der Variante „ohne Zwischenfrucht“ in den beiden konventionellen Betrieben sein.

Starbach - Erbse

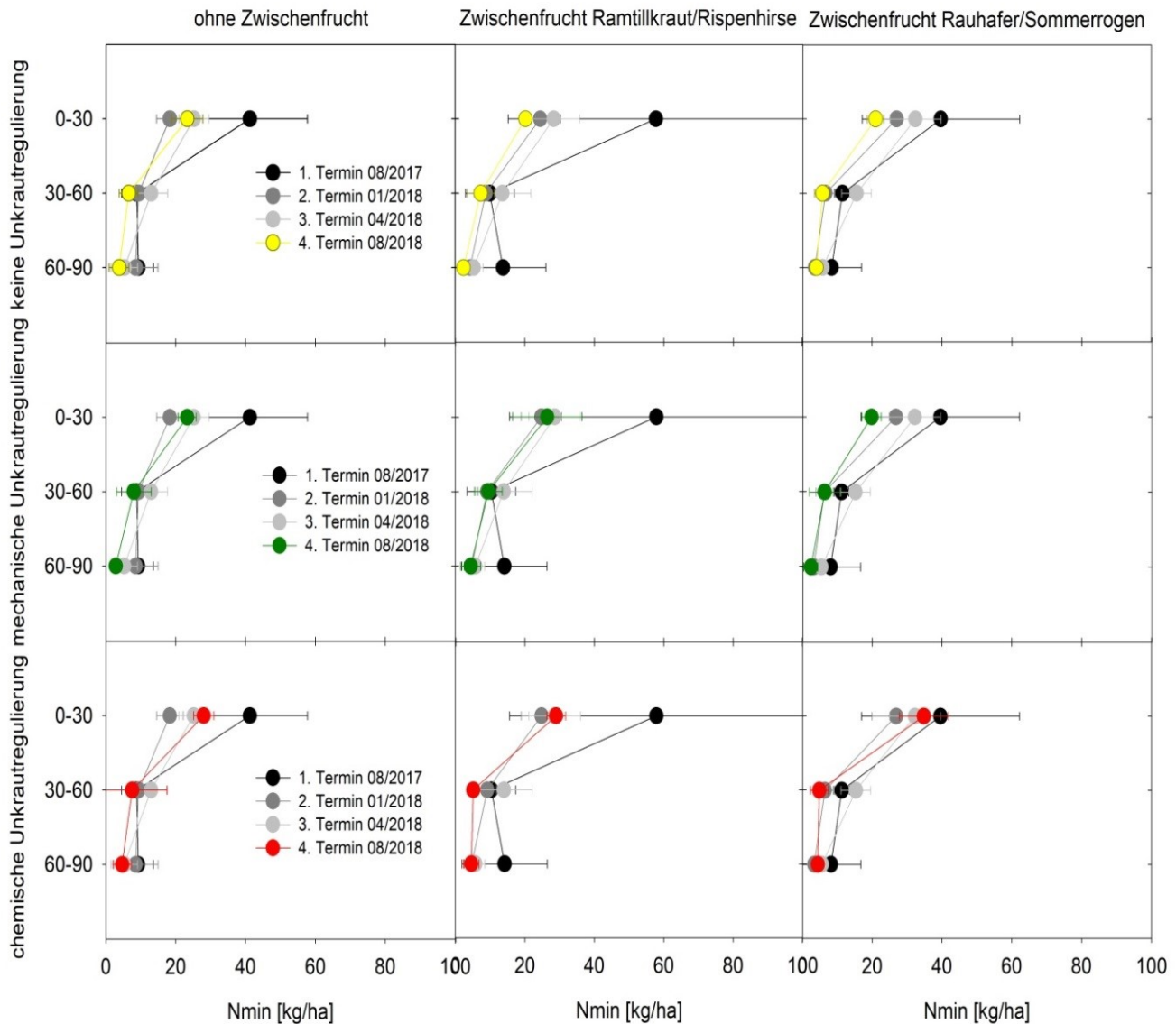


Abbildung 6: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Starbach-Futtererbse

In Abbildung 5 und 6 wird gezeigt, dass die Szenarien ohne Zwischenfrucht und mit der Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse deutliche Unterschiede im N_{min} -Gehalt im Oberboden (0-30cm) aufweisen. Das Versuchsglied ohne Unkrautregulierung zeigt die deutlichsten Effekte hinsichtlich N_{min} -Reduktion. Die durchschnittliche N_{min} Reduktion im Oberboden von Starbach beträgt ca. 25 kg N/ha von Termin 1 zu Termin 3, wobei keine Auswaschungsprozesse mitberücksichtigt werden konnten.

Auf dem Standort Kleinwaltersdorf (Abbildungen 7 und 8) zeigen sich ebenfalls die deutlichsten Effekte auf N_{\min} im Oberboden. Dabei wird der Effekt nur innerhalb der Szenarien ohne Zwischenfrucht und Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse für Mulchsaat und Direktsaat deutlich. Es konnten keine Unterschiede im N_{\min} zwischen Direktsaat und Mulchsaat nachgewiesen werden.

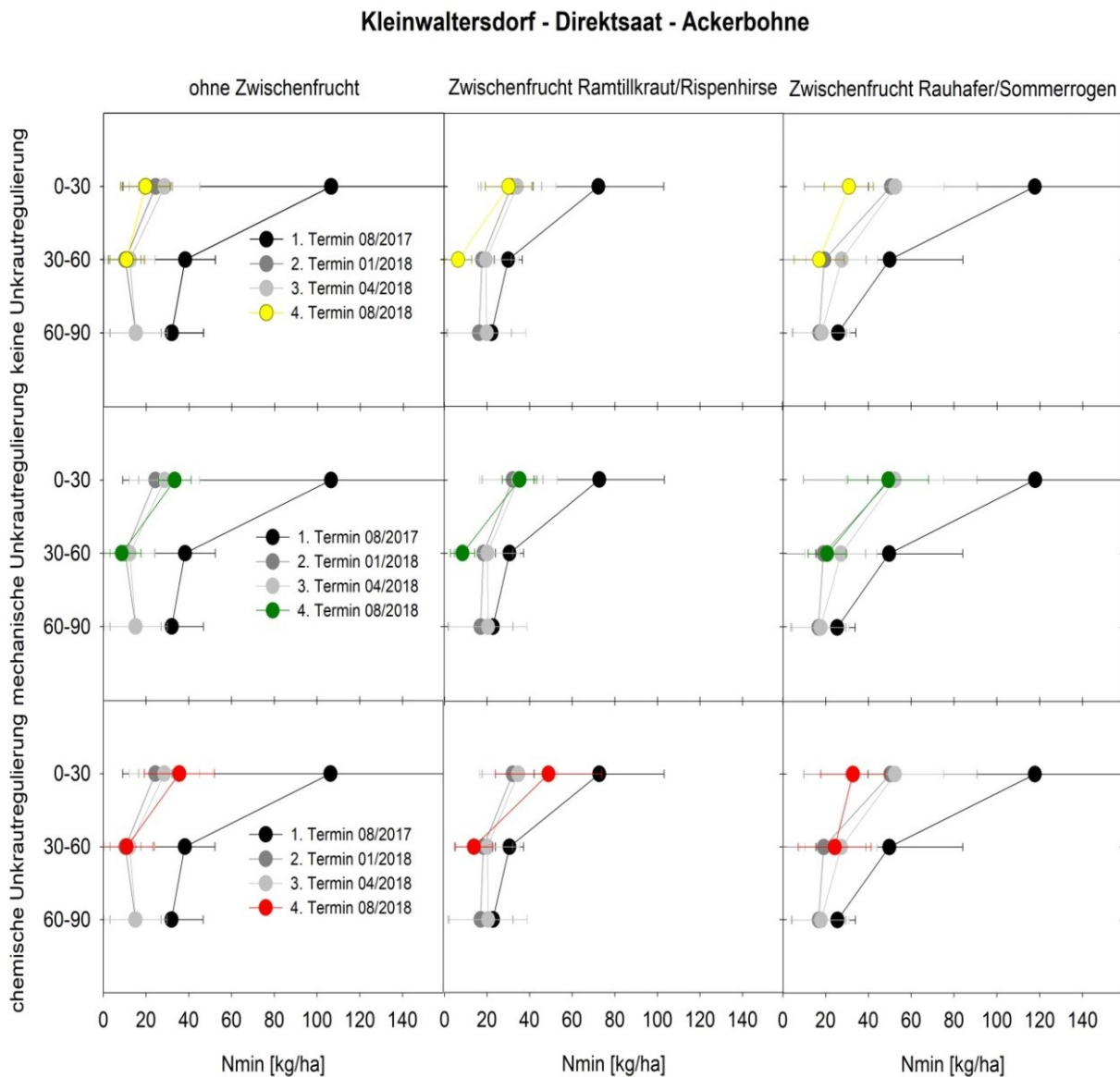


Abbildung 7: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat

Das Versuchsglied ohne Unkrautregulierung weist in jedem Szenario die niedrigste Stickstoffmineralisierung auf. Die durchschnittliche N_{\min} Reduktion im Oberboden von Termin 1 zu 3 auf A2 beträgt > 50 kg N/ha, wobei keine Auswaschungsprozesse mitberücksichtigt werden konnten. Die stärkere N_{\min} -Reduktion ist auf die höheren Ausgangswerte zurückzuführen. An dem ökologisch bewirtschafteten Standort Naundorf zeigt sich ein umgekehrtes Muster bezüglich der Stickstoffmineralisierung. Speziell in Abbildung 9 und Abbildung 10 wurde ein Anstieg von N_{\min} in der Direktsaat entlang der Beprobungstermine nachgewiesen. Dies kann auf die Fixierungsleistung der Leguminosen zurück zu führen sein, da die N_{\min} -Startwerte unter 15 kg N/ha lagen. VOISIN et al. (2002) zeigen, wenn der N-Gehalt in 0-40 cm Tiefe unter den Schwellenwert von < 15 kg N/ha fällt, dass eine intensive symbiotische N_2 -Fixierung durch Leguminosen stattfindet.

Kleinwaltersdorf - Mulchsaat - Ackerbohne

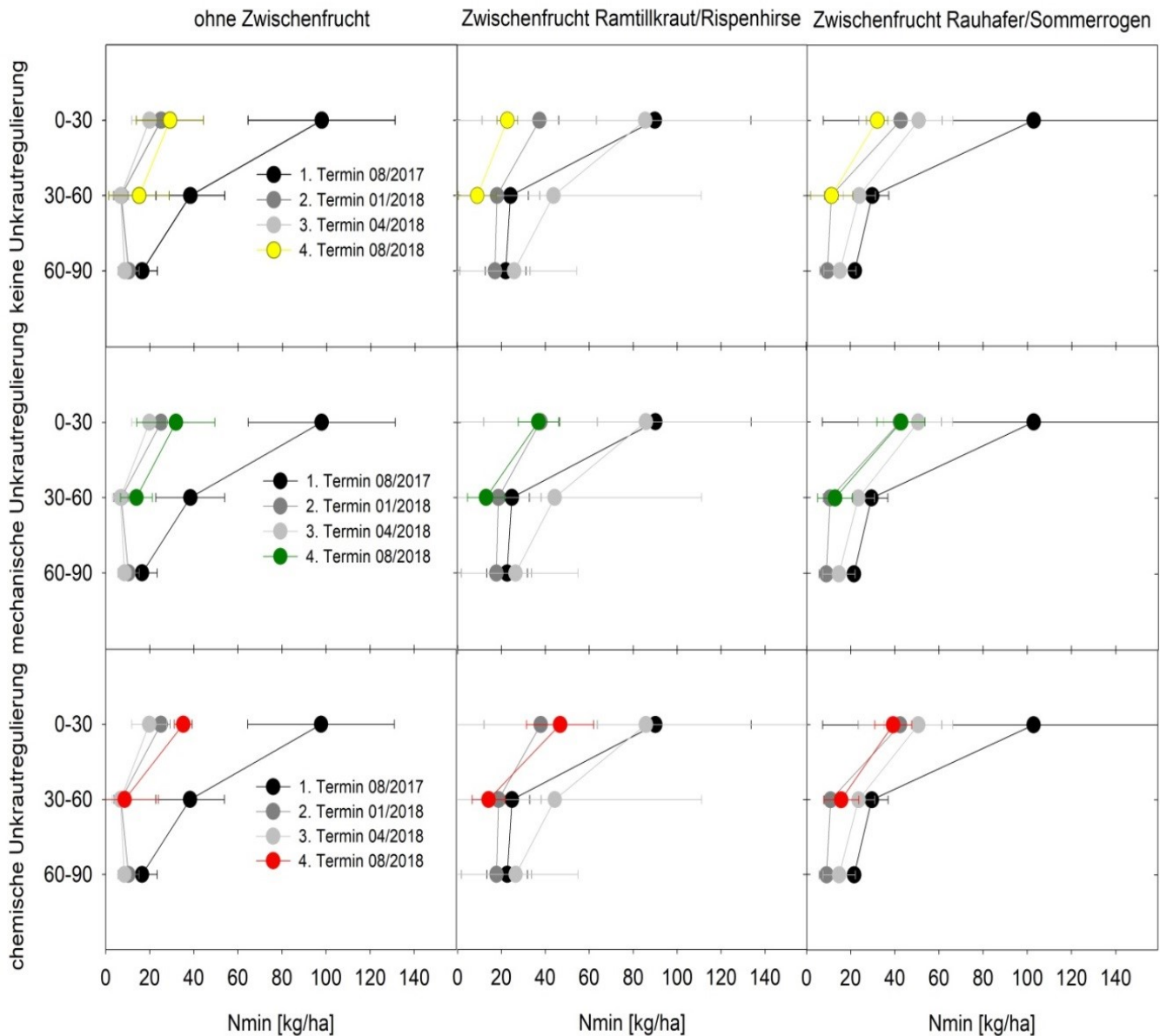


Abbildung 8: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat

Weiterhin zeigt die Abbildung 11 für ausgewählte Parameter die Homogenität innerhalb der Standorte. Es gibt keine signifikanten Unterschiede innerhalb der randomisierten Parzellen hinsichtlich pH-Wert oder C:N-Verhältnis. Hingegen zeigt sich beim Vergleich der Standorte untereinander ein Maß an Varianz. Dabei variieren in den abgebildeten Parametern der pH-Wert und das C:N-Verhältnis im Boden. So weist der ökologisch bewirtschaftete Standort Naundorf aufgrund sehr geringer Stickstoffkonzentrationen im Oberboden das höchste C:N-Verhältnis auf. Die geringe Stickstoffkonzentration am Standort Naundorf resultiert aus dem Verzicht auf mineralische N-Düngung. Der höchste pH-Wert wurde am Standort A1 gemessen, dieser Löß-Standort weist die besseren Bodeneigenschaften auf.

Naundorf - Direktsaat - Ackerbohne

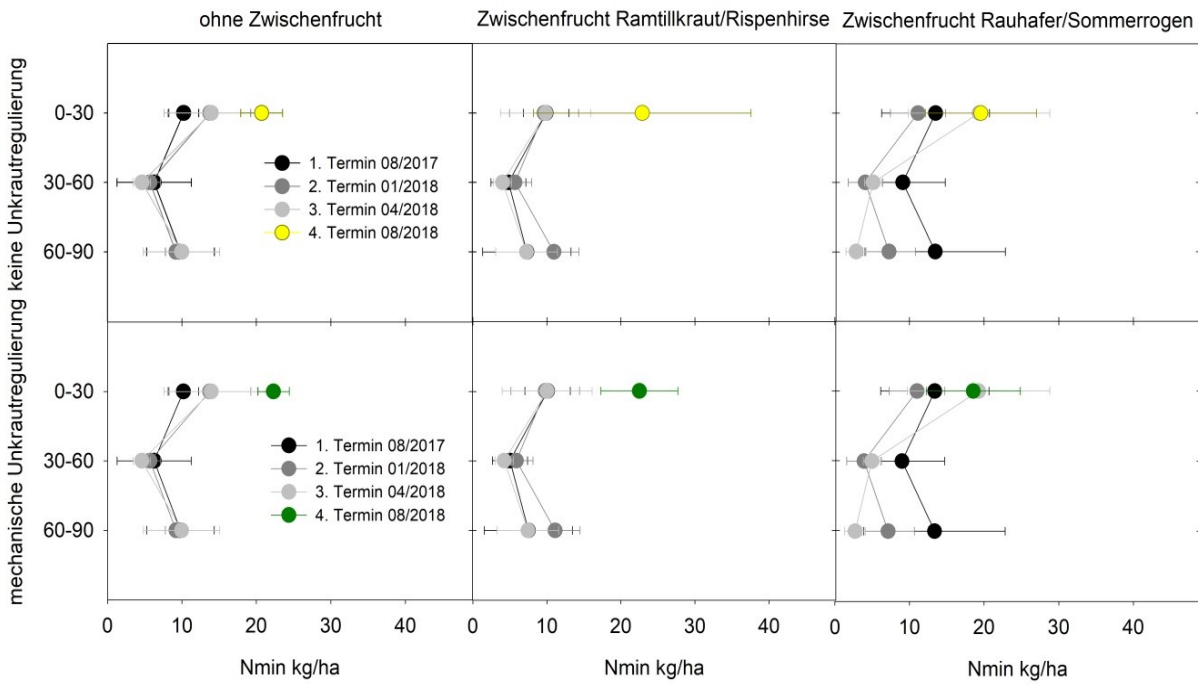


Abbildung 9: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne (A3) in Mulchsaat; * witterungsbedingt wurde zum 4ten Termin nur der Oberboden beprobt ** das chemische Vergleichsglied entfällt auf dem ökologisch bewirtschafteten Standort

Naundorf - Mulchsaat - Ackerbohne

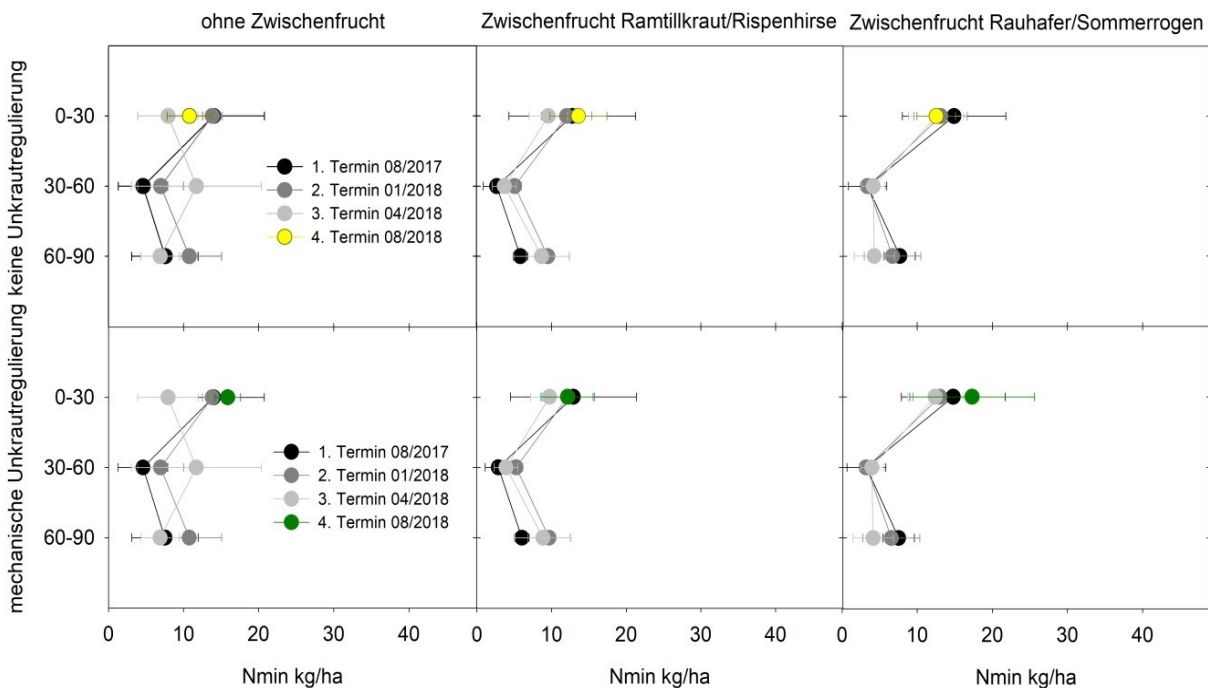


Abbildung 10: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 4 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne (A3) in Mulchsaat; * witterungsbedingt wurde zum 4ten Termin nur der Oberboden beprobt ** das chemische Vergleichsglied entfällt auf dem ökologisch bewirtschafteten Standort

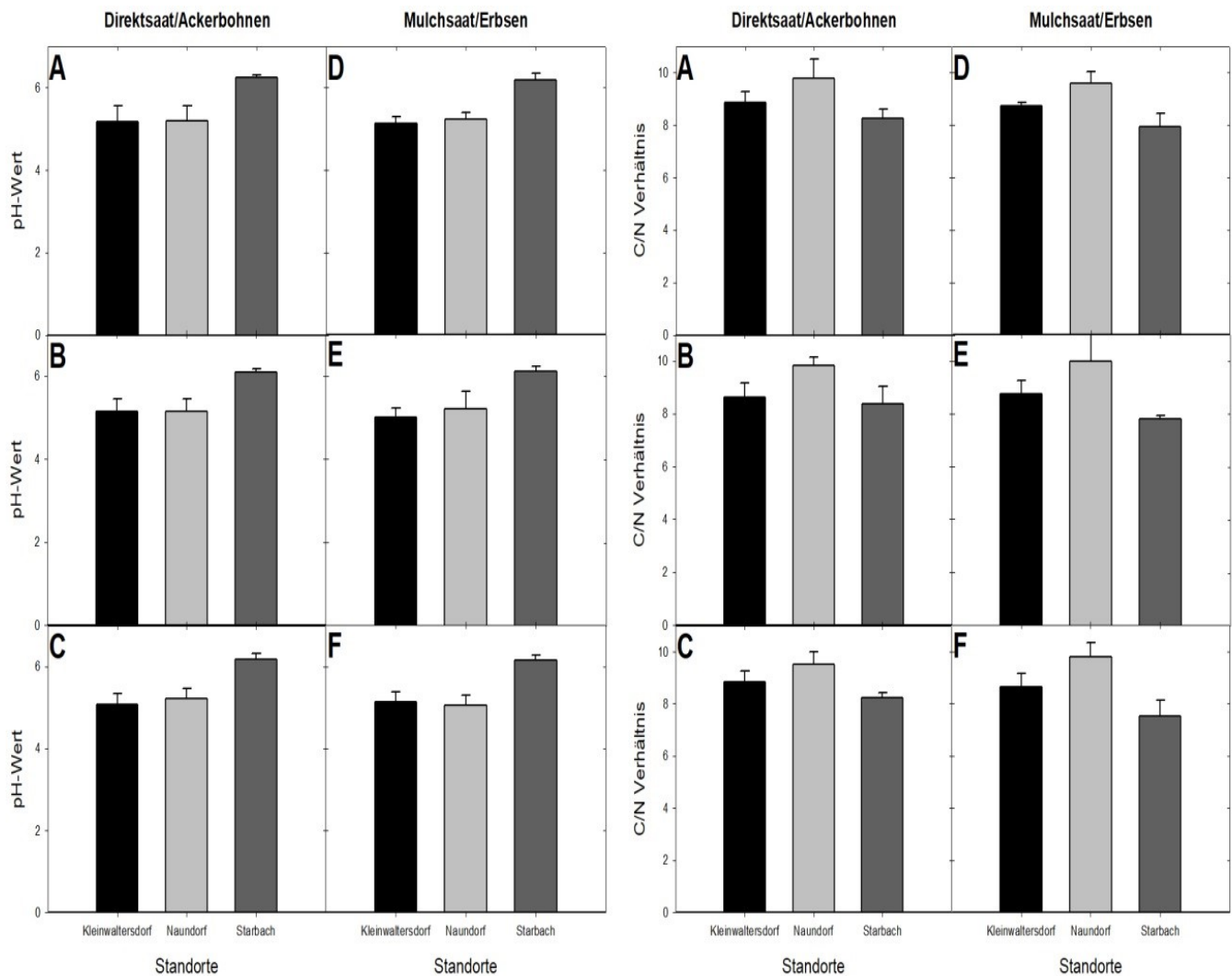


Abbildung 11: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefe an den Standorten 2018 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefe an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenghirse; C und F mit Zwischenfrucht Rauhafer/Sommerroggen

Des Weiteren wird in Abbildung 11: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefe an den Standorten 2018 sowie das C:N-Verhältnis

in 0-30 cm Bodentiefe an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenghirse; C und F mit Zwischenfrucht Rauhafer/Sommerroggen das C:N-Verhältnis im Boden dargestellt.

Die Etablierung des Unkrautes in diesen Behandlungen lässt darauf schließen, dass genügend Stickstoff im Oberboden vorhanden ist. Die Zwischenfrucht konnte keine ausreichende unkrautunterdrückende Wirkung erzielen. Dennoch konnte sich am Standort Starbach die ZF sehr gut entwickeln und ein C:N-Verhältnis > 25 entwickeln (Abbildung 12). Das Mulchmaterial konnte somit auch ein noch weiteres C:N-Verhältnis entwickeln und dadurch langfristig N in der Mulchbiomasse festlegen, was dem Unkraut im Frühjahr nicht zur Verfügung steht. Das begründet sich zum einen durch hohe N_{min} -Ausgangswerte (siehe Abbildung 5 – 8) sowie durch einen ungünstigen Aussaatzeitpunkt der Zwischenfrucht. An den Standorten Starbach und Kleinwaltersdorf betrug der Trockenmasseertrag des Zwischenfruchtgemenges Ramtillkraut/Rispenghirse ca. 1 – 1.5 t/ha. Der Trockenmasseertrag des Zwischenfruchtgemenges Rauhafer/Sommerroggen betrug

1.9 – 3.1 t/ha in Starbach (A1) und 2.4 – 4 t/ha am Standort Kleinwaltersdorf (A2). Am ökologischen Standort Naundorf (A3) ergab sich für jedes Zwischenfruchtgemenge ein Trockenmasseertrag von etwa 0.5 t/ha.

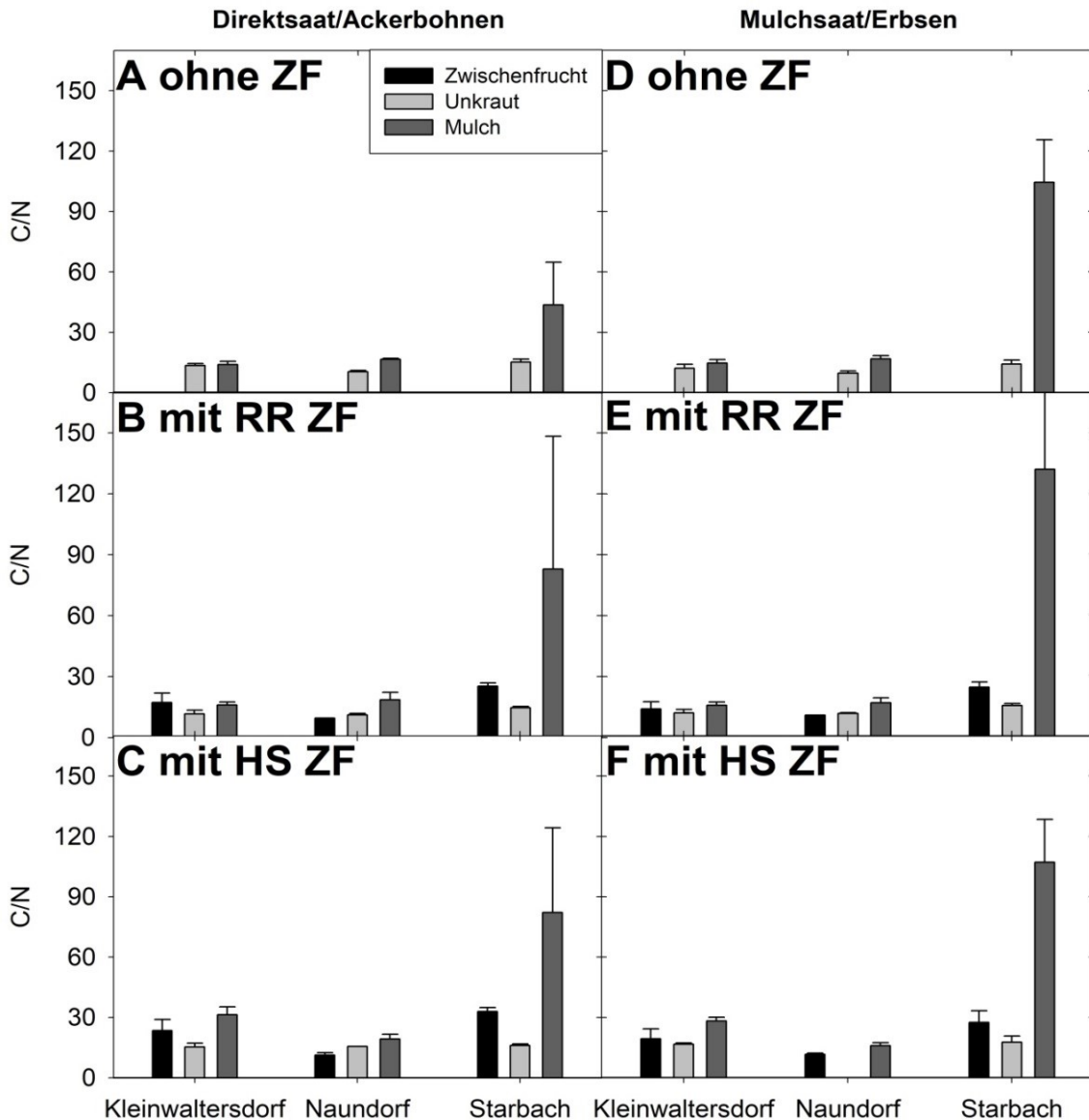


Abbildung 12: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenshirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer

Auf den Flächen Starbach und Kleinwaltersdorf (Aussaat Juli nach Vorfrucht Wintergerste) erfolgte eine wesentlich frühere Aussaat der Zwischenfrucht als in Naundorf (Aussaat August nach Vorfrucht Wintertriticale und Strohbergung siehe Abbildung 12). Dadurch kann auch das wesentlich engere C:N-Verhältnis im somit jüngeren Aufwuchs und im Mulch in Naundorf erklärt werden. Auf den Standorten Kleinwaltersdorf und Starbach konnte die Zwischenfrucht länger wachsen und somit sowohl mehr Stickstoff binden als auch ein größeres C:N-Verhältnis aufbauen. Dennoch werden auch auf diesen Standorten deutliche Unterschiede hinsichtlich N-Fixierung aufgezeigt. Der größte Unterschied zeigt sich im C:N-Verhältnis im Mulch. In Kleinwaltersdorf zeigte die ZF HS die deutlichere Wirkung hinsichtlich Stickstoffimmobilisierung als die ZF RR. Hingegen waren auf dem Standort Starbach die größeren Effekte der Stickstoffimmobilisierung in der ZF RR zu sehen (Abbildung 12). Weiterhin wird ersichtlich, dass am Standort Naundorf in der Mulchsaat bei Etablie-

zung der Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer kein Unkraut zum Erntezeitpunkt vorhanden war. Alle anderen Standorte und Behandlungen weisen hingegen eine Verunkrautung auf.

Der Erbsenertrag in Starbach zeigte deutliche Unterschiede in den Behandlungen ohne Zwischenfrüchte (s. Tabelle 5). Ein Unterschied besteht in der mechanischen Unkrautregulierung und ohne Unkrautregulierung zum chemischen Unkrautbekämpfungsansatz. So wurde in der chemischen Unkrautregulierung ohne Zwischenfrüchte der höchste Kornertrag an Erbsen erzielt. Der Bohnenertrag in Starbach entwickelte sich gegenläufig. Der höchste Kornertrag von Ackerbohne in Starbach wurde mit mechanischer Unkrautbekämpfung mit ZF HS erfasst. Alleine die Verwendung von Zwischenfrüchten ergab jedoch keinen signifikanten Effekt im Trockenmasseertrag bei Futtererbse und Ackerbohne in Starbach. Der Ertrag von Ackerbohne in Kleinwaltersdorf zeigte starke Effekte in ZF HS im Vergleich zu ZF RR und ohne ZF (siehe Tabelle 5). Es existiert kein klarer Trend zwischen den verschiedenen Unkrautregulierungsmethoden und der Verwendung von Zwischenfrüchten. So war die Bohnenernte in der chemischen Unkrautbekämpfung jeweils nicht höher als in der mechanischen Unkrautbekämpfung. Dennoch wurde in Kleinwaltersdorf der höchste Kornertrag in MS und DS in der chemischen Unkrautregulierung unter Verwendung von ZF HS gemessen. Auf dem ökologischen Standort Naundorf wurden keine deutlichen Ertragseffekte erzielt. Darüber hinaus war offensichtlich kein eindeutiger Ertragstrend zwischen den verschiedenen Unkrautregulierungsmethoden sowie den verschiedenen Zwischenfruchtmischungen erkennbar.

Die Unkrauternte wurde zeitgleich mit der Haupternte durchgeführt. In Starbach bewirkte die chemische Unkrautbekämpfung die niedrigste Unkrautbiomasseproduktion, unabhängig vom Zwischenfruchtszenario, verglichen mit der mechanischen und ohne Unkrautbekämpfung (Tabelle 6). Die Unkrautbiomasse von Ackerbohne in Starbach zeigt den gleichen Trend. Ein deutlicher Unterschied wurde zwischen ohne Unkrautbekämpfung und chemischer Unkrautbekämpfung in Starbach festgestellt. Es gab jedoch keinen Effekt in der Unkrauttrockenbiomasse in Futtererbse und Ackerbohne in Starbach durch den Einsatz von Zwischenfrüchten (siehe Tabelle 6). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in Starbach der Unkrautbesatz in Futtererbse in jeder Behandlung höher war als bei Ackerbohne. Die Unkrautbiomasse von Ackerbohne in Kleinwaltersdorf in der Direktsaat zeigte einen deutlichen Unterschied in jeder Unkrautregulierungsmethode der ZF HS zur ZF RR und ohne ZF. In MS war nur die Wirkung der ZF RR und ohne ZF zu ZF HS innerhalb der chemischen Unkrautbekämpfung, sowie bei ZF HS in mechanischer Unkrautbekämpfung und ZF HS ohne Unkrautbekämpfung zur ZF HS bei chemischer Unkrautbekämpfung nachweisbar. In Kleinwaltersdorf war ein Trend zwischen den beiden Aussaatetechniken erkennbar. DS zeigte immer eine höhere Unkrautbiomasse in jeder ZF-Variante und jeder Unkrautregulierungsmethode im Vergleich zur MS (s. Tabelle 6).

In Naundorf wurden keine Effekte in der Unkrautbiomasseproduktion gemessen und es war kein eindeutiger Trend bei der Unkrautbiomasse in den verschiedenen Aussaatetechniken (MS und DS) erkennbar.

