

Teilschlussbericht Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau

Nutritionmanagement for organic farming

FKZ: 11OE109

Projektnehmer:

Hochschule für Technik und Wirtschaft, Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie,
Fachgebiet Ökologischer Landbau
Pillnitzer Platz 2, 01326 Dresden
Tel.: +49 351 462-3017
E-Mail: schmidtke@htw-dresden.de
Internet: www.htw-dresden.de

Autoren:

Deumlich, Marit; Lux, Guido; Schmidtke, Knut

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

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

Bericht
zum Vorhaben
„Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau“
Teilprojekt im Vorhaben BOELN 2811OE109

Zuwendungsempfänger: Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Fakultät Landbau/Umwelt/Chemie
Fachgebiet Ökologischer Landbau
Prof. Dr. agr. Knut Schmidtke
Pillnitzer Platz 2
01326 Dresden

Vorhabenbezeichnung: Entwicklung und Erprobung eines neuartigen, aus dem ökologischen Landbau stammenden stickstoffreichen Düngemittels für den ökologischen Gemüsebau

Laufzeit: 01.03.2013 bis 30.04.2016

Berichtszeitraum des Teilvorhaben: 01.07.2015 bis 31.03.2016

Autoren des Abschlussberichtes: M.Sc. Marit Deumlich, Dr. Guido Lux und
Prof. Dr. agr. Knut Schmidtke

E-Mail: deumlich@htw-dresden.de;
luxg@htw-dresden.de;
schmidtke@htw-dresden.de

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Grundsätze der Nährstoffversorgung und Düngung im ökologischen Landbau | 1 |
| 1.2 | Ziele des Vorhabens | 4 |
| 1.3 | Methodisches Vorgehen | 5 |
| 2 | Nährstoffflüsse | 7 |
| 2.1 | Nährstoffflüsse und -bilanzen | 7 |
| 2.2 | Nährstoffeffizienz | 8 |
| 2.3 | Nährstoffverluste durch gasförmige Emissionen | 9 |
| 2.4 | Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Nährstoffflüssen im ökologischen Landbau | 10 |
| 2.5 | Forschungsbedarf | 11 |
| 3 | Ackerbau | 13 |
| 3.1 | Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im ökologischen Ackerbau | 13 |
| 3.2 | Makronährstoffbilanz und Makronährstoffversorgung im Boden | 17 |
| 3.3 | Phosphorversorgung | 19 |
| 3.4 | Leguminosenanbau und symbiotische N ₂ -Fixierung | 22 |
| 3.5 | Forschungsbedarf | 24 |
| 3.6 | Mikronährstoffbilanz und Mikronährstoffversorgung | 28 |
| 3.6.1 | Forschungs- und Entwicklungsvorhaben | 30 |
| 3.6.2 | Forschungsbedarf | 31 |
| 3.7 | Bodenbiologie und Nährstoffumsatz | 33 |
| 3.7.1 | Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Bodenbiologie und zum Nährstoffumsatz im ökologischen Landbau | 33 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.7.2 | Bodenorganismen und Stoffumsatz | 40 |
| 3.7.3 | Verbesserung der Nährstoffversorgung durch Mykorrhizapilze | 42 |
| 3.7.4 | Bodenbiologische Indikatoren der Bodenfruchtbarkeit..... | 42 |
| 3.7.5 | Forschungsbedarf | 44 |
| 4 | Gemüsebau..... | 46 |
| 4.1 | Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im ökologischen Gemüsebau | 47 |
| 4.2 | Nährstoffbilanz und Nährstoffversorgung im Boden | 51 |
| 4.3 | Mikronährstoffe..... | 53 |
| 4.4 | Düngemittel im ökologischen Gemüsebau | 54 |
| 4.5 | Weitere Themen | 57 |
| 4.6 | Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Gemüsebau | 60 |
| 5 | Grünlandwirtschaft..... | 62 |
| 5.1 | Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Grünlandbewirtschaftung im ökologischen Landbau | 62 |
| 5.2 | Nährstoffbilanz und Nährstoffversorgung im Boden | 65 |
| 5.3 | Kalium | 67 |
| 5.4 | Symbiotische N ₂ -Fixierung | 68 |
| 5.5 | Besonderheiten der Beweidung | 69 |
| 5.6 | Mikronährstoffe..... | 70 |
| 5.7 | Forschungsbedarf..... | 71 |
| 6 | Kontrolle..... | 73 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 74 |
| 8 | Anhang..... | 99 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Derzeitige Relevanz verschiedener Nährstoffquellen für die Nährstoffversorgung im ökologischen Land- und Gartenbau (ohne Nährstoffvorräte im Boden, Schmidtke, 2016, unveröffentlicht) | 3 |
| Abbildung 2: Nährstoff-Flächenbilanzsalden des geschützten Anbaus in südwestdeutschen Gartenbaubetrieben, differenziert nach Verbandszugehörigkeit (Bioland: N = 5, Demeter: N = 5) (Zikeli et al. 2015) | 53 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Abgeschlossene und laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im Ackerbau des ökologischen Landbaus (BÖL, BÖLN, CoreOrganic I, CoreOrganic II, CoreOrganic Plus und BonaRes) | 10 |
| Tabelle 2: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur P-Versorgung im ökologischen Landbau (Ergebnis des Experten-Workshop Teil Ackerbau, Nährstoffflüsse) | 22 |
| Tabelle 3: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im ökologischen Ackerbau (Ergebnis des Experten-Workshop) | 13 |
| Tabelle 4: Abgeschlossene und laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Mikronährstoffversorgung im ökologischen Ackerbau (BÖL, BÖLN, CoreOrganic I, CoreOrganic II, CoreOrganic Plus) | 22 |
| Tabelle 5: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Mikronährstoffversorgung im ökologischen Landbau (Ergebnis des Experten-Workshop) | 32 |
| Tabelle 6: Abgeschlossene und laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Fragestellungen der Bodenbiologie und | |

| | |
|--|----|
| des Nährstoffumsatzes im ökologischen Landbau (BÖL, BÖLN, EPS, CoreOrganic I, CoreOrganic II, CoreOrganic Plus) | 30 |
| Tabelle 7: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Bodenbiologie und Nährstoffumsatz im ökologischen Landbau (Ergebnis des Experten-Workshop) | 32 |
| Tabelle 8: Abgeschlossene und laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im ökologischen Gemüsebau (BÖL, BÖLN, CoreOrganic I, CoreOrganic II, CoreOrganic Plus) | 34 |
| Tabelle 9: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im ökologischen Gemüsebau (Ergebnis des Experten-Workshop)..... | 45 |
| Tabelle 10: Abgeschlossene und laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Grünland im ökologischen Landbau in BÖL, BÖLN, CoreOrganic I, CoreOrganic II, CoreOrganic Plus | 63 |
| Tabelle 11: Prozentualer Anteil ökologisch bewirtschafteter Grünlandschläge hinsichtlich der Versorgungsklasse pH-Wert im Boden und Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden in Sachsen und NRW (Leisen 2011; Schmidtke et al. 2016)..... | 66 |
| Tabelle 12: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im ökologischen bewirtschafteten Grünland (Ergebnis des Experten-Workshop) | 72 |
| Tabelle 13: Abgeschlossene und laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Nährstoffflüssen im ökologischen Landbau (BÖL, BÖLN und CoreOrganic I, II, III)..... | 66 |
| Tabelle 14: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Nährstoffflüssen im ökologischen Landbau (Ergebnis des Experten-Workshop) ... Fehler! Textmarke nicht definiert. | |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 15: Teilnehmer des Experten-Workshops „Nährstoffmanagement und Düngung im ökologischen Landbau“ am 05. und 06.11.2015 an der HTW Dresden | 99 |
| Tabelle 16: Vortrags- und Diskussionsprogramm des Experten-Workshops „Nährstoffmanagement und Düngung im Ökologischen Landbau“ am 05. und 06.11.2015 an der HTW Dresden | 100 |

1 Einleitung

1.1 Grundsätze der Nährstoffversorgung und Düngung im ökologischen Landbau

Ökologischer Land- und Gartenbau ist hinsichtlich des Nährstoffmanagements gekennzeichnet durch die gezielte Nutzung biologischer Prozesse zur Nährstoffbereitstellung und die innerbetriebliche Rezyklierung von Nährstoffen bei gleichzeitiger Begrenzung der Zufuhr von Nährstoffen über Futter- und Düngemittel nach Art und Umfang (Nowak et al. 2013a). So ist der Einsatz externer Produktionsmittel im ökologischen Landbau auf Produktionsmittel aus der ökologischen/biologischen Produktion, natürliche oder naturgemäß gewonnene Stoffe und schwer lösliche mineralische Düngemittel beschränkt (VERORDNUNG (EG) Nr. 834/2007 des Rat der europäischen Kommission 2007). Neben den allgemeinen Grundsätzen nach Artikel 4 der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 hat der ökologische Landbau auf folgenden spezifischen Grundsätzen zu beruhen: a) Erhaltung und Förderung des Bodenlebens und der natürlichen Fruchtbarkeit des Bodens, der Bodenstabilität und der biologischen Vielfalt des Bodens zur Verhinderung und Bekämpfung der Bodenverdichtung und -erosion und zur Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen hauptsächlich über das Ökosystem des Bodens; b) die Minimierung der Verwendung von nicht erneuerbaren Ressourcen und von außerbetrieblichen Produktionsmitteln; c) die Wiederverwertung von Abfallstoffen und Nebenerzeugnissen pflanzlichen und tierischen Ursprungs als Produktionsmittel in der pflanzlichen und tierischen Erzeugung und d) die Berücksichtigung des örtlichen oder regionalen ökologischen Gleichgewichts bei den Produktionsentscheidungen. Fruchtbarkeit und biologische Aktivität des Bodens müssen durch eine mehrjährige Fruchtfolge, die Leguminosen und andere Gründungspflanzen einschließt, und durch Einsatz von aus ökologischer/biologischer Produktion stammenden Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft oder organischen Substanzen, die vorzugsweise kompostiert sind, erhalten und gesteigert werden. Mineralische Stickstoffdünger dürfen nicht verwendet werden. Zusätzliche Düngemittel und Bodenverbesserer dürfen lediglich eingesetzt werden, wenn sie nach Artikel 16 für die Verwendung in der ökologischen/biologischen Produktion zugelassen wurden und im Anhang I der VERORDNUNG (EG) Nr. 834/2007 aufgeführt sind.

Zusätzlich darf die Gesamtmenge des im Betrieb ausgebrachten Wirtschaftsdüngers tierischer Herkunft im Sinne der Richtlinie 91/676/EWG des Rates über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung durch Nitrate aus landwirtschaftlichen Quellen (Rat der Europäischen Kommission 1991) 170 kg Stickstoff je Jahr und Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche nicht überschreiten. Dieser Grenzwert gilt derzeit nur für Stallmist, getrockneten Stallmist und getrockneten Geflügelmist, Kompost aus tierischen Exkrementen, einschließlich Geflügelmist, kompostiertem Stallmist und flüssigen tierischen Exkrementen (VERORDNUNG (EG) Nr. 889/2008 Rat der Europäischen Kommission 2008). Neben den oben angeführten Vorgaben der EU-Verordnung über den ökologischen Landbau, schränken in Deutschland privatrechtlich vereinbarten Erzeugungsvorschriften der Anbauverbände des ökologischen Landbaus den Einsatz von Düngemitteln im ökologischen Landbau weiter ein. So ist u.a. der Einsatz von Gülle, Jauche und Geflügelmist aus konventioneller Tierhaltung sowie von Gärresten aus Biogasanlagen, die ausschließlich mit konventionellen Fermentationsstoffen bzw. mit GVO-Zuschlagstoffen oder Gülle, Jauche und Geflügelmist aus konventioneller Tierhaltung betrieben werden, verboten. Der Anteil Gärsubstrate aus konventioneller Erzeugung ist auf Substrate pflanzlichen Ursprungs mit einem Anteil von maximal 30 % (Verband Naturland) bzw. auf insgesamt 50 % (Verband Bioland) bis 2020 beschränkt. Der externe Nährstoff-Input über organische Dünger darf zudem 0,5 DE/ha und Jahr (Basis der Berechnung ist die N-Menge) nicht überschreiten. Im Freiland-Gemüsebau darf die Stickstoffdüngung 110 kg N/ha und Jahr im Durchschnitt der Fruchtfolge der gemüsebaulich genutzten Flächen nicht überschreiten. Ausgeschlossen ist hier auch der Einsatz konventionell erzeugter Gülle und konventionell erzeugter Geflügelmist, Knochen-, Blut- und Tiermehl (Bioland e.V. 2013; Naturland e.V. 2014).