Tabelle 5: Kornertrag 2018 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	4.40 ± 0.75	3.48 ± 1.21	n.a.	n.a.	4.48 ± 1.23	2.61 ± 0.58	n.a.	n.a.	4.94 ± 1.56	2.86 ± 1.40	n.a.	n.a.
mechanisch	3.70 ± 0.53	4.18 ± 1.36	n.a.	n.a.	3.90 ± 0.83	3.30 ± 0.46	n.a.	n.a.	4.06 ± 1.97	4.21 ± 0.56	n.a.	n.a.
chemisch	5.97 ± 0.77	3.15 ± 0.82	n.a.	n.a.	5.26 ± 1.21	3.19 ± 0.65	n.a.	n.a.	5.19 ± 0.48	3.48 ± 1.19	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	n.a.	0.69 ± 0.21	n.a.	0.68 ± 0.21	n.a.	1.33 ± 0.58	n.a.	0.99 ± 0.30	n.a.	1.26 ± 0.60	n.a.	1.99 ± 0.21
mechanisch	n.a.	1.80 ± 0.28	n.a.	0.70 ± 0.11	n.a.	1.72 ± 0.81	n.a.	1.10 ± 0.28	n.a.	1.99 ± 0.42	n.a.	2.06 ± 0.84
chemisch	n.a.	1.73 ± 0.45	n.a.	1.30 ± 0.50	n.a.	2.26 ± 0.48	n.a.	1.59 ± 1.03	n.a.	2.59 ± 0.49	n.a.	3.20 ± 1.11
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	n.a.	0.60 ± 0.40	n.a.	0.72 ± 0.37	n.a.	0.40 ± 0.27	n.a.	0.78 ± 0.55	n.a.	0.30 ± 0.14	n.a.	0.73 ± 0.48
mechanisch	n.a.	0.92 ± 0.79	n.a.	0.34 ± 0.34	n.a.	0.56 ± 0.29	n.a.	0.27 ± 0.23	n.a.	0.60 ± 0.51	n.a.	0.31 ± 0.16
chemisch	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Tabelle 6: Unkrautbiomasse 2018 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/ Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
A1												
ohne	1.33 ± 0.59	0.91 ± 0.62	n.a.	n.a.	1.22 ± 0.26	1.20 ± 1.17	n.a.	n.a.	1.35 ± 0.44	1.27 ± 0.80	n.a.	n.a.
mechanisch	1.00 ± 0.26	0.67 ± 0.58	n.a.	n.a.	1.41 ± 0.45	0.83 ± 0.70	n.a.	n.a.	1.29 ± 0.44	0.89 ± 0.53	n.a.	n.a.
chemisch	0.37 ± 0.34	0.18 ± 0.14	n.a.	n.a.	0.36 ± 0.18	0.17 ± 0.18	n.a.	n.a.	0.22 ± 0.09	0.16 ± 0.26	n.a.	n.a.
A2												
ohne	n.a.	1.23 ± 0.42	n.a.	1.84 ± 0.25	n.a.	1.18 ± 0.42	n.a.	1.78 ± 0.42	n.a.	0.79 ± 0.11	n.a.	0.95 ± 0.37
mechanisch	n.a.	0.67 ± 0.47	n.a.	1.72 ± 0.29	n.a.	0.69 ± 0.26	n.a.	1.52 ± 0.39	n.a.	0.62 ± 0.20	n.a.	0.83 ± 0.22
chemisch	n.a.	0.77 ± 0.07	n.a.	1.05 ± 0.29	n.a.	0.52 ± 0.28	n.a.	0.98 ± 0.32	n.a.	0.22 ± 0.06	n.a.	0.42 ± 0.23
A3												
ohne	n.a.	1.64 ± 0.51	n.a.	1.08 ± 0.66	n.a.	1.59 ± 0.33	n.a.	0.97 ± 0.74	n.a.	1.30 ± 0.51	n.a.	0.97 ± 0.82
mechanisch	n.a.	1.74 ± 0.43	n.a.	1.53 ± 0.17	n.a.	1.77 ± 0.13	n.a.	1.44 ± 0.69	n.a.	1.11 ± 0.20	n.a.	1.33 ± 0.55
chemisch	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Der Unkrautdeckungsgrad wurde dreimal manuell abgeschätzt; es wird nur die letzte Bonitur herangezogen (siehe Abbildung 13). Abbildung 13 zeigt den Zusammenhang zwischen Kornertrag und (A) der manuell geernteten Unkrautbiomasse in den verschiedenen Zwischenfruchtbehandlungen und der verschiedenen Unkrautregulierungsmethodik bei der Ernte 2018 und (B) der manuell abgeschätzte Unkrautdeckungsgrad bei der letzten Bonitur am 18. Mai 2018 an jedem Standort.

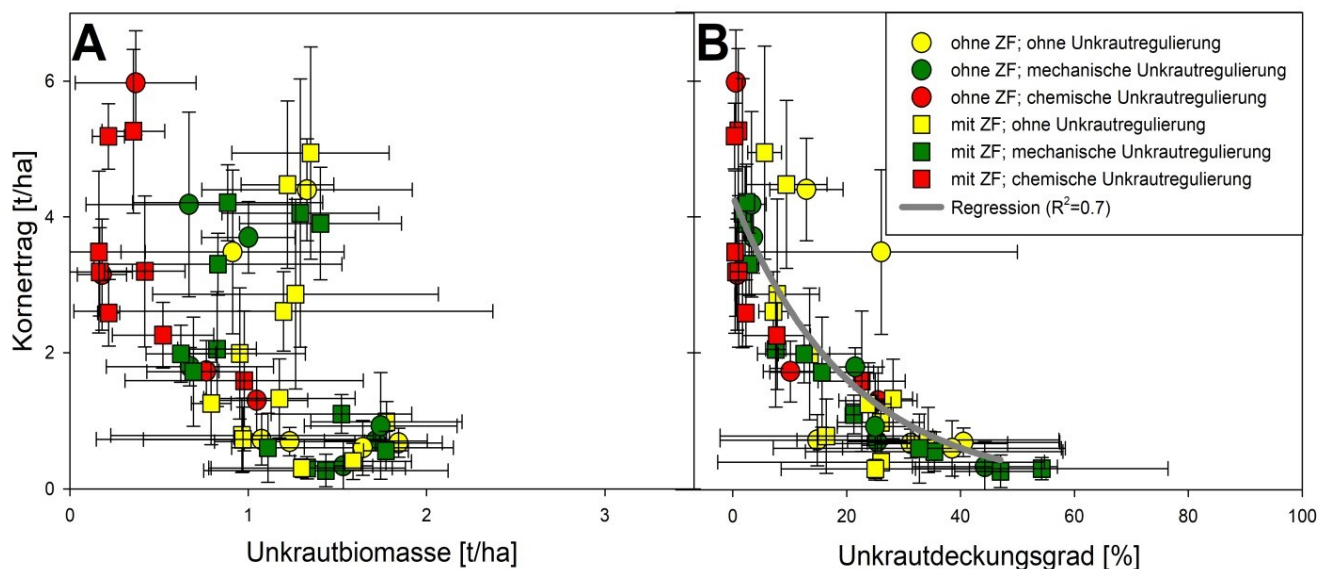


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2018 und (B) Unkrautdeckungsgrad [%]. Die angegebenen Daten sind Mittelwerte (n=4) für Arten (Ackerbohne und Futtererbse) in der Unkrautregulierung mit ZF und ohne ZF. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den Herbizideinsatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (B) wurde eine exponentielle Zerfallsfunktion an die Daten angepasst ($R^2=0.7$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=4.3023 \cdot \exp(-0.0488 \cdot x)$)

Abbildung 13A zeigt keinen klaren Zusammenhang zwischen Kornertrag und Unkrautbiomasse. Es ist auch kein signifikanter Unterschied zwischen chemischer und mechanischer Unkrautregulierung erkennbar. Die niedrigste Unkrautbiomasse und Unkrautdeckungsgrad sowie der höchste Kornertrag wurden jeweils in der chemischen Unkrautbekämpfung gemessen. In Abbildung 13B wurde eine Korrelation ($R^2=0.7$) zwischen Kornertrag und Unkrautabdeckung erkannt. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen chemischer und mechanischer Unkrautregulierung unter Einbezug aller Standorte.

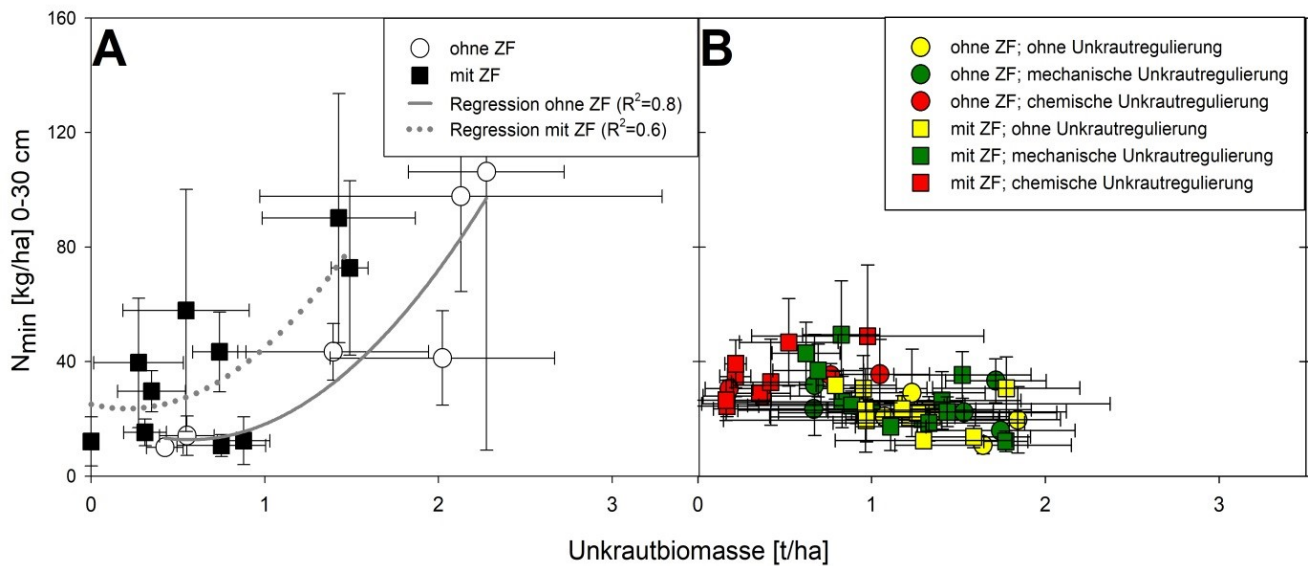


Abbildung 14: Beziehung zwischen (A) Oberboden N_{\min} -Veränderung im Zeitraum von 08/2017 auf 04/2018 und der atro Unkrautbiomasse zum 11/2017 und (B) Oberboden- N_{\min} zum 08/2017 und der atro Unkrautbiomasse zum 08/2018. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den Herbizideinsatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (A) wurde eine einzige exponentielle Wachstumsfunktion an die Daten angepasst (graue Linien).

Abbildung 14 zeigt den Zusammenhang zwischen der N_{\min} -Veränderung im Oberboden (0-30cm) und der Unkrautbiomasse bei der Verwendung von ZF. Um die N_{\min} -Veränderung im Oberboden und der damit abnehmenden Unkrautbiomasse durch die Verwendung von ZF als Hauptindikator verantwortlich zu machen, ist die Korrelation von $R^2=0.6$ zu schwach. Grundlegend sind die Standardabweichungen relativ hoch, da der langjährig mit Gülle gedüngte konventionelle Standort Kleinwaltersdorf eine hohe N-Mineralisation aufweist. In den Varianten ohne ZF ist die Korrelation eindeutiger ($R^2=0.8$; $P=0.02$). Darüber hinaus wird in Abbildung 14B gezeigt, dass es keine Korrelation zwischen N_{\min} im Oberboden und Unkrautbiomasse in Abhängigkeit von der ZF gibt. Die Unkrautbekämpfungsmethode überprägt die Wirkung der ZF auf N_{\min} und Unkrautbiomasse. Des Weiteren kann auch die N_2 -Fixierungsleistung der angebauten Leguminosen-Hauptfrucht einen großen Einfluss haben (in der Auswertung nicht berücksichtigt).

Die Abschätzung der Unkrautdeckungsgrade erfolgte durch die manuelle Aufnahme via „Göttinger-Schätzrahmen“ (siehe Tabelle 7) für alle Behandlungen. Bei Verwendung von ZF ist lediglich ein Trend der Unkrautdeckungsgradreduktion erkennbar, statistisch aber nicht abgesichert. Einige Unterschiede wurden zwischen den Unkrautregulierungsansätzen gefunden. So weisen Flächen ohne Unkrautregulierung immer den höchsten Unkrautdeckungsgrad auf. Auffällig durch eine sehr hohe Standardabweichung (SD) war die manuelle Erhebung am 18.05. 2018 in den Varianten ohne Unkrautregulierung.

Tabelle 7: Abschätzung manueller Unkrautdeckungsgrade [%] mit Standardabweichung (SD) für Ackerbohne in Starbach

Zeitpunkt	ZF	Unkrautregulierungsmethode ohne	SD ohne	mechanisch	SD mechanisch	chemisch	SD chemisch
23.04.2018	ohne	0.35	0.17	0.25	0.10	0.25	0.06
	RR	0.28	0.05	0.18	0.05	0.23	0.10
	HS	0.15	0.06	0.13	0.10	0.13	0.10
07.05.2018	ohne	3.95	2.75	0.28	0.10	1.10	0.73
	RR	1.10	1.00	0.25	0.03	0.48	0.41
	HS	1.23	0.25	0.21	0.00	0.10	0.00
18.05.2018	ohne	26.05	23.91	3.28	2.57	0.78	0.40
	RR	7.13	2.59	2.83	1.72	0.53	0.43
	HS	7.78	7.41	2.38	0.85	0.40	0.20

Tabelle 8: Abschätzung Unkrautdeckungsgrade [%] mittels H-Sensor mit Standardabweichung (SD) für Ackerbohne alle Behandlungen in Starbach

Zeitpunkt	ZF	Unkrautregulierungsmethode ohne	SD ohne	mechanisch	SD mechanisch	chemisch	SD chemisch
23.04.2018	ohne	0.39	0.02	0.35	0.13	0.32	0.10
	RR	0.30	0.14	0.27	0.06	0.32	0.02
	HS	0.21	0.07	0.18	0.06	0.18	0.04
07.05.2018	ohne	2.30	1.15	1.04	0.23	0.81	0.32
	RR	1.93	0.34	0.76	0.20	1.07	0.75
	HS	1.40	0.45	0.61	0.19	0.45	0.17
18.05.2018	ohne	1.68	0.22	1.60	0.51	1.81	0.98
	RR	2.19	0.64	1.52	0.30	0.84	0.26
	HS	2.11	0.62	1.21	0.44	0.70	0.20

Simultan erfolgte die digitale Erfassung mittels H-Sensor (siehe Tabelle 8). Auch hier zeigt sich der Trend, dass Flächen ohne Unkrautregulierung den höchsten Unkrautdeckungsgrad aufweisen. Die Unterschiede wurden überwiegend in Varianten ohne Unkrautregulierungsansatz gefunden. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der H-Sensor sich sehr gut eignet, den Unkrautdeckungsgrad im Anfangsentwicklungsstadium schnell und wesentlich präziser zu bestimmen, als es durch die manuelle Abschätzung möglich ist. Im späteren Entwicklungszyklus des Beikrautes kann der H-Sensor nur bedingt reliabel Ergebnisse liefern. Der in diesem Projekt eingesetzte Algorithmus der Kulturpflanzenerkennung basiert auf der Nutzpflanze Raps. Dadurch kann es zu einer fehlerhaften Ermittlung kommen, da z.B. der Deckungsgrad von Durchwuchsraps dann dem Deckungsgrad der Kulturpflanze angerechnet wird. Darüber hinaus wurden die gewonnenen Ertragsdaten mit den korrespondierenden Unkrautdeckungsgraden genutzt, um spezifische Grenzwerte abzuleiten, welche im Folgeversuch zur Anwendung kommen sollen.

4.1.3 2019

Im Untersuchungsjahr 2019 konnte der Zwischenfruchtanbau keine signifikante Reduktion des N_{\min} -Gehaltes im Vergleich zu ohne Zwischenfrucht erreichen. Dennoch zeigt sich die größte N_{\min} Dynamik im Oberboden (0-30 cm). Als besonders auffällig wurden die sehr geringen N_{\min} Ausgangswerte zum 1ten Termin – 07/2018 auf den Standorten Rhäsa (< 20 kg N/ha) und teilweise in Kleinwaltersdorf eingestuft (siehe Abb. 15 – 18). Hingegen zeigt der ökologisch bewirtschaftete Standort Naundorf ungewöhnlich hohe Ausgangswerte (> 50 kg/ha) (Abbildungen 19 und 20). Grundlegend wurden an diesem Standort die höchsten N_{\min} -Ausgangswerte im Oberboden nachgewiesen, was vermutlich auf einen späteren Beprobungszeitraum und auf ein intensives Niederschlagsereignis zurückzuführen ist (Abbildungen 19 und 20). Darüber hinaus konnte auf dem Standort Naundorf eine deutliche N_{\min} -Reduktion in der 2ten Beprobung festgestellt werden. Leider steht dieses Resultat zum Widerspruch zur Arbeitshypothese, da die ZF sich am Standort Naundorf nahezu nicht entwickeln konnte und somit zu keiner N_{\min} -Reduktion im Boden beitragen konnte. Somit könnte als Grund für die N_{\min} -Reduktion zum 2ten Termin, eine zu „zeitige“ Beprobung bzw. ein ungünstiger klimatischer Zeitpunkt, angenommen werden. Darüber hinaus kann aber auch die einsetzende Rotte der Getreidestoppeln zu einer deutlichen N_{\min} -Reduktion beigetragen haben. Weiterhin kann gezeigt werden, dass es zu leichten N-Verlagerungsprozesse in den Unterboden im Frühjahr kommt (2ter Termin – 03/2019).

Die Verlagerung kann nur bedingt begründet werden. Eine Annahme ist, dass sich die ZF sehr schlecht entwickelt hat und somit kaum N binden konnte und sich dieses in den Unterboden verlagert hat. Eine weitere Annahme begründet sich aus den „sehr trockenen“ Bodenverhältnissen, wodurch eine N-Mineralisierung unterbunden wurde und erst im Frühjahr durch etwas Wasser im System initial beginnen konnte. Möglich ist auch, dass nach längeren Trockenphasen die N-Mineralisation besonders stark einsetzt, so bald ausreichend Bodenwasser verfügbar ist. Auffällig ist, dass die N-Verlagerung in den Unterboden (60-90 cm) unter der ZF HS teilweise abgeschwächt ist. Dies könnte damit begründet werden, dass sich der Aufwuchs der ZF HS sich auch wie im Vorgänger-Jahr 2018 am besten etablierte und somit den Verlagerungsprozess trotz geringer Biomassebildung durch N-Aufnahme und Reduktion der Sickerwasserbildung beeinflusst (Abbildungen 19 und 20).

Rhäsa - Bohne

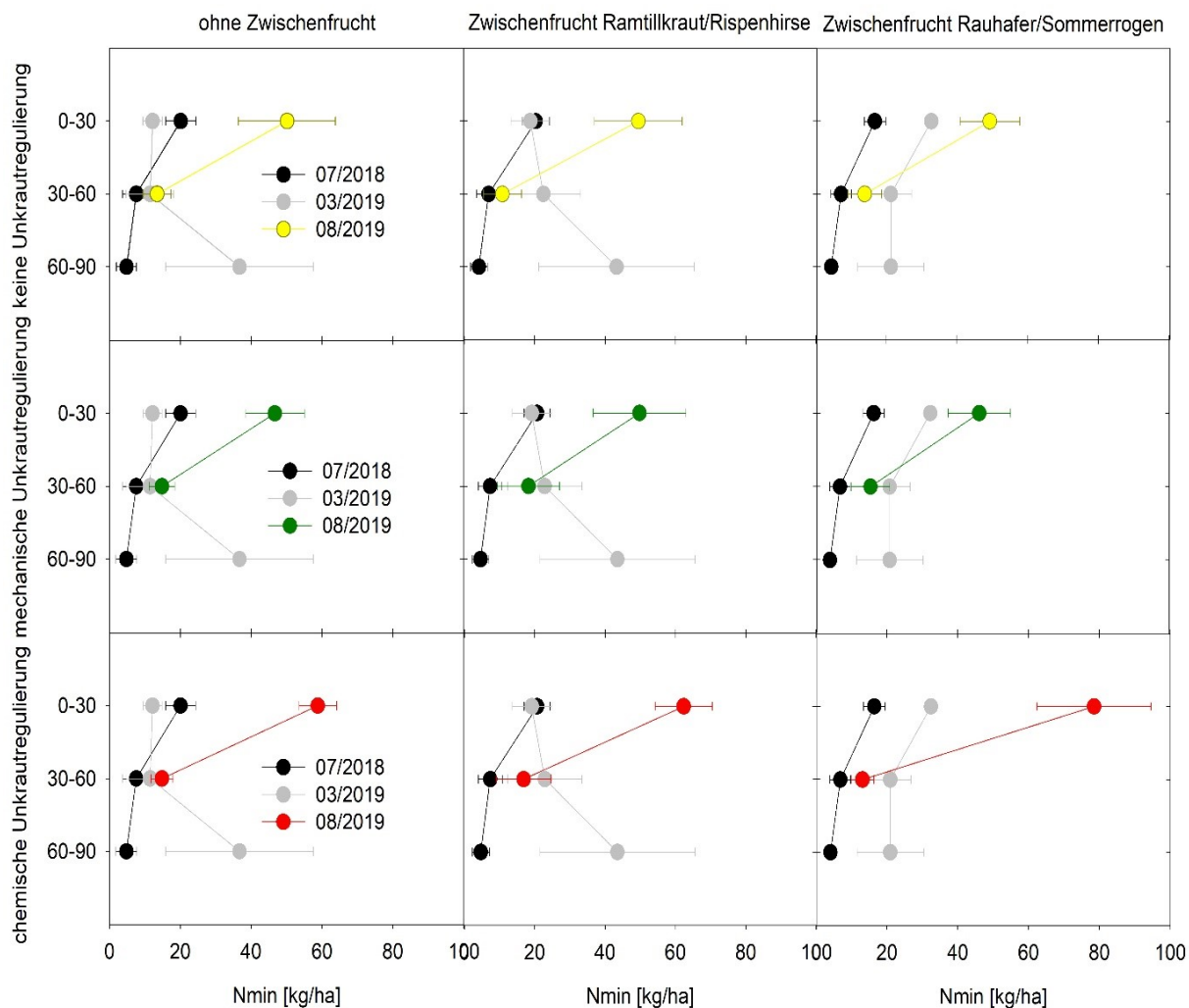


Abbildung 15: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Starbach-Ackerbohne

Aufgrund der Trockenheit konnte 2019 leider nicht jeder Standort in allen Tiefenstufen hinsichtlich der N_{min} -Abschlusshebung beprobt werden. Darüber hinaus wird ersichtlich, dass alle Standorte bei der ersten Beprobung (1ter Termin) ein geringes Maß an N_{min} -Heterogenität im Unterboden (unterhalb 30 cm) aufweisen. Auffällig jedoch scheinen die erhöhten N_{min} Werte im Versuchsglied „chemische Unkrautregulierung“ in der Abschlussbeprobung (08/2019). Hier könnte vielleicht der N-Entzug durch Unkräuter in der nicht chemischen den Effekt begünstigen.

Die Abbildung 21 zeigt für ausgewählte Parameter die Homogenität innerhalb der Standorte. Es gibt keine signifikanten Unterschiede innerhalb der randomisierten Parzellen hinsichtlich pH-Wert oder C:N-Verhältnis. Den höchsten pH-Wert 2019, mit durchschnittlich 6.5, weist der Standort Rhäsa auf. Der niedrigste pH-Wert 2019 wurde in Kleinwaltersdorf gemessen (5.1) (Abbildung 21). Auch wie in 2018 weist der Boden des ökologischen Standortes Naundorf mit Abstand das höchste C:N-Verhältnis in 2019 auf (siehe Abbildung 21). Des Weiteren wird in Abbildung 21 deutlich, dass der Standort Naundorf am heterogensten ist, dennoch wurden hier keine signifikanten Unterschiede in den einzelnen Behandlungen (A – F) festgestellt.

Rhäsa - Erbse

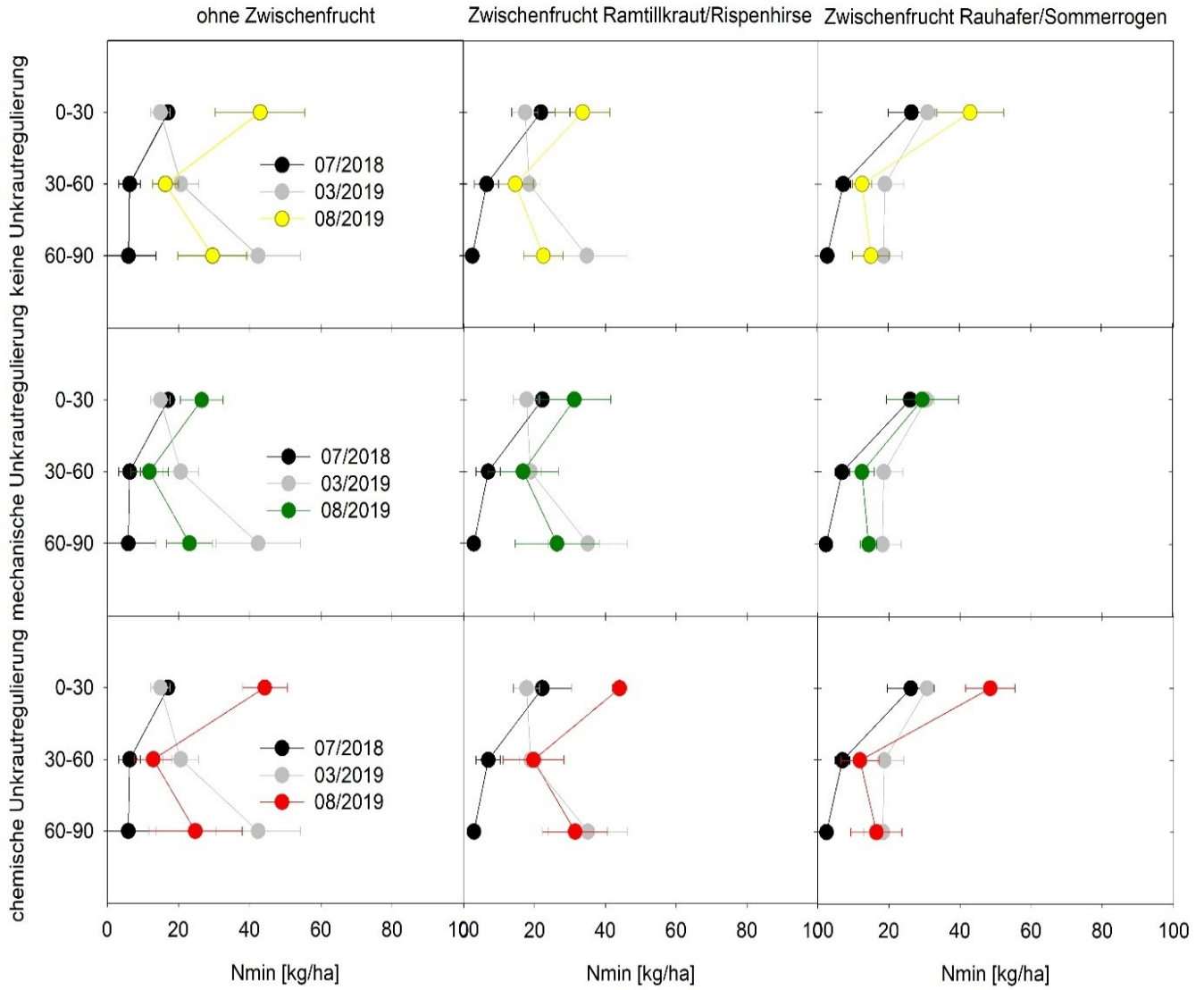


Abbildung 16: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Starbach-Futtererbse

Kleinwaltersdorf - Direktsaat - Ackerbohne

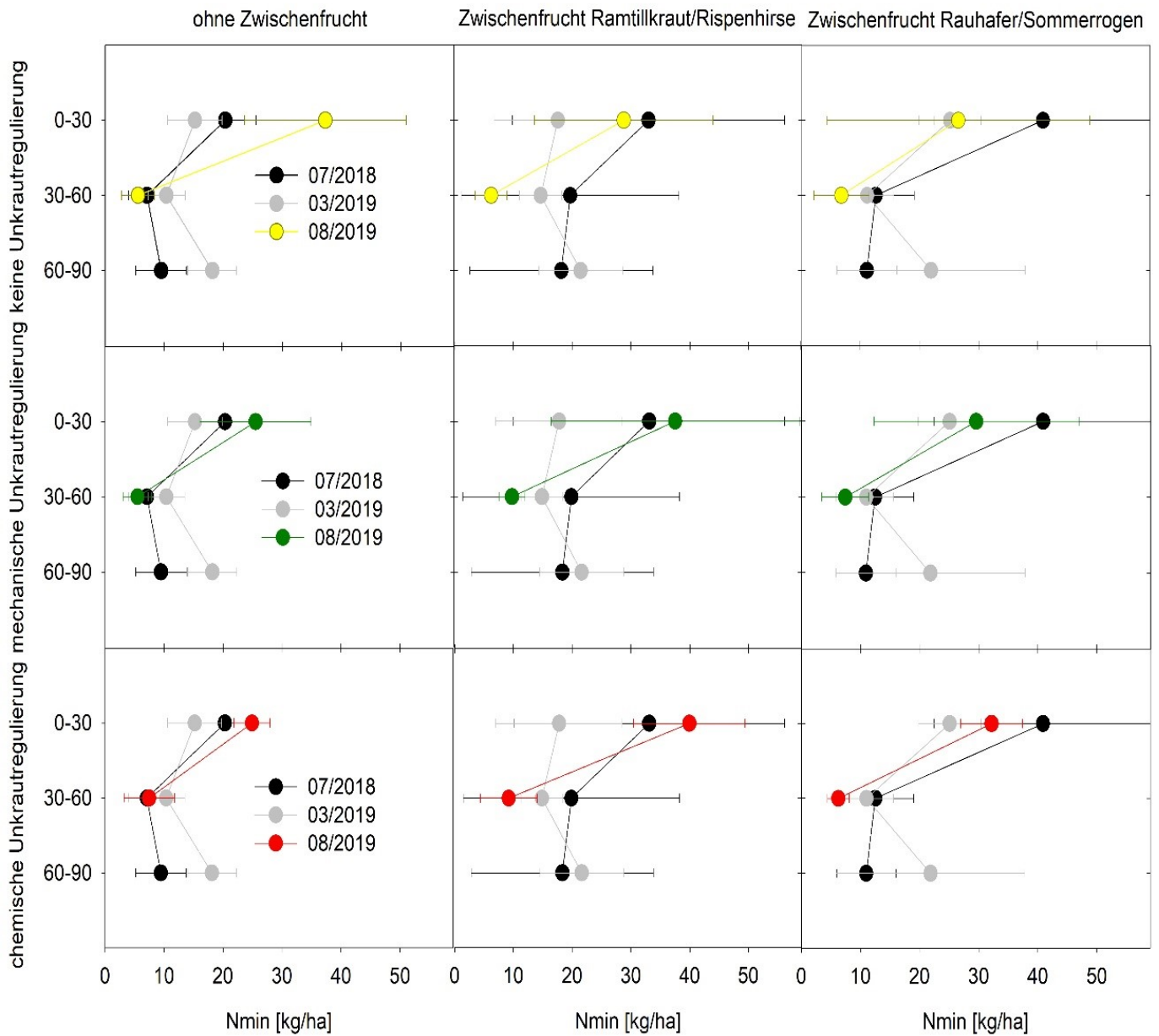


Abbildung 17: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat

Kleinwaltersdorf - Mulchsaat - Ackerbohne

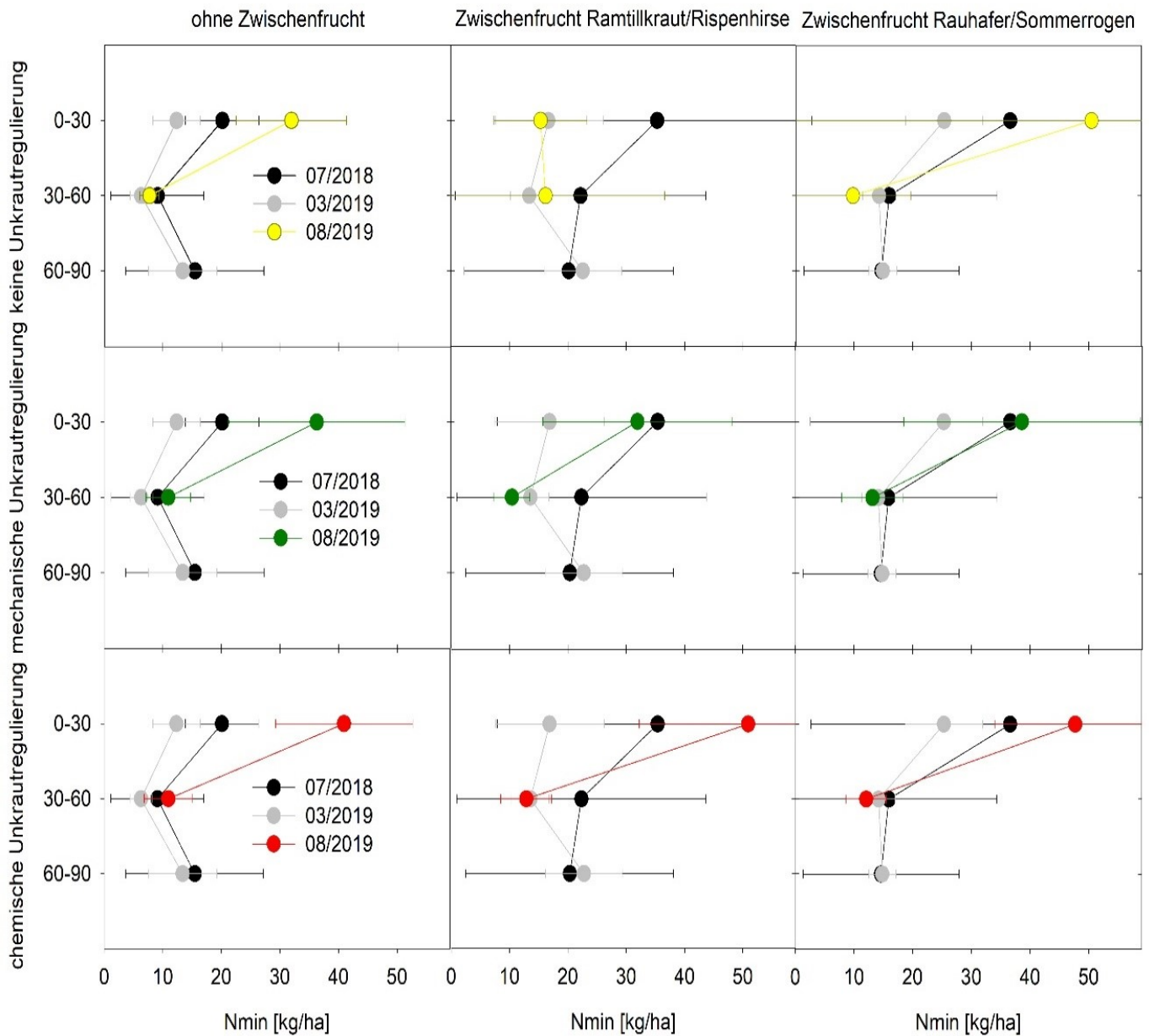


Abbildung 18: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat

Naundorf - Direktsaat - Ackerbohne

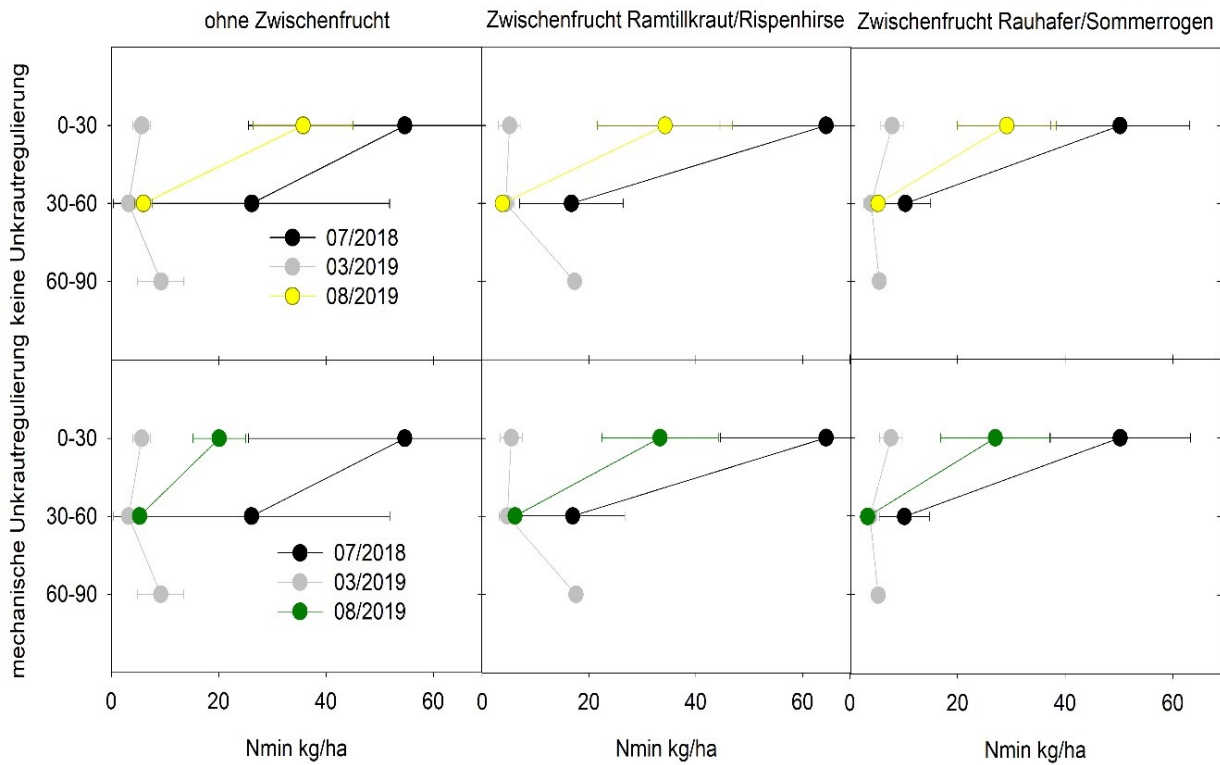


Abbildung 19: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne in Direktsaat

Naundorf - Mulchsaat - Ackerbohne

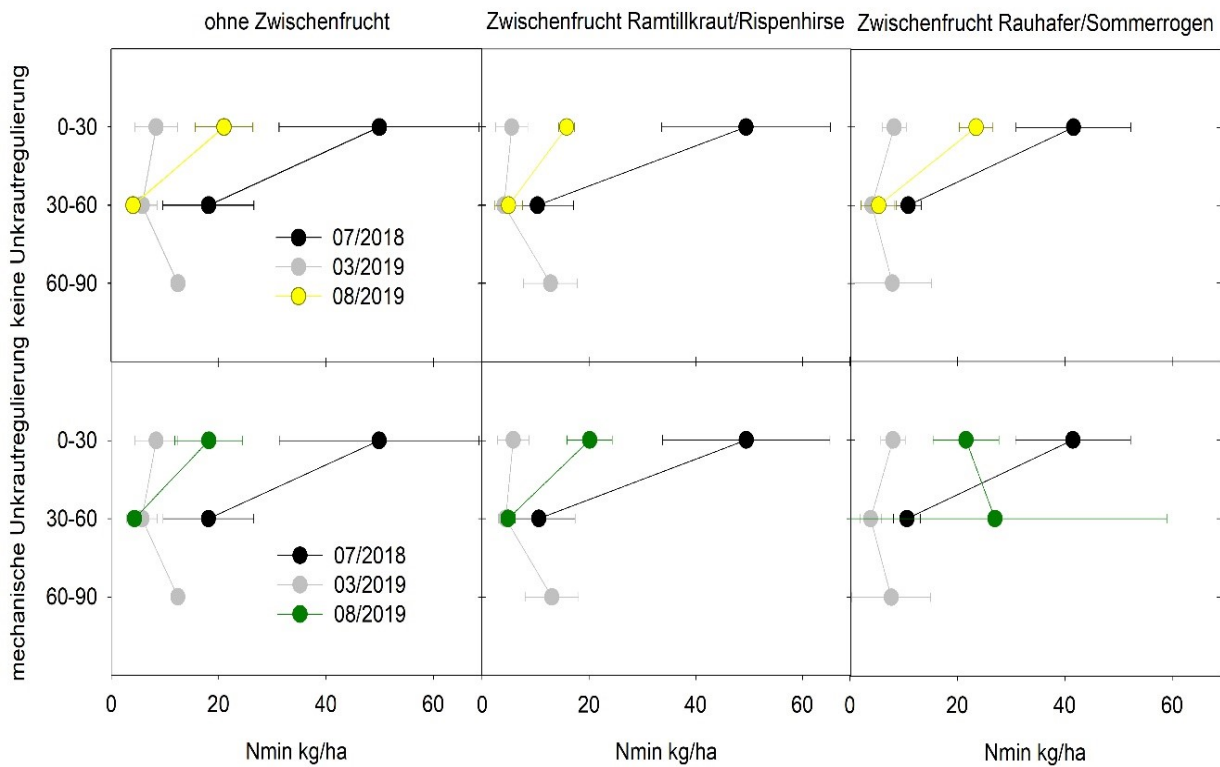


Abbildung 20: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Naundorf-Ackerbohne in Mulchsaat

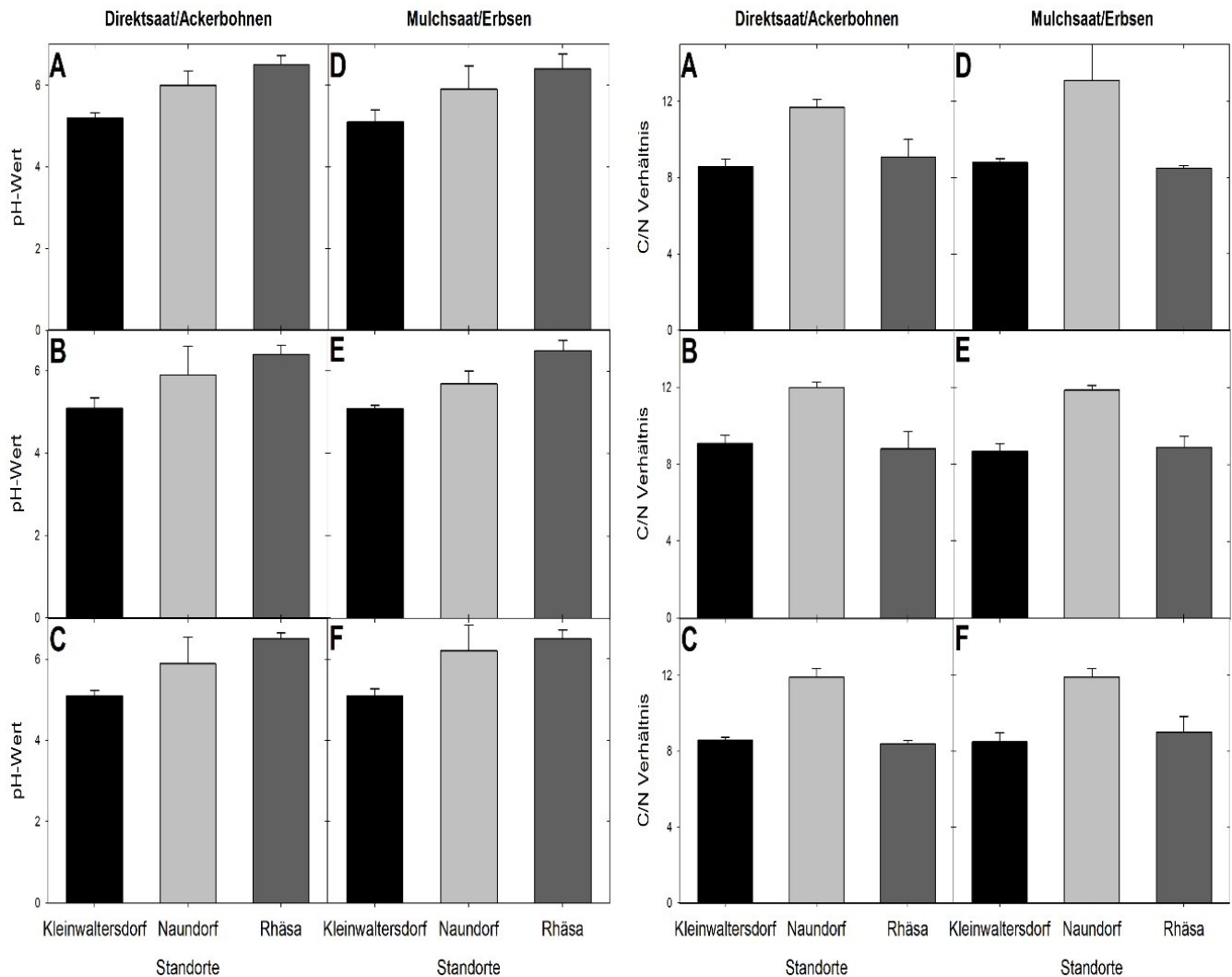


Abbildung 21: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefe an den Standorten 2018 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefe an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer

In Abbildung 22 wird ersichtlich, dass alle Standorte und Behandlungen eine Verunkrautung aufweisen. Die Etablierung des Unkrautes in diesen Behandlungen lässt darauf schließen, dass genügend Stickstoff im Oberboden vorhanden ist. Durch die Zwischenfrucht konnte nicht per se eine ausreichende unkrautunterdrückende Wirkung erzielt werden. Das begründet sich überwiegend durch einen ungünstigen klimatischen Aussaatzeitpunkt/Verlauf (ausgedehnte Trockenphasen) der Zwischenfrucht. Unterstützt wird die Aussage nicht nur durch das niedrige C:N-Verhältnis (< 25) der Zwischenfrucht, sondern auch durch das im Mulchmaterial. Beides zeigt, dass die Zwischenfrüchte in relativ jungen Entwicklungsstadien abgefroren sind. Der Standort Naundorf weist in der Zwischenfrucht das niedrigste C:N-Verhältnis auf, da dort die ZF zuletzt ausgesät wurde (Abbildung 22).

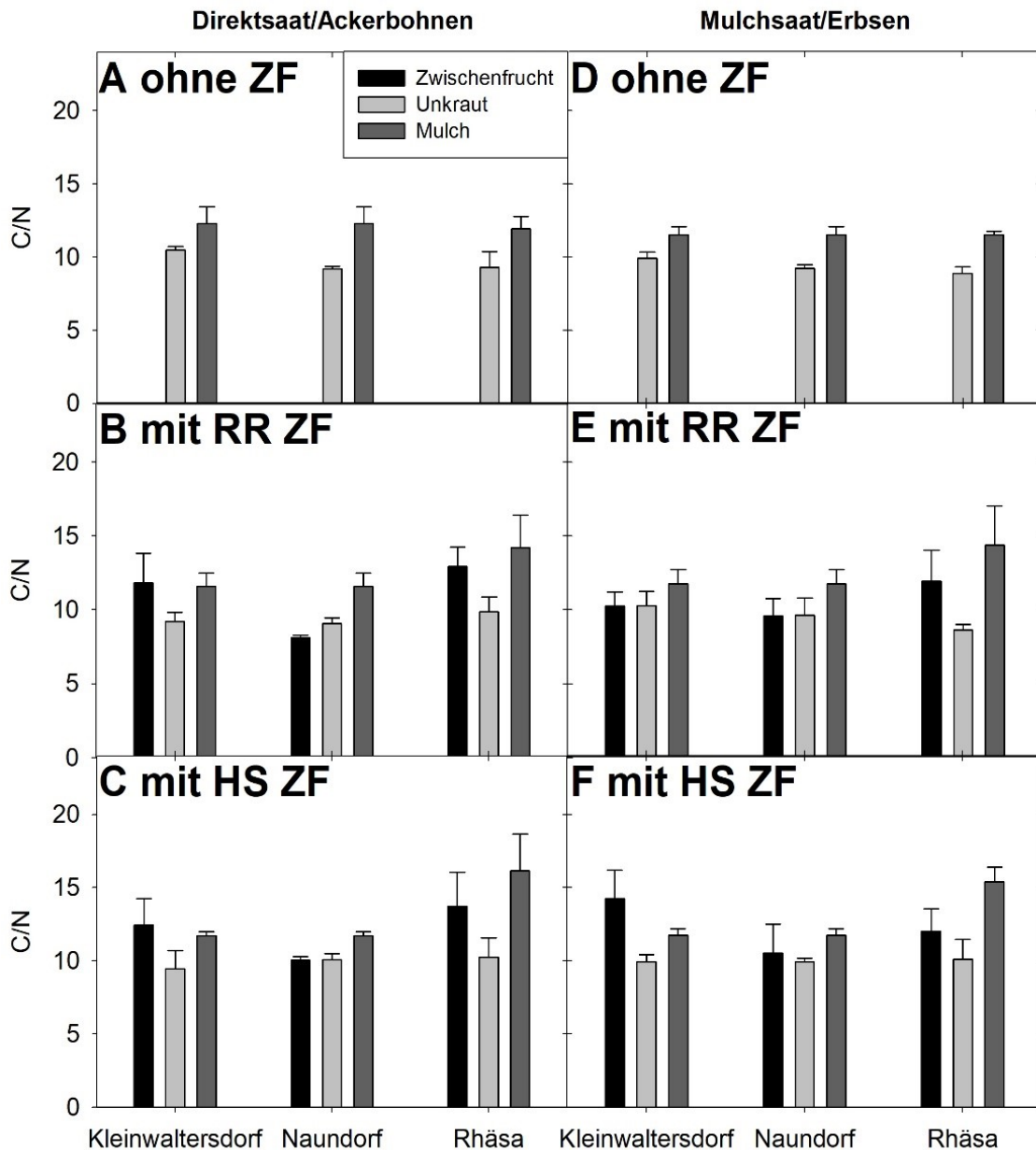


Abbildung 22: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer

In der Tabelle 9 sind für 2019 der Kornertrag der Untersuchungsstandorte in Abhängigkeit von der Unkrautregulierungsmethode, vom Zwischenfruchtanbau und der eingesetzten Aussaattechnik dargestellt. Danach wurde in der chemischen Unkrautregulierung mit ZF RR wurde der höchste Erbsen-Kornertrag (3.38 t/ha) ermittelt (Tabelle 9). Der höchste Kornertrag (3.20 t/ha) von Ackerbohne 2019 wurde auch wie im Jahr 2018 im mechanischen Ansatz mit ZF HS erfasst. Es gab keinen eindeutigen Effekt im Trockenmasseertrag bei Futtererbse und Ackerbohne in Rhäsa durch die Verwendung von Zwischenfrüchten. Der Ertrag von Ackerbohne in Kleinwaltersdorf zeigt keine klaren Effekte, ob mit oder ohne Zwischenfrucht bzw. ob Mulchsaat oder Direktsaat (Tabelle 9). Dadurch lässt sich auch kein klarer Trend zwischen den verschiedenen Unkrautregulierungsmethoden in Kleinwaltersdorf erkennen. Der höchste Kornertrag (2.59 t/ha) in MS in Kleinwaltersdorf wurde in der mechanischen Unkrautregulierung unter Verwendung von ZF RR erzielt. Auch in Naundorf 2019 wurde der höchste Kornertrag (1.30 t/ha) in MS in der mechanischen Unkrautregulierung unter Verwendung von ZF RR erzielt (s. Tabelle 9).

Tabelle 9: Kornertrag 2019 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	2.01 ± 1.05	3.19 ± 0.68	n.a.	n.a.	1.67 ± 0.83	2.49 ± 0.30	n.a.	n.a.	2.88 ± 0.82	2.53 ± 0.71	n.a.	n.a.
mechanisch	1.65 ± 0.32	2.82 ± 1.04	n.a.	n.a.	2.28 ± 0.84	2.47 ± 0.52	n.a.	n.a.	3.09 ± 0.06	3.20 ± 1.04	n.a.	n.a.
chemisch	2.28 ± 0.63	2.93 ± 0.85	n.a.	n.a.	3.38 ± 0.67	2.70 ± 0.73	n.a.	n.a.	1.99 ± 0.92	2.95 ± 0.45	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	n.a.	2.00 ± 0.28	n.a.	1.34 ± 0.66	n.a.	1.71 ± 0.58	n.a.	0.83 ± 0.53	n.a.	1.56 ± 0.66	n.a.	1.40 ± 0.27
mechanisch	n.a.	1.86 ± 0.74	n.a.	1.00 ± 0.22	n.a.	2.59 ± 0.78	n.a.	1.68 ± 0.43	n.a.	1.87 ± 0.46	n.a.	1.02 ± 0.42
chemisch	n.a.	2.02 ± 0.84	n.a.	1.09 ± 0.63	n.a.	1.73 ± 0.39	n.a.	1.42 ± 0.58	n.a.	1.94 ± 0.42	n.a.	1.90 ± 0.33
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	n.a.	1 ± 0.14	n.a.	0.87 ± 0.23	n.a.	0.86 ± 0.25	n.a.	0.57 ± 0.36	n.a.	0.78 ± 0.33	n.a.	0.92 ± 0.27
mechanisch	n.a.	0.93 ± 0.37	n.a.	0.78 ± 0.19	n.a.	1.30 ± 0.39	n.a.	0.79 ± 0.57	n.a.	0.93 ± 0.23	n.a.	0.59 ± 0.48
chemisch	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Tabelle 10: Unkrautbiomasse 2019 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/ Rispenghirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
ohne	0.59 ± 0.47	1.52 ± 1.58	n.a.	n.a.	0.87 ± 0.58	0.54 ± 0.36	n.a.	n.a.	0.41 ± 0.22	1.02 ± 0.75	n.a.	n.a.
mechanisch	1.22 ± 0.80	1.18 ± 0.49	n.a.	n.a.	0.83 ± 0.86	0.95 ± 0.94	n.a.	n.a.	0.75 ± 0.42	0.58 ± 0.27	n.a.	n.a.
chemisch	0.03 ± 0.02	1.26 ± 1.54	n.a.	n.a.	0.01 ± 0.02	0.91 ± 1.70	n.a.	n.a.	0.11 ± 0.19	0.01 ± 0.01	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
ohne	n.a.	1.23 ± 0.87	n.a.	1.70 ± 0.91	n.a.	1.34 ± 0.50	n.a.	2.41 ± 1.18	n.a.	1.59 ± 0.77	n.a.	2.65 ± 0.64
mechanisch	n.a.	1.76 ± 0.98	n.a.	2.38 ± 0.14	n.a.	1.01 ± 0.46	n.a.	2.55 ± 0.42	n.a.	0.89 ± 0.62	n.a.	3.34 ± 0.59
chemisch	n.a.	0.53 ± 0.46	n.a.	2.61 ± 0.67	n.a.	0.47 ± 0.60	n.a.	2.26 ± 1.21	n.a.	0.45 ± 0.23	n.a.	2.19 ± 1.05
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
ohne	n.a.	2.33 ± 0.62	n.a.	3.04 ± 0.11	n.a.	2.31 ± 0.55	n.a.	3.62 ± 1.20	n.a.	2.51 ± 0.54	n.a.	3.51 ± 0.34
mechanisch	n.a.	1.68 ± 0.21	n.a.	2.58 ± 0.77	n.a.	1.68 ± 0.24	n.a.	3.07 ± 1.44	n.a.	2.35 ± 0.63	n.a.	3.81 ± 1.68
chemisch	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Die Erfassung des Unkrautes (Unkrautbiomasse) wurde zeitgleich mit der Haupternte durchgeführt (s. Tabelle 10). In Rhäsa und Kleinwaltersdorf wurde in der chemischen Unkrautbekämpfung für Bohne und Erbse die niedrigste Unkrautbiomasse ermittelt. Einzige Ausnahme bildet hier die mechanische Unkrautbehandlung ohne ZF für Bohne in Rhäsa. Des Weiteren konnte in Rhäsa und Kleinwaltersdorf für MS ein Trend hinsichtlich der Verwendung von Zwischenfrüchten und der damit zusammenhängenden Reduktion der Unkrautbiomasse gezeigt werden. In Naundorf konnte kein Trend aufgezeigt werden. Selbiges gilt für die DS Aussaat am Standort Kleinwaltersdorf und Naundorf (s. Tabelle 10).

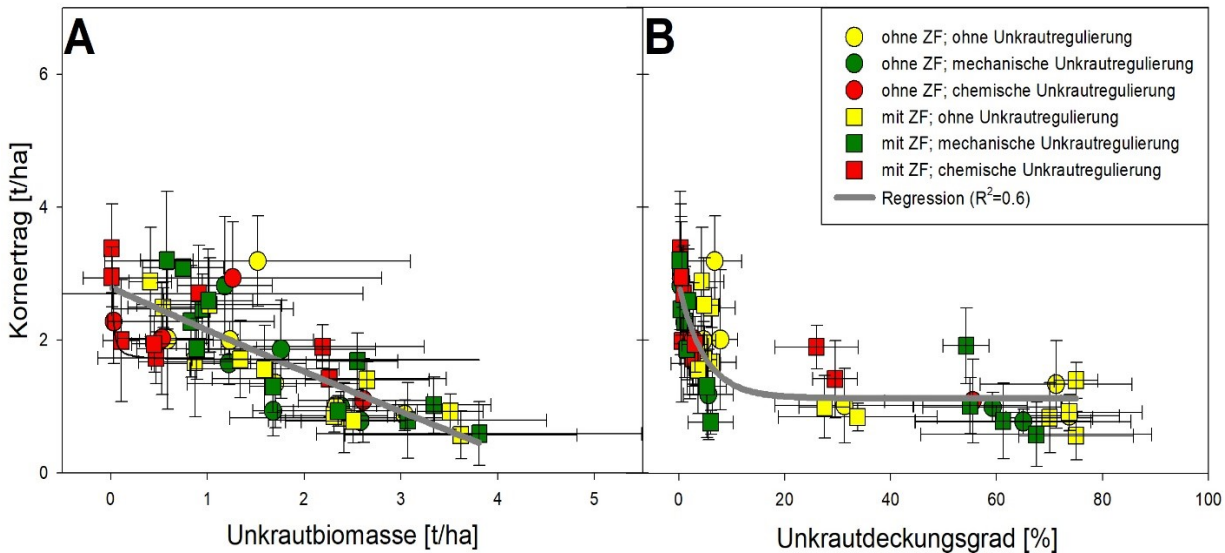


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha atro] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2019 bzw. (B) Unkrautdeckungsgrad [%]. Die angegebenen Daten sind Mittelwerte (n=4) für Arten (Ackerbohne und Futtererbse) in der Unkrautregulierung mit ZF und ohne ZF. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den chemischen Unkrautbekämpfungsansatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (A) wurde eine lineare Polynomfunktion an die Daten angepasst ($R^2=0.6$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=2.772-0.6167*x$), in (B) eine exponentielle Zerfallsfunktion ($R^2=0.6$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=-16.6589+19.4524*\exp(-0.0336*x)$).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Unkrautbiomasse aber auch der Unkrautdeckungsgrad bis zu einem bestimmten Maß Einfluss auf den Kornertrag haben können (Abbildung 23). In Abbildung 23 ist deutlich zu erkennen, dass der größte (exponentiell) Einfluss auf den Kornertrag durch den Unkrautdeckungsgrad bei $< 10\%$ gegeben ist. Ab einem Unkrautdeckungsgrad von $> 20\%$ wird der Kornertrag nur noch wenig beeinflusst. Dennoch kann es zu vereinzelt Kornertragsschwankungen kommen. Es können ca. 60% ($R^2=0.6$) der Werte erklärt werden. Ein ähnliches Muster (linear) konnte in 2019 auch für den Zusammenhang Kornertrag und Unkrautbiomasse gezeigt werden (siehe Abbildung 23). Jedoch ist die Standardabweichung (n=4) relativ hoch, wodurch maßgeblich kein Grenzwert abgeleitet werden kann. Bei einer gleichen Menge an Unkrautbiomasse z.B. 0.5 t/ha kann der Ertrag dennoch um ca. 2 t/ha schwanken. Somit kann nicht nur die Unkrautbiomasse als einziger Parameter herangezogen werden hinsichtlich Beeinflussung des Ertrags. In Abbildung 23 können dennoch 70% der Werte erklärt werden. Grundlegend werden mit mechanischer Unkrautregulierung dem Herbizideinsatz vergleichbare Kornerträge trotz höherer Unkrautbiomasse und höheren Unkrautdeckungsgraden erzielt.

Direktsaat führte bei der Ackerbohne in jeder Behandlung zu einer höheren Unkrautbiomasse im Vergleich zur Mulchsaat (Tabelle 10). In Naundorf wurde kein Effekt des Zwischenfruchtanbaus auf die Unkrautbiomasseproduktion sichtbar. Der höchste Unkrautbiomasseaufwuchs (3.81 t/ha) wurde in Naundorf bei Ackerbohnen nach Direktsaat und Verwendung der ZF HS ermittelt (Tabelle 10).

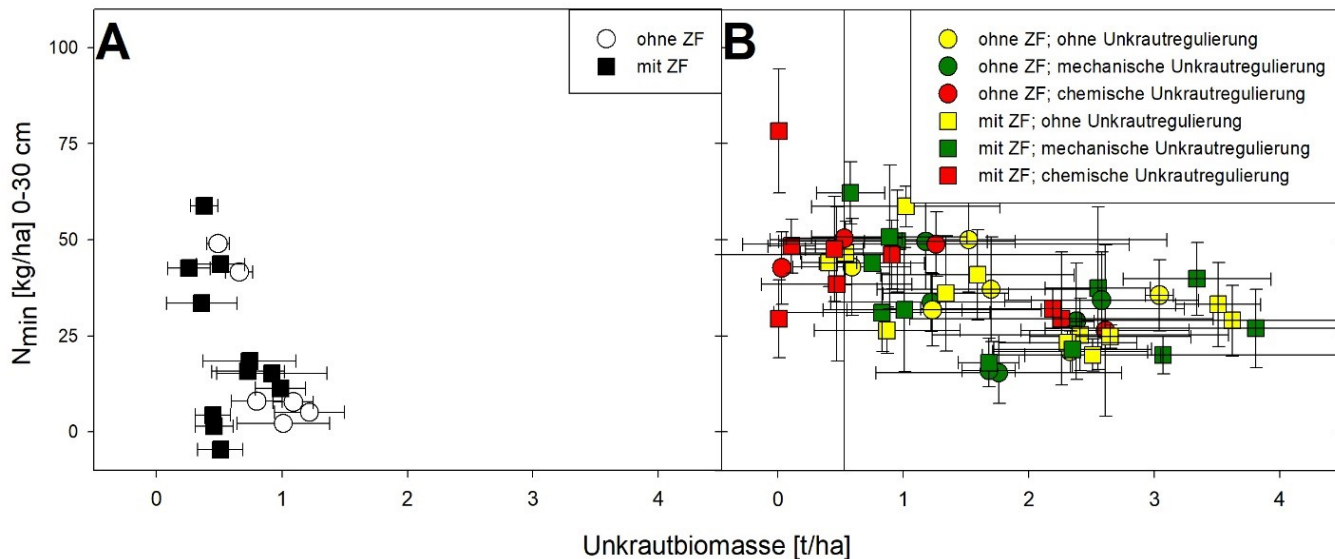


Abbildung 24: Beziehung zwischen der (A) N_{min}-Veränderung im Oberboden im Zeitraum von 07/2018 auf 03/2019 und der atro Unkrautbiomasseerhebung zum 11/2017 und (B) Oberboden-N_{min}-Gehalt zum 08/2019 und der atro Unkrautbiomasse zum 08/2019. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den chemischen Unkrautbekämpfungsansatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF).

Abbildung 24A zeigt keinen Zusammenhang zwischen der ermittelten N_{min}-Veränderung im Oberboden (0-30 cm) und der Unkrautbiomasse bei der Verwendung von ZF. Im Gegenteil, die Abbildung 24 suggeriert, dass N_{min} ansteigt bei abnehmender Unkrautbiomasse. Somit wird in Abbildung 24 deutlich, dass die Ermittlung von der N_{min}-Veränderung im Oberboden einen Schwachpunkt aufweist. Da N_{min} überwiegend auch von der Temperatur beeinflusst wird, der Entnahmezeitpunkt der 2ten N_{min}-Beprobung im Jahr 2019 jedoch sehr ungünstig gewählt wurde (zu früh beprobt, dadurch sehr niedrige Bodentemperaturen), können diese Werte leider nicht als plausibel erachtet werden. In Abbildung 24 wird wie auch im Jahr 2018 gezeigt, dass es keine Korrelation zwischen N_{min} im Oberboden und Unkrautbiomasse in Abhängigkeit von der ZF nach der Ernte der HF gegeben ist. Die Unkrautbekämpfungsmethode überprägt eine Wirkung der ZF auf N_{min} im Oberboden und die Unkrautbiomasse. Des Weiteren kann auch die N₂-Fixierungsleistung der angebauten Leguminosen-Hauptfrucht einen großen Einfluss haben. Die N₂-Fixierungsleistung wurde leider nicht berücksichtigt.

Im weiteren Projektverlauf erfolgte eine detaillierte Analyse (Daten von 2018 und 2019) hinsichtlich der Beurteilung der manuell geschätzten Unkrautdeckungsgrade im Vergleich zu den sensorisch erfassten Daten (siehe Abbildung 25). Wie u.a. in **Tabelle 7** und Tabelle 8 gezeigt, ergibt sich eine starke Diskrepanz ab einem BBCH Stadium der Kulturpflanze von > 51 zwischen manuell ermitteltem und sensorisch erfasstem Deckungsgrad. Außerdem wird deutlich, dass es zu leichten Unterschätzungen des Deckungsgrades durch die manuelle Erfassung bis zu einem BBCH < 35 kommt.

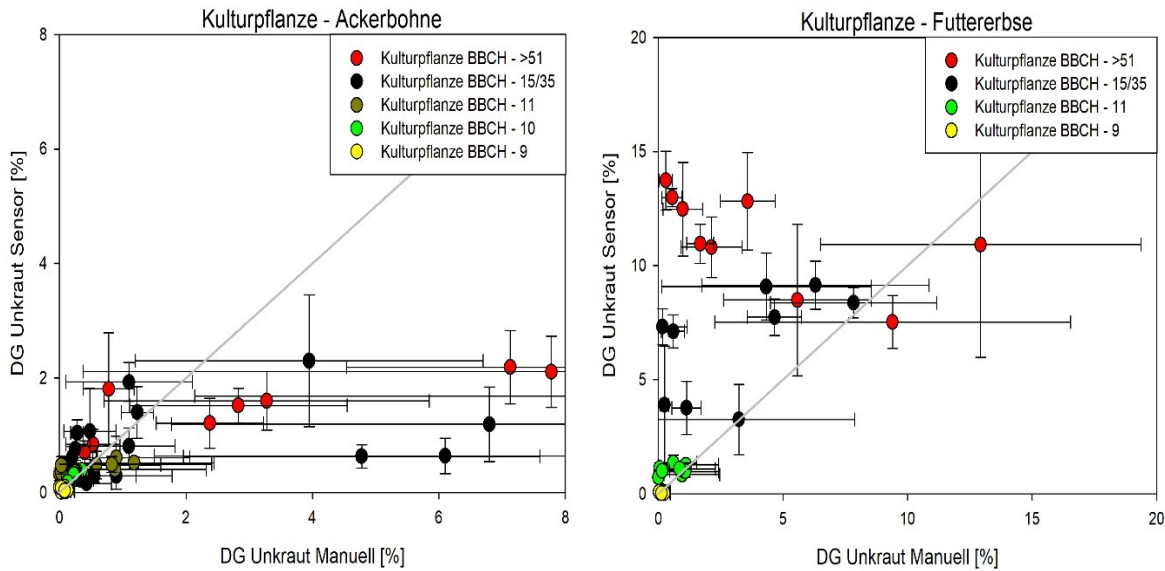


Abbildung 25: A) Verhältnis zwischen sensorisch und manuell erfassten Deckungsgraden [%] in unterschiedlichen BBCH-Stadien der Kulturpflanze Ackerbohne sowie B) Verhältnis zwischen sensorisch und manuell erfassten Deckungsgraden in unterschiedlichen BBCH-Stadien der Kulturpflanze Futtererbse.

Des Weiteren wurden durch unterschiedliche Striegelintensitäten „spezifische Grenzwerte“ ermittelt und hinsichtlich des Ertrages bewertet (s. Abbildung 26). Grundsätzlich ist mindestens ein 3-facher Striegeleinsatz erforderlich, um relevante Ertragsausfälle zu vermeiden. Für Erbse ergab sich ein Ertragsoptimum von 6 – 7 Striegelgängen, für Bohne 3 – 5 Striegelgängen (standortabhängig). Weiterhin wurden folgende dynamische Grenzwerte für den Unkrautdeckungsgrad abgeleitet: für ein BBCH-Stadium 9 – 11 ein Unkraut-DG 0.5 % und für ein BBCH 15 – 35 Unkraut-DG 1 %. Zur Ernte können durchaus Unkrautdeckungsgrade bis zu 2 % bei Erbse und bis zu 1 % bei Bohne etabliert sein ohne signifikante Ertrags- und Qualitätsverluste zu erzielen.