Je nach Nährstoff und Bewirtschaftungsschwerpunkt resultieren derzeit in der Praxis des ökologischen Land- und Gartenbaus unterschiedliche Anteile der fünf wesentlichen Nährstoffquellen, die außerhalb der Nährstoffvorräte des Bodens in der pflanzlichen Erzeugung genutzt werden (Abb. 1). Während hinsichtlich des Stickstoffs keine mineralischen Düngemittel zur Verfügung stehen, erfahren bei Calcium und Magnesium über die Kalkung mineralische Düngemittel auch im ökologischen Landbau eine sehr hohe Relevanz. In den der Vergangenheit war im ökologischen Land-

bau vorrangig ein weitgehend geschlossener innerbetrieblicher Nährstoffkreislauf bei Nutzung und Mobilisierung der Nährstoffvorräte des Bodens Zielstellung der Nährstoffversorgung der Pflanzen. Bei nachweislich gestiegenen Nährstoffexporten ist deshalb seitens des ökologischen Landbaus zukünftig abzuwägen, aus welchen Quellen die Nährstoffversorgung in der pflanzlichen Erzeugung gedeckt werden kann. Hierzu bedarf einer breit geführten Diskussion und Übereinkunft zu Zielen und Strategien eines nachhaltigen Nährstoffmanagements im ökologischen Landbau. Hierbei dürfte die Regenerationsfähigkeit der Nährstoffressource ein wesentliches Merkmal zur Identitätsbildung des ökologischen Landbaus darstellen, anhand dessen über die zukünftige Nutzung der Nährstoffressource entschieden wird (Abbildung 1).

| | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N | 1 | | | | 2 | 3 | 4 | |
| P | 1 | | | 2 | | 3 | 4 | 5 |
| K | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| S | 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| Ca | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| Mg | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| Mi | 1 | | | | 2 | 3 | 4 | 5 |

Mi = Mikronährstoffe

| | |
|---|--|
| 1 | Innerbetrieblich erzeugte organische Düngemittel inklusive Leguminosen |
| 2 | Organische Dünge- und Futtermittel aus Betrieben des ökologischen Landbaus |
| 3 | Organische Düngemittel/Substanzen nichtlandwirtschaftlichen Ursprungs |
| 4 | Organische Düngemittel aus Betrieben des konventionellen Landbaus |
| 5 | Im ökologischen Landbau zugelassene mineralische Düngemittel |

Regenerationsfähigkeit
der Nährstoffressource

Abbildung 1: Derzeitige Relevanz verschiedener Nährstoffquellen für die Nährstoffversorgung im ökologischen Land- und Gartenbau (ohne Nährstoffvorräte im Boden, Schmidtke, 2016, unveröffentlicht)

Der ökologische Landbau profitiert auf vielen Standorten noch von Nährstoffvorräten im Boden, die während konventioneller Bewirtschaftung aufgebaut wurden (Gosling und Shepherd 2005; van Den Bossche et al. 2005; Oehl et al. 2002; Løes und Øgaard 2001). Da sich auch im ökologischen Land- und Gartenbau ein geschlossener innerbetrieblicher Nährstoffkreislauf nicht realisieren lässt (Watson et al. 2002a; Stockdale et al. 2002; Lynch 2015; Köpke et al. 2015), sind auch diese Betriebe auf Nährstoffzuflüsse von außen angewiesen. Der derzeit noch bedeutende Zufluss von Nährstoffen vor allem über Wirtschaftsdüngemittel und Reststoffe aus konventioneller Erzeugung (Nowak et al. 2013a; Nowak et al. 2013b) wird voraussichtlich entsprechend den gestiegenen Erwartungen der Verbraucher und Vorgaben der Richtlinien in Zukunft weiter zurückgehen (Möller 2015). Deshalb steht der ökologische Landbau insgesamt vor neuen und breit gefächerten Herausforderungen im Nährstoffmanagement, denen es rechtzeitig durch entsprechend ausgerichtete Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu begegnen gilt, um eine nachhaltige Ertragsleistung und Qualität der Ernteprodukte im ökologischen Land- und Gartenbau sicherzustellen.

1.2 Ziele des Vorhabens

Ziel des hier bearbeiteten Vorhabens war es deshalb, den aktuellen Forschungs- und Entwicklungsbedarf zum Nährstoffmanagement im ökologischen Land- und Gartenbau in Deutschland zu identifizieren und den Handlungsbedarf für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben entsprechend zu priorisieren. Die Ergebnisse der im Vorhaben erarbeiteten Status Quo Analyse sollte zudem auch eine Entscheidungsgrundlage für eine Bekanntmachung entsprechender Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau im Bundesprogramm Ökologischer Landbau und anderer Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) bieten. Hierzu wurde eine Analyse bereits abgeschlossener und laufender Forschungs- und Entwicklungsvorhaben und anhand vorliegender Veröffentlichungen vorgenommen sowie ein Expertenworkshop im November 2015 in Dresden durchgeführt. Im Rahmen von Impulsreferaten wurden hierbei zunächst herausragende Fragestellungen zum Nährstoffmanagement diskutiert und hinsichtlich der aktuellen Relevanz für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben priorisiert.

Die Literaturanalyse und der Expertenworkshop sollten sich dabei auf folgende Leitfragen konzentrieren:

- Welche Möglichkeiten bestehen im ökologischen Land- und Gartenbau, den Ertrag der Kulturpflanze sowie die Qualität der Ernteprodukte mit besonderem Augenmerk auf eine betriebswirtschaftlich tragfähige und umweltverträgliche Bewirtschaftung zu steigern?
- Welche kurz- und/oder langfristigen Maßnahmen zur Verbesserung der produktionsorientierten und ressourcenschonenden Nährstoffversorgung von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturpflanzen sind im ökologischen Landbau weiter bzw. neu zu entwickeln?
- Welche Wege der effizienten und umweltverträglichen Nutzung von Ressourcen zur nachhaltigen Pflanzenernährung von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturpflanzen gibt es und wie können diese für den ökologischen Landbau optimiert werden?
- Welche anwenderfreundlichen Methoden für Praxis und Beratung zur Identifizierung eines Nährstoffmangels in Boden oder Pflanze sowie anwendungsbezogene Düngebedarfsermittlungen existieren im ökologischen Landbau? Wo besteht hierbei Handlungsbedarf?
- Welche Strategien zur Einbindung des Nährstoffmanagements in regionale Nährstoffkreisläufe sind für den ökologischen Landbau nutzbar?

1.3 Methodisches Vorgehen

In Abstimmung mit dem Drittmittelgeber wurden für den 05. bis 06.11.2015 Vertreter von Hochschulen, Forschungseinrichtungen des Bundes und der Länder sowie der Verbände des ökologischen Landbaus aus dem gesamten Bundesgebiet zu einem Expertenworkshop an die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden eingeladen. Als Einstieg in die Themenstellungen zum Nährstoffmanagement im ökologischen Ackerbau, Grünland und Gemüsebau, zu Nährstoffflüssen im ökologischen Landbau, zur Bodenbiologie und Nährstoffumsatz sowie Richtlinien des ökologischen Landbaus und deren Kontrolle dienten 20-minütige Impulsreferate von Experten. Die Liste der Referenten und Teilnehmer am Workshop in Dresden wie auch das Programm sind in Tabelle 4 und Tabelle 5 im Anhang zusammengestellt.

An die Referate schloss sich die Diskussion, eine Listung und Priorisierung des entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsbedarfs an. Themen wurden hierbei durch die Referenten sowie Teilnehmer genannt. In die Liste wurden zusätzlich noch

Themen aufgenommen, die innerhalb von Veranstaltungen zum Wissenstransfer im ökologischen Landbau (BÖLW 2009) aus der Praxis des ökologischen Landbaus benannt wurden.

Alle Teilnehmer wurden nach Abschluss der jeweiligen Diskussion zu den vorgeschlagenen Themen aufgefordert, die Themen hinsichtlich des Handlungsbedarfes zu priorisieren, wobei die Teilnehmer jeweils individuell und anonym auf vorbereiteten Stimmzetteln ihr Votum zur Priorisierung der Themenstellungen abgegeben haben. Durch die Zuordnung von 0 bis maximal 8 Punkten, wobei jede Punktzahl nur einmal vergeben werden durfte, entstand im Mittel aller Bewertungen ein Ranking der Themen gemäß ihrer Relevanz nach Einschätzung der Teilnehmer. Die höchste Gewichtung erfuhren somit Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit der im Durchschnitt erreichten höchsten Punktzahl. Im Anschluss an die Veranstaltung beteiligten sich 19 der 23 Teilnehmer an der Evaluation des Workshops. Die schriftlichen Unterlagen, die im Vorfeld des Workshops verschickt wurde, sowie die Impulsreferate wurden überwiegend als sehr hilfreich bewertet, um anschließend Themenstellungen hinsichtlich ihrer Relevanz zu diskutieren, zu ergänzen und zu bewerten. Die Methodik der Priorisierung wurde auf einer Skala von 1 bis 6 (Bestnote 1) mit der Durchschnittsnote 2,3 bewertet. Kritisiert wurde zum Teil, dass die Relevanz mehrerer Themen nicht als gleichwertig beurteilt werden konnte und dass Themenstellungen, welche einen besonders umfangreichen oder übergeordneten Charakter aufwiesen, gegenüber Detailfragen bevorzugt eine hohe Priorisierung erhielten. Zudem sind die Priorisierungen der Forschungsfragen der verschiedenen Themen nicht direkt vergleichbar, da die Anzahl der Forschungsfragen zwischen den Themen stark variierte. Insgesamt wurde die Qualität der Ergebnisse von den Teilnehmern jedoch als gut (Note 1,8) und die Effizienz bzw. das Verhältnis von Zeitaufwand und Ergebnis als ebenfalls gut (1,7) bewertet.

In der Kürze der Zeit des Workshops konnte somit aufgrund der Anzahl und Repräsentanz der eingeladenen Experten aus Wissenschaft und Praxis ein Überblick zu erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau sowie deren Wichtung erlangt werden. Die Ergebnisse des Workshops zur Priorisierung der Themenstellungen sind im vorliegenden Bericht durch tabellarische Übersichten dokumentiert. Zusätzlich wurden im Bericht entsprechende Themenstellungen außerhalb der tabellarischen Übersichten des Workshops

ergänzt, die aus einer Literaturrecherche und Gesprächen mit Experten des ökologischen Landbaus während des gesamten Bearbeitungszeitraumes resultierten.