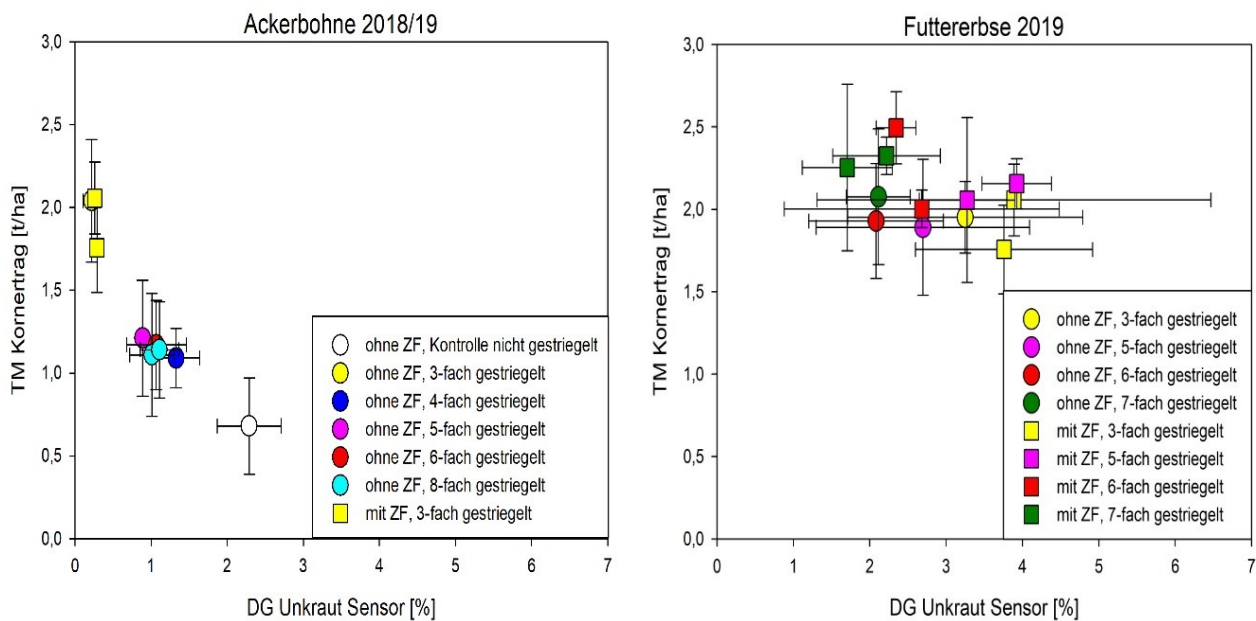


Abbildung 26: A) Verhältnis zwischen sensorisch erfassten Deckungsgrad [%] und TM-Kornertrag [t/ha] in Abhängigkeit von Rollstriegeleinsatz und Zwischenfruchtanbau für Ackerbohne sowie B) für Futtererbse.

Mit den bisherigen im Bericht dargestellten Teilergebnissen aus dem Projekt herbfreiErbAB konnte somit gezeigt werden, dass der kombinierte Ansatz mit speziellen Zwischenfruchtgemenge (RR und HS) und der zusätzlichen mechanischen Unkrautregulierung (Minimum von 3 Rollstriegeleinsätze) beim pfluglosem Anbau (MS und DS) von den Nutzpflanzen Ackerbohne und Futtererbse, eine effiziente Alternative zur Optimierung des Ertrages im Vergleich zur herkömmlichen Herbizidanwendung darstellt (siehe Anhang). Jedoch wurde im 2ten Versuchsjahr auch deutlich, dass die im Projekt ausgewählten ZF teilweise nicht geeignet sind, wenn ungünstige klimatische Begegnungen sowie unzureichendes Management (versäumter Saatzeitpunkt) einhergehen.

4.1.4 2020

Durch die Corona Pandemie kam es teilweise zu Einschränkungen.

Im Untersuchungsjahr 2020 konnte durch den Anbau der Zwischenfruchtgemenge keine signifikante Reduktion des N_{min} -Gehaltes im Vergleich zu ohne Zwischenfruchtanbau erreicht werden (s. Abbildung 27). Aufgrund intensiver Trockenheit, zwischen Juni und Oktober 2019, konnte sich die ZF sehr schlecht entwickeln (Aufbau von Biomasse) somit auch kaum Stickstoff aus den Bodenpool aufnehmen und binden. Grundlegend wurde in allen Behandlungen eine Reduktion von ca. 10 kg N/ha erzielt, unabhängig ob eine ZF berücksichtigt wurde oder nicht.

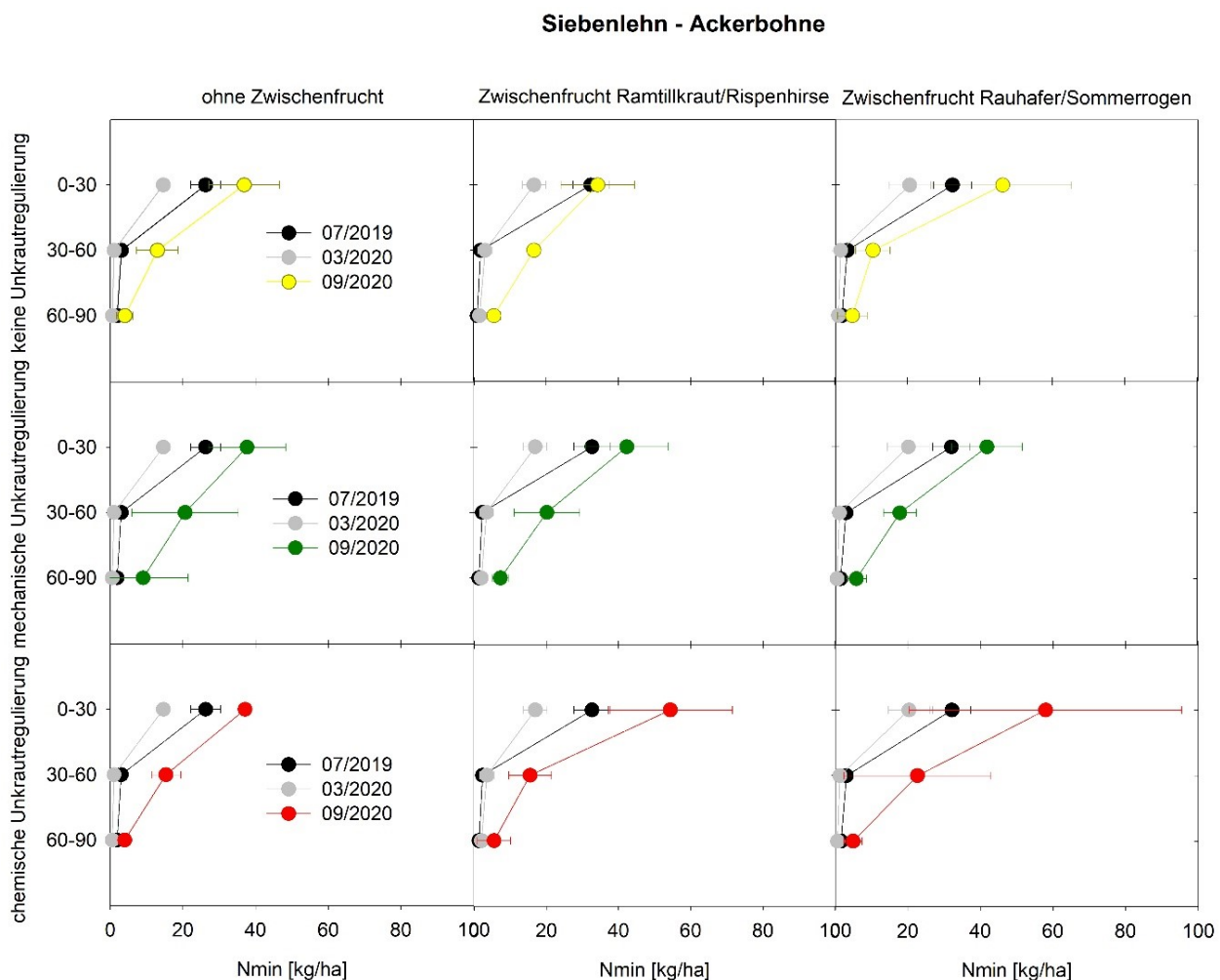


Abbildung 27: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Siebenlehn-Ackerbohne

In keiner Parzelle am Standort Siebenlehn wurde unter Ackerbohne Stickstoff in den Unterboden (unterhalb 60 cm) verlagert (s. Abbildung 27). Darüber hinaus wird ersichtlich, dass alle Standorte bei der ersten Beprobung (07/2019) ein geringes Maß an N_{\min} -Heterogenität im Boden unterhalb von 30 cm aufweisen. Die größte Dynamik wurde im Oberboden (0-30 cm) gemessen (Abbildung 27).

Siebenlehn - Erbse

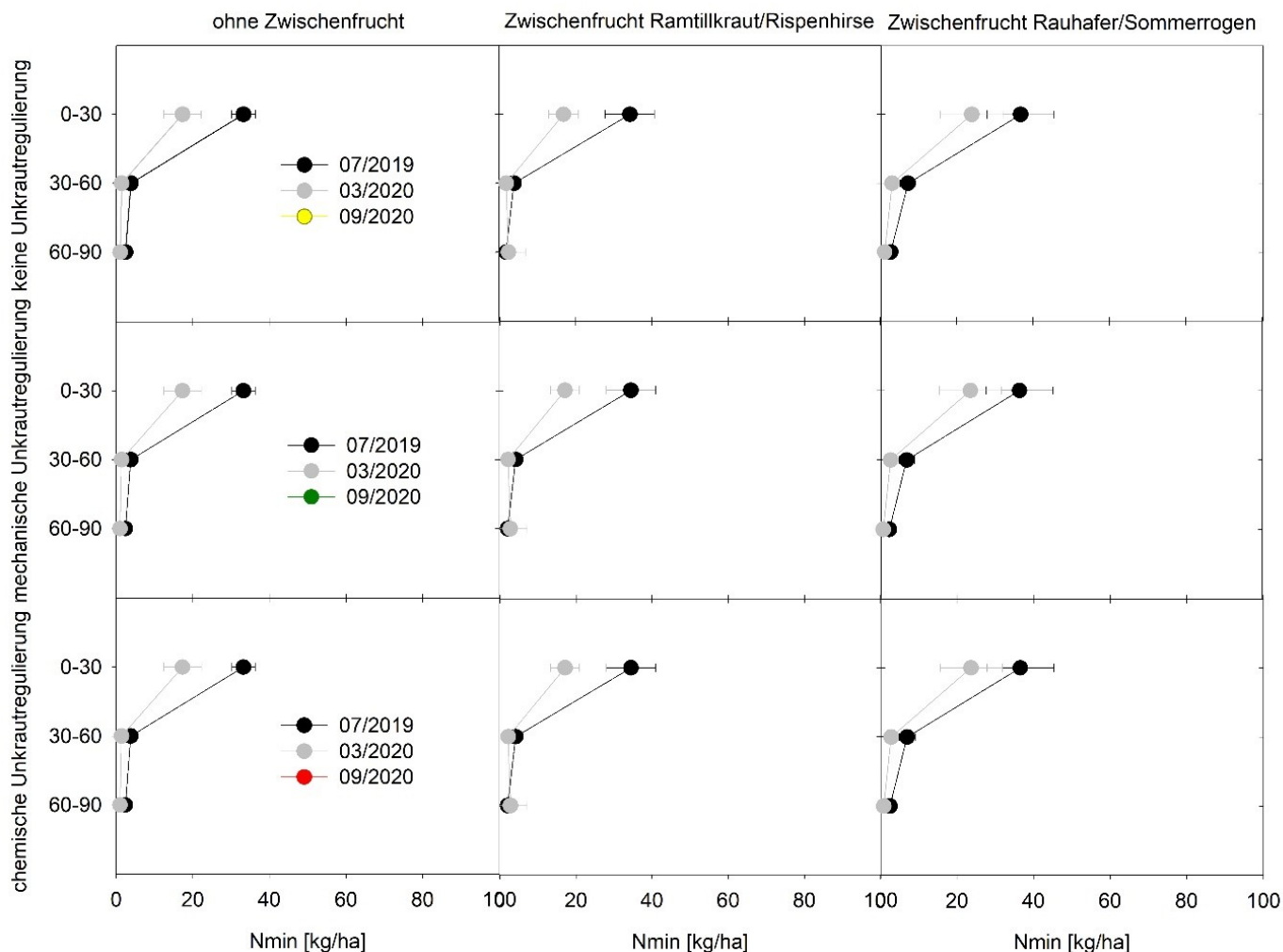


Abbildung 28: N_{\min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 2 Zeitpunkten am Standort Siebenlehn-Futtererbse

Auf dem Standort Siebenlehn-Futtererbse (**Abbildung 28**) konnte keine Abschlussbeprobung im September 2020 durchgeführt werden, da der Bodenkörper zu trocken war und das Material bei jeder Entnahme aus dem Bohrstock gefallen ist. Eine spätere Beprobung war aufgrund der Corona Pandemie nicht möglich.

Auf dem Standort Kleinwaltersdorf zeigen sich die deutlichsten Effekte von Mulch- und Direktsaat auf den N_{\min} -Gehalt im Oberboden (Abbildungen 29 und 30). Es konnten weder ein Einfluss der Zwischenfrucht noch ein Unterschied im N_{\min} zwischen DS und MS nachgewiesen werden. Auffällig und nicht eindeutig begründbar sind die Zunahmen im N_{\min} im Unterboden (60-90 cm) beginnend im Juli 2019 unter der intensiven Trockenheit bis hin zum Frühjahr 2020. Weiterhin auffällig ist eine erhöhte Mineralisation im Oberboden nach dem Erntezeitpunkt in Kleinwaltersdorf (Abbildung 29). Auf dem Standort Naundorf wurden durch Corona-Pandemie lediglich die Startuntersuchung durchgeführt (nicht gezeigt).

Die Abbildung 31 zeigt für ausgewählte Bodenparameter die Homogenität innerhalb der Standorte. Es gibt keine signifikanten Unterschiede innerhalb der randomisierten Parzellen hinsichtlich pH-Wert und C:N-Verhältnis. Der höchsten pH-Wert 2020, mit pH 6.5 wurde am Standort Naundorf gemessen. Der niedrigste pH-Wert in 2020 wurde wie in 2019 in Kleinwaltersdorf gemessen (pH-Wert 5.5). Auch wie in 2018 und 2019 weist der ökologische Standort Naundorf das höchste C:N-Verhältnis in 2020 auf, Grund dafür ist der hohe Anteil an organischer Bodensubstanz und systembedingt eine geringere Stickstoff Versorgung (Abbildung 32).

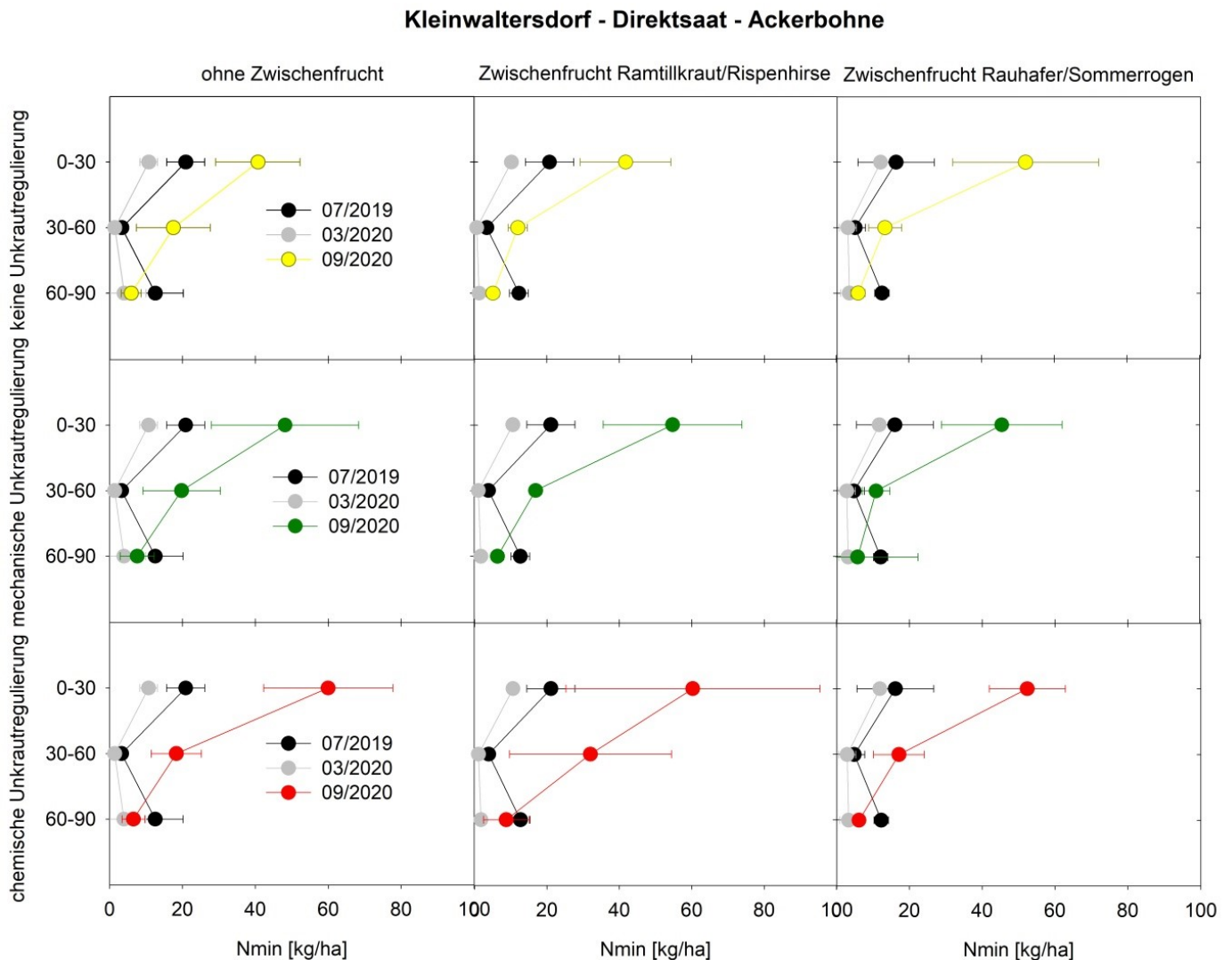


Abbildung 29: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Direktsaat

In Abbildung 32 wird ersichtlich, dass die Zwischenfrucht kein ausreichend weites C:N-Verhältnis entwickeln konnte. Wünschenswert wäre ein durchschnittliches C:N-Verhältnis > 30, da ab diesem Wert von einer zunehmend schweren Abbaubarkeit ausgegangen werden kann. Die Ergebnisse sind ähnlich dem Untersuchungsjahr 2019. Das geringe C:N-Verhältnis begründet sich überwiegend durch einen ungünstigen klimatischen Aussaatzeitpunkt und dem entsprechenden Verlauf (ausgedehnte Trockenphasen von Juli bis Oktober, kaum Biomasseaufbau der ZF) der Zwischenfruchtentwicklung (siehe Tabelle 3). Weiterhin wird auch deutlich, dass das Mulchmaterial nur niedrige C:N-Verhältnis etablieren konnte und somit schnell durch das Edaphon mineralisiert werden kann. Beides zeigt, dass die Zwischenfrüchte in relativ jungen Entwicklungsstadien abgefroren sind. Der Standort Naundorf wurde durch die Corona-Pandemie nicht durchgängig beprobt sodass keine Aussage getroffen werden kann.

Kleinwaltersdorf - Mulchsaat - Ackerbohne

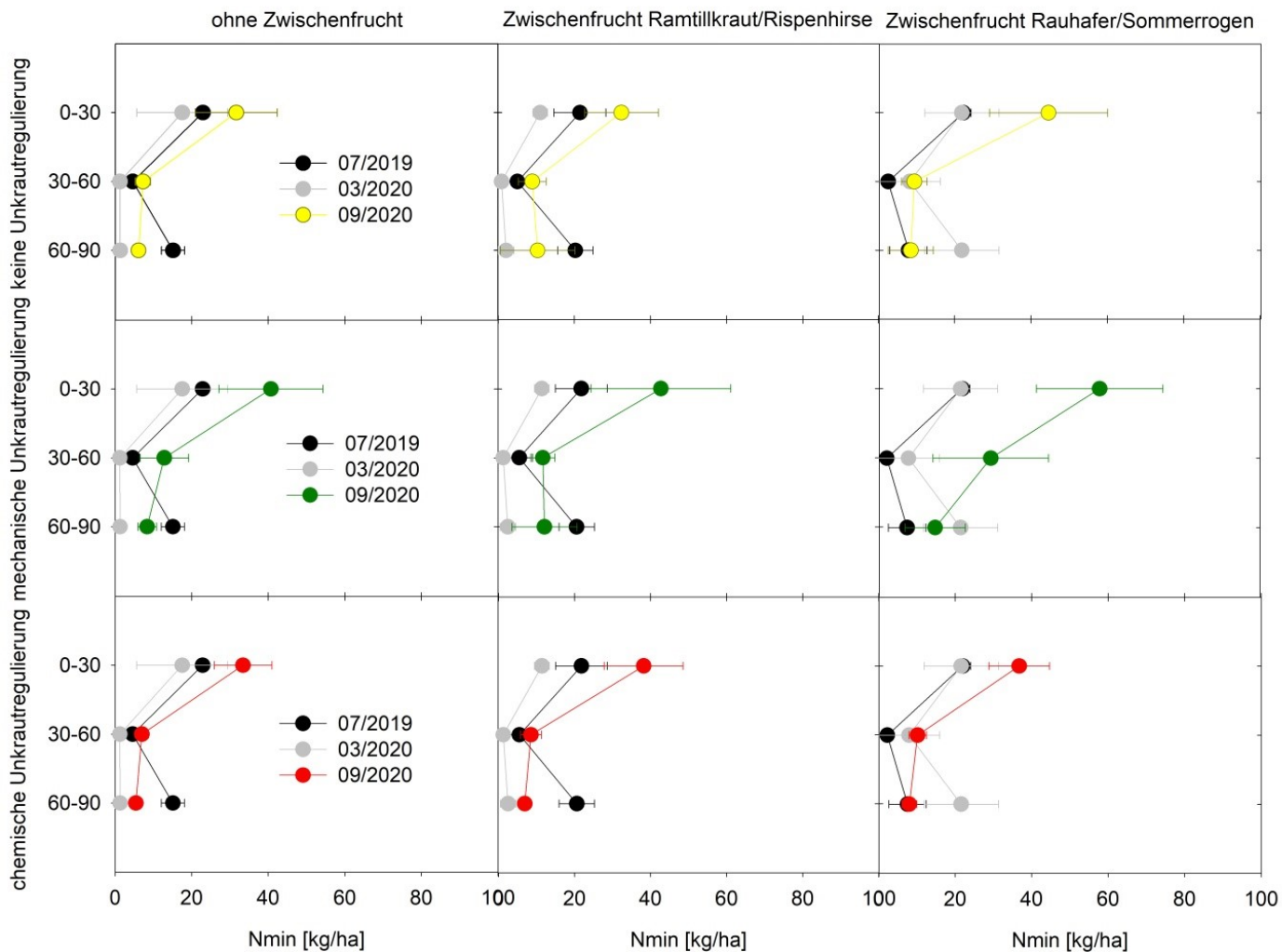


Abbildung 30: N_{min} [kg N/ha] in unterschiedlichen Bodentiefen zu je 3 Zeitpunkten am Standort Kleinwaltersdorf-Ackerbohne in Mulchsaat

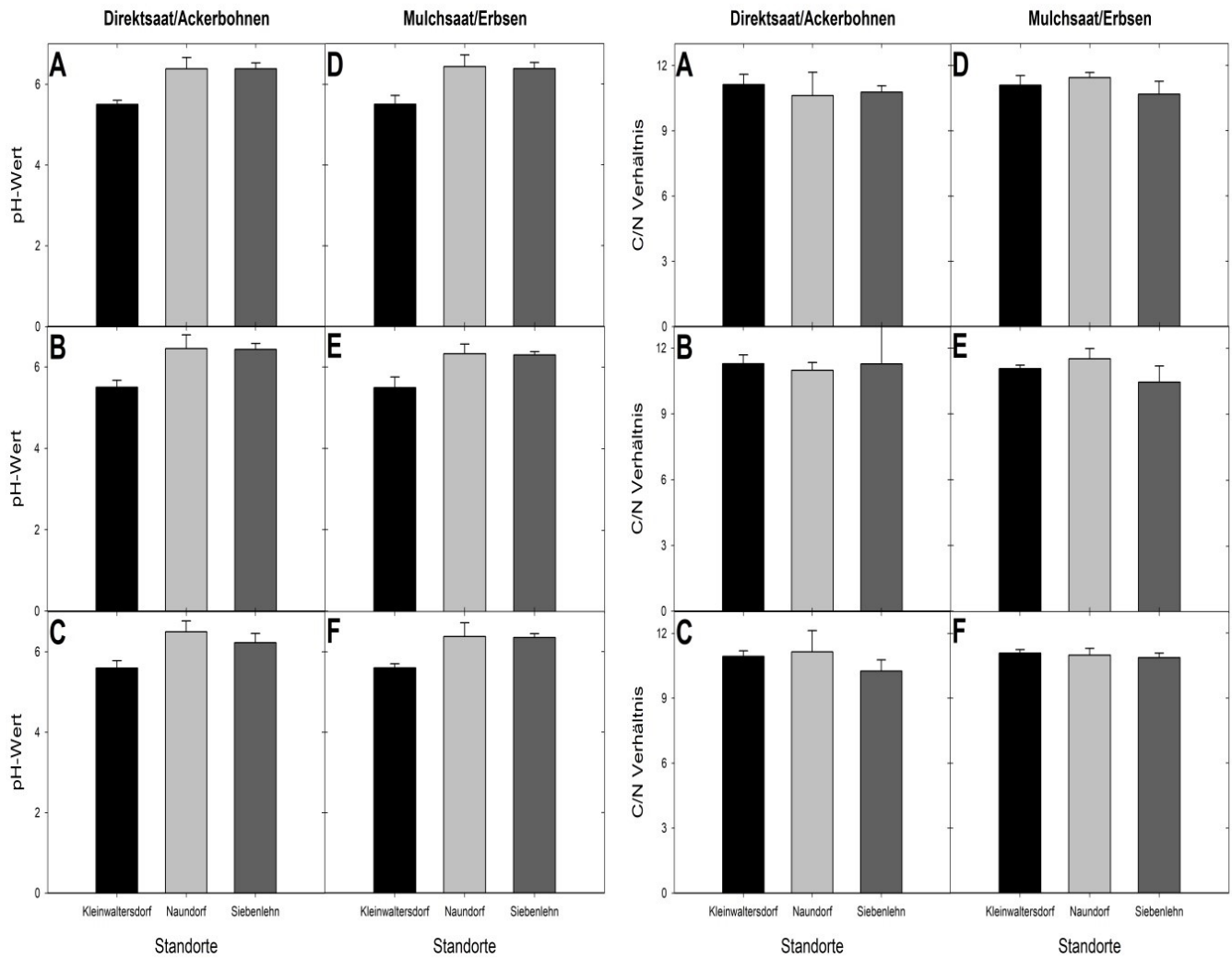


Abbildung 31: pH-Wert in 0-30 cm Bodentiefen an den Standorten 2020 sowie das C:N-Verhältnis in 0-30 cm Bodentiefen an den 3-Praxisstandorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtilk/ Rispenshirse; C und F mit Zwischenfrucht Rauhafer/Sommerroggen

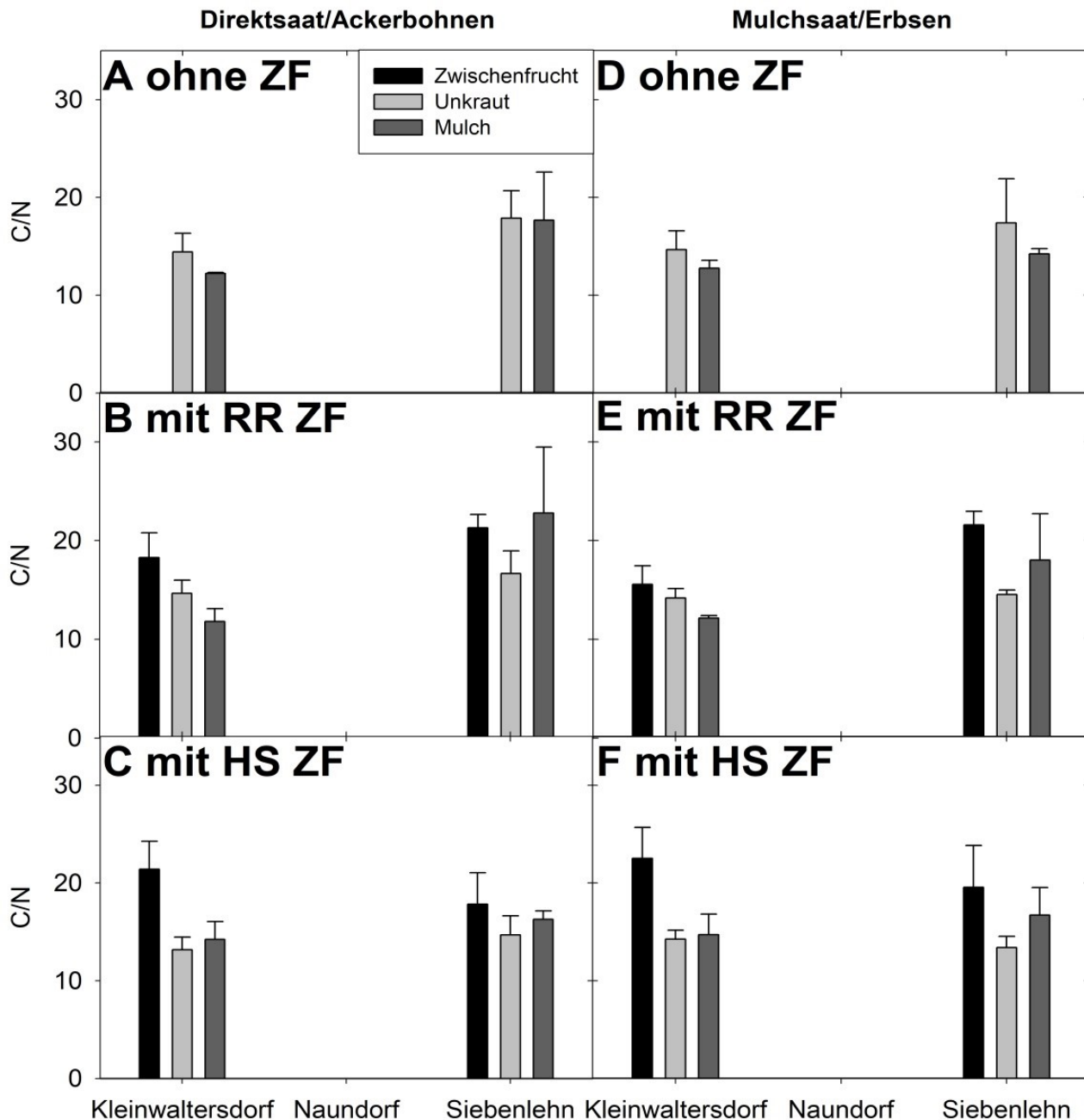


Abbildung 32: C:N-Verhältnis im Aufwuchs, differenziert nach Zwischenfrucht, Unkraut und Mulch an den Standorten. A und D ohne Zwischenfrucht; B und E mit Zwischenfrucht Ramtillkraut/ Rispenhirse; C und F mit Zwischenfrucht Sommerroggen/Rauhafer

In der chemischen Unkrautregulierung mit ZF HS wurde der höchste Erbsen-Kornertrag (4.34 t/ha) ermittelt (Tabelle 11). Der höchste Ackerbohnen-Kornertrag (3.96 t/ha) in 2020 wurde in der Kontrolle ermittelt (ohne ZF ohne Unkrautregulierung, Tabelle 11). Ähnlich dem Jahr 2019 gab es 2020 auch keinen eindeutigen Effekt im Trockenmasseertrag bei Futtererbse und Ackerbohne in Siebenlehn und Kleinwaltersdorf durch die Verwendung von Zwischenfrüchten (Tabelle 11). Der Ertrag von Ackerbohne in Kleinwaltersdorf war in der DS in jedem Prüfglied niedriger als im Vergleich zur MS. Des Weiteren lässt sich kein klarer Trend zwischen den verschiedenen Unkrautregulierungsmethoden in Kleinwaltersdorf erkennen. Der höchste Kornertrag (3.51 t/ha) in Kleinwaltersdorf wurde in der mechanischen Unkrautregulierung unter Verwendung von ZF HS im Mulchsaatsystem erzielt (Tabelle 11). Am Standort Naundorf konnten aufgrund der Corona Pandemie 2020 keine Ertragsergebnisse erfasst werden (siehe Tabelle 11 und Tabelle 12).