2 Nährstoffflüsse

2.1 Nährstoffflüsse und -bilanzen

Land- und gartenbaulich bedingte Nährstoffflüsse sind auf verschiedenen Skalenebenen zu verzeichnen und werden durch Flächen-, Stall- und Hoftorbilanzen analysiert (Bergström et al. 2005; Watson et al. 2002b; Schmidtke et al. 2016). Auch innerhalb einzelner Flächen wurde häufig bei ökologischer Bewirtschaftung eine heterogene Verteilung der Nährstoffe und des pH-Wertes im Boden festgestellt (Schirrmann et al. 2014; Kayser und Isselstein 2005). Auf übergeordneter Ebene ist zu konstatieren, dass der ökologische Landbau von Nährstoffflüssen aus der konventionellen Landwirtschaft profitiert und hierdurch der zunehmender Kritik ausgesetzt ist (Möller 2015; Nowak et al. 2013a; Nowak et al. 2013b; Nesme et al. 2012).

Die Ergebnisse der Nährstoffbilanzierung für die Betriebszweige Ackerbau, Grünlandwirtschaft und Gemüsebau werden im Detail in den jeweiligen Abschnitten des Berichtes erläutert. Festgestellt wurde, dass die N-Bilanz der Betriebe durch den Anbau von Leguminosen in der Regel nur ausgeglichen werden kann, sofern ein hinreichend hoher Anteil Leguminosen vorhanden und die Ertragsleistung der Leguminosen hoch ist. Die P- und K-Bilanzen viehlos wirtschaftender Betriebe des Acker- und Gemüsebaus sind hingegen häufig nicht ausgeglichen, da die Nährstoffentzüge im Erntegut nicht durch den Import von Düngemitteln ausgeglichen werden oder die Nährstoffzusammensetzung der Düngemittel einen Ausgleich erschwert. Die Ungleichgewichte in den Bilanzsalden spiegeln sich z.T. auch in den Nährstoffgehalten der Böden wider (Zikeli et al. 2015; Kolbe 2015; Foissy et al. 2013; Möller 2009; Berry et al. 2003; Watson et al. 2002b; Schmidtke et al. 2016). Zu Mikronährstoffflüssen liegen insgesamt nur sehr wenige Informationen vor.

Insbesondere viehlos wirtschaftende Ackerbaubetriebe sind auf den verordnungskonformen Import von Wirtschaftsdüngemitteln, Komposten und mineralischen Düngemitteln angewiesen (vgl. Abbildung 1). In Gemüsebaubetrieben kommen vor allem organische Handelsdünger, mineralische Düngemittel und Komposte zum Einsatz (Fragstein et al. 2004). Übersichten zu Menge und Art der eingesetzten Düngemittel

und Nährstoffzufuhren über Futtermittelimporte sind auf gesamtdeutscher Ebene für den ökologischen Land- und Gartenbau allerdings nicht verfügbar.

Veredelungsbetriebe des ökologischen Landbaus weisen in vielen Fällen vergleichsweise geringere Defizite in den Nährstoffbilanzen auf. In Folge der geringen Nährstoffeffizienz der Tierhaltung verbleibt der Großteil der Nährstoffe in Kot und Harn im Betrieb und nur ein geringer Anteil wird durch die tierischen Produkte exportiert. Der Import von Futtermitteln, in erster Linie über ökologisch erzeugte Kraffuttermittel und Mineralfuttermittel oder Einstreu gleicht die Nährstoffabfuhr hier häufig aus (Berry et al. 2003; Watson et al. 2002b; Whitehead 2000; Foissy et al. 2013). Die Tierhaltung führt jedoch häufig zu einem innerbetrieblichen Nährstofftransfer. So liegen im Wirtschaftsdünger die Nährstoffe in einer anderen Zusammensetzung vor als in den Ausgangssubstraten, sodass die Rückführung zum Grünland und zum Acker in anderer Nährstoffzusammensetzung erfolgt als die Abfuhr über Ernteprodukte. Hinzu kommt, dass Wirtschaftsdüngemittel vorzugsweise auf dem Ackerland eingesetzt werden. Insgesamt resultiert daraus in den Betrieben häufig ein einseitiger Nährstofffluss vom Grünland zum Ackerland, welcher mit einer Minderung der verfügbaren Nährstoffgehalte in Grünlandböden einhergeht (Möller 2009; Ohm et al. 2015; Schmidtke et al. 2016).

2.2 Nährstoffeffizienz

Die Nährstoffeffizienz für N, P, K im ökologischen Landbau unterscheidet sich je nach Betriebstyp sehr deutlich. Die N-Effizienz der Betriebstypen Ackerbau, Rindermast, Milchviehhaltung und Gartenbau wurde von (Watson et al. 2002b) mit 0,9, 0,2, 0,2 und 0,3 angegeben. Die Erträge im Pflanzenbau liegen im ökologischen Landbau im Vergleich zum konventionellen Landbau niedriger, was hier zu einer deutlich geringeren Nährstoffeffizienz beitragen dürfte. Seufert et al. (2012) ermittelten in einer Meta-Analyse ein durchschnittliches Ertragsniveau des ökologischen Landbaus von 75 % im Vergleich zu konventionell bewirtschafteten Flächen. De Ponti et al. (2012) zeigten, dass in den Ländern Deutschland, Niederlande, Dänemark und Großbritannien ein Ertragsniveau von im Mittel 73 % des konventionellen Landbaus erreicht wurde, wobei hinsichtlich der Erfassungsmethode diese Angaben kritisch bewertet wurden (Connor 2013). So wurde in einem Netzwerk von Pilotbetrieben in Deutschland bei Weizen nur ein Ertragsniveau in Höhe von 54 % der Erträge der konventio-

nellen Vergleichsbetriebe erreicht (Forster et al. 2015), was auf geringere Nährstoffeffizienzen hinweisen könnte. Es zeigten sich allerdings erhebliche Unterschiede zwischen den Ökobetrieben. Neben den Standortfaktoren erwiesen sich die Sortenwahl, die gewählte Vorfrucht und die Höhe der Stickstoffzufuhr als ursächlich für die ermittelten Unterschiede. Entgegen den Erwartungen hatte der Umfang der betrieblichen Viehhaltung keinen Einfluss auf die Höhe des Ertrages, da die untersuchten viehlos wirtschaftenden Betriebe Biogasgülle und andere Wirtschaftsdüngemittel importierten (Forster et al. 2015). Als Strategien zur Steigerung der Nährstoffeffizienz im ökologischen Landbau wird eine „nachhaltige Intensivierung“ angesehen (Tittonell 2014), wobei Köpke und Neuhoff (2013) hier vordergründig Optionen über pflanzenbauliche Strategien sehen.

2.3 Nährstoffverluste durch gasförmige Emissionen

Während Methan überwiegend in der Rinderhaltung entsteht, sind die Emissionen aus den landwirtschaftlich genutzten Böden hauptsächlich mit dem Ausstoß von Lachgas verbunden. Die Emissionen von Treibhausgasen aus der pflanzlichen Erzeugung sind im ökologischen Landbau im Vergleich zur konventionellen Erzeugung flächenbezogen deutlich geringer. Auch die produktbezogenen Treibhausgasemissionen fallen trotz geringerer Erträge je Hektar zumeist geringer aus (Hirschfeld et al. 2008). Emissionen aus der Milchviehhaltung in Deutschland sind flächenbezogen bei ökologischer Bewirtschaftung zumeist geringer, durch die geringeren Leistungen der Einzeltiere produktbezogen jedoch höher (Hülsbergen und Rahmann 2013). Auf europäischer Ebene ermittelten auch Weiske et al. (2006) ein um 10% höheres Emissionspotenzial bei ökologisch erzeugter Milch. Es wird allerdings in den Arbeiten darauf hingewiesen, dass sich die ökologisch wirtschaftenden Betriebe sehr heterogen darstellen und die in den Studien abgeleiteten Ansätze zur Reduzierung der Emissionen hier konsequent umgesetzt werden sollten (Hirschfeld et al. 2008; Hülsbergen und Rahmann 2013). Die Bewertung von betrieblichen Nährstoffflüssen und Nährstoffverlusten stellt sich als allerdings als sehr komplex dar. Empfehlungen für allgemeine Maßnahmen zur Verbesserung sind vorhanden. Z.B. ist eine in der Praxis umsetzbare einzelbetriebliche Analyse und Bewertung anzustreben, die auf der Grundlage vorhandener Instrumente durchgeführt werden kann. So postulieren Köpke und Neuhoff (2013), dass durch Nutzung geeigneter pflanzenbaulicher Strategien hohe Erträge auch im ökologischen Landbau erreicht werden können, in deren

Folge mit einer Absenkung der produktbezogenen THG-Emissionen zu rechnen sei (Konzept „ökologische Intensivierung“).

2.4 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Nährstoffflüssen im ökologischen Landbau

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich Nährstoffflüsse untersuchten bisher Stoffbilanzen, bewerteten die Nährstoffeffizienz und quantifizierten Verlustquellen wie Nährstoffauswaschung und Treibhausgasemissionen. Im Bereich P-Recycling wurden vor allem P-Recyclingdüngemittel auf ihre Eignung im ökologischen Landbau untersucht (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Tabelle 1: Abgeschlossene und laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Nährstoffflüssen im ökologischen Landbau (BÖL, BÖLN und CoreOganic I, II, III)

| Titel, FKZ | Inhalt | Nährstoffflüsse im Ökologischen Landbau |
|---|--|---|
| BÖL, BÖLN | | |
| Ökobilanz und Wirtschaftlichkeit ökologisch wirtschaftender Milchviehbetriebe mit unterschiedlicher Fütterungsintensität und Produktionsstruktur FKZ 03OE414 Verantw.: Deittert et al. (2008) | Energie und Stoffbilanz verschiedener Milchviehbetriebs-typen | THG-Emissionen und N-Emissionsrisiko unterschiedlicher Betriebstypen |
| Wasserschutz im Ökologischen Landbau: Leitfaden für Land- und Wasserwirtschaft FKZ 06OE175 Verantw.: Haas (2010) | Strategien, Konzepte und Maßnahmen beim gewässer-schonenden Anbau von Körner-, Ackerfutter- und Zwischenfrucht-Leguminosen sowie Kartoffeln im ökologischen Landbau | pflanzenbauliche Grundlagen von Fruchtfolgegestaltung, Nährstoffmanagement sowie Stoff-, Humus- und Nährstoffbilanzierung für einen gewässer-schonenden Öko-Landbau |
| Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer Betriebssysteme - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben FKZ 06OE160 und 06OE353 Verantw.: Hülsbergen und Rahmann (2013; 2015) | Analyse und Bewertung der Klimawirkungen von Milchviehbetrieben, Erarbeitung von Optimierungsstrategien; Nachhaltigkeitsbewertung mit Hilfe der Indikatoren Stoff- und Humussalden, Energieeffizienz, Treibhausgase und Bodenschadverdichtungen u.a. | flächen- und produktbezogene Treibhausgasemissionen der Milchviehhaltung in Abhängigkeit des Standort, Betriebsstruktur und Bewirtschaftung, Humussalden |
| Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebli- | Analyse der Effizienz der eingesetzten Ressourcen (Nähr- | |

| Titel, FKZ | Inhalt | Nährstoffflüsse im Ökologischen Landbau |
|--|---|--|
| che Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten FKZ 12NA079 und 12NA129 Verantw.: Hülsbergen und Rahmann (2014-2017) | stoffe, Energie, Boden); Analyse der Wechselwirkungen zwischen Haltungsbedingungen, Tierwohl, Tierarzneimiteinsatz, Umweltparametern und Ressourceneffizienz in der Milchviehhaltung, Ableitung von Optimierungsstrategien zur Steigerung der Ressourceneffizienz | |
| CoreOrganic II | | |
| Assessment of the suitability of recycling phosphorus fertilizers for organic farming („Improve-P“) Verantw.: Möller (2014) | Untersuchung von P-Recycling-Düngemittel, Einsatz von Plant growth promoting Rhizobacteria zur P-Mobilisierung, Entwicklung von Strategien zur Schließung von P-Kreisläufen | P-Recycling aus der Humanernährung, Pflanzenverfügbarkeit der P-Recyclingdüngemittel |