Tabelle 11: Kornertrag 2020 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	3.68 ± 1.34	3.96 ± 1.37	n.a.	n.a.	3.83 ± 1.25	3.37 ± 0.65	n.a.	n.a.	4.21 ± 0.61	2.40 ± 0.24	n.a.	n.a.
mechanisch	4.07 ± 1.67	3.74 ± 0.44	n.a.	n.a.	3.76 ± 1.12	3.28 ± 1.30	n.a.	n.a.	3.27 ± 0.82	3.33 ± 0.22	n.a.	n.a.
chemisch	3.77 ± 0.66	3.75 ± 0.68	n.a.	n.a.	3.39 ± 0.68	3.44 ± 0.41	n.a.	n.a.	4.34 ± 1.09	3.48 ± 0.89	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	n.a.	2.25 ± 0.67	n.a.	1.28 ± 0.55	n.a.	2.00 ± 0.83	n.a.	1.07 ± 0.42	n.a.	2.68 ± 1.21	n.a.	1.31 ± 0.52
mechanisch	n.a.	2.57 ± 1.04	n.a.	1.55 ± 0.65	n.a.	3.41 ± 0.89	n.a.	1.67 ± 0.43	n.a.	3.50 ± 1.32	n.a.	1.63 ± 0.45
chemisch	n.a.	1.88 ± 0.31	n.a.	1.19 ± 0.50	n.a.	2.10 ± 0.37	n.a.	1.66 ± 1.07	n.a.	2.85 ± 1.20	n.a.	1.19 ± 0.32
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
mechanisch	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
chemisch	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Tabelle 12: Unkrautbiomasse 2020 [t/ha atro] der Standorte hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode, Zwischenfrucht (RR = Ramtillkraut/ Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer) und Aussaattechnik (DS = Direktsaat; MS = Mulchsaat)

Standort	ohne ZF				RR ZF				HS ZF			
A1	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	1.73 ± 0.41	1.50 ± 0.71	n.a.	n.a.	1.44 ± 0.89	0.93 ± 0.4	n.a.	n.a.	1.38 ± 0.23	1.79 ± 1.35	n.a.	n.a.
mechanisch	0.68 ± 0.17	0.52 ± 0.23	n.a.	n.a.	0.92 ± 1.27	1.03 ± 0.77	n.a.	n.a.	1.12 ± 0.34	0.43 ± 0.09	n.a.	n.a.
chemisch	1.41 ± 0.70	1.15 ± 0.93	n.a.	n.a.	0.96 ± 0.63	1.46 ± 0.94	n.a.	n.a.	1.64 ± 0.62	1.69 ± 1.1	n.a.	n.a.
A2	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	n.a.	2.78 ± 1.24	n.a.	3.32 ± 1.01	n.a.	2.39 ± 1.25	n.a.	2.46 ± 0.33	n.a.	2.16 ± 0.53	n.a.	3.25 ± 0.58
mechanisch	n.a.	1.90 ± 0.88	n.a.	2.76 ± 1.05	n.a.	1.46 ± 1.11	n.a.	2.27 ± 0.56	n.a.	0.70 ± 0.29	n.a.	3.32 ± 1.06
chemisch	n.a.	2.06 ± 1.38	n.a.	2.94 ± 0.61	n.a.	2.60 ± 1.49	n.a.	3.14 ± 0.62	n.a.	2.59 ± 0.49	n.a.	3.27 ± 1.08
A3	MS		DS		MS		DS		MS		DS	
	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne	Futter- erbse	Acker- bohne
ohne	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
mechanisch	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
chemisch	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

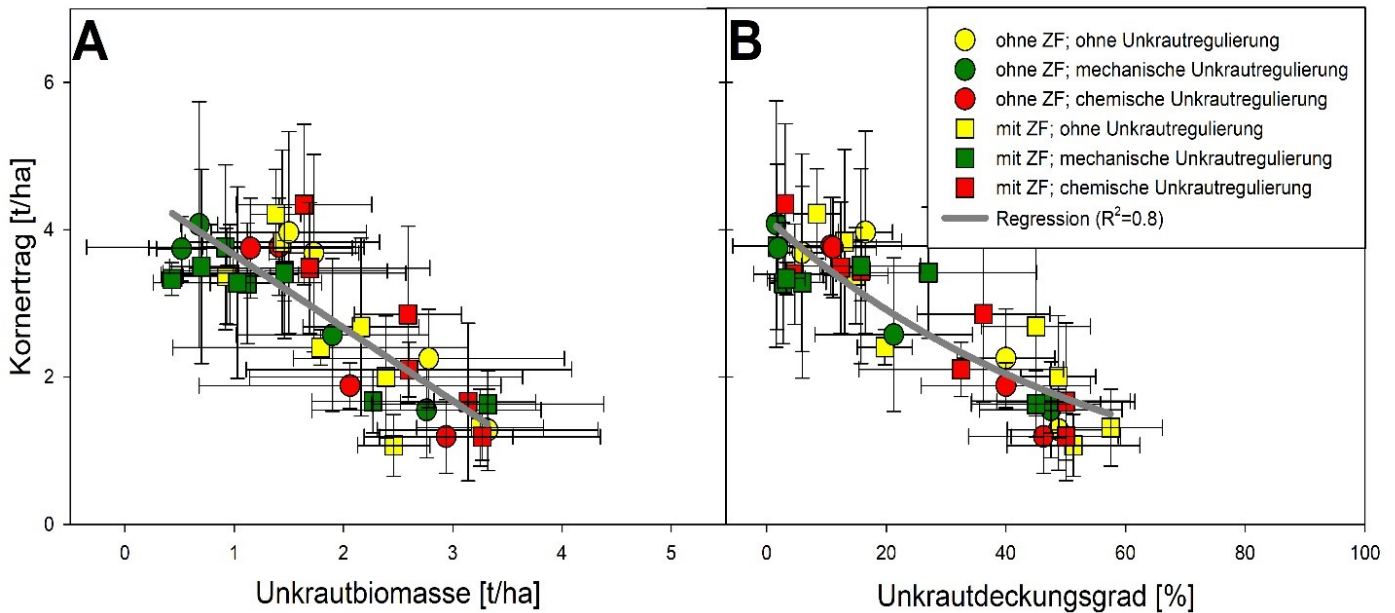


Abbildung 33: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag [t/ha] und (A) Unkrautbiomasse bei der manuellen Ernte 2020 bzw. (B) Unkrautdeckungsgrad [%]. Die angegebenen Daten sind Mittelwerte (n=4) für Arten (Ackerbohne und Futtererbse) in der Unkrautregulierung mit ZF und ohne ZF. Gelbe Symbole kennzeichnen die Kontrolle (gelber Kreis: ohne ZF, gelbes Quadrat: mit ZF). Grüne Symbole kennzeichnen die mechanische Unkrautbekämpfung (grüner Kreis: ohne ZF, grünes Quadrat: mit ZF). Rote Symbole kennzeichnen den chemischen Unkrautbekämpfungsansatz (roter Kreis: ohne ZF, rotes Quadrat: mit ZF). In (A) wurde eine lineare Polynomfunktion an die Daten angepasst ($R^2=0.75$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=4.649-0.9906*x$), in (B) eine exponentielle Zerfallsfunktion ($R^2=0.8$, $P=0.001$, graue Linie, $f(x)=4.1542*exp(-0.0178*x)$).

Auch im Jahr 2020 kann gezeigt werden, dass die Unkrautbiomasse und auch der Unkrautdeckungsgrad bis zu einem bestimmten Maß Einfluss auf den Kornertrag haben. In Abbildung 33B wird deutlich, dass der größte (exponentiell) Einfluss auf den Kornertrag durch den Unkrautdeckungsgrad bei < 25 % gegeben ist. Ab einem Unkrautdeckungsgrad von > 25 % wird der Kornertrag nur noch wenig beeinflusst. Dennoch treten vereinzelte Kornertragschwankungen sowie statistische Ausreißer auf. Dennoch konnten im Jahr 2020 ca. 80 % ($R^2=0.8$) der Werte erklärt werden. Ein ähnliches Muster (linear) konnte in 2020 auch für den Zusammenhang Kornertrag und Unkrautbiomasse gezeigt werden (siehe Abbildung 33A). Grundsätzlich werden auch im Untersuchungsjahr 2020 durch die mechanische Unkrautregulierung im Vergleich zum Herbizideinsatz vergleichbare Kornerträge erzielt. DS führte in jedem Prüfglied zu einer höheren Unkrautbiomasse im Vergleich zur MS. Ein deutlicher Einfluss der Zwischenfrucht auf die Unkrautbiomasse und den Unkrautdeckungsgrad konnte nicht gezeigt werden. Als Grund dafür wird auch wie im Jahr 2018 die geringen Niederschläge von Juli bis Oktober 2019 (Etablierung der Zwischenfrucht) angesehen. Der höchste Unkrautbiomasseaufwuchs (3,32 t/ha) wurde in Kleinwaltersdorf im Direktsaatsystem ohne Unkrautregulierung und ohne ZF ermittelt.

Ökonomische Betrachtung

Weiterhin wurde eine ökonomische Begutachtung durchgeführt. Dabei wurden überwiegend Schätzwerte z.B. Maschinenkosten und Arbeitszeitaufwand von der KTBL berücksichtigt. Am Standort Starbach/Rhäsa schneidet der Anbau der Erbse in den Jahren 2018/2019 mit Herbizideinsatz am ökonomischsten ab (siehe Tabelle 13 und Tabelle 14). Grundlegend wurde festgestellt, dass beim Anbau der Erbsen im Betrachtungszeitraum 2018/2019 sich Zwischenfruchtanbau bewährt, besonders durch die Förderungsprämien. Die ökonomische Auswertung DAL zeigt für Ackerbohne an dem Standort Starbach/Rhäsa nahezu keine Unterschiede in der mechanischen Unkrautbekämpfungsvariante. Ein Zwischenfruchtanbau in der Fruchtfolge Ackerbohne erscheint nur sinnvoll im Jahr 2018 für die Standorte Starbach/Rhäsa.

Dasselbe Muster kann für den Standort Kleinwaltersdorf abgeleitet werden. 2018 ist der Anbau von Zwischenfrüchte ökonomisch sinnvoll, insbesondere durch die Förderung, jedoch für 2019 existiert kein vorteilhafter Zwischenfruchteffekt. Weiterhin wird deutlich, dass nur geringe ökonomische Unterschiede zwischen DS und MS bestehen, da die DS viele Möglichkeiten der Förderung bietet. Darüber hinaus wird auch gezeigt, dass im Jahr 2018 und 2019 am Standort Kleinwaltersdorf die mechanische Unkrautbekämpfung vorteilhafter gegenüber der chemischen Unkrautbekämpfung ist (siehe Tabelle 15 und Tabelle 16). Am Standort Naundorf schneidet die DS 2018 und 2019 ökonomisch am besten ab. In der DS und MS zeigt die Unkrautbekämpfung keine deutlichen Effekte (siehe Tab. 16 und 17).

Tabelle 13: Ökonomische Auswertung [€/ha], Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Starbach (A1) für Futtererbse und Ackerbohne in Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Futter- erbse									Acker- bohne											
Jahr/Aussaat	2018/MS									2018/MS											
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF					
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	872	738	1182	893	780	1048	986	801	1027	811	953	748	643	776	754	691	953	804	691	953	804
Ausgleichszahlung	0	78	0	78	78	78	78	78	78	0	0	0	78	78	78	78	78	78	78	78	78
Verfahrenskosten	671	665	814	731	759	848	833	880	974	574	627	665	644	701	758	740	804	852	740	804	852
DAL mit Prämien	201	73	369	240	99	279	230	-1	131	237	326	83	76	153	74	29	227	30	29	227	30

Tabelle 14: Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Rhäsa für Futtererbse und Ackerbohne in Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Futtererbse									Ackerbohne								
Jahr/Aussaat	2019/MS									2019/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	458	376	520	381	520	770	656	704	454	708	626	651	551	549	600	560	711	655
Ausgleichszahlung	0	0	0	78	78	78	78	78	78	0	0	0	78	78	78	78	78	78
Verfahrenskosten	593	646	697	674	765	819	797	870	871	611	652	702	678	733	786	773	849	889
DAL mit Prämien	-135	-270	-178	-215	-167	29	-63	-88	-340	98	26	-51	-49	-107	-108	-135	-60	-156

Tabelle 15: Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Kleinwaltersdorf (A2) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Ackerbohne									Ackerbohne								
Jahr/Aussaat	2018/DS									2018/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	131	136	249	188	210	304	383	393	612	133	348	326	258	332	431	238	372	492
Ausgleichszahlung	80	80	80	158	158	158	158	158	158	0	0	0	78	78	78	78	78	78
Verfahrenskosten	476	515	672	572	613	768	695	735	894	506	581	710	612	658	816	699	779	947
DAL mit Prämien	-265	-300	-343	-226	-245	-306	-155	-184	-124	-373	-234	-384	-276	-248	-308	-383	-329	-377

Tabelle 16: Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Kleinwaltersdorf (A2) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Ackerbohne									Ackerbohne								
Jahr/Aussaat	2019/DS									2019/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	C	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	298	233	241	184	373	315	311	227	423	444	415	326	380	575	431	346	415	492
Ausgleichszahlung	80	80	80	158	158	158	158	158	158	0	0	0	78	78	78	78	78	78
Verfahrenskosten	557	718	644	628	718	747	734	770	858	654	695	710	742	805	816	828	805	947
DAL mit Prämien	-180	-187	-273	-285	-187	-273	-265	-385	-277	-210	-279	-384	-284	-152	-308	-404	-152	-377

Tabelle 17: Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Naundorf (A3) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2018 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Ackerbohne									Ackerbohne								
Jahr/Aussaart	2018/DS									2018/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	335	329	n.a.	345	338	n.a.	324	367	n.a.	323	359	n.a.	322	358	n.a.	311	335	n.a.
Ausgleichszahlung	310	310	n.a.	388	388	n.a.	388	388	n.a.	230	230	n.a.	308	308	n.a.	308	308	n.a.
Verfahrenskosten	547	585	n.a.	639	677	n.a.	726	769	n.a.	575	618	n.a.	666	708	n.a.	754	795	n.a.
DAL mit Prämien	98	54	n.a.	94	49	n.a.	-14	-14	n.a.	-22	-29	n.a.	-36	-29	n.a.	-135	-153	n.a.

Tabelle 18: Ökonomische Auswertung, Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) mit Prämien für den Standort Naundorf (A3) für Ackerbohne in Direkt- (DS) und Mulchsaat (MS) in 2019 hinsichtlich Unkrautregulierungsmethode (ohne; m = mechanisch; c = chemisch), Zwischenfrucht (ohne ZF = ohne Zwischenfrucht; RR = Ramtillkraut/Rispenhirse; HS = Sommerroggen/Rauhafer)

Kultur	Ackerbohne									Ackerbohne								
Jahr/Aussaart	2019/DS									2019/MS								
Zwischenfrucht	ohne ZF			RR ZF			HS ZF			ohne ZF			RR ZF			HS ZF		
Unkrautregulierung	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c	ohne	m	c
Marktleistung	335	329	n.a.	345	338	n.a.	324	367	n.a.	323	359	n.a.	322	358	n.a.	311	335	n.a.
Ausgleichszahlung	310	310	n.a.	388	388	n.a.	388	388	n.a.	230	230	n.a.	308	308	n.a.	308	308	n.a.
Verfahrenskosten	547	585	n.a.	639	677	n.a.	726	769	n.a.	575	618	n.a.	666	708	n.a.	754	795	n.a.
DAL mit Prämien	98	54	n.a.	94	49	n.a.	-14	-14	n.a.	-22	-29	n.a.	-36	-29	n.a.	-135	-153	n.a.

4.1.5 2021

Im Untersuchungsjahr 2021 wurde ein "praxisnahes Upsacing" an drei weiteren Standorten durch das LfULG vorgenommen und auf die teilflächenspezifische Unkrautregulierung mit einem Zinkenstriegel durchgeführt. Die folgenden Fragestellungen standen im Fokus der Untersuchung: i) kann eine teilflächenspezifische Unkrautregulierung den Unkrautdeckungsgrad weiter absenken z.B. durch effektive Nesterbekämpfung, weniger Anregung der Keimung durch verminderten Lichtreiz und somit zu einem höheren Ertrag führen als eine ganzflächige Unkrautregulierung, ii) kann durch einen weiteren Faktor Arbeitsintensität (z.B. Zinkendruck) eine effizientere Unkrautregulierung stattfinden. Dahingehend wurden am Standort Köllitsch zwei Flächen etabliert. Der Standort K1 (820 x 24 m) wurde mit Winter-Ackerbohne bestellt und als Streifenversuch angelegt, der Standort K2 (620 x 72 m) mit Futtererbse bestellt. Am Standort Nossen wurde eine Fläche von 50 x 198 m mit Ackerbohne etabliert. Der Faktor "Zinkendruck" konnte nur auf dem Standort in Nossen berücksichtigt werden und wurde im Versuch in "normal", "stark" (praxisüblich) und eine "dynamische" Variante klassifiziert. Die dynamische Variante definiert sich aus einem festgelegten Grenzwert, der den Deckungsgrad der Verunkrautung angibt. Wird dieser Grenzwert überschritten verändert sich der "normale" Zinkendruck in einen "starken" Zinkendruck. Die Auswertung der Flächen erfolgte mittels Geoinformationssystem (ArcGIS 10.5.1).

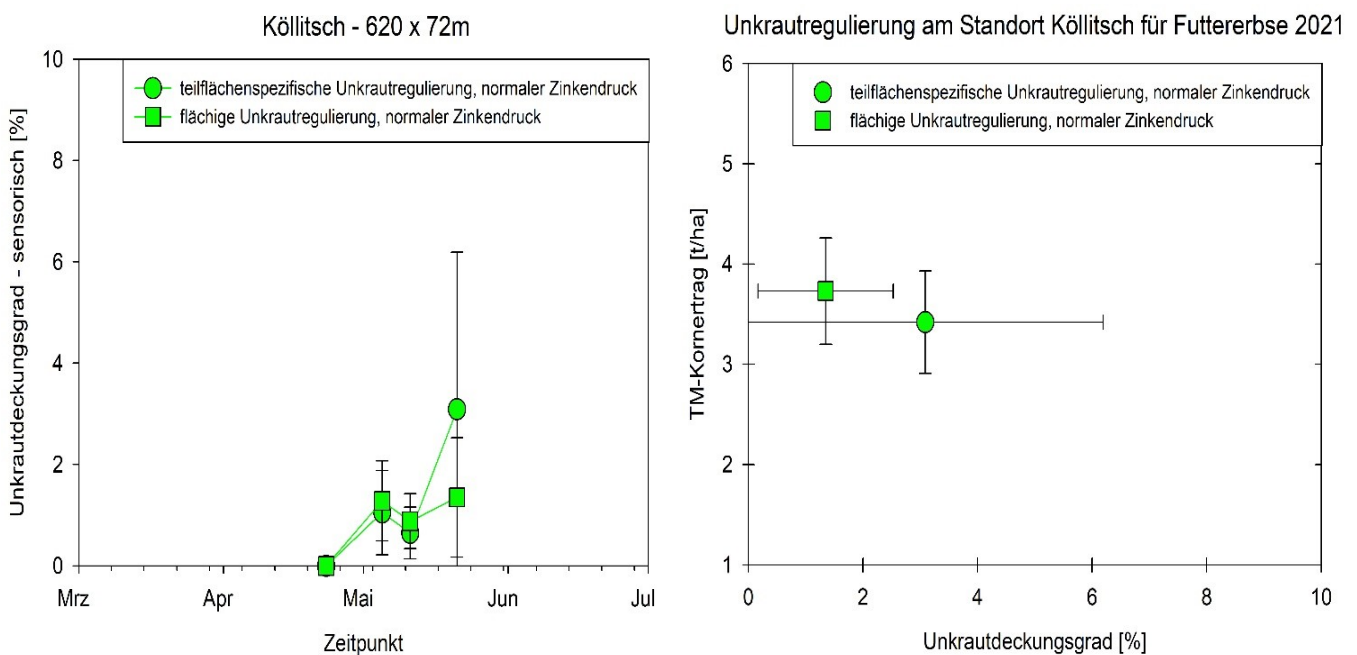


Abbildung 34: A) zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort K2 und B) Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=500) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=3500), für teilflächenspezifische (hellgrüner Kreis) und flächige Unkrautregulierung (hellgrünes Quadrat) in Futtererbse

Am Standort K1 konnte kein Unterschied zwischen teilflächiger und flächiger Unkrautregulierung hinsichtlich DG und Ertrag festgestellt werden. Im Herbst 2020 erfolgte hier keine Unkrautregulierung. Aufgrund des gut entwickelten Bestand der Winterbohne (BBCH > 15, 22.04.2021) konnten nur 2 Striegelgänge realisiert werden. 2 Striegelgänge reichen per se nicht aus um signifikante Unterschiede zu generieren (Daten nicht gezeigt). In der Winter-Ackerbohne dominierten annuelle Unkräuter wie Taubnessel, Vogelmiere und Kamille.

Am Standort K2 (Abbildung 34) konnte nach 3 Striegelgängen auch kein signifikanter Unterschied, zwischen teilflächiger und flächhafter Unkrautregulierung hinsichtlich DG und Ertrag festgestellt werden. Auffällig war die in Abbildung 34 ersichtliche Spätverunkrautung im Versuchsglied teilflächenspezifische Unkrautregulierung. Aufgrund dieser hohen zeitlich, variablen Dynamik empfiehlt sich die Berücksichtigung eines "dynamischen" Grenzwertes, der mit dem BBCH der Kulturpflanze ansteigt.

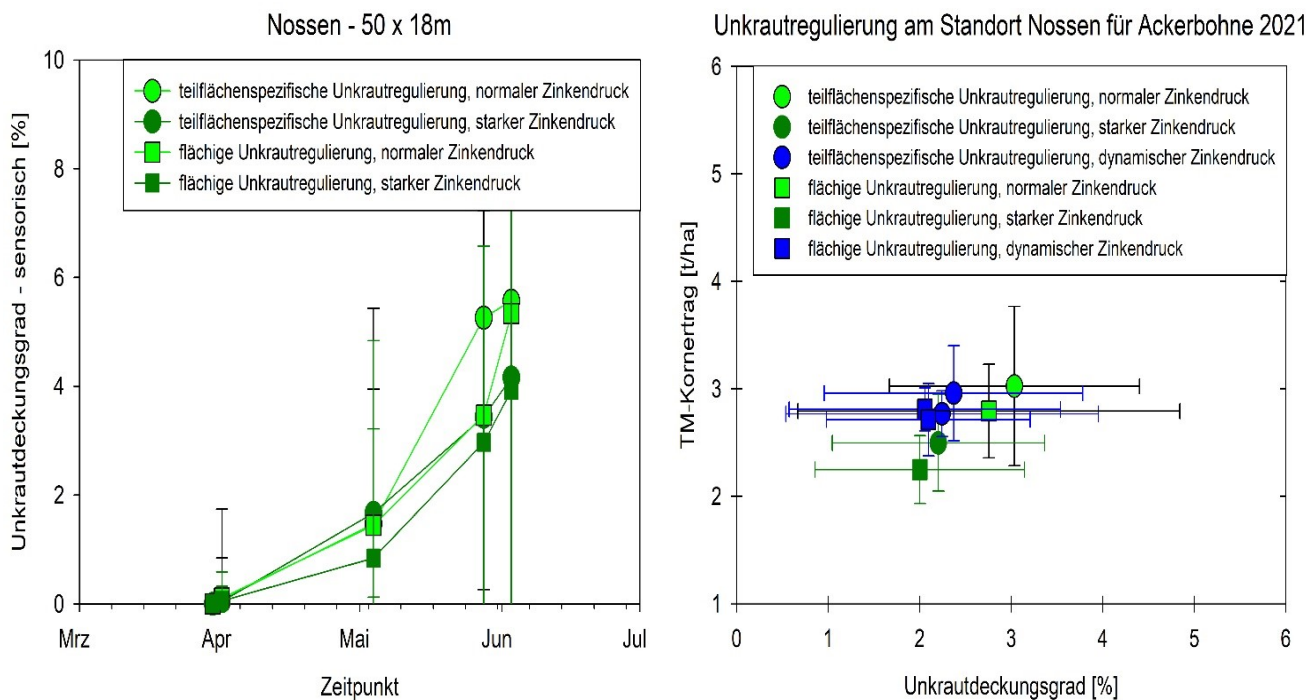


Abbildung 35: A) zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort Nossen und B) Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=1000), für teilflächenspezifische Unkrautregulierung (hellgrüner Kreis), flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck (hellgrünes Quadrat) und für teilflächenspezifische Unkrautregulierung (dunkelgrüner Kreis), flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck (dunkelgrünes Quadrat) und für teilflächenspezifische Unkrautregulierung (blauer Kreis), flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck (blaues Quadrat) in Ackerbohne

Am Standort Nossen konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede, nach 5 Striegelgängen zwischen teilflächiger und flächhafter Unkrautregulierung hinsichtlich Deckungsgrad und Ertrag festgestellt werden (Abbildung 35). Auch auf diesem Standort etablierte sich eine deutliche Spätverunkrautung. Grundlegend lässt sich jedoch der Trend ableiten, dass beim Einsatz eines starken Zinkendruck mit einer Ertragsminderung zu rechnen ist. Am schlechtesten schneiden Systeme ab, die ganzflächig mit starkem Zinkendruck Unkraut regulieren. Ursache dafür dürften Verletzungen und Verluste der Kulturpflanze durch die aggressiv arbeitenden Zinken sein. Am effektivsten arbeiten Systeme mit einer teilflächigen Unkrautregulierung und einem variablen/dynamischen Zinkendruck.

Grundlegend konnte gezeigt werden, dass eine teilflächenspezifische Unkrautregulierung in Echtzeit auf großen praxisnahen heterogenen Schlägen (Upscaling) möglich und auf andere mechanische Arbeitsgeräte übertragbar ist (Zinkenstriegel). Darüber hinaus konnte eine weitere Optimierung umgesetzt werden z.B. Berücksichtigung eines dynamischen Zinkendrucks in Echtzeit.

4.1.6 HO

4.1.7 2018

Im Folgenden werden die gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse der Auswertung der Daten aus der sensorischen Erfassung des Beikrautdeckungsgrades beschrieben. In Abbildung 36 ist der Unkrautdeckungsgrad am 08.05. und am 17.05. sowohl in Ackerbohne als auch in Erbse dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass das natürliche Unkrautunterdrückungspotential der Ackerbohne höher liegt als das der Erbse. Die Behandlungsstufen (Zwischenfrucht sowie Beikrautregulierung) wurden hierbei für Ackerbohne und Erbse gemittelt. Schon am 08.05. (ca. vier Wochen nach der Aussaat) betrug der Unkrautdeckungsgrad bei einheitlicher Vorbewirtschaftung 1,1 % in der Ackerbohne und 6,9 % in der Erbse. 10 Tage später erhöhte sich der Unkrautdeckungsgrad in der Ackerbohne nur leicht auf ca. 1,5 % und in der Erbse deutlich auf 11,8 %. Die natürliche Neigung zur Verunkrautung ist somit bei der Erbse vielfach höher. Durch die typische Blattmorphologie mit wenig Beschattung können die vorliegenden Ergebnisse den Stand des Wissens bestätigen. Die Differenzierung von mono- und dikotylen Beikräutern ergab bei beiden Terminen in der Ackerbohne keine großen Unterschiede. Bei der Erbse dagegen nahmen die monokotylen zum zweiten Messtermin deutlich zu. Am 08.05. lag das Verhältnis bei 70/30 (dikotyl/monokotyl), am 17.05. dagegen wechselten die Verhältnisse auf 30/70. Bei vier auswertbaren Sensormessterminen vom 19.04. – 17.05. wurde zu jedem Zeitpunkt eine Handbonitur mittels Göttinger Schätzrahmen durchgeführt. Die Vergleichsergebnisse zwischen Sensorbeprobung und Handbonitur sind im Folgenden dargestellt (Abbildung 37). Bei den beiden ersten Beprobungsterminen (19.04. und 23.04.2018) 7 bzw. 11 Tage nach der Aussaat wurden die Beikrautdeckungsgrade auf einem sehr geringen Niveau bonitiert. Diese lagen am 19.04. bei ca. 0,2 % und stiegen zum 23.04. auf 0,4 % an. Durch die Sensormessung konnten selbst bei niedrigen Werten bereits deutliche Unterschiede zwischen Erbse und Ackerbohne ermittelt werden. Bei der Handbonitur war dies zu diesem frühen Stadium noch nicht möglich. 14 Tage später konnten am 08.05. bei der sensorischen Erfassung höhere Beikrautdeckungsgrade in der Erbse (5,8 %) gegenüber der Ackerbohne (1 %) ermittelt werden. Die durch die Handbonitur erhobenen Werte lagen bei der Ackerbohne im selben Bereich bei 1,1 %, bei der Erbse aber niedriger bei 0,9 %. Bei der am 17.05. durchgeführten sensorischen Messung konnten sich die zuvor ermittelten Unterschiede zwischen Ackerbohne und Erbse bei höherem Unkrautdeckungsgrad bestätigen. Auch bei der Handbonitur lagen die Unkrautdeckungsgrade am 17.05. deutlich höher als am 08.05. Auffällig war, dass die ermittelten Werte der Handbonitur genau wie am 08.05. bei der Ackerbohne höher bonitiert wurden als bei der Erbse. Somit wurde der Unkrautdeckungsgrad der Handbonitur gegenüber der Sensorbeprobung unterschätzt. Durch die sehr enge Messabfolge des Sensors (10 Bilder pro Sekunde) ist die erfasste Datenmenge um einiges höher als bei der Handbonitur. Somit ist die niedrigere Standardabweichung zu erklären.

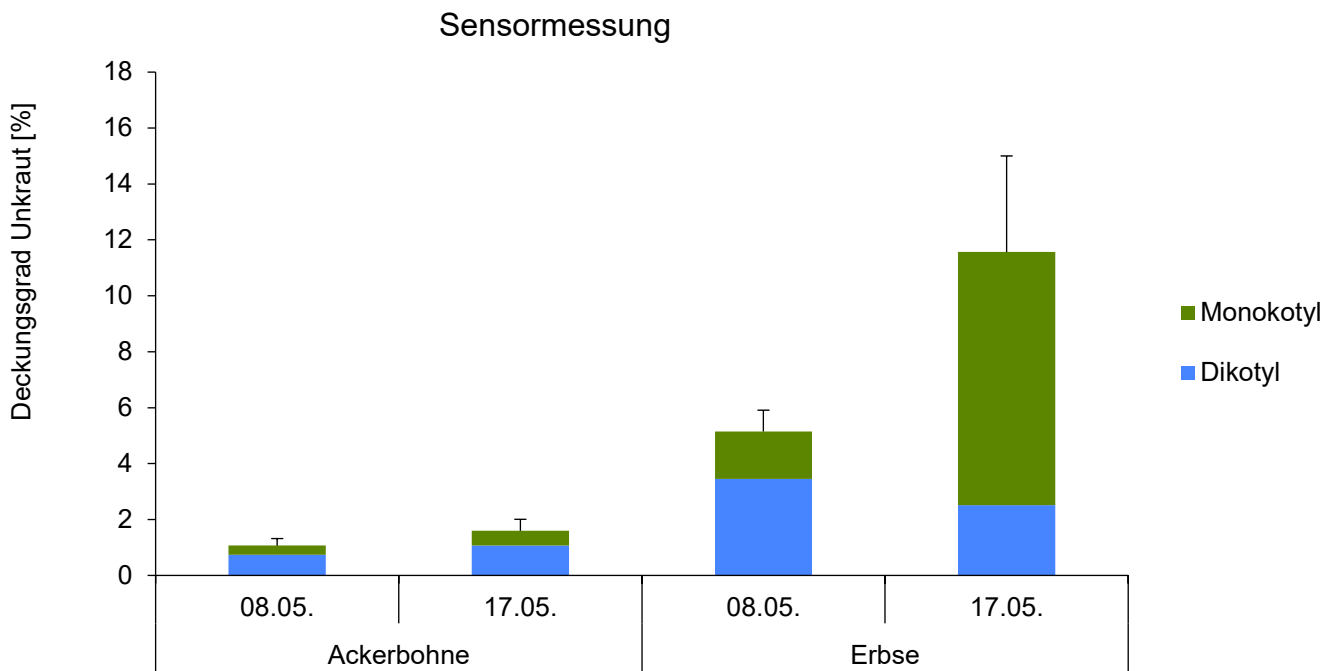


Abbildung 36: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen (08.05. und 17.05. 2018) in Ackerbohne und Erbse

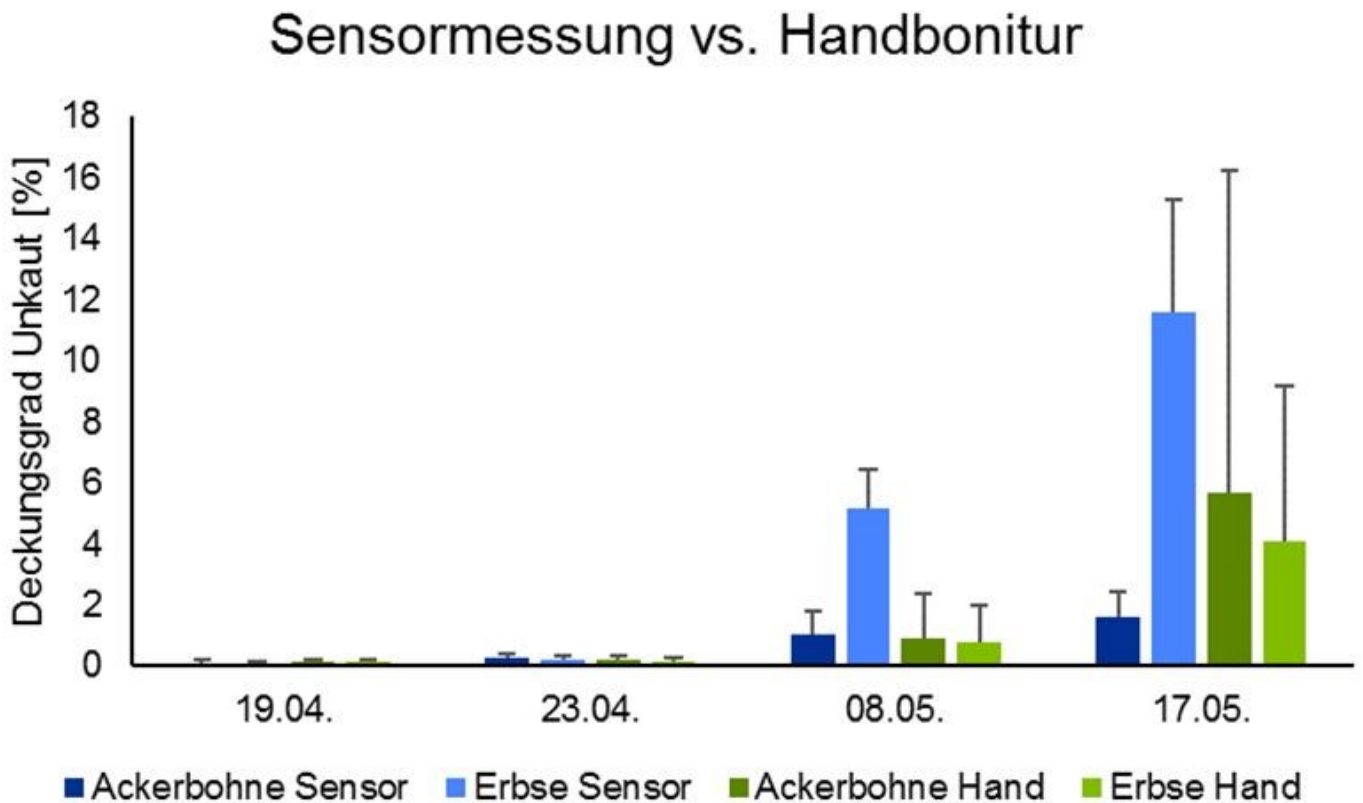


Abbildung 37: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen in Ackerbohne und Erbse verglichen mit Handbonitur

In der nachfolgenden Abbildung 38 ist die Beikraut unterdrückende Vorfruchtwirkung von insgesamt drei Versuchsvarianten dargestellt. Bei allen vier Messterminen ist der ermittelte Beikrautdruck in der Variante ohne Zwischenfrucht am höchsten. Der Anbau des Gemenges mit RR vor der Ackerbohne bzw. Futtererbse führte zu einer Reduktion des gemessenen Unkrautdrucks in der Versuchsfläche und damit auch der Unkrautdeckungsgrade. Zur wirksamsten Reduktion des Unkrautdeckungsgrades führte das Gemenge aus Hafer und Sommerroggen. Hierbei konnten zu allen vier Beprobungsterminen Vorteile gegenüber den ohne Zwischenfrucht eingesäten Versuchsvarianten gemessen werden. Auch wie der folgenden Abbildung 37 zu entnehmen ist, konnten die Ergebnisse mit der Handbonitur bestätigt werden. Sowohl bei der Sensormessung als auch der Handbonitur zeigt die Variante ohne Zwischenfrucht den höchsten Unkrautdeckungsgrad, gefolgt von den Varianten RR und HS. Des Weiteren ist anzumerken, dass hier das Unkrautwachstum in beiden Varianten mit Zwischenfrucht niedriger ist. Bei der Handbonitur ist die Abstufung der drei Prüfglieder deutlich differenzierter. Der Unkrautdeckungsgrad wurde bei der Handbonitur gegenüber den Ergebnissen der Sensormessung tendenziell unterschätzt. Hierbei sind aufgrund der wesentlich kürzeren Messintervalle auch niedrigere Standardabweichungen zu erkennen.