2.5 Forschungsbedarf

Niggli et al. (2008) geben an, dass zur effizienten Nutzung von natürlichen Ressourcen die Steigerung der Gesundheit von Böden sowie die Verbesserung der Nährstoffzyklisierung erforderlich ist. Forschungs- und Innovationsbedarf besteht hier für verbessertes Management von Nährstoffflüssen durch neue Konzepte wie z.B. Intensivierung der Zusammenarbeit spezialisierter Betriebe, um durch entsprechende Nährstoffflüsse zwischen Betrieben zu ausgeglichenen Nährstoffbilanzen beizutragen. Beck et al. (2014) erweiterten die Forschungsstrategie um das Konzept der nachhaltigen Intensivierung. Angesichts der vor allem in Ackerbau vielfach festgestellten Defizite in den Nährstoffbilanzsalden, wäre eine systematische, webbasierte Übersicht zu aktuell regional verfügbaren und im ökologischen Landbau einsetzbaren organischen Reststoffen und Düngemitteln ein hilfreiches Instrument für die Praxis, um Nährstoffdefizite über Zukauf organischer Stoffe ausgleichen zu können. Die Teilnehmer des Expertenworkshops sahen vor allem in der Analyse von Langzeiteffekten unterschiedlicher Anbausysteme im Hinblick auf Nährstoffzufuhr und -dynamik, der Entwicklung von Strategien zur Sicherung der Phosphorversorgung und zur Entwicklung eines praxisanwendbaren Modells zur Analyse und Bewertung betrieblicher Nährstoffkreisläufe und Verbindung mit der Düngebedarfsermittlung prioritären Forschungs- und Entwicklungsbedarf (Tabelle 2).

Tabelle 1: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Nährstoffflüssen im ökologischen Landbau (Ergebnis des Experten-Workshop)

| | |
|---|------------------------------------|
| Analyse der Langzeiteffekte unterschiedlicher Anbau- und Betriebssysteme (Marktfrucht, Gülle, Stallmist, Biogas) auf die Nährstoffdynamik der Böden, die Nährstoffaufnahme und Ertragsbildung sowie Nährstoffverluste | Rang 1, Wertung nach Punkten: 5,4 |
| Langfristige Sicherung der Phosphor-Versorgung im ökologischen Marktfruchtbau | Rang 2, Wertung nach Punkten: 4,2 |
| Entwicklung eines praxisanwendbaren Modells zur Analyse und Bewertung betrieblicher Nährstoffkreisläufe und Verbindung mit der Düngedebedarfsermittlung | Rang 3, Wertung nach Punkten: 4,0 |
| Strategien zur nachhaltigen Intensivierung („sustainable intensification“) und Ertragssteigerung | Rang, Wertung nach Punkten: 4,0 |
| Langzeitwirkung (Nachhaltigkeit) des viehlosen ökologischen Marktfruchtbaus: Veränderung der Böden (Humus- und Nährstoffgehalte), Einfluss auf Ertrag und Produktqualität | Rang, Wertung nach Punkten: 3,8 |
| Verbesserung der Methodik zur Ermittlung von Nährstoffstatus und –dynamik in Pflanze und Boden | Rang, Wertung nach Punkten: 3,3 |
| Bioraffinerie-Konzept/Kaskadische Nutzung z.B. von Futterleguminosen | Rang 7, Wertung nach Punkten: 2,8 |
| Analyse des N-Umsatzes im Boden, N-Aufnahme und Biomassebildung der Pflanzen mit Hilfe von Sensoren | Rang 8, Wertung nach Punkten: 2,4 |
| Weiterentwicklung von Humusbilanzierungsmethoden, besseres Verständnis des Humusgehalt und Einflussfaktoren, Kopplung mit der N-Bilanz | Rang 9, Wertung nach Punkten: 2,2 |
| Errichtung einer Handelsplattform für regional verfügbare organische Reststoffe | Rang 10, Wertung nach Punkten: 1,0 |

3 Ackerbau

3.1 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im ökologischen Ackerbau

In bisher abgeschlossenen bzw. bewilligten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im Rahmen von BÖL, BÖLN und CORE organic/CORE organic II sowie BonaRes wurde zumeist die Wirkung organischer und mineralischer Düngemittel zu einzelnen Fruchtarten geprüft (Tabelle). Der Schwerpunkt der Vorhaben lag dabei auf der Verbesserung der Verfügbarkeit von Stickstoff, Phosphor und Schwefel. Darüber hinaus wurde in einigen Vorhaben die Aufnahme von Mikronährstoffen durch die jeweils geprüften Fruchtarten untersucht. In einer Reihe weiterer Forschungsvorhaben (ersichtlich unter der Rubrik „Pflanzenbau“ der Projektliste an Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der BLE) wurde untersucht, in wieweit indirekt über pflanzenbauliche Maßnahmen einzelne Pflanzennährstoffe - vor allem Stickstoff - zeitlich und räumlich besser verfügbar werden. So wurde u.a. die Wirkung der Bemessung des Reihenabstandes der angebauten Fruchtart auf die N-Aufnahme in der Zeit geprüft. Wirkungen des Anbaus verschiedener Zwischenfruchtarten wurden auf die N-Retention oder den P-Aufschluss im Boden getestet. Ferner wurde untersucht, inwieweit sich durch den Einsatz verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte die Mineralisation organischer Substanz im Boden beeinflussen lässt (Tabelle).

Tabelle 3: Abgeschlossene und laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im Ackerbau des ökologischen Landbaus (BÖL, BÖLN, CoreOrganic I, CoreOrganic II, CoreOrganic Plus und BonaRes)

| Projektname | Inhalt / Ziel | Ergebnisse |
|--|--|---|
| BÖL, BÖLN | | |
| Phosphat-Mobilisierung durch Haupt- und Zwischenfrüchte nach Düngung von weicherdigem Rohphosphat im ökologischen Landbau FKZ 02OE424 Verantw.: Steffens et al. (2003) | Erhöhung der P-Verfügbarkeit nach Düngung von Rohphosphat durch Anbau von Weißer Lupine und Ackerbohne | P-Aufnahme von Spinat nach Weißer Lupine und Ackerbohne höher als nach Sommerweizen |

| Projektname | Inhalt / Ziel | Ergebnisse |
|--|--|---|
| <p>Organische Dünger bei der Anzucht von Gehölzen im Container. Erarbeitung einer Düngestrategie zur optimalen Nährstoff-Versorgung (N-P-K-Mg) von Baumschulkulturen in Containern FKZ 02OE311 Verantw.: Nasilowski (2003)</p> | <p>Entwicklung eines praxistauglichen Düngekonzeptes für die Kultur von Gehölzen in Pflanzgefäßen, Einsatz von Hornmehl und torffreien Substraten</p> | <p>Über eine Düngung von Hornmehl, Haarmehlpellets und NPK: konnte eine ausreichend hohe N-Verfügbarkeit für geprüfte Arten sichergestellt werden, Salzemphindlichkeit bei Einsatz torffreier Substrate führte zu Wuchsdepression der geprüften Arten</p> |
| <p>Stickstoffversorgung der Zweitfrüchte Feldgemüse und Mais nach Winterzwischenfrucht-Leguminosen FKZ: 02OE318 Verantw.: Haas et al. (2004)</p> | <p>Prüfung der N-Verfügbarkeit nach Winterwicke und Wickroggen für Kohl und Körnermais, Prüfung verschiedener Zwischenfrüchte vor Silomais</p> | <p>N-Nachlieferung aus leguminen Winter-Zwischenfruchtbaue mengenmäßig bedeutsam, insbesondere bei Verbleib der Sprossmasse auf der Fläche</p> |
| <p>Ertrag und Qualitätseigenschaften von Sommerweizen und Kartoffeln bei organischer Düngung tierischer Herkunft (Rottemist) und pflanzlicher Herkunft (Leguminosen) FKZ 03OE179 Verantw.: Raupp (2006)</p> | <p>Prüfung der Wirkung von Ackerbohenschrot auf Ertrag und Qualität von Sommerweizen und Kartoffeln</p> | <p>Erhöhung des Kornertrages von Sommerweizen bei Abnahme des Rohproteingehaltes nach Düngung von Ackerbohenschrot</p> |
| <p>Lebendmulchsysteme mit einjährigen Leguminosen FKZ: 03OE099 Verantw.: Baresel und Reents (2006)</p> | <p>Prüfung alternativer Leguminosenarten als Lebendmulch zur Verbesserung der N-Versorgung</p> | <p>Verbesserte N-Versorgung von Winterroggen und Winterweizen mit Anbau von Klee-Untersaaten</p> |
| <p>Erzeugung von Weizen hoher Backqualität durch Gemengeanbau mit Winterackerbohne und Wintererbse im ökologischen Landbau FKZ: 03OE050 Verantw.: Hof und Schmidtke (2007)</p> | <p>Untersuchungen zur zeitlichen und räumlichen Nutzung von N_{min} im Boden bei Rein- und Gemengesaat von Winterweizen mit Winterkörnerleguminosen</p> | <p>Gesichert positiver Einfluss des Reihenabstandes, der Saatstärke und des Gemengeanbaus mit Wintererbse bzw. Winterackerbohne auf Kornproteingehalt von Winterweizen</p> |
| <p>Untersuchung ackerbaulicher Probleme langjährig ökologisch wirtschaftender Betriebe; Kooperationsmodell Praxis - Beratung – Wissenschaft FKZ: 03OE024 Verantw.: Schmidt (2007)</p> | <p>Analyse auftretender pflanzenbaulicher Probleme in Praxisbetrieben und Formulierung von Lösungsansätzen</p> | <p>Es wurde ein großer Einfluss von Nährstoffmangel und Nematoden bei Schadnestern in Getreidebeständen festgestellt; Es wurde ein Zusammenhang zwischen niedrigen Gehalten an Kalium, Mangan und Magnesium im Boden und dem Auftreten von Nematoden festgestellt</p> |

| Projektname | Inhalt / Ziel | Ergebnisse |
|--|--|---|
| <p>Neue Anbaustrategien zur Erhöhung der N-Effizienz und zur Reduzierung des Unkrautdruckes im ökologischen Landbau FKZ: 03OE180 Verantw.: Bachinger et al. (2007)</p> | <p>Anbau einer abfrierenden legumenen Untersaat in Wintergetreide, Grasuntersaat in Wintergetreide und Getreide-Spätsaat zur Verminderung von Nitratverlusten im Boden</p> | <p>Legume Untersaat mit höherem Kornertrag bei Weizen und Roggen (standortabhängig), Ertragsrückgang bei Raps mit legumer Untersaat durch aufliegende Biomasse</p> |
| <p>Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit FKZ: 08OE020 und 08OE145 bis 08OE147 Verantw.: Köpke et al. (2011)</p> | <p>TP 4: Untersuchungen von Nährstoffgehalten im Blatt von Körnerleguminosen in Abhängigkeit verschiedener Faktoren (Düngung mit Sekundärrohstoffdüngern und reduzierte Bodenbearbeitung) zur Optimierung der Produktivität und N₂-Fixierung</p> | <p>TP4: Erhöhung des Kornertrages von Ackerbohne nach Düngung von Kaliumsulfat, Erhöhte Knöllchenmasse bei Ackerbohne nach kombinierter Düngung von P + Kaliumsulfat + Mo + Bo</p> |
| <p>Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebaute Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit FKZ 08OE004 bis 08OE009 und 11OE080 bis 11OE085 Verantw.: Wilbois et al. (2013)</p> | <p>WP 1: Datenerhebung und Befragung in 32 ökologisch wirtschaftenden Betrieben zur Problemanalyse im Ackerbau, Erfassung der Nährstoffversorgungsstufe im Boden (P, K, Mg, Mn, Cu, B, Zn) der untersuchten Flächen; WP 2: Steigerung von Ertrag und symbiotischer N₂-Fixierung von Rotklee, Ackerbohne und Saatplatterbse und der Nachfrucht Winterweizen nach Düngung von Grüngutkompost, Pferdemist, Gehölzhäcksel und Stroh</p> | <p>WP1: Zusammenhang zwischen Nährstoffmangel und Minderertrag von Erbse, Ackerbohne und Getreide, Nährstoffversorgungsklassen zu 0 bis 8 % in A, 9 bis 41 % in B und 51 bis 99 % in C; WP2: Erhöhung des Sprossertrages von Rotklee und des Kornertrages von Winterweizen nach Düngung von Grüngutkompost und Pferdemist, Erhöhung der K-Aufnahme durch Rotklee nach Düngung von Grüngutkompost und Pferdemist</p> |
| <p>Wirkung verschiedener Verfahren der Schwefeldüngung auf Ertragsleistung und Vorfruchtwert von Körnerleguminosen im ökologischen Landbau FKZ 11OE110 und 11OE111 Verantw.: Schmidtke und Lux (2015)</p> | <p>Prüfung verschiedener S-Düngemittel zu Lupine, Ackerbohne und Körnererbse und Gemenge aus Erbse und Gerste hinsichtlich Ertrag, S-Aufnahme, Qualität des Erntegutes und der Vorfruchtwirkung zu Winterweizen</p> | <p>Keine gesicherte Ertragssteigerung der Leguminosen und des Weizens aufgrund der S-Düngung vorhanden, geringer und später S-Bedarf heimischer Körnerleguminosen</p> |
| <p>Sicherung des Ertragspotentials von Luzerne Kleegrassbeständen durch Verbesserung des aktuellen Schwefelversorgungszustandes ökologisch bewirtschafteter Flächen - Situation und Bedeutung unter Praxisbedingungen FKZ 11OE104 Verantw.: Becker et al. (2015)</p> | <p>Ermittlung der S-Bedürftigkeit von Futterleguminosen</p> | <p>Ableitung von Grenzwerten hinsichtlich Vorräte an pflanzenverfügbarem S im Boden und S-Gehalte im Spross der Futterleguminosen, Ertragssteigerung von Futterleguminosen durch eine S-Düngung in vielen Fällen vorhanden</p> |

| Projektname | Inhalt / Ziel | Ergebnisse |
|---|--|---|
| Phosphorrecycling mittels Kombination von Nieder-Temperatur-Konvertierung und thermochemischem Aufschluss von biogenen Reststoffen FKZ 11NA023 Verantw.: Steffens (2013 - 2016) | Entwicklung eines Verfahrens des thermochemischen Aufschlusses von Phosphor aus biogenen Reststoffen, Prüfung P-Aufnahme von Spinat und Raps | Da das Projekt sich noch in Bearbeitung befindet, sind die Ergebnisse zurzeit noch nicht öffentlich verfügbar |
| Sicherung des Ertragspotentials von Luzerne Klee grasbeständen durch Verbesserung des aktuellen Schwefelversorgungszustandes ökologisch bewirtschafteter Flächen - Situation und Bedeutung unter Praxisbedingungen FKZ 11OE104 Verantw.: Becker et al. (2015) | Ermittlung der S-Bedürftigkeit von Futterleguminosen | Ableitung von Grenzwerten hinsichtlich Vorräte an pflanzenverfügbarem S im Boden und S-Gehalte im Spross der Futterleguminosen, Ertragssteigerung von Futterleguminosen durch eine S-Düngung in vielen Fällen vorhanden |
| Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebliche Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten FKZ: 12NA079 Verantw.: Hülsbergen und Rahmann (2014 bis 2017) | Erhebung von Daten in 40 ökologisch und 40 konventionell wirtschaftenden Betrieben | Da das Projekt sich noch in Bearbeitung befindet, sind die Ergebnisse zurzeit noch nicht öffentlich verfügbar |
| Optimierung der Unkrautregulation, Schwefel- und Phosphorverfügbarkeit durch Unterfußdüngung bei temporärer Direktsaat von Ackerbohne und Sojabohne FKZ: 11OE087 bis 11OE089 Verantw.: Köpke et al. (2013 bis 2016) | TP: Reduzierung des Düngeraufwandes sowie Steigerung von N ₂ -Fixierleistung, Wachstum, Ertragsbildung und Qualität von Körnerleguminosen durch Unterfußdüngung | Projekt in Bearbeitung |
| CORE organicI, II und Plus | | |
| Assessment of the suitability of recycling phosphorus fertilizers for organic farming ("IMPROVE-P") Verantw.: Möller (2014) | Verbesserung der P-Verfügbarkeit aus organischen Reststoffen und der P-Aufnahme durch optimierte Anbausysteme | Projekt in Bearbeitung |
| Reduced tillage and green manures for sustainable organic cropping systems („TILMAN-ORG") Verantw.: Mäder (2014) | Integration organischer Düngemittel in verschiedene Bodenbearbeitungssysteme | Projekt in Bearbeitung |
| Fertility building management measures in organic cropping systems („Fertil Crop") Verantw.: Fließbach (2014 bis 2017) | Untersuchungen zur Interaktion von Kulturpflanzen mit Mikroorganismen im Boden hinsichtlich der Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit | Projekt in Bearbeitung |

| Projektname | Inhalt / Ziel | Ergebnisse |
|---|---|------------------------|
| BonaRes - Zentrum für Bodenforschung | | |
| Innovative Lösungen für ein nachhaltiges Boden-P-Management („InnoSoilPhos“) Verantw.: Leineweber (2015 bis 2018) | Erhöhung der P-Effizienz und Verringerung der Abhängigkeit von mineralischen P-Düngemitteln | Projekt in Bearbeitung |
| Erhöhung der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzungseffizienz durch Optimierung von Pflanze-Boden-Mikroorganismen-Wechselwirkungen („INPLAMINT“) Verantw.: Brüggemann (2015 bis 2018) | Erhöhung der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzungseffizienz durch Optimierung von Pflanze-Boden-Mikroorganismen-Wechselwirkungen | Projekt in Bearbeitung |
| Integriertes System zum ortsspezifischen Management der Bodenfruchtbarkeit („14S“) Verantw.: Gebbers (2015 bis 2018) | Verbesserung teilflächenspezifischer Düngung von N, P, K und Ca | Projekt in Bearbeitung |
| Nachhaltiges Unterbodenmanagement („Soil ³ “) Verantw.: Amelung (2015 bis 2018) | Verbesserung der Nährstoff- und Wasseraufnahme aus dem Unterboden | Projekt in Bearbeitung |

3.2 Makronährstoffbilanz und Makronährstoffversorgung im Boden

Anhand mehrerer Untersuchungen sowohl in Deutschland als auch im europäischen Ausland wurde deutlich, dass auf ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen in Abhängigkeit vom Viehbesatz in vielen Fällen negative Nährstoffbilanzsalden, verbunden mit abnehmenden Gehalten an Nährstoffen im Boden, festzustellen sind. So wiesen Zorn und Wagner (2010) in ihren Untersuchungen von 24 Ackerflächen in Thüringen im Zeitraum 2004 bis 2009 einen Anstieg des Flächenanteils mit ungenügender P-Versorgung im Boden (Versorgungsstufe A) von 8 % auf 23 % nach. Bei Kalium stieg zeitgleich der Flächenanteil der Ackerböden mit Versorgungsstufe A von 21 % auf 27 %. Wilbois et al. (2013) ermittelte nach Untersuchung von 32 ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen in Deutschland einen Flächenanteil Ackerböden von 8 %, welche sich hinsichtlich des P-Gehaltes in Versorgungsstufe A befanden, 41 % in Versorgungsstufe B und 51 % in Versorgungsstufe C oder höher. Hinsichtlich des Kaliums lagen die untersuchten Böden hier nur zu 2 % in Versorgungsstufe A, zu 26 % in Versorgungsstufe B und zu 72 % in Versorgungsstufe C oder höher. In die-

sen Untersuchungen wurde ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen der Intensität der betrieblichen Viehhaltung und der damit verbundenen organischen Düngung und dem K-Gehalt im Boden festgestellt. Schmidtke et al. (2012) ermittelten nach der Untersuchung der Ackerflächen von 32 sächsischen Betrieben des ökologischen Landbaus (insgesamt 6700 ha) im Zeitraum 2006 bis 2011 ein Flächenbilanzsaldo von -11 kg Stickstoff je Hektar und Jahr, -9 kg Phosphor je Hektar und Jahr und -39 kg Kalium je Hektar und Jahr im gewogenen Mittel der untersuchten Flächen. Herausgestellt wurden zudem in dieser Untersuchung große Unterschiede hinsichtlich der Nährstoffflächenbilanzsaldos zwischen den einzelnen Schlägen eines Betriebes, was auf eine disproportionierte innerbetriebliche Verteilung der Nährstoffe in nahezu allen untersuchten Betrieben hinweist.

Lindenthal et al. (2003) ermittelten nach Auswertung von drei 40-jährigen Düngeversuchen in Österreich negative P-Bilanzen in einer Größenordnung von jährlich -16,5 kg P je Hektar ohne jegliche P-Zufuhr. Tendenziell günstiger wurde hier die Situation bei viehhaltenden Betrieben eingeschätzt. Watson et al. (2002b) ermittelten ein P-Saldo von +3 kg und ein K-Saldo von +9 kg im Rahmen der Untersuchung von 47 ökologisch wirtschaftenden Milchvieh- und Gemischtbetrieben in Großbritannien im Zeitraum 1995 bis 1999. Foissy et al. (2013) konstatieren ein ausgeglichenes Saldo bei Phosphor und Kalium nach der Untersuchung von 28 Betrieben in Frankreich in den Jahren 2009 und 2010, wiesen aber zugleich auf die Notwendigkeit der Zufuhr externer organischer Düngemittel bei viehloser Wirtschaftsweise hin. Eriksen et al. (2002) ermittelten in einer Fruchtfolge aus Getreide und Klee gras je nach Kultur negative S-Bilanzen von -8 bis -22 kg S je Hektar und Jahr. Dabei übertrafen die Verluste durch S-Auswaschung die Abfuhr durch das Erntegut deutlich. Die genannten Beispiele unterstreichen deutlich die insgesamt häufig zu geringe Nährstoffzufuhr und bei Saldierung auf Betriebsebene nicht schlagspezifischen Nährstoffausgleich im ökologischen Ackerbau. Daraus resultiert bereits derzeit vielfach eine verminderte Produktivität der bewirtschafteten Fläche, welche sich neben einer direkten verminderten Verfügbarkeit einzelner Nährstoffe für die angebauten Fruchtarten auch in Form von indirekten Wirkungen wie etwa einer verminderten symbiotischen N₂-Fixierung der angebauten Leguminosen oder einer wechselseitig negativen Beeinflussung der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen zeigt (Römer und Lehne 2004; Kayser und Isselstein 2005; Möller 2009; Wilbois et al. 2013).