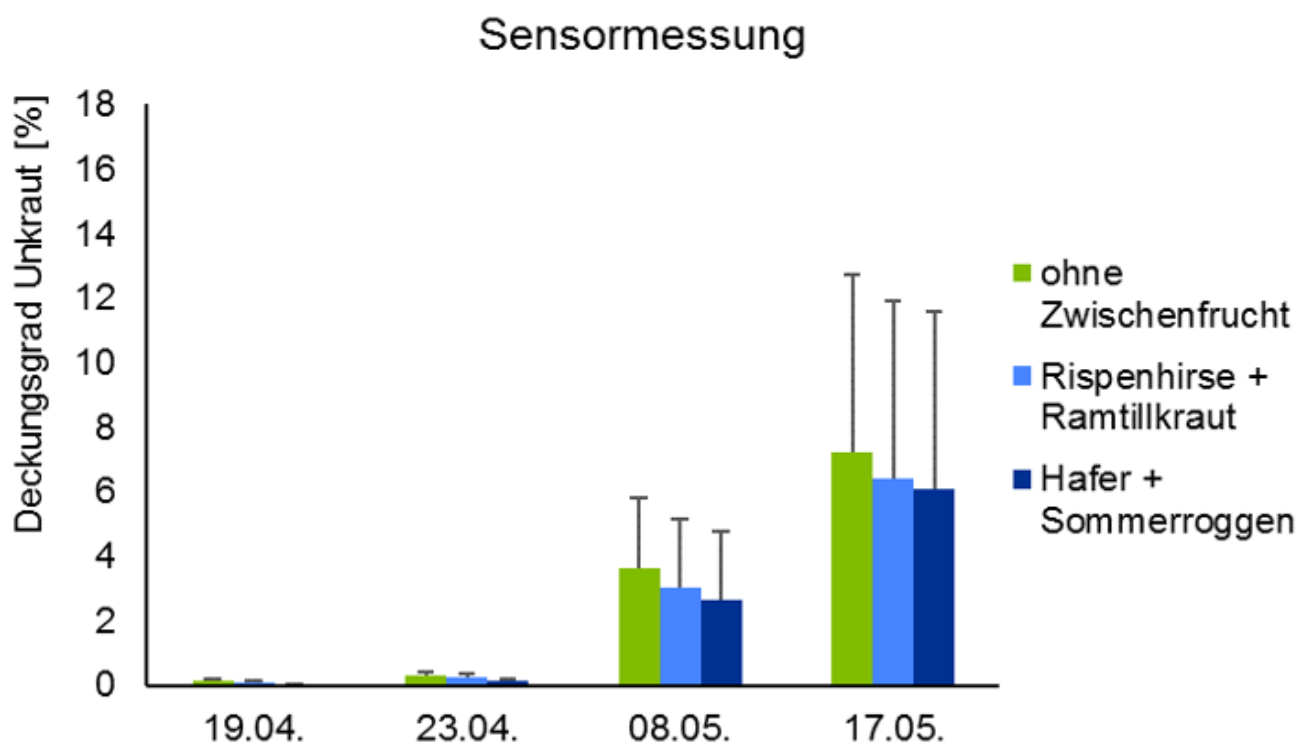


Abbildung 38: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Vorfrüchte (Messdurchführung mittels Sensor)

Des Weiteren ist in der Abbildung 39 die Differenzierung in mono- und diokotyle Beikräuter zu sehen. Bei dem Leguminosenanbau ohne vorherige Zwischenfrucht liegt das Verhältnis bei der Messung am 08.05. bei 30 % monokotylen und 70 % diokotylen Beikräutern. In der gleichen Variante ändert sich das Verhältnis bei der Messung am 17.05. in 70 % monokotyle und 30 % diokotyle Beikräuter. Auch in den weiteren beiden Vorfruchtvarianten (RR und HS) ist ein ganz ähnliches Verhältnis bei den beiden Messterminen (08.05. und 17.05.) zu beobachten. Signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten konnten in Bezug auf mono- und diokotyle Unkräuter nicht festgestellt werden.

In der folgenden Abbildung 40 ist der Unkrautdeckungsgrad von Ackerbohne und Erbse zu zwei Sensor- messterminen (08.05. und 17.05.) bei drei Unkrautregulierungsvarianten zu erkennen. Der Deckungsgrad in der Ackerbohne (0,5 – 1,8 %) ist am 08.05 wesentlich niedriger als der Deckungsgrad der Erbse (5,1 - 6,0 %) zum selben Zeitpunkt. Sowohl am 08.05 als auch am 17.05. ist in der Ackerbohne der Unkrautdeckungsgrad der Kontrollvariante höher als bei der Striegel- oder der Herbizidvariante. Letztere zeigt zu diesem Zeitpunkt die niedrigsten Beikrautdeckungsgrade. Die gleiche Variantenabstufung ergibt sich in der zweiten Messung am 17.05. in der Ackerbohne auf einem minimal höheren Beikrautniveau. Bei der Messung am 08.05. in der Erbse liegen die Deckungsgrade deutlich höher bei 4-6 %. Auch hier liegen die Deckungsgrade der Kontrollvariante am höchsten. Die geringste Beikrautdichte wurde am 08.05. in der Striegelvariante erfasst. Der Unkrautde- ckungsgrad war in der Herbizidvariante tendenziell höher als in der Striegelvariante, was aber nicht statistisch abgesichert werden konnte. Am 17.05. lag der Unkrautdeckungsgrad im Erbsenbestand in der Herbizidvariante bei über 15 %. Zeitgleich liegt er bei der Handbonitur zum selben Zeitpunkt bei unter einem Prozent. Somit liegt die Vermutung nahe, dass zum späten Boniturzeitpunkt die Erbse sensorisch nicht vom Unkraut unter- schieden werden kann. Bei der Ackerbohne ist dies nicht der Fall.

Wahrscheinlich konnte der in den Messungen verwendete Algorithmus für Raps die Futtererbse in fortge- schrittenem BBCH-Stadium (>35) nicht mehr erkennen, die Ackerbohne hingegen etwas länger (BBCH >51). Für die Kulturpflanzen Futtererbse und Ackerbohne existiert momentan noch kein eigener Algorithmus.

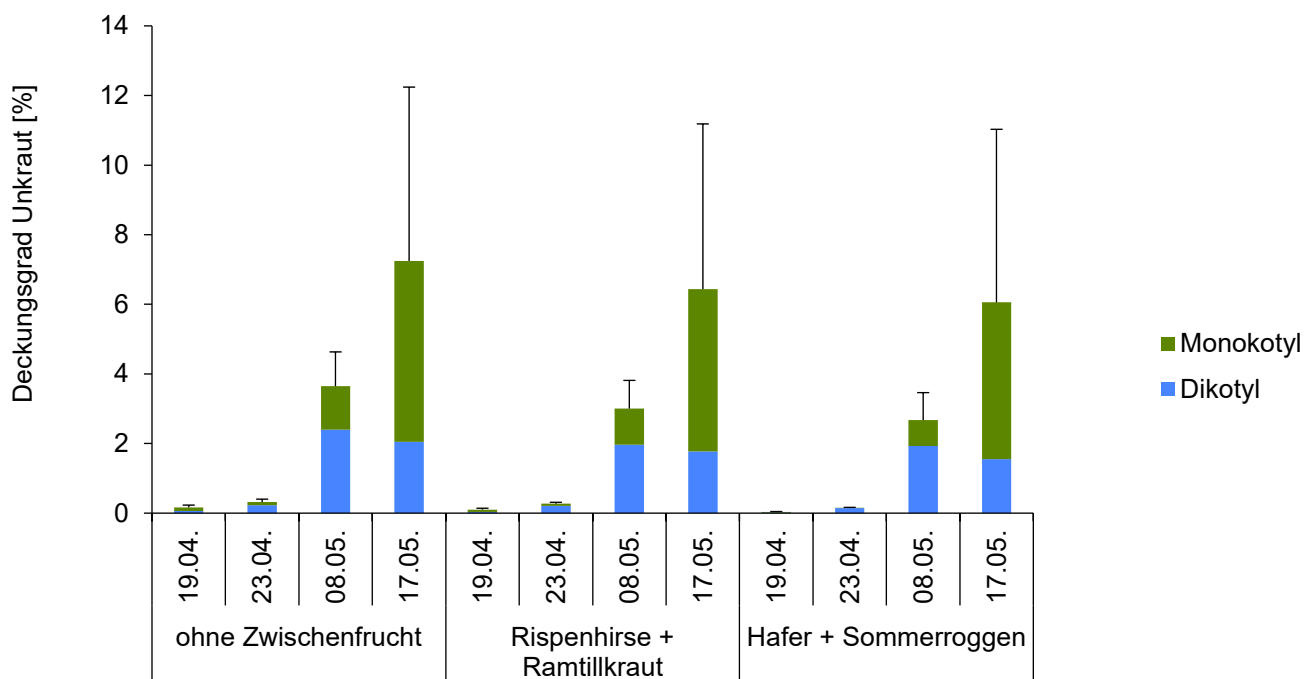


Abbildung 39: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unter- schiedliche Zwischenfrüchte inkl. Aufspaltung in mono- und dikotyle Beikräuter

Sensormessung

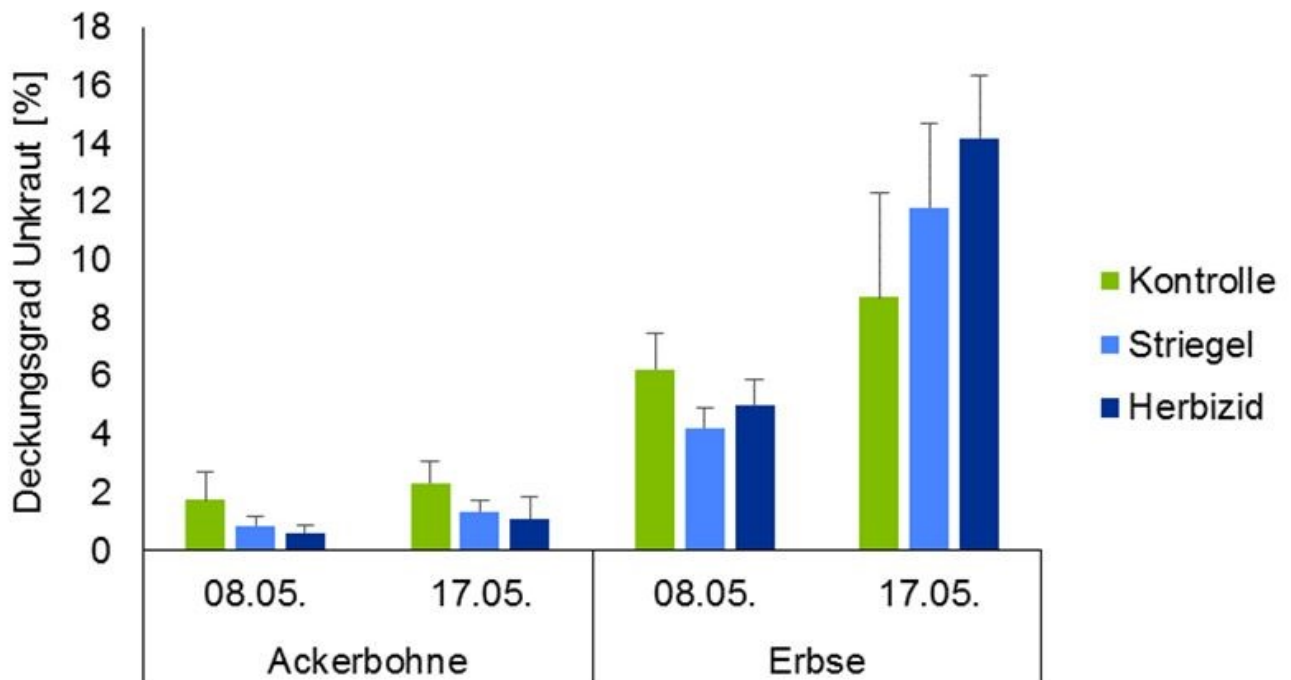


Abbildung 40: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Beikrautregulierungsvarianten (Messdurchführung mittels Sensor)

Die in Abbildung 41 dargestellten Handbonituren der Unkrautdeckungsgrade in drei Beikrautregulierungsvarianten beschreiben gegenüber der Sensormessung zum gleichen Zeitpunkt ein anderes Bild. Unkrautdeckungsgrad der Kontrollvariante wird in beiden Kulturen zu beiden Zeitpunkten zum Teil deutlich überschätzt. In der Variante Striegel und Herbizid hingegen wird der Unkrautdeckungsgrad gegenüber der Sensormessung unterschätzt. Die Standardabweichung fällt auch bei dieser Messserie bei der Handbonitur zum Teil deutlich höher aus. In der Ackerbohne wurden am 08.05. die höchsten Unkrautdeckungsgrade in der Kontrollvariante festgestellt. Striegel und Herbizid unterscheiden sich zu diesem Zeitpunkt nicht. Am 17.05. dagegen unterscheiden sich alle drei Versuchsvarianten nicht signifikant voneinander. Am 08.05. ist ein ähnliches Bild auch in der Erbse zu finden. Am 17.05. unterscheiden sich alle Varianten nicht signifikant voneinander. Die Herbizidvariante hat mit ca. 1 % vor dem Striegel mit 3 % Deckungsgrad den niedrigsten Beikrautbesatz. Die Kontrolle liegt zu diesem Zeitpunkt bei 9,5 %.

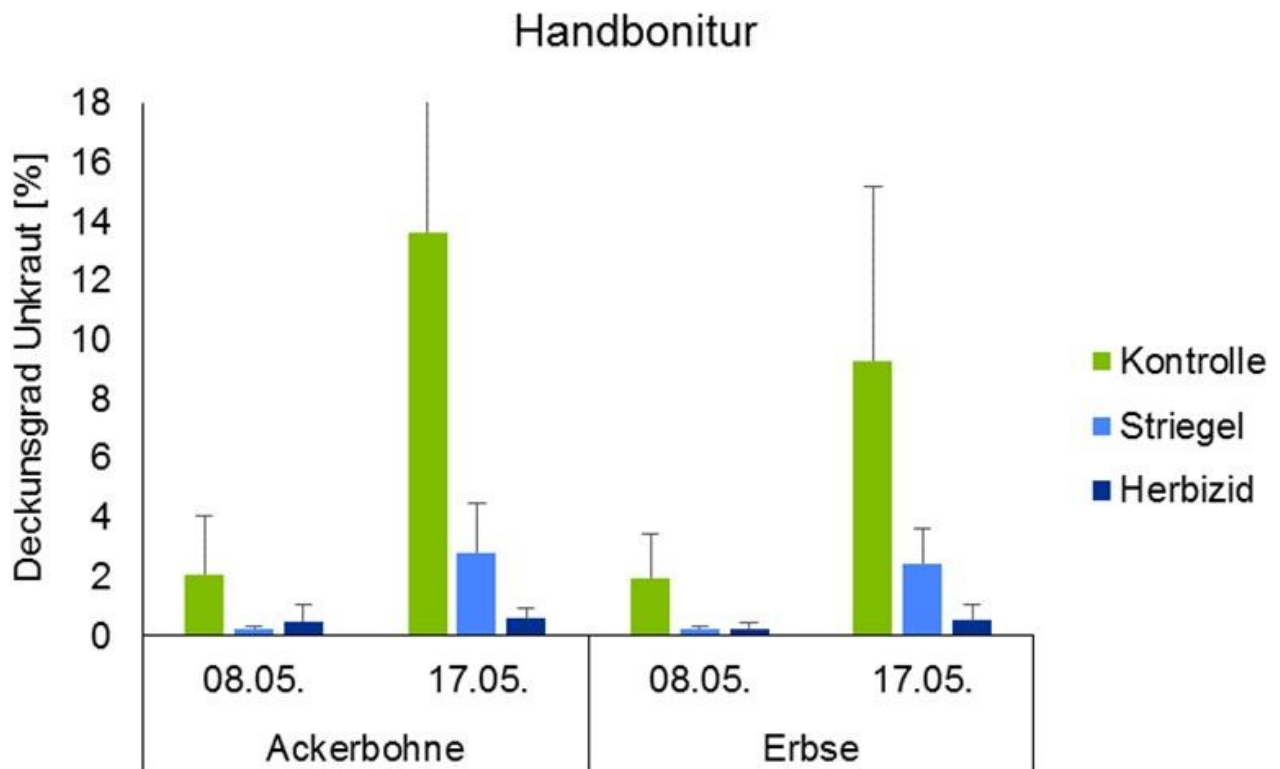


Abbildung 41: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei zwei Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Beikrautregulierungsvarianten (Messdurchführung mittels Handbonitur)

Abschließend ist in der Abbildung 42 die Aufspaltung der Beikräuter in mono- und dikotyle Beikräuter zu sehen. In der Kontrollvariante liegt das Verhältnis bei der Messung am 08.05. bei 30 % monokotylen und 70 % dikotylen Beikräutern. In der gleichen Variante ändert sich das Verhältnis bei der Messung am 17.05. in 60 % monokotyl und 40 % dikotyle. Auch in den weiteren beiden Regulierungsvarianten ist ein ganz ähnliches Verhältnis bei den beiden Messterminen (08.05. und 17.05.) zu beobachten. Bei der Striegelvariante liegt das Verhältnis am 08.05. bei 20 % mono- und 80 % dikotyle, am 17.05. dagegen wechselt der Anteil auf 60 % mono- und 40 % dikotyle Beikräuter. Das gleiche Verhältnis wie in der Striegelvariante liegt am 08.05. auch in der Herbizidvariante vor. Zum 17.05. hingegen ist der Anteil an monokotylen Beikräutern nochmals höher bei rund 80 % zu 20 % bei dikotylen Beikräutern.

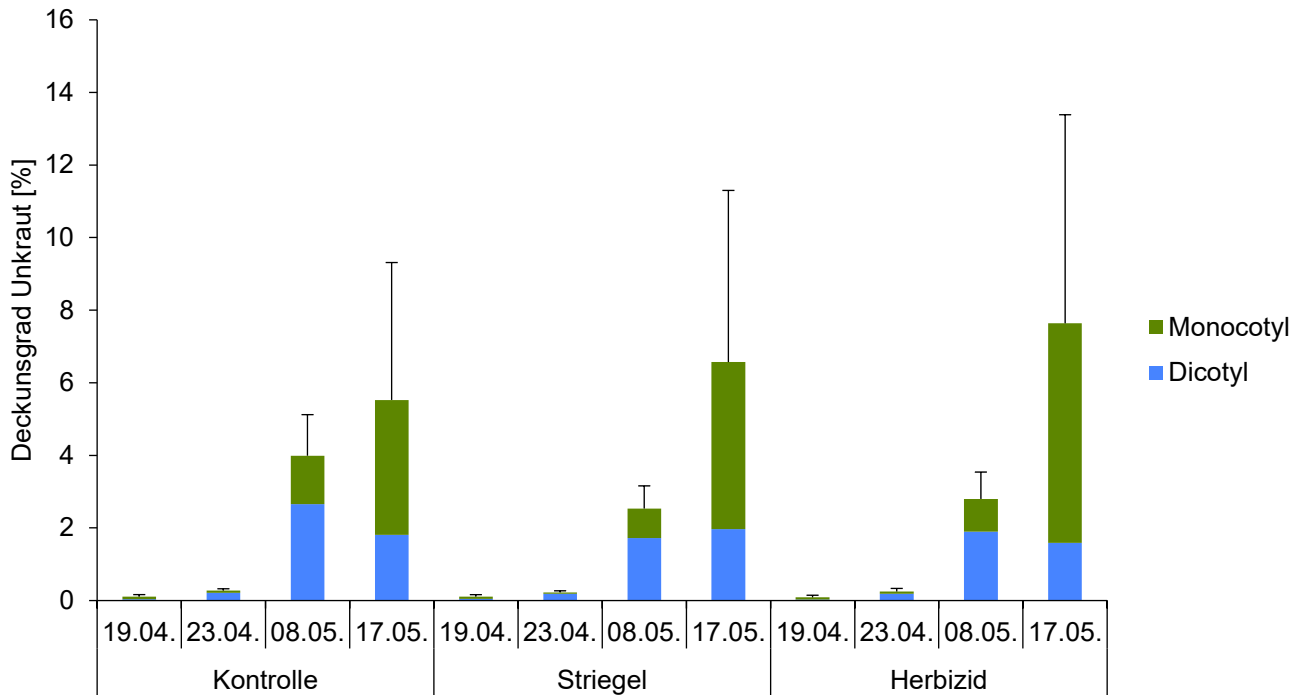


Abbildung 42: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrade bei vier Messterminen bezogen auf drei unterschiedliche Unkrautregulierungsvarianten inkl. Aufsplitterung in mono- und dikotyle Beikräuter

Im Vergleich zu den Handboniturmessungen kann durch die sensorische Erfassung des Unkrautdeckungsgrades der kritische Zeitpunkt zur Unkrautentfernung genauer und früher ermittelt werden. Im Versuchsjahr 2018 ist der Striegeleinsatz zur Beikrautregulierung ebenso erfolgreich wie die Herbizidvariante. Weiterhin ist festzuhalten, dass die Ackerbohne aufgrund ihres Habitus ein höheres Unterdrückungsvermögen gegenüber Unkräutern aufweist als die Erbse. Durch den Anbau von Zwischenfrüchten (getestet RR und HS) kann der Beikrautdruck reduziert werden.

Das Nicht-Erfassen von Problemunkräutern mit Null-Toleranz-Schwelle sowie das Verwechseln von Hauptkultur und Unkraut in späteren Stadien führt dazu, dass das Messsystem in diesem Fall Grenzen aufzeigt. Des Weiteren ist eine Einsatzempfehlung des Segmenthebers von verschiedensten Außenfaktoren, wie dem generellen Unkrautdruck der Fläche, dem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, dem Entwicklungszustand der Hauptkultur und dem Witterungsverlauf während und nach der Regulierungsmaßnahme, abhängig. Um detailliertere Kenntnisse zu erlangen, wurde für die Vegetationsperiode 2019 eine Erweiterung der Versuchsanlage in Osnabrück vorgenommen. Dabei wurde die Frage des Schadschwellenprinzips zum Ein- und Aussetzen des Segmenthebers anhand eines Schwellenwertes genauer untersucht. Die Versuchsanlage wurde mit der Kultur Ackerbohne durchgeführt.

4.1.8 2019

Nach der Messung mittels H-Sensor wurden die Daten den einzelnen Parzellen zugeordnet werden. Bei der DG Ermittlung wurden ebenfalls die GPS-Koordinaten für den jeweiligen Messpunkt aufgezeichnet. Dies ermöglicht die genaue Zuordnung der Messwerte für die verschiedenen Varianten. Die Messung wurde in 6 Bahnen unterteilt, wobei jede Bahn 4 Parzellen enthielt. Um die Genauigkeit zu erhöhen und um Randeffekte auszuschließen, wurden jeweils 1 Meter zu Beginn und am Ende einer jeden Parzelle nicht berücksichtigt. Jede Bahn wurde daraufhin separat ausgewertet. Ebenfalls wurden Messpunkte entfernt, welche als Ausreißer gewertet wurden, da sie deutliche Abweichungen von den vorhandenen manuellen Messpunkten aufwiesen. In Abbildung 43 sind die gesetzten Grenzen in orange und die einzelnen Messpunkte in blau markiert. Jeder Punkt steht für einen Messpunkt.

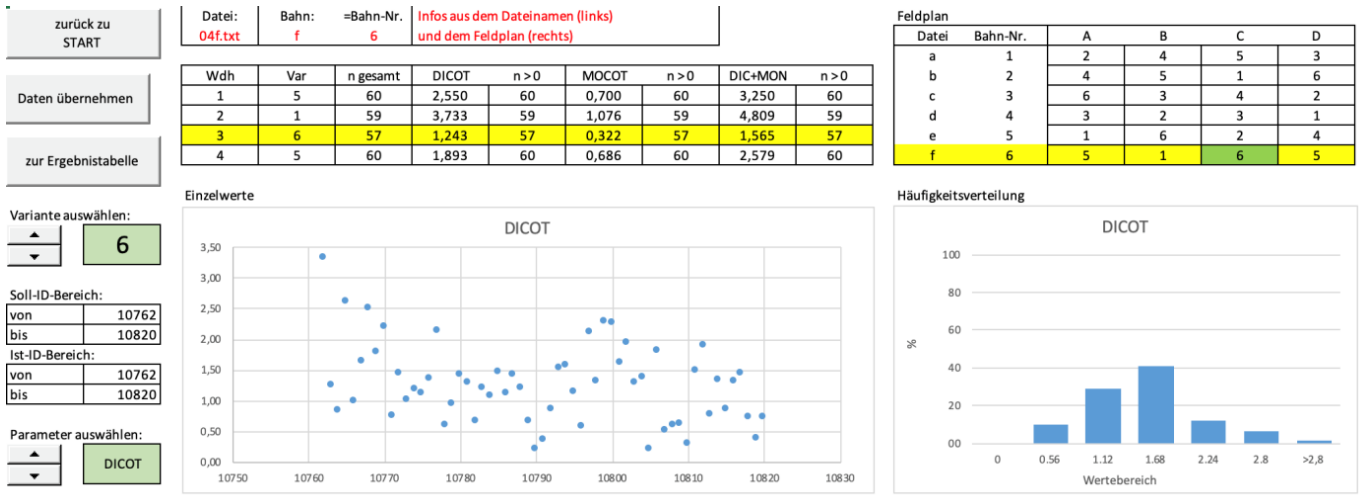


Abbildung 43: Ermittlung von Unkrautdeckungsgraden [%] der Parzelle von monokotylen und dikotylen Unkräutern (Beispiel vom 13.05.2019)

Anhand dieser Daten wurden die zugeordneten Sensordaten ausgewertet. Ziel dieser aufwendigen Auswertung direkt nach der Messung im Feld war eine Qualitätskontrolle der Funktionsweise des Sensors, die gleichzeitig mit der Messung erfolgte. In Abbildung 43 ist die Anzahl an Messpunkten pro Parzelle zu sehen die durch das entwickelte Programm schnell und ohne Zeitverzug kontrolliert werden konnte. Auf Grundlage der Auswertung der einzelnen Varianten wurde entschieden, ob eine mechanische Unkrautregulierung mittels Rollhacke stattfinden musste oder ob die Schadschwelle der Parzelle nicht erreicht wurde. Dabei wurden alle Messpunkte einer Parzelle zusammengefasst und ein Mittelwert gebildet. Anders als im Vorjahr wurden keine Unterschiede zwischen mono- und dikotylen Unkräutern erfasst, da der Rollstriegel nicht selektiv arbeiten kann. Die sensorisch ermittelten Daten wurden in der Auswertung und Beurteilung zusammengefasst.

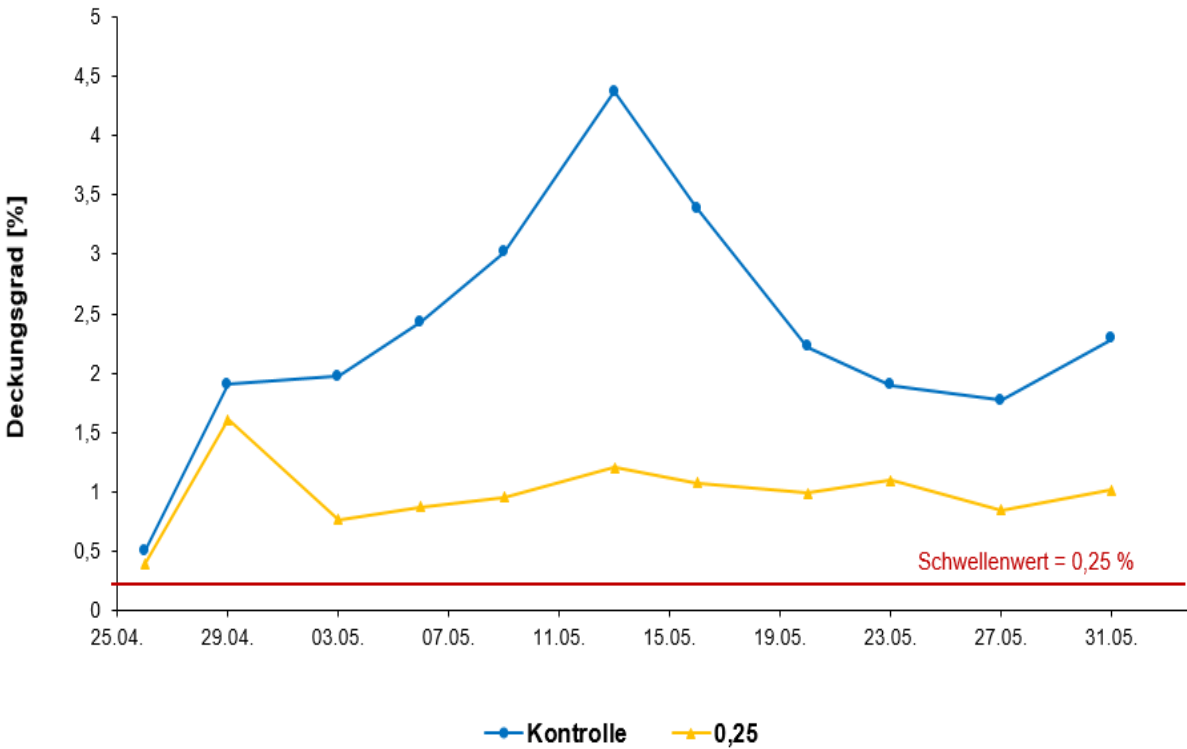


Abbildung 44: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 0,25 % Schwellenwert

In Abbildung 44 ist der Verlauf des Unkrautdeckungsgrades der Variante 2 mit dem Schwellenwert von 0,25 % abgebildet. Zu sehen ist, dass der Schwellenwert von 0,25 % zu jedem Zeitpunkt überschritten wurde. Jedoch konnte auf Grundlage der mechanischen Unkrautregulierung ein nahezu konstanter Unkrautdeckungsgrad gehalten werden. In der zweiten Messung am 29.04.2019 erreichte diese Variante ihren maximalen Unkrautdeckungsgrad bei 1,6 %. Der niedrigste Wert wurde bei der ersten Messung am 26.04.2019 ermittelt und betrug 0,38 %. Aus der Abbildung 44 geht hervor, dass im Vergleich zur Kontrollvariante 1 die Variante 2 mit 0,25 % einen geringeren Unkrautdeckungsgrad aufweisen kann. Die maximale Differenz zwischen der Kontrollvariante und der 0,25 %-Variante betrug 3,1 % (13.05.2019) (Abbildung 44). Im Überblick sind keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollvariante in den ersten beiden Messterminen sowie bei Messtermin 9 und 10 erkennbar. Ebenfalls unterscheidet sich die Variante 2 zu keinem Zeitpunkt signifikant von den restlichen Varianten des Versuches. Zum letzten Messtermin (31.05.2019) wurde ein Unkrautdeckungsgrad von 1 % erreicht. Nach Durchführung der letzten Unkrautregulierung wurde die Variante 2 bis zur Ernte nicht weiter betrachtet, da der Pflanzenbestand aufgrund der Pflanzenhöhe nicht mehr mit einem Rollstriegel befahren und reguliert werden konnte.

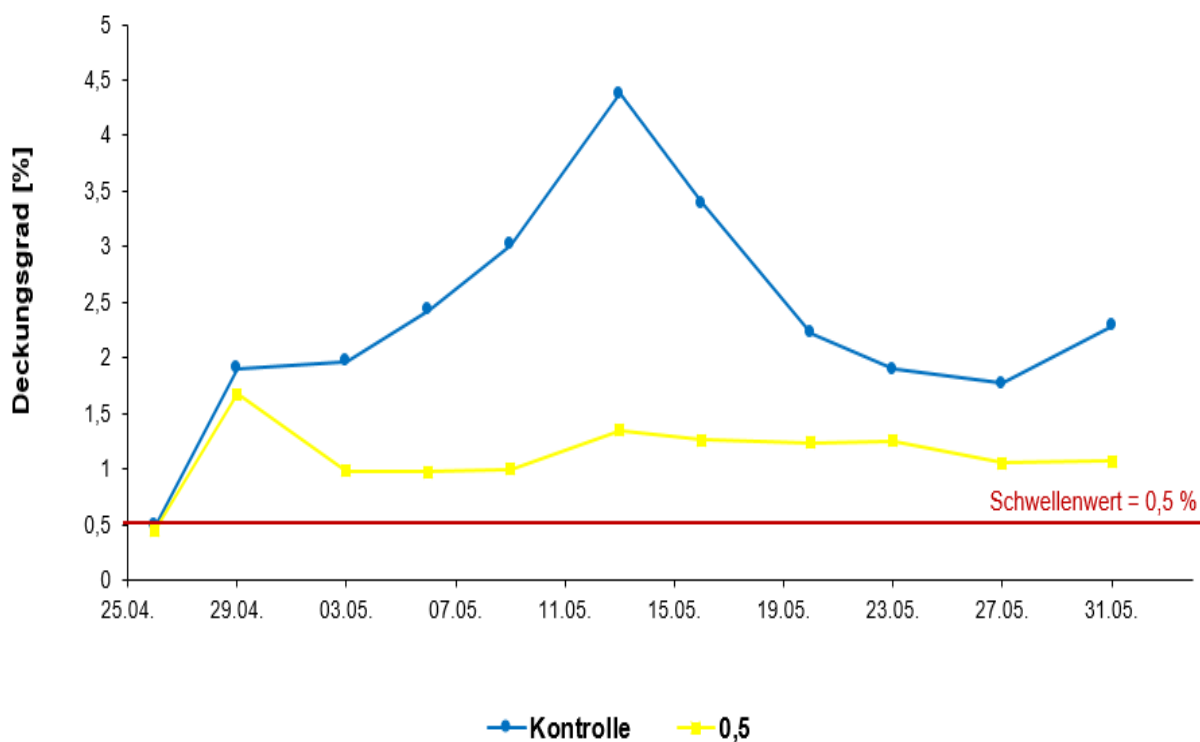


Abbildung 45: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 0,5 % Schwellenwert

In Abbildung 45 ist der Verlauf des Unkrautdeckungsgrades aus Variante 3 (Schwellenwert 0,5 %) im Vergleich zur Kontrollvariante 1 zu erkennen. Unterschritten wurde der Schwellenwert lediglich zu einem einzigen Zeitpunkt im erfassten Zeitraum. Hierbei handelt es sich um den ersten Messtermin am 26.04.2019. Die Variante 3 erreichte hier einen Unkrautdeckungsgrad von 0,45 %. Durch die mechanische Unkrautregulierung konnte der Unkrautdeckungsgrad in einem Bereich von 0,97 % bis 1,35 % gehalten werden. Im Vergleich zwischen der Variante 3 und der Kontrollvariante 1 ist eine Differenz von 3 % auszumachen. Signifikante Unterschiede zu der Kontrollvariante sind in den Messterminen 3, 4, 5, 6, 7 und 10 zu erkennen. Ebenfalls bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den anderen Varianten zu allen Terminen. Zum letztmaligen Messzeitpunkt am 31.05.2019 wurde ein Unkrautdeckungsgrad von 1,06 % ermittelt. Auch diese Variante wurde daraufhin nicht weiterverfolgt.