Kaliummangel kann insbesondere bei negativen Bilanzsalden auf leichten Böden auftreten (Askegaard et al. 2003; Öborn et al. 2005). Diese können aber durch die im ökologischen Landbau zulässigen mineralischen Kaliumdüngemittel vergleichsweise leicht ausgeglichen werden. Ebenso stehen für die Nährstoffe Schwefel und Magnesium Gips, Kiserit sowie Mg- oder S-haltige Kalkdüngemittel zur Verfügung (Paulsen 2005; Mikkelsen 2007). Hingegen ist die Phosphorversorgung durch Rohphosphate durch deren geringe Löslichkeit derzeit nicht zufriedenstellend (Schnug et al. 2003).

3.3 Phosphorversorgung

Da viele Untersuchungen zeigen, dass im ökologischen Landbau insbesondere Phosphor zu einem limitierenden Faktor der Ertragsbildung der Kulturpflanzen geworden ist, soll an dieser Stelle auf diese Problematik gesondert eingegangen werden.

Die Art der P-Zufuhr ist im ökologischen Landbau mit Ausnahme des Einsatzes von weicherdigem Rohphosphat weitestgehend auf organische Wirtschaftsdüngemittel und einige zugelassene organische Reststoffe begrenzt. Der Einsatz von Klärschlamm und Klärschlammprodukten ist aus Gründen der Hygiene sowie der Belastung durch organische und anorganische Xenobiota im ökologischen Landbau nicht gestattet (Adam et al. 2008; Kratz et al. 2014). Phosphor wird durch die Pflanzen hauptsächlich in Form von Orthophosphat-Ionen (H_2PO_4^- und HPO_4^{2-}) aufgenommen und in der Pflanze rasch in organische P-Verbindungen überführt (Mengel 1991; He et al. 2001; Barker und Pilbeam 2007). Die Anlieferung an die Pflanze erfolgt überwiegend durch Diffusion und Interzeption. In Rohphosphaten liegt Phosphor als schwer lösliches Ca-Phosphat (Hydroxil-, Flour- und Carbonatapatit) vor. Die P-Verfügbarkeit aus Rohphosphaten ist somit grundsätzlich sehr gering, jedoch ist die P-Freisetzung aus Ca-Phosphaten im Boden auch maßgeblich beeinflusst durch den aktuellen pH-Wert, den Gehalt an austauschbarem Kalzium und der P-Sorptionskapazität (Tongehalt) des Bodens (Mengel 1986; Chien und Menon 1995; Blume et al. 2010). Die P-Verfügbarkeit aus Wirtschaftsdüngemitteln und organischen Reststoffen wird im Vergleich zu den Rohphosphaten als günstiger eingeschätzt (Damon et al. 2014; Bünemann 2015). Lux (2016) konnte in seinen Untersuchungen im ökologischen Landbau gegenüber einer scheinbaren P-Ausnutzung von -1,0 % aus dem gedüngten Rohphosphat mit der Düngung von Pferdemist (3,1 %), Stroh (1,6 %) und

Grüngutkompost (0,7 %) jeweils höhere scheinbare P-Ausnutzungsraten als nach Düngung von Rohphosphat durch die legume Zwischenfrucht Saatplatterbse erzielen. Bei Rotklee lag die scheinbare P-Ausnutzung in diesen Untersuchungen zwischen 7,8 % (Pferdemist) und 0,8 % (Grüngutkompost) der gedüngten P-Menge gegenüber Rohphosphat mit 0,3 %. Die besondere produktionstechnischen Schwierigkeiten der Sicherstellung der P-Versorgung im ökologischen Landbau resultieren aus dem Umstand, dass P aus den aktuell im ökologischen Landbau zugelassenen Düngemitteln fast ausschließlich sehr langsamen verfügbar ist und die Aufnahme des gedüngten P durch die Pflanzen (in Abhängigkeit von der P-Versorgungsstufe des Bodens) nur sehr gering ist. Deshalb fehlen im ökologischen Landbau derzeit Strategien, einen P-Mangel im Boden kurzfristig durch Düngung zu beheben. Auch die Mengen an anfallenden organischen Reststoffen und die darin enthaltenen P-Mengen sind in Deutschland begrenzt. Das jährliche Substitutionspotenzial der in der deutschen Landwirtschaft eingesetzten P-Menge durch Bioabfall- und Grüngutkomposte wird auf etwa 10 % des Bedarfes entsprechend einer Biomasse zwischen 8 und 9 Mio. t geschätzt (Coester und Kasten 1999; Kern et al. 2003; Kern und Raussen 2010; Kehres 2011). Die bestehende Begrenzung der jährlich anfallenden Menge dieser Stoffe wird verschärft durch die Konkurrenz verschiedener Verwertungsrichtungen. Neben der Kompostierung und somit einer potenziellen Rückführung der Nährstoffe auf land- oder gartenbauliche Produktionsflächen wird in zunehmendem Umfang die thermische Verwertung anfallender Gehölzhäcksel aus der Landschaftspflege (ca. 4,5 Mio t jährlich) verfolgt (Thumm et al. 2009; Krahnert et al. 2010; Kehres 2011).

Im ökologischen Landbau wurden in der Vergangenheit bereits verschiedene Strategien zur Optimierung der P-Verfügbarkeit geprüft durch:

- den gezielten Einsatz von P-effizienten Pflanzen, (Wurzelexsudation organischer Säuren und verstärkten Aufnahme von Kalziumionen und der damit verbundenen Absenkung des pH-Wertes in der wurzelnahen Rhizosphäre (Bekele et al. 1983; Hoffland et al. 1989; Hoffland 1992; Hinsinger und Gilkes 1997; Neumann und Römheld 1999; Gerke 2015),
- Kombination von Düngemitteln zur Steigerung der P-Verfügbarkeit (Schnug et al. 2003; Köpke et al. 2016; Brown und Gwinn 1917),

- Suche und Prüfung rezyklierbarer Stoffe zur Gewinnung von P-Düngemitteln, deren Herkunft und Einsatz mit den Zielstellungen bzw. Vorgaben der EU-Ökoverordnung bzw. der Anbauverbände zu vereinbaren ist (Schnug et al. 2003; Adam et al. 2008; Pinnekamp et al. 2013; Römer 2013; Kratz et al. 2014),

Neben Wirtschaftsdüngemitteln wie Gülle, Stallmist, Stallmistkomposte und Gärrestsubstrate stehen insbesondere für viehlos wirtschaftende Marktfruchtbetriebe des ökologischen Landbaus außer Grüngutkomposten und Rohphosphate nur wenig geeignete P-Düngemittel zur Verfügung. Hauptproblem bei der Erprobung möglicher alternativer P-Düngemittel ist vor allem eine geringe P-Löslichkeit, eine hohe Schadstoffbelastung und zu erwartende Zulassungsbeschränkungen (Schnug et al. 2003; Kratz et al. 2010; Cabeza et al. 2011; Wollmann und Möller 2015).

Forschungsbedarf zur Verbesserung der P-Versorgung im ökologischen Landbau wird deshalb als dringend erachtet:

- Weiterentwicklung und Prüfung geeigneter P-Recyclingdüngemittel für den ökologischen Landbau hinsichtlich P-Verfügbarkeit sowie Zulassungs- und Preiswürdigkeit.
- Die Entwicklung von P-Recyclingdüngemitteln aus der Humanernährung ist ebenfalls weiter zu entwickeln und der Einsatz unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus zu prüfen (Kratz et al. 2014).
- Ergänzend: Erstellung eines Anforderungsprofils für den Einsatz von P-Recyclingdüngemittel im ökologischen Landbau.
- Prüfung und Einsatz P-effizienter Pflanzen (im Hauptfrucht-/Zwischenfrucht /Gemengebau) zum Aufschluss bzw. Verfügbarmachung von Phosphor aus dem Boden, aus weicherdigem Rohphosphat und organischen Düngemitteln für die Bereitstellung von P für weniger P aneignungeffiziente Fruchtarten.
- Erprobung technischer Lösungen zur räumlichen und zeitlichen Optimierung der P-Verfügbarkeit (z.B. Unterfußdüngung).
- Züchtung nährstoff- bzw. P-effizienter Sorten.

Im Rahmen des Workshops wurden sowohl im Bereich des Ackerbaus, der Nährstoffflüsse als auch hinsichtlich der Kontrolle Fragestellungen zum Phosphor als hoch prioritär für die Forschung eingeschätzt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur P-Versorgung im ökologischen Landbau (Ergebnis des Experten-Workshop Teil Ackerbau bzw. Nährstoffflüsse)

| | |
|---|---|
| Löslichkeit, Wirkungen Eignung, Zulassungs- und Preiswürdigkeit von P-liefernder Stoffe zur Düngung | Bereich Ackerbau Rang 1, Wertung nach Punkten: 3,6; Nährstoffflüsse Rang 2, Wertung nach Punkten 4,2 |
| Erstellung eines Anforderungsprofils für den Einsatz organischer Düngemittel/P-Recyclingdüngemittel im ökologischen Landbau | Bereich Kontrolle Rang 2, nach Punkten: keine Punktzahl vergeben |

Zu berücksichtigen sei auch die Wirkung der Nährstoffversorgung auf die Anfälligkeit gegenüber Schaderregern (Unkräuter, Krankheiten und Schadinsekten, Datnoff et al. 2007). So wurde eine nährstoffinduzierte Resistenzen (nutrient induced resistance) durch Phosphor und Schwefel sowie Silizium festgestellt (Haneklaus et al. 2002).

3.4 Leguminosenanbau und symbiotische N₂-Fixierung

Der Anteil Leguminosen in der Fruchtfolge ökologisch wirtschaftender Betriebe in Form des Anbaus von Körner- und Futterleguminosen betrug in Erhebungen in verschiedenen Bundesländern im Mittel 33 % (13 bis 60 %, Kolbe 2015). Der Anteil Körnerleguminosen ging seit etwa 1950 kontinuierlich zurück und betraf, wenn auch in geringerem Umfang, auch den ökologischen Landbau (Böhm 2009; Rahmann et al. 2009). Die veränderten Rahmenbedingungen der Agrarförderung durch Agrarumweltprogramme und umfangreiche Bemühungen des Bundes durch spezifische Forschungsförderung, Entwicklung und Wissenstransfer zielen auf die Stabilisierung bzw. Ausweitung der Anbaufläche von Körnerleguminosen ab (vgl. Tabelle und Tabelle). Zu den Ursachen des Anbaurückgangs zählen jedoch neben der geringen Wirtschaftlichkeit geringer Zuchtfortschritt, Pflanzenkrankheiten und Ertragschwankungen (Zerhusen-Blecher und Schäfer 2013, Wilbois et al. 2013).

Die symbiotische N₂-Fixierung durch Leguminosen wurde im Mittel aller untersuchten Betriebe auf den Ackerflächen auf 52 kg N je ha und Jahr (7 bis 136 kg N ha⁻¹ a⁻¹) geschätzt. Sie ist somit wesentlich bedeutender als die N-Menge, welche im Durchschnitt über Wirtschaftsdünger auf Ackerflächen ausgebracht wird (42 kg N je ha und Jahr, 0 bis 166 kg N ha⁻¹ a⁻¹, Kolbe 2015). Schmidtke et al. (2016) erfassten in sächsischen Betrieben des ökologischen Landbaus einen N-Zufluss im Ackerbau über Leguminosen in Höhe von 56,6 kg je ha und Jahr, durch Wirtschaftsdüngemittel hingegen nur in Höhe von 21,5 kg N je ha und Jahr (gewogenes Mittel auf 6700 ha und 6 Jahre). Somit wurden hier über Haupt- und Zwischenfruchtleguminosen 72 % der insgesamt im Acker zugeführten N-Menge erbracht. Auf viehlos wirtschaftenden Betrieben stellt die legume N₂-Fixierung ohnehin die bedeutendste N-Quelle dar (Schmidt 2003). Deshalb ist dem Anbau von Leguminosen erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen, da die N-Versorgung im ökologischen Landbau häufig einen limitierenden Faktor für die Ertragsbildung darstellt (Berry et al. 2002; Paulsen et al. 2010).

Der Ertrag und die Höhe der symbiotischen N₂-Fixierung von Körner- und Futterleguminosen variiert je nach Sorte und Standort und kann durch die Krankheiten der Leguminosen stark reduziert werden (Herridge et al. 2008; Böhm 2009; Peoples et al. 2009). Unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus in Deutschland waren und sind im Rahmen der Bundesprogramme BÖL, BÖLN und EPS sowie den Core Organic-Forschungsprojekten diese Sachverhalte Teil der Untersuchungen (vgl. Tabelle und Tabelle).

Es steht ein Vielzahl an Arten wie Ackerbohne, Erbsen, Lupinen, Sojabohnen sowie verschiedene Luzerne-, Klee- und Wickenarten zur Verfügung, welche an die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen, die Standorte und die Nutzungsansprüche in Deutschland angepasst sind. In der Praxis dominieren jedoch insbesondere bei den Futterleguminosen wenige Arten. Die Autoren des Fachforums Leguminosen weisen darauf hin, dass die Potenziale des breiten Artenspektrums nicht in vollem Umfang genutzt werden und durch die züchterische Bearbeitung verbessert werden müssten. Die Auswahl von Leguminosenarten, welche an die verschiedenen Regionen in Deutschland und die unterschiedlichen Standorte innerhalb dieser Regionen angepasst sind, trägt somit zur Verbesserung der symbiotischen N₂-Fixierung bei und verbessert indirekt die N-Versorgung innerhalb der Fruchtfolge (DAFA 2012). Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der optimalen Stellung von Leguminosen in den

betriebsspezifischen Fruchtfolgen, ihrer Vorfruchtwirkungen auf wichtige biologische, physikalische und chemische Parameter der Bodenfruchtbarkeit sowie ihrer phytosanitären Wirkungen. Mit der Bereitstellung von Stickstoff aus legumer N₂-Fixierung sind zudem Konzepte zu dessen effizienter Nutzung und zur Minimierung von Verlusten zu entwickeln (DAFA 2012).

Hinsichtlich der Nährstoffversorgung kommt den Leguminosen in zweierlei Hinsicht eine zentrale Bedeutung im ökologischen Land- wie Gartenbau zu. So gewährleistet eine hinreichende Versorgung des Boden mit pflanzenverfügbaren Makro- und Mikronährstoffen nicht nur eine hohe Ertragsleistung der Leguminose, sondern trägt auch über eine entsprechend hohe symbiotische N₂-Fixierleistung der Leguminose zu einer nachhaltig hohen Ertragsleistung folgender nichtlegumer Früchte maßgeblich bei. Besonders markant konnte dieser Zusammenhang erst jüngst in Arbeiten an der Universität Gießen anhand einer Schwefeldüngung zu Futterleguminosenbeständen gezeigt werden (Fischinger et al. 2011, Riffel et al. 2013, Becker et al. 2015). Ein analoger Zusammenhang dürfte auch bei anderen Makro- und Mikronährstoffen darstellbar sein, die in für Leguminosen unzureichenden Mengen in ökologisch bewirtschafteten Ackerböden vorliegen. Deshalb ist hinsichtlich der Nährstoffversorgung von Leguminosen in Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des ökologischen Landbaus zukünftig ein besonderes Augenmerk zu richten, wie auch in der Diskussion während des Workshops mehrfach deutlich wurde. Angefügt wurde hierbei auch, dass die Angaben zum Nährstoffbedarf von Futterleguminosen zu überprüfen seien (vgl. Tabelle).

3.5 Forschungsbedarf

Nach Einschätzung auch der Experten, die am Workshop in Dresden teilgenommen haben, wurde die Nährstoffversorgung im ökologischen Ackerbau derzeit als vielfach nicht nachhaltig eingeschätzt. Als Ursachen für die genannten Fehlentwicklungen wurden im Expertenworkshop folgende Fragestellungen dargestellt:

- Derzeit wird als unzureichend das einzelschlagspezifische Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau angesehen nicht nur hinsichtlich der Ertragsleistung der Früchte sondern auch der Qualität der Ernteprodukte.
- Die P- und K-Düngung werden vielfach als nicht bedarfsangepasst eingeschätzt.

- Die Einschätzungen der im ökologischen Ackerbau anzustrebenden Versorgungsstufe pflanzenverfügbarer Nährstoffvorräte im Boden sind zwischen Fachvertretern des ökologischen Landbaus derzeit noch umstritten. So betonten einige Fachvertreter, dass zumindest für Kulturen mit geringer, wurzelmorphologisch bedingter Nährstoffaneignung (z.B. bei der Erbse für Phosphor) auch im ökologischen Landbau die Versorgungsstufe C und nicht nur die Versorgungsstufe B anzustreben sei. Gleiches kritisieren Paulsen et al. (2010) und fordern eine kulturspezifische Bewertung der erforderlichen Mindestnährstoffgehalte im Boden.
- Es besteht zudem zur Optimierung der Ertragsleistung der Kulturen ein spezifischer Bedarf für Untersuchungen im ökologischen Landbau zur Bewertung von erforderlichen Mindest-Nährstoffgehalten in Pflanzen, insbesondere auch hinsichtlich der Frage, ob zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise in den anzustrebenden Nährstoffgehalten Unterschiede bestehen.
- Bedarf besteht auch in der Interpretation von Ergebnissen verschiedener Methoden der Nährstoffanalyse im Boden für die Bedingungen des ökologischen Landbaus.
- Bisher fehlt auch eine valide Datengrundlage aus dem ökologischen Landbau zur Einbeziehung der Mikronährstoffe in Flächenbilanzsalden.

Daraus leitet sich ein konkreter Forschungsbedarf zu folgenden Schwerpunkten ab:

- Etablierung eines Monitoring-Netzwerkes zum Status Quo und zur Entwicklung der Grund- und Mikronährstoffversorgung in ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen unterschiedlicher Bodenverhältnisse und Betriebstypen.
- Pflanzenanalyse: Erarbeitung von Richtwerten bzw. Interpretationshilfen zur Beurteilung der aktuellen Makro- und Mikronährstoffversorgung in Boden und Pflanze zur Ableitung von kurz- und langfristigen Maßnahmen zur Sicherstellung einer bedarfsgerechten Versorgung.
- Etablierung einer neuen oder Verbesserung bestehender Software zur Kalkulation des einzelschlagspezifischen Nährstoffbedarfes unter Nutzung von Parametern des Gehaltes an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden, der Bestimmungsmethode und den Ergebnisse von Pflanzenanalysen.
- Ermittlung des Bedarfs an Makro- und Mikronährstoffen weniger verbreiteter Fruchtarten.

- Verfügbarkeit von Makro- und Mikronährstoffen aus tieferen Bodenschichten (unterhalb der Krume) für die im Ackerbau angebauten Pflanzenarten.
- Es fehlen zudem derzeit noch geeignete Instrumentarien, um die N-Nachlieferung aus Leguminosen im Boden hinreichend gut im ökologischen Ackerbau kalkulieren zu können.
- In analoger Weise fehlen Kalkulationsverfahren, mit denen Wirkungen einer aktiven Nährstoffmobilisierung durch Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtbau, Anbau von Leguminosen, Untersaaten, Zwischenfrüchte sowie Vorfrüchte quantifiziert werden können.
- Kann ein verminderter Anbau von Futterleguminosen in ökologisch wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben durch ein System des „Cut & Carry“, d.h. getrockneter Aufwuchs, Silagen oder direkten Transfers von Futterleguminosenschnittgutes effizient und betriebswirtschaftlich lohnend über eine Systembetrachtung auf Betriebsebene gestaltet werden?

Für den Bereich Ackerbau wurden seitens der Teilnehmer am Expertenworkshop insgesamt 20 verschiedene Themenstellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben gelistet und priorisiert. Vorrangig wurden danach Fragen zur P-Versorgung im Ackerbau, einer Etablierung eines Praxis-Netzwerkes zu „selbstgenerierten und zugekauften Wirtschaftsdüngemitteln“ sowie Methoden der Bodenanalyse und deren Interpretation für den ökologischen Ackerbau als prioritär betrachtet (Tabelle 5). Übergeordnet zu allen hier benannten Themenbereichen wurde ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Diskussion und Erarbeitung eines Memorandums zu Grundsätzen und Methoden der Pflanzenernährung im ökologischen Landbau als sehr bedeutend erachtet. In diesen Grundsätzen zu Methoden der Pflanzenernährung im ökologischen Landbau seien die Zielrichtung der Prozessorientierung und des Gesamtsystemansatzes neben Kriterien zum Einsatz betriebsfremder Düngemittel zu verankern.

Tabelle 5: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im ökologischen Ackerbau (Ergebnis des Experten-Workshop)

| | |
|---|------------------------------------|
| Löslichkeit, Wirkungen, Eignung sowie Zulassungs- & Preiswürdigkeit von P-Produkten (aus Klärschlamm u.a.) für die ökologische Landwirtschaft | Rang 1, Wertung nach Punkten: 3,6 |
| Einrichtung eines Forschungs-Praxis-Netzwerkes „Selbstgenerierte und zugekaufte Wirtschaftsdünger bei Biobetrieben – Aufbereitungsverfahren, Verlustminimierung, Applikation“ | Rang 2, Wertung nach Punkten: 3,4 |
| Diskussion der Grundsätze und Methoden der Pflanzenernährung im ökologischen Landbau | Rang 3, Wertung nach Punkten: 3,2 |
| Methoden der Bodenanalyse und Interpretation der Ergebnisse prüfen, alternative Methoden prüfen | Rang 4, Wertung nach Punkten: 3,0 |
| Grundnährstoffmanagement für Phosphor und Kalium | Rang 5, Wertung nach Punkten: 2,6 |
| Züchtung nährstoffeffizienter Sorten, Züchtung unkrautkonkurrenzstarker Pflanzen | Rang 6, Wertung nach Punkten: 2,6 |
| Überprüfung von Richtwerten zur Beurteilung der Nährstoffversorgung von Kulturpflanzen im ökologischen Landbau (Pflanzenanalyse) | Rang 7, Wertung nach Punkten: 2,1 |
| Beitrag des Unterbodens zur Nährstoffversorgung | Rang 8, Wertung nach Punkten: 2,1 |
| Etablierung eines Monitoring Netzwerkes zum Status quo und zur Entwicklung der Grundnährstoffe auf ökol. wirtsch. Betrieben | Rang 9, Wertung nach Punkten: 2,0 |
| Potenziale der aktiven Nährstoffmobilisierung | Rang 10, Wertung nach Punkten: 1,8 |
| N-Effizienz der Betriebe verbessern | Rang 11, Wertung nach Punkten: 1,6 |
| Methoden zur Abschätzung der Nährstoffnachlieferung | Rang 12, Wertung nach Punkten: 1,4 |
| Bestimmung des Nährstoffbedarfs (z. B. Futterleguminosen) | Rang 13, Wertung nach Punkten: 1,4 |
| Steuerbarkeit der N-Anlieferung durch Fruchtfolgegestalt., Zwischenfruchtanbau und Bodenbearbeitung unter unterschiedlichen Standortbedingungen | Rang 14, Wertung nach Punkten: 1,0 |
| Abschätzung der Schwefeldüngung für die Ertragsentwicklung in Fruchtfolgen unterschiedlichen Standortbedingungen | Rang 15, Wertung nach Punkten: 1,0 |
| Defizite im Bereich Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Praxis und Lösungsmöglichkeiten | Rang 16, Wertung nach Punkten: 0,9 |
| Düngeempfehlungen, die an die zugelassenen Dünger angepasst sind | Rang 17, Wertung nach Punkten: 0,8 |
| Umweltbelastung durch Nmin-Restmengen verringern | Rang 18, Wertung nach Punkten: 0,5 |
| Ammonium-Festlegung an Tonmineralen | Rang 19, Wertung nach Punkten: 0,3 |
| Erstellung und Evaluierung eines Kalkulationsschemas zur bedarfsgerechten Düngung im ökologischen Landbau | Rang 20, Wertung nach Punkten: 0,2 |