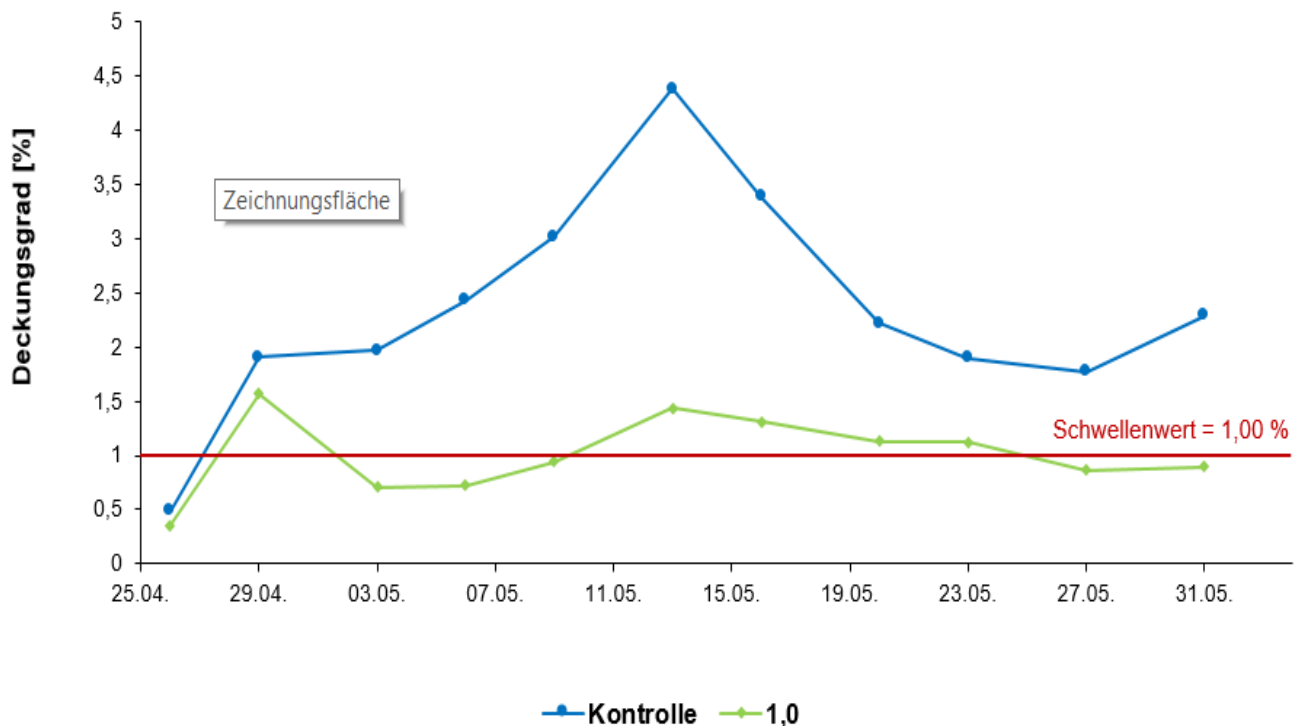


Abbildung 46: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 1,0 % Schwellenwert

In der obenstehenden Abbildung 46 ist der Verlauf des Unkrautdeckungsgrades in Variante 4 (grüne Linie) zu erkennen. In 6 der 10 Messterminen wurde ein Unkrautdeckungsgrad ermittelt, der sich unter dem Schwellenwert von 1,0 % befand. Hierbei handelt es sich um die Messtermine 26.04., 03.05., 06.05., 09.05., 27.05. und 31.05.2019. Dies bedeutet, dass an jenen Terminen keine mechanische Unkrautregulierung in der Variante stattgefunden hat. Lediglich am 29.04.2019 und im Zeitraum vom 13.05.2019 bis zum 23.05.2019 wurde in dieser Variante der Schwellenwert überschritten. Die maximale ermittelte Differenz zwischen der Variante 4 und der Kontrollvariante lag bei ca. 2,9 % Deckungsgrad. Ein signifikanter Unterschied zwischen der Variante 4 und der Kontrollvariante konnte an den Messterminen 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 0 festgestellt werden. Darüber hinaus bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen der Variante 4 und den verbleibenden Varianten. 0,89 % betrug der Unkrautdeckungsgrad am letzten durchgeführten Messtermin 31.05.2019. Daraufhin wurde keine weitere Messung in dieser Variante durchgeführt, sodass bis zu der Ernte ebenfalls keine weiteren Unkrautregulierungen mehr stattfanden.

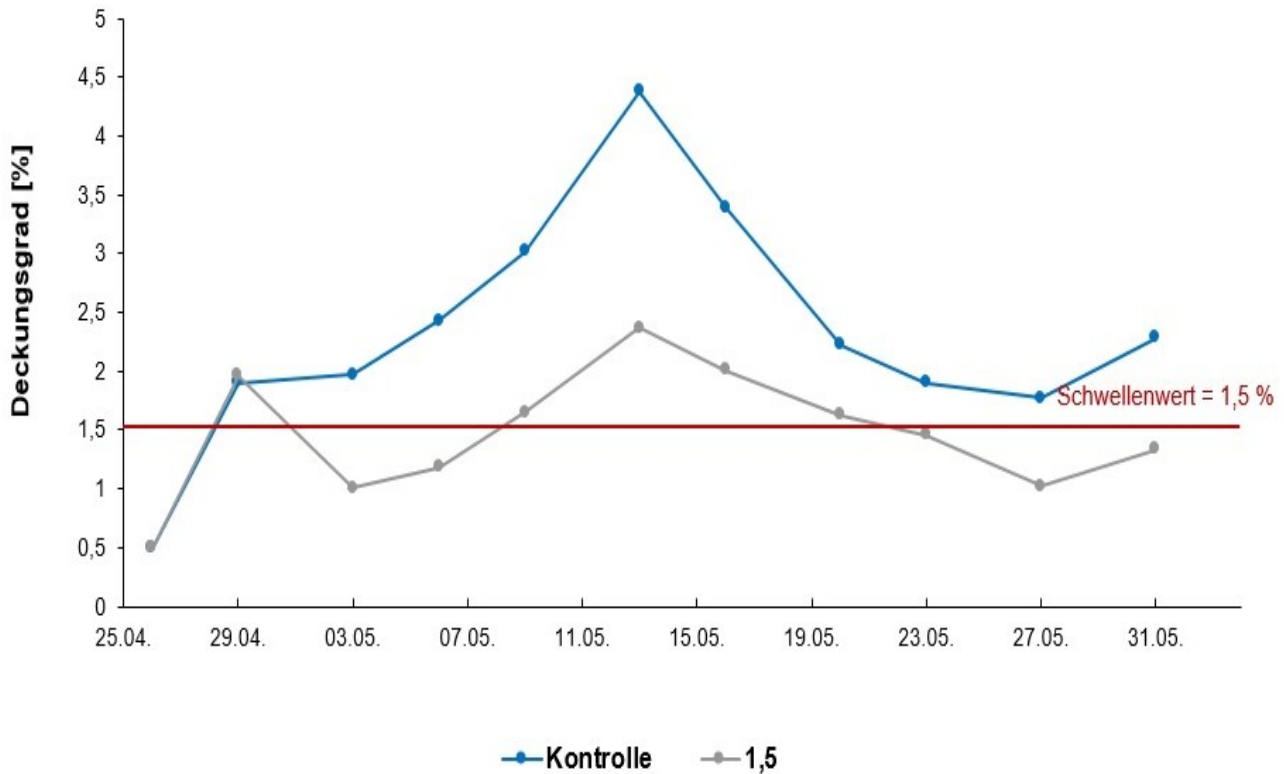


Abbildung 47: Verlauf des Unkrautdeckungsgrades bei der Variante 1,5 % Schwellenwert

In Abbildung 47 ist der Verlauf der Verunkrautung bei einem der Schwellenwert von 1,5 % Unkrautdeckungsgrad. Auch in dieser Variante lagen die Unkrautdeckungsgrade an 6 Messterminen unterhalb des Schwellenwertes von 1,5 %. Im Verlauf ist zu erkennen, dass der Deckungsgrad durch die nicht durchgeführte Regulierungsmaßnahme zum ersten Messtermin am 25.04.2019 um 1,5 % anstieg. Dies wurde zum 2. Messtermin am 29.04.2019 festgestellt. Daraufhin erfolgte eine Regulierungsmaßnahme, die den Deckungsgrad auf 1 absenkte. Im weiteren Verlauf stieg der Unkrautdeckungsgrad bis zum Termin 6 auf 2,3 % an. Hierbei betrug die Differenz zur Kontrollvariante ca. 2 %. Den Schwellenwert unterschritt die Variante 5 erstmalig wieder am 23.05.2019. Hier betrug der Unkrautdeckungsgrad 1,46 %. Bis zum letzten Termin der Messperiode wurde der Schwellenwert nicht mehr überschritten. In dieser Variante sind signifikante Unterschiede zur Kontrollvariante an den Messterminen 3, 4, 5, 6, 7 und 11 zu erkennen. Abweichend hiervon bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen der Variante 5 und den verbleibenden Varianten. Am 31.05.2019 betrug der Unkrautdeckungsgrad 1,33 %, welches der letzte Termin zur Ermittlung des Deckungsgrades in dieser Variante war. Im weiteren Verlauf bis zur Ernte der Ackerbohne erfolgten aufgrund der Pflanzhöhen keine weiteren Regulierungsmaßnahmen.

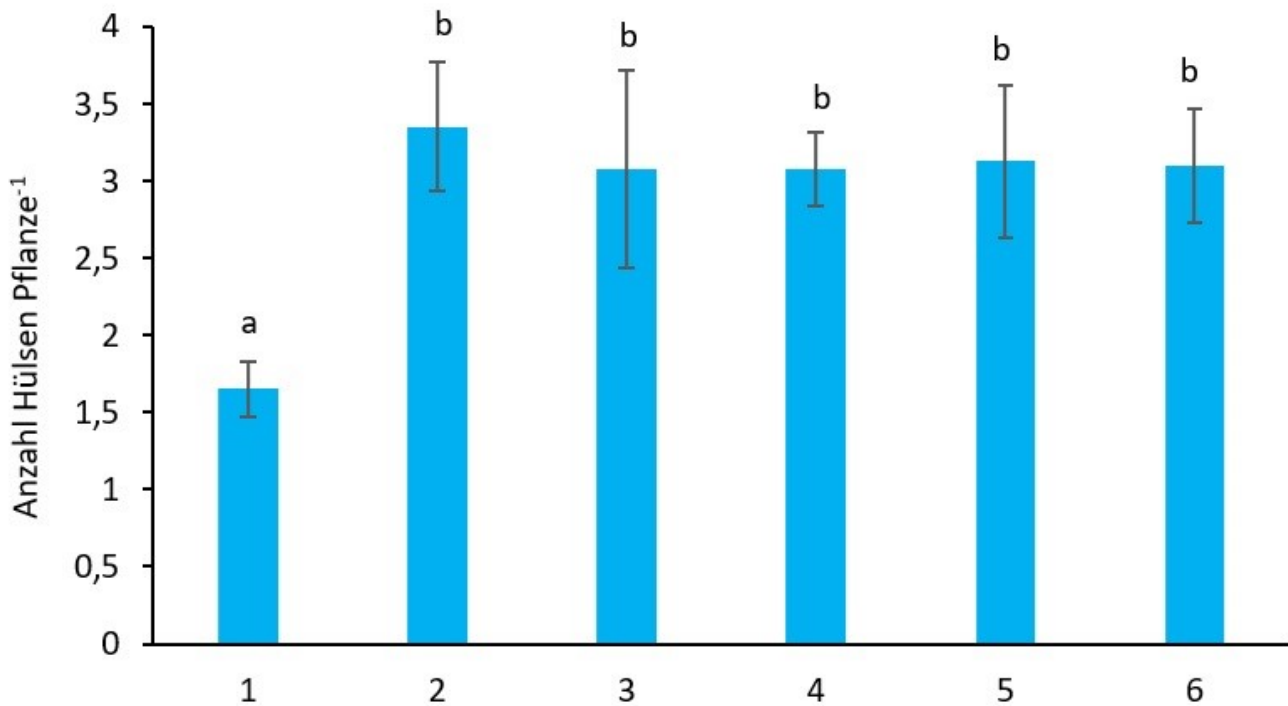


Abbildung 48: Mittelwerte der Anzahl Hülsen pro Pflanze zum Zeitpunkt der Ernte

In der Abbildung 48 wird die Anzahl der Hülsen pro Pflanze, welche am Tag der Ernte ermittelt wurden, gezeigt. Der niedrigste Hülsenansatz wurde bei der Kontrollvariante (1) dokumentiert. Hier lag der Mittelwert lediglich bei 1,65 Hülsen pro Pflanze. Diese Variante wies signifikante Unterschiede zu den verbleibenden fünf Varianten auf. Der höchste Hülsenansatz pro Pflanze wurde bei der Variante 2 mit einem Schwellenwert von 0,25 % Unkrautdeckungsgrad ermittelt. Dieser lag bei 3,35 Hülsen pro Pflanze. Variante 3 mit 0,5 % und bei der Variante 4 mit 1,0 % wiesen jeweils einen Hülsenansatz von 3,075 % Hülsen pro Pflanze auf. Leichte Abweichungen waren mit einem Hülsenansatz von 3,125 bzw. 3,1 Hülsen pro Pflanze bei der Variante 5 mit 1,5 % und der Variante 6 (Volle Intensität) zu erkennen. Zwischen den Varianten 2 bis 6 lassen sich keine signifikanten Unterschiede feststellen.

Bei mechanischen Unkrautregulierungsmaßnahmen kann es zu Beschädigungen der Kulturpflanze und auch zu Pflanzenverlusten kommen. Neben der Anzahl von Hülsen pro Ackerbohnenpflanze wurden deshalb an drei unterschiedlichen Terminen Pflanzenzählungen durchgeführt. Im Folgenden sind die Pflanzenverluste für alle Variante im Laufe der Versuchsperiode aufgeführt. Beschädigungen an der Kulturpflanze, die nicht zu deren Absterben führte, wurde nicht erfasst.

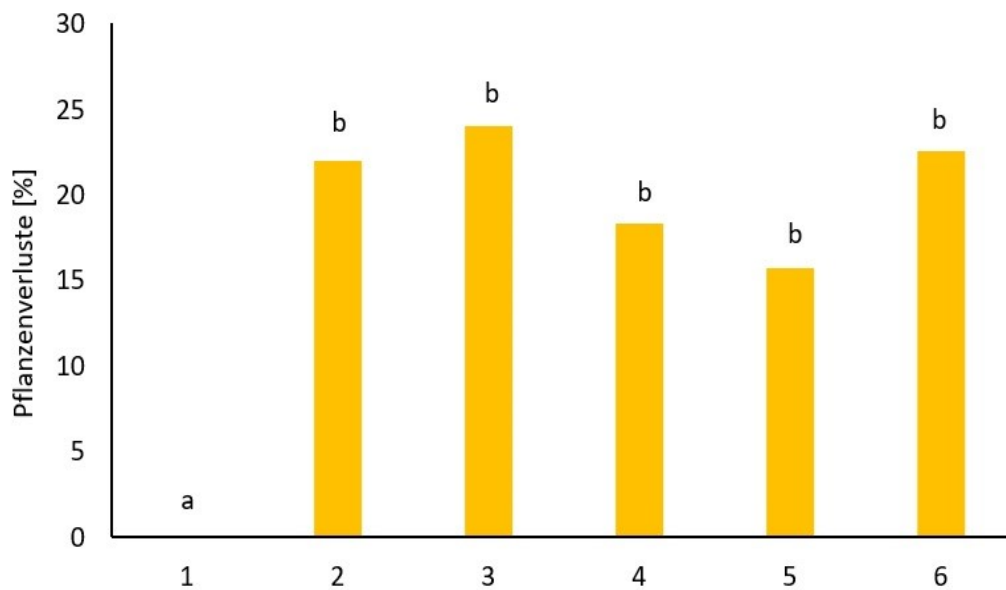


Abbildung 49: Prozentuale Pflanzenverluste im Laufe der Vegetation

In der Abbildung 49 sind die Pflanzenverluste [%] für jedes Prüfglied abgebildet. Zu sehen ist, dass in der Kontrollvariante (ohne Regulierung) keine Verluste vorhanden sind und sie sich dadurch signifikant von den verbleibenden fünf Varianten unterscheidet. Beim Betrachten der Variante 2 mit 0,25 % Unkrautdeckungsgrad ist zu erkennen, dass diese Pflanzenverluste von 22 % vorgewiesen haben. In der Variante 3 lag der prozentuale Wert der Pflanzenverluste bei 24 %, dementsprechend etwas höher als bei Variante 2. 18 % Verluste wurden in der Variante 4 mit 1,0 % Unkrautdeckungsgrad ermittelt. Lediglich 15,7 % Pflanzenverluste wurden in der Variante 5 dokumentiert, welches sich als geringster Verlust des Versuchs herausstellte. In der Variante „Volle Intensität“ wurden ebenfalls, wie in Variante 2, Pflanzenverluste von ca. 22 % festgestellt. Durch die statistische Auswertung konnte ermittelt werden, dass zwischen den Varianten 2 bis 6 keine signifikanten Unterschiede vorhanden sind. Jedoch unterscheiden sich diese Varianten alle von der Kontrollvariante 1, in der keine Unkrautregulierung stattgefunden hat.

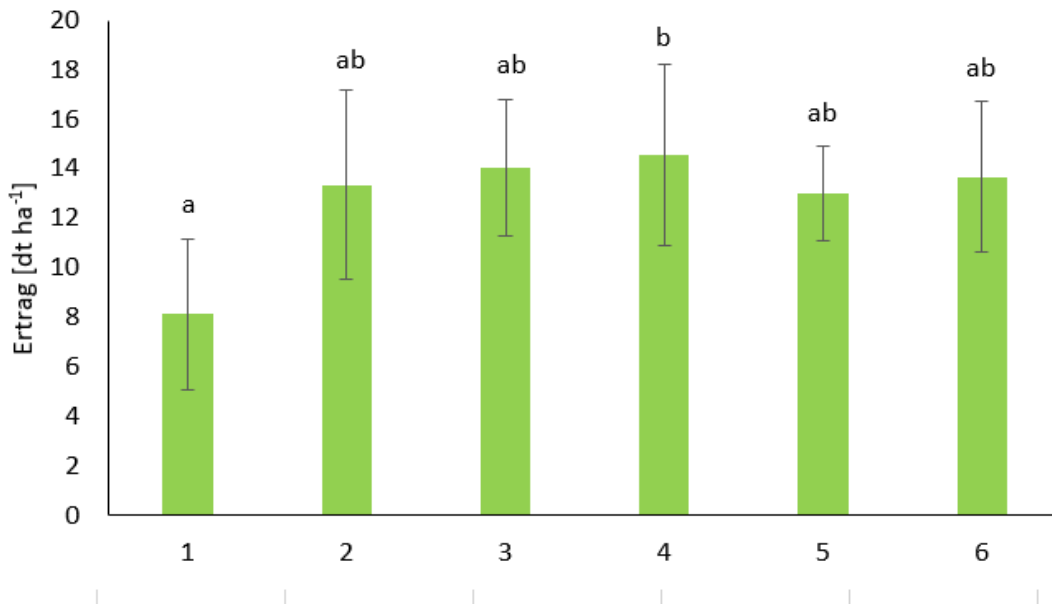


Abbildung 50: Abhängigkeit zwischen Pflanzenverlusten und Ertrag

Die Erträge der Ackerbohne werden in der Abbildung 50 gezeigt. In der Kontrollvariante wurden die niedrigsten Erträge mit 8,12 dt/ha festgestellt. Diese Variante zeigt deutliche Abweichungen zur Variante 4 (1,0 % Unkrautdeckungsgrad), welche den höchsten Ertrag des Feldversuches vorweisen konnte. Dieser lag bei 14,56 dt/ha Ackerbohnen. Das ist ein Mehrertrag von 79,31 % der Variante 4 gegenüber der Variante 1 (Kontrolle). Für die Variante 2 konnte ein Ertrag von 13,36 dt/ha ermittelt werden, welcher sich nicht signifikant von der Kontrollvariante sowie der Variante 4 unterscheidet. Der zweithöchste Ertrag des Feldversuches wurde in der Variante 3 dokumentiert. Mit Erträgen von 14,04 dt/ha konnten keine wesentlichen Unterschiede gegenüber der Kontrollvariante und Variante 4 festgestellt werden. Die zweitgeringsten Erträge entwickelten sich in der Variante 5. In dieser Variante mit einem Schwellenwert von 1,5 % Unkrautdeckungsgrad lag der Ertrag bei 13,02 dt/ha. Bei der Variante, die der vollen Intensität entspricht, ergaben die Ertragsdaten einen Wert von 13,68 dt/ha. Die statistischen Auswertungen ergaben in diesem Fall, dass ebenfalls keine signifikanten Unterschiede gegenüber den Varianten 2,3 und 5 vorhanden waren.

Neben der in 2018 getesteten Datenquantität und Qualität des H-Sensors, die im Vergleich zur Handbonitur als äußerst zufriedenstellend bewertet werden konnten, lag der Fokus im Versuchsjahr 2019 auf der Ermittlung eines pflanzenbaulichen Schadschwellenwertes. Dieser sollte festlegen, ab welchem Unkrautdeckungsgrad eine mechanische Unkrautregulierung stattfinden soll. Der dauerhafte Rollstriegeleinsatz ab einem Unkrautdeckungsgrad von 0,25 oder 0,5 % ist auf dem getesteten Standort nicht empfehlenswert, da er zu keinem Mehrertrag führt und zudem höhere Pflanzenverluste mit sich bringt. Die Variante 4 (1 %) Unkrautdeckungsgrad erwies in 2019 die höchsten Erträge und die geringsten Pflanzenverluste. Da dieser Wert mit der vorhandenen Technik durchaus realistisch zu erreichen ist, empfehlen wir einen Einsatz des Rollstriegels ab einem Unkrautdeckungsgrad von 1 % als Voreinstellung für die Saison 2020. Im Weiteren Projektverlauf 2020 wurden die gewonnenen Kenntnisse der Firma APV Technische Produkte übermittelt, so dass ein Basismodul zum Ansteuern des Segmenthebers entwickelt werden kann. Des Weiteren wird eine Software benötigt, die im Onlinebetrieb die Daten des Sensors erfasst und verarbeitet sowie diese in einem Ansteuermodul an das Rollstriegelelement weitergibt.

4.1.9 2020

Im Folgenden werden die gewonnenen Erkenntnisse über die Kopplung zwischen Rollstriegel und Sensor vorgestellt. Auf der ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche Sudendey des Versuchsbetriebs Waldhof der Hochschule Osnabrück wurden Ackerbohnen in Testparzellen mit einer Sollverunkrautung eingesät. Wie bereits erwähnt wurde, erfolgte ein Umbau des Rollstriegels, damit dieser elektrisch angesteuert und ein hydraulischer Aushubmechanismus zum Ein- und Aussetzen der Hackelemente betätigt werden konnte. Die in der Theorie entwickelte Software konnte im Sommer 2020 das erste Mal im Feld eingesetzt werden. Zu den anfänglichen Schwierigkeiten zählten diverse Kabelbrüche, schadhafte Steckverbindungen, das Ausbleiben von Sensordaten sowie Fehlimpulse bei elektrischen Signalen. Nach zahlreichen Optimierungen im Zuge von Testüberfahrten im Feld konnten diese Mängel abgestellt werden und es gelang erstmals die störungsfreie sensorbasierte Ansteuerung des Rollstriegels.

In Abbildung 51 ist auf der linken Seite der H-Sensor in der Fronthydraulik des Schleppers angebaut. Er wird mit der eigens entwickelten Anbauvorrichtung 90 cm über der Bodenoberfläche geführt, so dass jedes aufgenommene Bild ca. 0,8 m² Fläche umfasst. Der Sensor basiert auf Falschfarbaufnahmen, wodurch die Konturen der Pflanzen vom Boden abgegrenzt werden und vorgegebene kulturspezifische Algorithmen zwischen Kulturpflanze und Beikraut differenzieren. Auf der rechten Seite ist das ausgehobene Rollstriegelsegment in der Heckhydraulik des Schleppers zu erkennen. Generell ist die Ausgangsposition des Rollstriegels während der Überfahrt über der Bodenoberfläche ausgehoben. Werden jedoch die festgelegten, auf den Einzelfall anpassbaren Schadschwellenwerte überschritten, senkt sich das Rollstriegelsegment automatisch ab und reguliert dementsprechend teilflächenspezifisch das Beikraut. Wird der Schadschwellenwert aufgrund der Sensormessung wieder unterschritten, hebt das Segment wieder automatisch hydraulisch in die entsprechende Ausgangsposition aus. Damit nicht permanent ein- und ausgesetzt und infolgedessen die Ansteuerungstechnik überfordert wird, arbeitet die Software mit einem gleitenden Mittelwert über mindestens 20 Einzelmesswerte.



Abbildung 51: Messung mit H-Sensor in der Fronthydraulik des Schleppers (l.), Rollstriegelsegment mit automatischem, hydraulischem Aushub (r.)

Die Erkenntnisse im Bereich des Schadschwellenprinzips am Standort Osnabrück wurden mit den Ergebnissen vom LfULG verglichen und bewertet. Dabei ist man gemeinsam zu der Erkenntnis gekommen, dass ein dynamischer Schwellenwert abhängig von dem BBCH-Stadium der Hauptkultur und vom generellen Unkrautdruck und Flächenzustand für die Vegetationsperiode 2021 getestet werden soll (Upscaling). Des Weiteren konnte die Umwandlung eines Sensorsignals in ein Steuersignal mit Hilfe einer entwickelten Software durchgeführt werden, so dass mit dem eingesetzten Rollstriegel das Ein- und Aussetzen der Arbeitssegmente automatisch etabliert werden konnte.

Durch die sensorische Onlinebewertung mittels der entwickelten Software ist ein sehr individuelles Schadschwellenverfahren anhand des Unkrautdeckungsgrades möglich, von dem im Feld in 2021 Gebrauch gemacht wurde. Weiterhin wird die entwickelte Ansteuerung auf andere mechanische Striegeltechniken übertragen. Dies gilt speziell für die Ansteuerung eines hydraulischen Zinkenstriegels, der abhängig von den Sensormesswerten teilflächenspezifisch die Striegelintensität verändern kann. Bei stark verunkrauteten Teilflächen werden höhere Kulturpflanzenverluste und Beschädigungen auftreten, weshalb diese stärker und aggressiver bearbeitet werden können. Wenig verunkrautete Flächen hingegen sollen nur leicht gestriegelt werden, um Pflanzenbeschädigungen und Kulturpflanzenverluste zu reduzieren.

4.1.10 2021

Im Jahr 2021 wurde der Zinkenstriegel erfolgreich umgebaut. In der Abbildung 52A ist der Unkrautdeckungsgrad über den Vegetationsverlauf von Aussaat bis zum Bestandesschluss zu sehen. Dabei wurden zu fünf aufeinanderfolgenden Zeitpunkten Regulierungsmaßnahmen durchgeführt. Über alle getesteten Varianten hinweg war das Unkrautniveau auf der Versuchsfläche über den gesamten Vegetationszeitraum hinweg nur sehr gering und stieg zu keinem Messzeitpunkt über 3 % Unkrautdeckungsgrad, was für den Ackerbohnenanbau auf einem ökologischen Standort sehr niedrig ist. Schon bei der ersten Regulierungsmaßnahme am 26.04. kann man tendenziell leicht höhere Unkrautdeckungsgrade bei der flächig schwach gestriegelten Variante erkennen, die aber nicht signifikant sind. Zwischen den Varianten starker und normaler Zinkendruck hingegen sind in Bezug auf den Unkrautdeckungsgrad keine Unterschiede zu erkennen.

Nach weiteren Regulierungsmaßnahmen am 03.05. und 10.05. wurde die letzte Maßnahme am 01.06. durchgeführt. Dabei waren die niedrigsten Unkrautdeckungsgrade in der Variante starker Zinkendruck zu erkennen. Nur leicht höhere Unkrautdeckungsgrade konnte die Variante schwacher Zinkendruck aufweisen, gefolgt von dynamischer Zinkendruck, der sich tendenziell nur wenig vorteilhafter gegenüber dem normalen Zinkendruck zeigte (Abbildung 52)

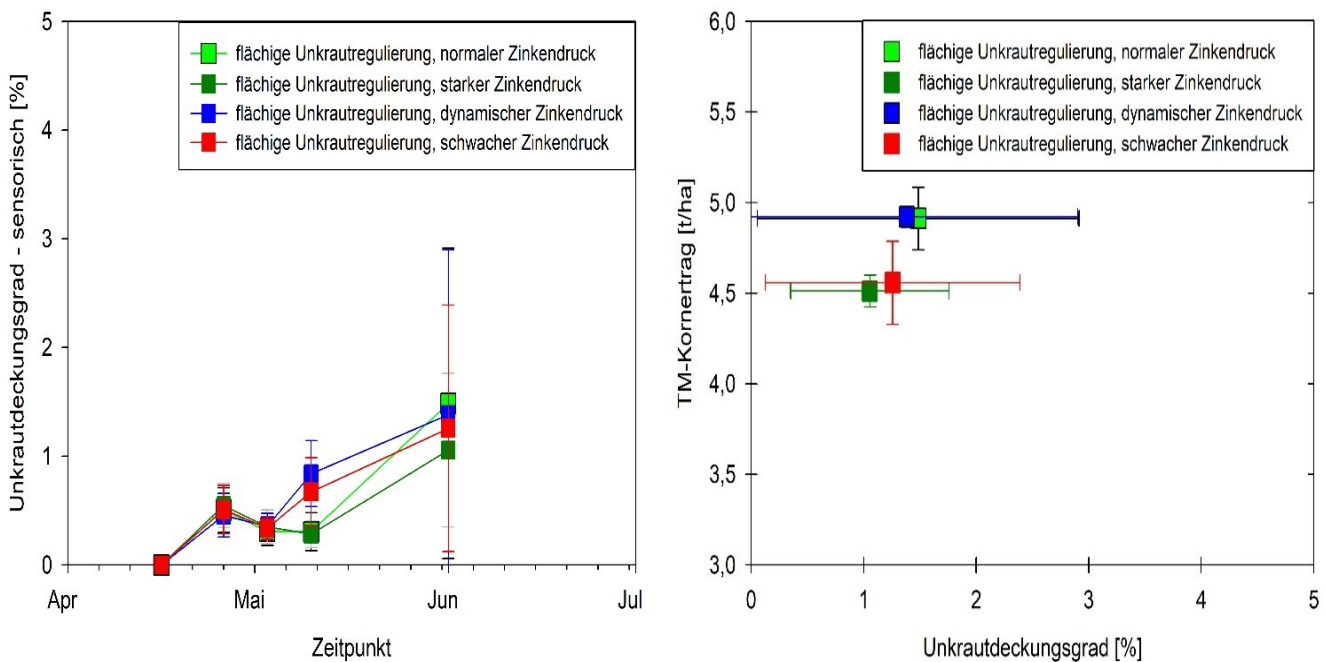


Abbildung 52: A) zeitlicher Verlauf der Verunkrautung (sensorisch) am Standort Osnabrück und B) Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Unkrautdeckungsgrad (Mittelwert aus n=100), für flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck (hellgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck (dunkelgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck (blaues Quadrat) und für flächige Unkrautregulierung schwacher Zinkendruck (rotes Quadrat) in Ackerbohne

In Abbildung 52B ist das Verhältnis zwischen Ertrag und Unkrautdeckungsgrad verdeutlicht. Das Ertragsniveau lag im Versuchsjahr 2021 im Durchschnitt aller Versuchsvarianten zwischen 4,5 und 5 t/ha. Der niedrigste TM-Ertrag ist trotz des geringsten Unkrautdeckungsgrades in der Variante starker Zinkendruck zu sehen. Dies liegt daran, dass durch die aggressive Einstellung des Striegels zwar sehr gut Unkraut reguliert wurde, unbeabsichtigt aber auch hohe Kulturpflanzenverluste in Kauf genommen werden mussten und die übrig gebliebenen Pflanzen die Ertragseinbußen nicht mehr kompensieren konnten. Nur minimal höhere Erträge konnten in der Variante schwacher Zinkendruck gemessen werden. Auch der Unkrautdeckungsgrad war unwesentlich höher als in der zuvor beschriebenen Variante starker Zinkendruck. Dies zeigt deutlich, dass ein niedriger Unkrautdeckungsgrad nicht zwangsläufig zu einem hohen Ertrag führt. Der höchste Korn-ertrag wurde in der Variante dynamischer Zinkendruck ermittelt und lag bei fast 5 t/ha, dicht gefolgt von der Variante normaler Zinkendruck, die tendenziell einen leicht höheren Unkrautdeckungsgrad aufgewiesen hat (Abbildung 52).

Weiterhin wird in Abbildung 53 die Anzahl der Ackerbohnenpflanzen in Abhängigkeit zum Ertrag abgebildet. Die höchsten Verluste mit nur ca. 70 % Zielbestand (100 % = Aussaatstärke) sind in der Variante starker Zinkendruck zu erkennen. Hierbei wurden durch die intensiven Regulierungsmaßnahmen und den starken Bodeneingriff hohe Verluste (> 30 %) verursacht. Dies spiegelt sich auch in dem im Verhältnis niedrigen Ertrag wider. Im Bereich der dynamischen Regulierung wurden Kulturpflanzenverluste von ca. 25 % gemessen. Diese sind damit von den getesteten Varianten am zweithöchsten. Die Varianten normaler Zinkendruck und schwacher Zinkendruck liegen beide mit unter 20 % Kulturpflanzenverlusten am niedrigsten (Abbildung 53).

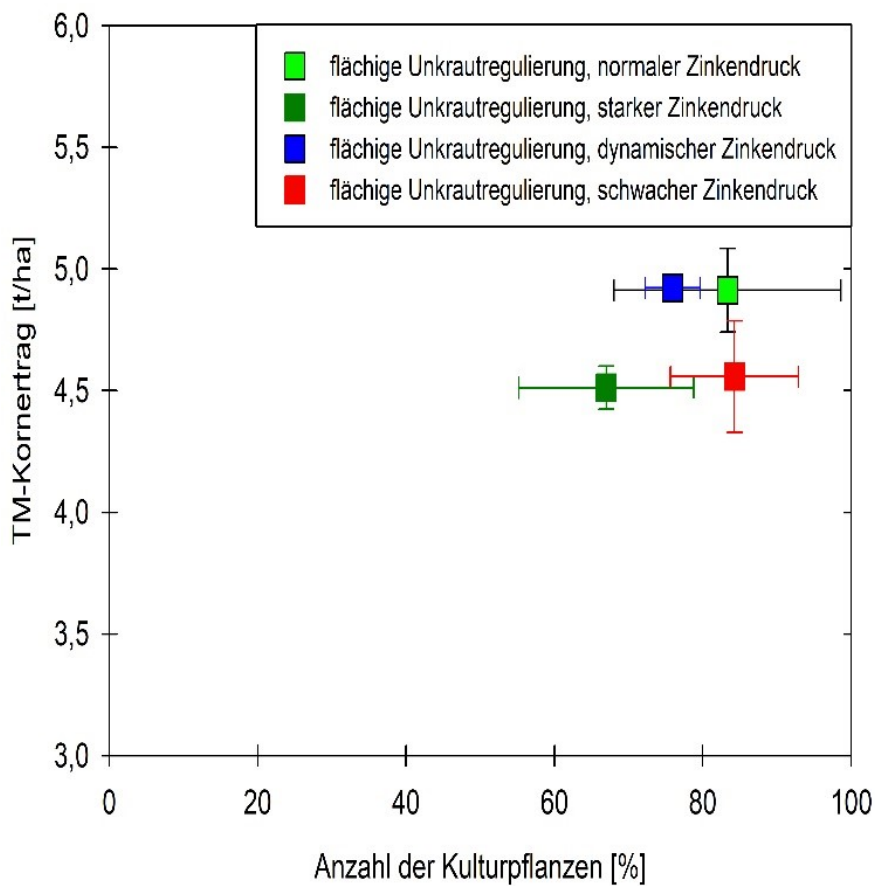


Abbildung 53: Verhältnis zwischen TM-Kornertrag (Mittelwert aus n=4) und Anzahl der Kulturpflanzen, für flächige Unkrautregulierung normaler Zinkendruck (hellgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung starker Zinkendruck (dunkelgrünes Quadrat), flächige Unkrautregulierung dynamischer Zinkendruck (blaues Quadrat) und für flächige Unkrautregulierung schwacher Zinkendruck (rotes Quadrat) in Ackerbohne

5 Diskussion

5.1.1 Wie kann der Zwischenfruchtanbau erfolgreicher etabliert werden

Die Wirkungen der ZF ergeben sich in Bezug auf Unkrautunterdrückung in den Körnerleguminosen aus einer Reduktion der N_{\min} -Gehalte im Oberboden möglichst bis zum Bestandsschluss und aus einer möglichst dichten Mulchauflage nach der Aussaat der Körnerleguminosen. Um zu verhindern, dass nach dem Absterben der ZF der in deren Biomasse gespeicherte Stickstoff vor dem Bestandsschluss wieder mineralisiert wird, muss die Zwischenfruchtbiomasse vor dem Absterben ein C:N-Verhältnis von > 25 aufweisen. Gleichzeitig soll die Bildung keimfähiger Samen aus den ZF vermieden werden, um einen Durchwuchs in der Folgekultur zu verhindern.

Weite C:N-Verhältnisse in der Zwischenfruchtbiomasse können nach unseren Beobachtungen in den untersuchten ZF dann erreicht werden, wenn die Aussaat zeitig und zu guten Auflaufbedingungen erfolgt. Hohe Sicherheit bieten hier Saattermine im Juli, vorstellbar wären auch Termine im Juni, sofern bodenwasser-schonend gearbeitet wird. Verfahrenstechnisch kommt eine Vordrusch- oder Mähdruschaat mit Belassen des Stroh als Häcksel auf dem Feld in Frage, für RR ist auch eine Etablierung als Untersaat im späteren Frühjahr denkbar, da bei dieser Pflanzenart die Bildung keimfähiger Samen unwahrscheinlich ist.

Frühe Saattermine (z. B. Juli) geben auch hinsichtlich einer hohen Biomassebildung Sicherheit, sofern ausreichend Wasser verfügbar ist. Damit kann erreicht werden, dass auch nach einer Mulchsaat mit Saatbettbereitung eine ausreichende Bodenbedeckung aus abgestorbener Zwischenfruchtbiomasse zur Verfügung steht und diese aufgrund des weiten C:N-Verhältnisses nur sehr langsam abgebaut wird, optimaler Weise unter Verbrauch von N_{\min} im Saatbettbereich. Eine vollständige Bodenbedeckung mit Mulch, die einen keim-auslösenden Lichtreiz auf Unkrautsamen ausschließt, kann nur mit der DS der Körnerleguminosen erreicht werden.

Da die verspätete Zwischenfruchtaussaat in der landwirtschaftlichen Praxis häufiger vorkommt und diese dann nur mäßige Effekte (Bodenschutz, Wurzeleistung, N-Rückhalt) erzielen lässt, sollten weitere ZF bezüglich ihrer Eignung für eine zeitige Aussaat oder als Untersaat in der Vorkultur untersucht werden.

5.1.2 Wie gut funktioniert eine Unkrautregulierung in "Echtzeit" durch Sensorik

Die Praktikabilität der teilflächenspezifischen Unkrautregulierung lässt sich durch Sensoreinsatz in 2 Varianten gut umsetzen.

In Variante 1: wird mittels H-Sensor jeweils vor einem Bekämpfungsgang die gesamte Fläche gescannt und der Unkrautbesatz kartiert werden. Der Einsatz von Bekämpfungstechnik erfolgt dann nur auf den Teilflächen mit bekämpfungsbedürftigem Besatz. Diese Variante ist sinnvoll bei großflächig zusammenhängenden Teilflächen mit gleichem Unkrautbesatz.

In Variante 2: wird der H-Sensor zum Messen während der Bekämpfung eingesetzt (Echtzeit-Anwendung). Das Messergebnis kann in ein Steuersignal überführt werden, welches das Unkrautbekämpfungsgerät steuert (Ausheben/Einsetzen der Werkzeuge, Veränderung der Arbeitsintensität). Diese Variante ermöglicht die Reaktion auf kleinflächige Heterogenitäten im Unkrautbesatz.

Für beide Varianten sind für jeden Einsatzzeitpunkt Schwellenwerte im Unkrautbesatz festzulegen, ab deren Erreichen eine mechanische Bekämpfung nötig ist. Dies setzt im Prinzip eine Prognose voraus, wann der nächste Bekämpfungsdurchgang erfolgt und wie weit sich bis dahin Unkräuter die aktuell unterhalb des Schwellenwertes liegen, entwickeln. In der Praxis erfolgt bisher der Einsatz von Striegeln eher vorbeugend, also sobald Unkräuter keimen, wird ganzflächig bekämpft. Der Schwellenwert des ersten Striegeleinsatzes

wird dementsprechend niedrig angesetzt und mit jedem weiteren Einsatz dynamisch erhöht. Entsprechend wurde im Projekt in der Praxiserprobung vorgegangen. Die Schwellenwerte orientierten sich dabei an den Messergebnissen der Parzellenversuche 2018-2020 und geben ähnlich der praxisüblichen Entscheidung über den Einsatzzeitpunkt des Striegels eher standortspezifische Erfahrungswerte wieder. In jedem Fall sollte bei der Einsatzentscheidung bzw. Schwellenwertfestlegung beachtet werden, dass ein eventuell notwendiger Striegeldurchgang witterungsbedingt nicht oder erst später möglich ist.

Sowohl die Praxistests der HO als auch die des LfULG 2021 haben gezeigt, dass es einerseits möglich ist, während der Arbeit mit einem Roll- und einem Zinkenstriegel die Bearbeitung teilflächenspezifisch gesteuert nach dem sensorisch gemessenen Unkrautdeckungsgrad durchzuführen. Bei Arbeitsgeschwindigkeiten von 5 bis zu 8 km/h und der Positionierung des Unkrautsensors an der Traktorfront konnte so schnell auf ein Überschreiten der jeweils voreingestellten Schwellenwerte passgerecht reagiert werden. Auch die Anpassung der Zinkenvorspannung an unterschiedliche Unkrautdeckungsgrade ist bei Zinkenstriegeln mit hydraulisch verstellbaren Vorspannfedern in Echtzeit möglich. Für einen kombinierten Einsatz (ausheben/einsetzen sowie Zinkenvorspannung anpassen) müssen Steuermodule zum direkten Eingriff in die Hydraulik am Striegel entwickelt werden. Der kombinierte Einsatz von Ein-/Aussetzen (teilflächig) und angepasster Zinkenvorspannung (dynamischer Zinkendruck) zeigte zu jedem Einsatzzeitpunkt in der Praxiserprobung (Upscaling) die effektivsten Ergebnisse hinsichtlich Unkrautunterdrückung und Ertragsleistung.

Striegel (Roll- und Zinkenstriegel) werden mittels Schlepperhydraulik über den Heckdreipunkt eingesetzt oder ausgehoben. Sollen Arbeitsgeschwindigkeiten von > 10 km/h oder mehr realisiert werden, ist die Reaktionsgeschwindigkeit dieses Systems zu träge. Entweder gibt man dem Sensor mehr Vorlaufzeit zum Messen durch eine Montage weiter vor dem Schlepper oder setzt Schnellaushubsysteme bei den Striegeln ein, wie beim im Rahmen der Projektarbeit angepassten Rollstriegel mit Klapprahmen (APV). Ein solcher Klapprahmen könnte einen Rollstriegel mit größerer Arbeitsbreite (z. B. 12 m) in mehrere kleine Segmente unterteilen, die dann jeweils separat durch je einen Sensor je Segment angesteuert werden

5.1.3 Biologie und Technik im Verbund

Mit Zusammenführung beider Systemansätze zur Unkrautreduzierung lassen sich herbizidfreie Verfahren des Erbsen- bzw. Ackerbohnenanbaus optimieren. Gelingt es, biomassereiche Zwischenfruchtbestände zu etablieren, die zur Körnerleguminosenaussaat viel strohähnliches Mulchmaterial und wenig N_{\min} im der Oberboden hinterlassen, kann bei günstigen Bedingungen ohne Unkrautbekämpfung ein ähnlich hoher Ertrag wie nach Herbizideinsatz oder mehrmaligem Striegeleinsatz erzielt werden. Gelingt es zusätzlich, vor und während des Zwischenfruchtanbaus das Ausfallgetreide, Ausfallraps usw. zu bekämpfen, kann sogar eine Direktsaat von Körnerleguminosen ohne Unkrautregulierung erfolgreich etabliert werden. Im Projekt gelang dies allerdings nur auf dem D-Standort im Jahr 2018. Problematisch wird eine Direktsaat auf bindigeren Böden, wenn Striegeleinsätze erforderlich werden. Die im Projekt eingesetzten Rollstriegel waren auf den Direktsaatflächen nicht in der Lage, ausreichend tief in den Boden einzudringen. Hier müssten schwerere Rollwerkzeuge wie Rotationshacken (Rotary Hoe und ähnliche) zum Einsatz kommen, die allerdings der Idee vom unbewegten Boden bei Direktsaat widersprechen.

Nach Mulchsaat hingegen fanden die Rollstriegel weitgehend gelockerte Bodenoberflächen vor, die eine wirksame Arbeit ermöglichten. Abfrierende Zwischenfrüchte vor Mulchsaat von Körnerleguminosen können den Ausgangsunkrautdruck verringern, so dass wenige bzw. unter guten Bedingungen keine Striegeleinsätze Ertragsgleichheit mit Herizideinsatz zeigten. Auch mit Mulchauflagen war der eingesetzte Sensor in der Lage, zuverlässig Unkrautdeckungsgrade zu erfassen und Steuersignale für Striegel zur generieren. Bei geringeren Mulchauflagen waren auch Zinkenstriegel ohne Verstopfungen einsetzbar, die ein hydraulisches Anpassen der Zinkenvorspannung ermöglichen.

6 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse zum Zwischenfruchtanbau zur Unkrautreduzierung lassen sich mit leichten Anpassungen an die jeweilige betriebliche Situation in der Praxis anwenden (Saatzeitpunkt, Stoppelbearbeitung vor ZF-Saat, Artenwahl). Der Einsatz von Unkrautsensoren ist zur Erfassung von Unkrautdeckungsgraden praktisch möglich. Prinzipiell wurde das mit dem verwendeten H-Sensor gezeigt. Darauf aufbauend sind technische Anpassungen erforderlich, insbesondere hinsichtlich der kleiner teiligen Segmentierung der Unkrautbekämpfung. Aufgrund der geringen Selektivität beider mechanischen Unkrautbekämpfung reicht eine Unterscheidung zwischen Kulturpflanze und Unkraut aus, eine Identifizierung der Unkrautgattungen oder -arten ist nicht erforderlich.

7 Weiterführende Fragestellungen

Wie können Zwischenfrüchte sicher etabliert werden (Trockenheit, hohe Biomassebildung, sicheres Absterben ohne Samenbildung, Zusammensetzung des Mulches) und welche Pflanzenarten sind für welche Aussaatverfahren geeignet? Welche Zwischenfrüchte sind vor nicht-legumen Hauptkulturen geeignet und wie können diese sicher etabliert werden? Lassen sich Sensoren mit anderen (indirekten) Messverfahren zur Abschätzung des Unkrautdeckungsgrades einsetzen? Lassen sich Hacken entsprechend steuern? Ist mit der verwendeten Sensorik eine Erfassung von Bodenbrütern möglich?

Welche Sekundäreffekte hat ein teilflächenspezifischer Einsatz mechanischer Geräte (Bodenwasser, Humus, Bodenbrüterschutz, Laufkäferschutz)?

Darüber hinaus könnte eine weiterführende Fragestellung sich mit einer veränderten Sichtweise auf die Ackerbegleitflora auseinandersetzen und neue Wege der Unkrautregulierung zu entwickeln. Die Ackerbegleitflora könnte in diesem System differenziert betrachtet werden, wobei als Unkraut eine unerwünschte und problematische Pflanze im Bestand, als Beikraut eine wirtschaftlich unkritische und ggf. schützenswerte Pflanze in Koexistenz mit Kulturpflanzen bezeichnet angenommen wird. Die Klassifizierung erfolgt unter Berücksichtigung des betriebspezifischen Pflanzenbaus (ökologisch, konventionell, hybrid z.B. mechanisch und chemisch) sowie den Standort- und Witterungsbedingungen im Rahmen der Fruchtfolge (nicht nur einzelne Fruchtglieder wie in der bisherigen Untersuchung) und der Auswirkung auf die Biodiversität der jeweiligen Fläche. Bei den Regulierungsmaßnahmen ist abzuwägen, in welchem Maße Unkräuter bekämpft bzw. Beikräuter toleriert oder zeitweise nicht reguliert werden, um die pflanzliche Biodiversität zu erhöhen und Lebensräume bzw. Nahrungsquelle für Insekten zu schaffen und zu erhalten. Dazu könnten drohnen-/bodengestützte Sensorsysteme zur Pflanzenerkennung getestet, weiterentwickelt und validiert. Mit vorhandener Kamertechnik zur Pflanzenerkennung wird ab Projektbeginn die Ackerbegleitflora bestimmt. In einer weiterführenden Fragestellung wäre es denkbar, dass diese Systeme weiterentwickelt (Multisensorik) werden, um durch Integration der Daten in ein KI-Entscheidungssystem zusätzliche Optionen zu schaffen. Hierzu könnten Daten drohnen-gestützter LiDAR-, Multi- und Hyperspektralsensorik eingesetzt, integriert und eine multisensorale Analyse dieser Daten vorgenommen werden. Ebenfalls könnten Verfahren (mechanisch/chemisch) für die kleinräumige Unkrautbekämpfung weiterentwickelt werden. Die Entscheidung, wann welche Pflanzen mit welcher Methode zu behandeln sind, könnte mit einem wissenschaftsbasierten Management der Ackerbegleitflora unterstützt werden.

8 Zusammenfassung

Entlang der Standorte, folgend dem Bodenartgradienten, von ertragsreichen Lehmschluffen bis hin zu ertragsärmeren Lehmsanden kann eine N_{\min} Reduktion durch ZF nur unter sehr guten Anbaubedingungen (z.B. ausreichend Niederschlag und frühe Aussaat der ZF, Etablierung eines C:N-Verhältnis der ZF und Mulchmaterial > 30), wie in 2017/2018 vorherrschte, möglich sein. Dadurch kann ausreichend Biomasse (> 2 t/ha TM) der ZF gebildet werden und dementsprechend sich eine mächtige Mulchaufgabe etablieren, welche deutlich das Unkraut unterdrücken kann. Weiterhin konnte in Kombination mit der von uns gewählten mechanischen Unkrautregulierung (Rollstriegel) ein einsatzfähiger effizienter Verbund (H-Sensor – Umwandlung von Sensorsignal in Steuersignal – Automatisches Absenken und Ausheben des Rollstriegels) etabliert werden. Darüber hinaus wurde erfolgreich im Untersuchungsjahr 2021 die teilflächenspezifische Unkrautregulierung in Echtzeit zu etabliert, auf andere Methoden der mechanischen Unkrautregulierung übertragen und der konstruierte Verbund weiterentwickelt (praxisnahes „Upscaling“ von Versuchspartzellen auf Schlagenebene). Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass die TM-Kornerträge und Ertragsqualität (z.B. Protein) im Vergleich zwischen mechanischer Unkrautregulierung (via Rollstriegel, mindestens 3 Überfahrten) und Herbizideinsatz in den Jahren 2018-2020 sich nicht signifikant unterscheiden. Wenn der Anbau der Zwischenfrucht in der gesamten Fruchtfolge gelingt und die Förderung erfolgt, schneidet die Variante der mechanischen Unkrautregulierung mindestens gleich gut oder sogar ökonomischer ab. Weiterhin zeigt die ökonomische Betrachtung erstaunlich geringe Unterschiede zwischen DS und MS, trotz signifikant geringerer Erträge in der DS.

9 Veröffentlichungen

10/2020: Bauern Zeitung. Biologie und Technik im Verbund

01/2021: Lumbrico. Zwischenfruchtanbau und Sensorsteuerung zur teilflächenspezifischen mechanischen Unkrautregulierung

02/2022: Journal of cultivated plant (eingereicht). Do we need intercrops for successful weed suppression - if we have mechanical and herbicidal approaches?

Literaturverzeichnis

- BÄRBERI, P., MAZZONCINI, M. (2001): Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. *Weed Science* 49(4), 491-499.
- BÄRBERI, P. (2002): Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed research* 42(3), 177-193.
- BASTIANELLI, D., GROSJEAN, F., PEYRONNET, C., DUPARQUE, M., REGNIER, J.M. (1998): Feeding value of pea (*Pisum sativum*, L.) 1. Chemical composition of different categories of pea. *Animal Science* 67, 609-619.
- BERBEĆ, A., FELEDYN-SZEWCZK, B. (2018) Biodiversity of weeds and soil seed bank in organic and conventional farming systems. *Research for Rural Development* 2, 12-18.
- BLOCH, R., WECHSUNG, F., HEß, J., BACHINGER, J. (2015): Climate change impacts of legume-grass swards: implications for organic farming in the Federal State of Brandenburg, Germany. *Regional environmental change* 15, 405-414.
- BMEL. (2018): Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Erntebericht 2018. <https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/Texte/Ernte2018.html> 1-28.
- CARR, P. M., GARDNER, J. J., SCHATZ, B. G., ZWINGER, S. W., GULDAN, S. J. (1995): Grain yield and weed biomass of a wheat-lentil intercrop. *Agronomy Journal* 87(3), 574-579.
- DEBROY, J. P. D. B. S., SARKAR, D. (2010): the R Development Core Team. 2010. nlme: linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3, 1-97.
- DAVIS, A.S., HILL, J.D., CHASE, C.A., JOHANNIS, A.M., LIEBMAN, M. (2012): Increasing cropping system diversity balances productivity, profitability and environmental health. *PLoS ONE* 7(10), e47149.
- FAO STAT. (2019): Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FOLEY, R.C., GAO, L.L., SPRIGGS, A., SOO, L.Y., GOGGIN, D.E., SMITH, P.M., SINGH, K.B. (2011): Identification and characterisation of seed storage protein transcripts from *Lupinus angustifolius*. *BMC Plant Biology* 11, 59.
- GENTSCH, N., BOY, J., KENNEDY BATALLA, J.D., HEUERMANN, D., VON WIREN, N., SCHWENEKER, D., FEUERSTEIN, U., GROß, J., BAUER, B., REINHOLD-HUREK, B., HURREK, T., CESPEDES, F.C., GUGGENBERGER, G. (2020): Catch crop diversity increases carbon input and microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils* 56, 943-957.
- GERHARDS, R., & OEBEL, H. (2007): Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed research*, 46(3), 185-193.
- GRUBINGER, V. P., MINOTTI, P. L. (1990): Managing white clover living mulch for sweet corn production with partial rototilling. *American Journal of Alternative Agriculture*, 4-12.
- HEIßENHUBER, A., HABER, W., KRÄMER, C. (2015): 30 Jahre SRU-Sondergutachten" Umweltprobleme der Landwirtschaft"-eine Bilanz.
- HILTBRUNNER, J., LUGINBÜHL, C., BUCHMANN, U., HERZOG, C., HUNZIKER, H., SCHERRER, C. (2012): Mechanical control of weeds within the crop row of organically grown soybeans. *Julius-Kühn-Archiv* (434), 251.
- IGBASAN, F.A., GUENTER, W., WARKENTIN, T.D., MCANDREW, D.W. (1996): Protein quality of peas as influenced by location, nitrogen application and seed inoculation. *Plant foods for human nutrition* 49, 93-105.
- JENSEN, E. S. (1996): Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and soil* 182(1), 25-38.
- JOBST, F., DEMMEL, M., URBATZKA, P. (2015): Mechanische Beikrautregulierung im ökologischen Sojaanbau.
- KLEMCKE, S., GLENDE, S., ROHN, S. (2013): The Revitalization of domestic Grain legumes Consumer survey for General purchase behavior as well as for image evaluation of Legumes. *Ernährungs Umschau* 60, 52-57.

- KRUIDHOF, H. M., BASTIAANS, L., KROPFF, M. J. (2008): Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed research* 48(6), 492-502.
- KRUPA, U. (2008): Main nutritional and antinutritional compounds of bean seeds-a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 58, 149-155.
- KÖPKE, U., NEMECEK, T. (2010): Ecological services of faba bean. *Field crops research* 115, 217-233.
- MACARULLA, M.T., MEDINA, C., DE DIEGO, M.A., CHAVARRI, M., ZULET, M.Á., MARTÍNEZ, J.A., PORTILLO, M.P. (2001): Effects of the whole seed and a protein isolate of faba bean (*Vicia faba*) on the cholesterol metabolism of hypercholesterolaemic rats. *British Journal of Nutrition* 85, 607-614.
- MACHLEB, J., KOLLEND, B., PETEINATOS, G., GERHARDS, R. (2018): Adjustment of Weed Hoeing to Narrowly Spaced Cereals. *Agriculture* 8(4), 54.
- MASSUCATI, L. F. P., KÖPKE, U. (2011). Faba bean (*Vicia faba* L.): response to occasional direct seeding into straw residues under temperate climate conditions. In *Organic is Life-Knowledge for Tomorrow*, pp. 198-201.
- MIYAZAWA, K., MURAKAMI, T., TAKEDA, M., MURAYAMA, T. (2010): Intercropping green manure crops—effects on rooting patterns. *Plant and soil* 331(1-2). 231-239.
- MÜNZE, R., ORLINSKIY, P., GUNOLD, R., PASCHKE, A., KASKE, O., BEKETOV, M. A., HUNDT, M., BAUER, C., SCHÜURMAN, G., MÖDER, M., LIESS, M. (2015): Pesticide impact on aquatic invertebrates identified with Chemcatcher® passive samplers and the SPEARpesticides index. *Science of The Total Environment* 537, 69-80.
- NEMECEK, T., VON RICHTHOFEN, J.S., DUBOIS, G., CASTA, P., CHARLES, R., PAHL, H. (2008): Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European journal of agronomy* 28, 380-393.
- NEUHAUS, C., GEILFUS, C. M., MÜHLING, K. H. (2014): Increasing root and leaf growth and yield in Mg-deficient faba beans (*Vicia faba*) by MgSO₄ foliar fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177(5), 741-747.
- PEIGNÉ, J., BALL, B. C., ROGER-ESTRADE, J., DAVID, C. (2007): Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil use and management* 23(2), 129-144.
- Pekrun, C., Claupein, W. (2006): The implication of stubble tillage for weed population dynamics in organic farming. *Weed Research* 46(5), 414-423.
- Peterson, P.R., Sheaffer, C.C., Hall, M. (1992): Drought effects on perennial forage legume yield and quality. *Agron Journal* 84, 774-779.
- PINHEIRO, J., BATES, D., DEBROY, S., SARKAR, D. (2018): the R Core team (2008) nlme: linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.
- PREISSEL, S., RECKLING, M., SCHLÄFKE, N., ZANDER, P. (2015): Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: a review. *Field Crops Research* 175, 64-79.
- RECKLING, M., BERGKVIST, G., WATSON, C. A., STODDARD, F. L., ZANDER, P. M., WALKER, R. L., PRISTERI A., TONCEA, I., BACHINGER, J. (2016): Trade-offs between economic and environmental impacts of introducing legumes into cropping systems. *Frontiers in plant science* 7, 669.
- RECKLING, M., DÖRING, T. F., BERGKVIST, G., STODDARD, F. L., WATSON, C. A., SEDDIG, S., CHMIELEWSKI, F. M., BACHINGER, J. (2018): Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. *Agronomy for sustainable development* 38(6), 63.
- ROGERS, A., Ainsworth, E. A., LEAKEY, A. D. (2009): Will elevated carbon dioxide concentration amplify the benefits of nitrogen fixation in legumes? *Plant Physiology* 151(3), 1009-1016.
- RÜHLEMANN, L., SCHMIDTKE, K., BELLINGRATH-KIMURA, S.D. (2015): Short-term effects of differentiated tillage on dry matter production and grain yield of Autumn and Spring sown grain legumes grown monocropped and intercropped with cereal grains in organic farming. *Plant Production Science* 18, 76-92.
- RÜHLEMANN, L., SCHMIDTKE, K. (2015): Evaluation of monocropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. *European Journal of Agronomy* 65, 83-94.

- RÜHLEMANN, L., SCHMIDTKE, K. (2016): The suitability of non-legume cover crops for inorganic soil nitrogen immobilisation in the transition period to an organic no-till system. *Plant Production Science* 19(1), 105-124.
- SCHMIDT, H., WILD, M. (2013): Faktoren des Körnererbsenertrages in der Ökolandbaupraxis. Tagungsband der 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau 98.
- SCHUMACHER, H., PAULSEN, H.M., GAU, A.E., LINK, W., JÜRGENS, H.U., SASS, O., DIETERICH, R. (2011): Seed protein amino acid composition of important local grain legumes *Lupinus angustifolius* L., *Lupinus luteus* L., *Pisum sativum* L. and *Vicia faba* L.. *Plant breeding* 130, 156-164.
- SOANE, B.D., BALL, B.C., ARVIDSSON, J., BASCH, G., MORENO, F., ROGER-ESTRADE, J. (2012): No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil & Tillage Research* 118, 66-87.
- SPRENT, J. I. (2009): *Legume nodulation: a global perspective*. John Wiley & Sons. Inc., Indianapolis, Indiana.
- STEER, B. T., HOCKING, P. J., LOW, A. (1985): Nitrogen nutrition of sunflower (*Helianthus annuus* L.): concentrations, partitioning between organs and redistribution of N in seven genotypes in response to N supply. *Field Crops Research* 12, 17-32.
- STROTHMANN, W., RUCKELSHAUSEN, A., HERTZBERG, J., SCHOLZ, C., LANGSENKAMP, F. (2017): Plant classification with In-field-labeling for crop/weed discrimination using spectral features and 3D surface features from a multi-wavelength laser line profile system. *Computers and Electronics in Agriculture* 134, 79-93.
- TEASDALE, J. R., BESTE, C. E., POTTS, W. E. (1991): Response of weeds to tillage and cover crop residue. *Weed Science* 39(2), 195-199.
- TEASDALE, J. R., MOHLER, C. L. (2000): The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Science* 48(3), 385-392.
- URBATZKA, P., DEMMEL, M., JOBST, F. (2017): Untersuchung verschiedener Techniken zur Beikrautregulierung beim Anbau von Soja.
- VOISIN, A. S., SALON, C., MUNIER-JOLAIN, N. G., NEY, B. (2002): Quantitative effects of soil nitrate, growth potential and phenology on symbiotic nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and soil* 243(1), 31-42.
- VON RICHTHOFEN, J. S., PAHL, H., NEMECEK, T., ODERMATT, O., CHARLES, R., CASTA, P., DUBOIS, G. (2006): Economic interest of grain legumes in European crop rotations. *GL-Pro Report WP3* 58.
- WATSON, C.A., RECKLING, M., PREISSEL, S., BACHINGER, J., BERGKVIST, G., KUHLMAN, T., ZANDER, P. (2017): Grain legume production and use in European agricultural systems. *Advances in Agronomy* 144, 235-303.
- WEIS, M., GUTJAHR, C., AYALA, V. R., GERHARDS, R., RITTER, C., SCHÖLDERLE, F. (2008): Precision farming for weed management: techniques. *Gesunde Pflanzen*, 60(4), 171-181.
- WITTEN, S., BÖHM, H., AULRICH, K. (2015): Effect of variety and environment on the contents of crude nutrients, lysine, methionine and cysteine in organically produced field peas (*Pisum sativum* L.) and field beans (*Vicia faba* L.). *Applied Agriculture and Forestry Research* 65, 205-216.
- WOLBER, D. M. (2014): Development of resistance of *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (loose silky-bent) in Lower Saxony in 2013-also increasingly against Pinoxaden. *Julius-Kühn-Archiv* 443, 280-286.
- ZANDER, P., AMJATH-BABU, T.S., PREISSEL, S., RECKLING, M., BUES, A., SCHLÄFKE, N., MURPHY-BOKERN, D. (2016): Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agronomy for sustainable development* 36, 1-20.

Anhang

In den Tabellen A1 bis A3 befindlich die LSD für Ertrag, Unkrautbiomasse und Unkrautdeckungsgrad dargestellt.

Tabelle A 1: Mittelwerte des Ertrags [t/ha] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey-Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (RT, NT); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode.

Faktor					Mittelwert	LSD (ABC_BvAC)
A	B	C				
		chemisch	mechanisch	ohne		
DS	mit	2.38	1.57	1.85	1.93	0.93
	ohne	1.89	1.24	1.56	1.56	0.93
MS	mit	2.29	1.85	1.57	1.57	0.93
	ohne	2.23	1.97	1.54	1.54	0.93
A						
DS		2.13	1.40	1.70	1.75	
MS		2.26	1.91	1.56	1.91	
B						
DS		2.33	1.71	1.71	1.92	
MS		2.06	1.60	1.55	1.74	
Mittelwert		2.20	1.66	1.63	1.83	
LSD (ABC_CvAB)		1.14	1.14	1.14		

Tabelle A 2: Mittelwerte der Unkrautbiomasse [t/ha] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey-Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (MS, DS); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode.

Faktor					Mittelwert	LSD (ABC_BvAC)
A	B	C				
		chemisch	mechanisch	ohne		
DS	mit	0.47	1.29	1.20	0.98	0.68
	ohne	0.63	1.63	1.49	1.25	0.68
MS	mit	0.43	1.07	1.23	0.91	0.68
	ohne	0.72	1.16	1.33	1.07	0.68
A						
DS		0.55	1.46	1.34	1.12	
MS		0.58	1.11	1.28	0.99	
B						
DS		0.45	1.18	1.21	0.95	
MS		0.68	1.39	1.41	1.16	
Mittelwert		0.56	1.29	1.31	1.05	
LSD (ABC_CvAB)		1.14	1.14	1.14		

Tabelle A 3: Mittelwerte der Unkrautdeckungsgrad [%] in der dreifaktoriellen ANOVA mit LSD durch Tukey-Test; A = Bodenbearbeitungsverfahren (MS, DS); B = Zwischenfrucht; C = Unkrautunterdrückungsmethode

Faktor					Mittelwert	LSD (ABC_BvAC)
A	B	C				
		chemisch	mechanisch	ohne		
DS	mit	18.16	26.37	22.94	22.49	
	ohne	25.02	28.97	29.88	27.96	
MS	mit	12.15	16.07	24.81	17.68	
	ohne	10.18	16.64	34.83	20.55	
A						
DS		21.59	27.67	26.41	25.22	26.92
MS		11.17	16.36	29.82	19.11	26.92
B						
DS		15.16	21.22	23.87	20.08	
MS		17.60	22.81	32.35	24.25	
Mittelwert		16.38	22.01	28.11	22.17	
LSD (ABC_CvAB)		42.12	42.12	42.12		

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
(LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: + 49 351 2612-0

Telefax: + 49 351 2612-1099

E-Mail: lfulg@smekul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Autoren:

Dr. Robert Hommel (LfULG), Ulf Jäckel (LfULG), Tim Zurheide (HO),
Prof. Dieter Trautz (HO)

Abteilung 7 Landwirtschaft/Referat 72 Pflanzenbau

Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen

Telefon: + 49 5242631-7231

Telefax: + 49 35242631-7299

E-Mail: Robert.Hommel@smekul.sachsen.de

Redaktion:

Dr. Robert Hommel, Ulf Jäckel, Dr. Walter Schmidt

Abteilung 7 Landwirtschaft/Referat 72 Pflanzenbau

Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen

Telefon: +49 5242631-7231

Telefax: +49 35242631-7299

E-Mail: Robert.Hommel@smekul.sachsen.de

Titelfoto:

Ulf Jäckel, LfULG

Redaktionsschluss:

22.12.2021

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber
als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de> heruntergeladen
werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung
im Rahmen Ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information
der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern
zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle
Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahl-
veranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das
Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen
oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur
Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de