3.6 Mikronährstoffbilanz und Mikronährstoffversorgung

Einfluss auf die Verfügbarkeit der Spurenelemente B, Cu, Mn, Mo und Zn üben u.a. Bodenart, pH-Wert, Wasserversorgung und Humusgehalt im Boden aus, sodass Karten zur Geochemie des Bodens in erster Linie nur für den Gesamtgehalt an Mikronährstoffen im Boden herangezogen werden können. Geringe pH-Werte des Bodens erhöhen die Verfügbarkeit der Elemente mit Ausnahme von Molybdän (White und Zasoski 1999; Blume et al. 2010; Paulsen et al. 2010; Watson et al. 2012). Bei Ungleichgewichten der Nährstoffversorgung können zudem Antagonismen auftreten. Es ist bekannt, dass hohe P-Gehalte im Boden die Bioverfügbarkeit einzelner Spurenelemente wie Mn, Cu, Zn verringern können (Möller und Schultheiß 2014b). Die Fruchtfolge und ein Anbau im Gemenge können zu veränderter Mikronährstoffverfügbarkeit und -aufnahme führen, ebenso bestimmte Mikroorganismen. Es sind jedoch nur wenige Untersuchungen zum Einfluss von Fruchtfolge, Bewirtschaftung und Bodenbearbeitung auf die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen im Boden bekannt (Watson et al. 2012).

Zum Versorgungsstatus der Mikronährstoffe in der ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche in Deutschland liegen vergleichsweise nur wenige Daten vor. Schmidt (2010) konnte in seinen Untersuchungen einen Anteil der untersuchten Ackerflächen zwischen 94 und 99 % mit der Versorgungsstufe C und höher für die Nährstoffe Zn, Cu, B und Mn ermitteln. Schmidtke et al. (2016) wiesen in ihren Erhebungen in Sachsen einen Anteil von > 94 % der untersuchten Ackerfläche mit mittlerer bis hoher Einstufung hinsichtlich der Gehalte an B, Zn, Mn und Cu im Boden aus. Die Gehalte an Molybdän wurden mangels Bewertungsmaßstab nicht klassifiziert. Untersuchungen von Klose et al. (2015) zufolge ist die Versorgung mit Cu, Zn, Mn, B und Mo auf konventionell bewirtschafteten Flächen in Sachsen auch als sehr gut einzustufen.

Aus den Untersuchungen von Owens und Watson (2002) zum Gehalt des pflanzenverfügbaren Vorrates an Cu, Co und Mo im Boden langjährig ökologisch bewirtschafteter Ackerböden in Schottland und Bengtsson et al. (2003) zu entsprechenden Vorräten an Co, Cu und Zn in Ackerböden in Öjebyn in Schweden kann geschlossen werden, dass die Rückführung essentieller Mikronährstoffe für die Pflanzen über Wirtschaftsdüngemittel als günstig hinsichtlich der Zufuhr und Düngewirkung zu bewerten ist. So konnte auch Lux (2016) in seinen Untersuchungen im ökologischen Landbau zeigen, dass sich durch eine Düngung von Grüngutkompost

sowohl die Schwefel- als auch Molybdänversorgung von Leguminosen sicherstellen ließ, während die im Vergleich dazu geprüfte Schwefeldüngung über Kaliumsulfat zu einer deutlichen Unterversorgung mit Molybdän führte. Der Einsatz von organischen und mineralischen Düngemitteln zur Verbesserung der Mikronährstoffversorgung kann jedoch mit einem Eintrag von Schwermetallen verbunden sein (Paulsen et al. 2010; Watson et al. 2012).

Die Untersuchung des Raufutters in vier Regionen Norwegens ergab, dass keine Limitierungen des Pflanzenwachstums durch Mikronährstoffe Cu, Mo, Co, Zn, Fe und Mn vorlagen (Govasmark et al. 2005). Z.B. trägt Bor entscheidend zum generativen Wachstum der Futterleguminosen bei (Nektarproduktion, Pollen- und Antherenentwicklung) und es wurde für verschiedene Futter- und Körnerleguminosenarten gezeigt, dass Bor die Keimfähigkeit und Triebkraft des Saatgutes verbessert (Dell und Huang 1997). In der Saatgutproduktion von Rotklee im ökologischen Anbau führte eine Bordüngung zur Ertragserhöhung. So konnte eine positive Korrelation zwischen B-Gehalt im Saatgut und Keimfähigkeit nachgewiesen werden (Stoltz und Wallenhammar 2014).

Für die Bewertung von Mikronährstoffgehalten der Pflanzen aus ökologischem Anbau wird derzeit auf Richtwerte aus dem konventionellen Anbau zurückgegriffen (Zorn et al. 2001). Gustafson et al. (2007) verglichen die ökologische und konventionelle Milchviehhaltung auf der Forschungsstation Öjebyn in Schweden und werteten die Unterschiede der Mikronährstoffkonzentration (Cu, Mn, Zn) in Futter, Kot und Harn zwischen den Bewirtschaftungsweisen als eher gering.

Die Hoftorbilanz an Cu, Mn und Zn des ökologisch wirtschaftenden Milchviehbetriebs Öjebyns war durch den Futterimport insgesamt positiv. Festgestellt wurde auch, dass die Bewirtschaftung gemäß den gesetzlichen Vorgaben eine Anreicherung von Schwermetallen im Boden nicht in jedem Fall ausschließen kann (Gustafson et al. 2007). Ein Umstand, den ebenfalls Paulsen et al. (2010) als kritisch bewerteten. Watson et al. (2012) geben eine Übersicht über die verfügbaren Studien zu weiteren Bilanzsalden für Mikronährstoffe ökologisch und konventionell wirtschaftender Betriebe und ermittelten, dass Ackerbaubetriebe häufiger negative Bilanzsalden bei Mikronährstoffen aufwiesen als Veredelungsbetriebe, welche durch den Zukauf von Futtermitteln Mikronährstoffe importieren. Die Autoren geben an, dass die Bilanzierung auch für Mikronährstoffe ein geeignetes Instrument darstellt, um das Nährstoff-

management im Betrieb zu beurteilen, aber durch Boden- und Pflanzenanalysen zur Bewertung zu ergänzen ist.

3.6.1 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

Forschungsvorhaben innerhalb der Programme BÖL, BÖLN sowie Core Organic thematisierten die Ertragswirksamkeit von Mikronährstoffdüngemitteln, die Pflanzenverfügbarkeit von Mikronährstoffen im Boden sowie in einem Fall die Toxizität von Kupfer auf Bodenorganismen (Tabelle).

Tabelle 6: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Mikronährstoffversorgung im ökologischen Ackerbau (BÖL, BÖLN, CoreOrganic I, CoreOrganic II, CoreOrganic Plus)

| Titel, FKZ | Inhalt | Mikronährstoffe |
|---|---|---|
| BÖL, BÖLN | | |
| Intensivierung der Produktion und Verbesserung der Qualität bei Säckzweibeln durch Sortenwahl und Düngungsstrategien FKZ 03OE056/1 Verantw.: Rau und Weier (2006) | Optimierung des Anbaus von Säckzweibeln | Prüfung von Mikronährstoffdüngern |
| Untersuchung ackerbaulicher Probleme langjährig ökologisch wirtschaftender Betriebe FKZ 03OE024 Verantw.: Schmidt (2007) | Identifizierung und Untersuchung der Ursachen für Probleme im Ackerbau (1) Humus und Getreideertrag, (2) Schadnester in Getreide und (3) Schäden bei Körnererbsen | Zusammenhang zwischen Schadnestern im Getreide und Pflanzenverfügbarkeit von Mg, Mn und K |
| Transfervorbereitende Evaluation und Kombination von Praxiserfahrungen und Forschungsergebnissen zu Konzepten reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau FKZ 06OE107 Verantw.: Schmidt (2010) | Untersuchung von Systemen reduzierter Bodenbearbeitung auf Praxisbetrieben | Mikronährstoffgehalte von Böden auf Betrieben mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren, Untersuchung der Korrelationen zwischen Bodenart, pH-Wert, Jahresdurchschnittstemperatur, -niederschlag, maximaler Arbeitstiefe mit dem Gehalt pflanzenverfügbarer Makro- und Mikronährstoffe in Ober- und Unterkrume |

| Titel, FKZ | Inhalt | Mikronährstoffe |
|--|---|--|
| <p>Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit FKZ 08OE020, 08OE145 - 08OE147 Verantw.: Köpke et al. (2011)</p> | <p>TP 4: Nährstoffversorgung zur Optimierung der N₂-Fixierung und Produktivität von Körnerleguminosen</p> | <p>Einfluss einer Mikronährstoffdüngung von Ackerbohnen in Gefäß- und Feldversuchen, umfangreiche Datenerhebung zur Mikronährstoffversorgung von Ackerbohnen auf Praxisflächen, Erstellung einer DRIS-Norm zur Makro- und Mikronährstoffversorgung von Ackerbohnen</p> |
| <p>Status-Quo-Analyse von Dauerversuchen: Bestimmung des Forschungsbedarfes für den ökologischen Landbau FKZ 10OE036 Verantw.: Urbatzka et al. (2011)</p> | <p>Status Quo-Analyse der Dauerversuche für den ökologischen Pflanzenbau im deutschsprachigen Raum, Beschreibung des Forschungsgegenstand der Versuche</p> | <p>Benennung von Dauerfeldversuchen im ökologischen Landbau mit Untersuchung des Mikronährstoffgehalts im Boden</p> |
| <p>Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebaute Markfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit „Bodenfruchtbarkeit“ FKZ 08OE004 - 08OE009 und 11OE080 - 11OE085 Verantw.: Wilbois et al. (2013)</p> | <p>WP 2: Düngung kohlenstoffreicher organischer Düngemittel zu Leguminosen zur Steigerung der N₂-Fixierleistung und des Vorfruchtwertes von Leguminosen</p> | <p>Untersuchung der Mo- und B-Versorgung von Körnerleguminosen in Folge der Anwendung von Grün- gutkompost, Pferdemist und Stroh</p> |
| <p>Stand des Wissens und Ableitung des Forschungsbedarfes für eine nachhaltige Produktion und Verwertung von Ackerbohne und Erbse FKZ 12NA118 Verantw.: Zerhusen-Blecher und Schäfer (2013)</p> | <p>Status Quo-Analyse zum Anbau von Ackerbohne und Erbse, Ableitung des Forschungsbedarfes</p> | <p>Ergebnis: Hohe Priorisierung des Forschungsbedarfes zum Zusammenhang von N₂-Fixierung und Mikronährstoffversorgung</p> |
| <p>Regenwurmzönose - Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau FKZ 09OE015 und 12NA010 Verantw.: Strumpf et al. (2015)</p> | <p>Erfassung der Cu-Gehalte in Weinbergböden in Folge der Anwendung Cu-haltiger Pflanzenschutzmittel, Untersuchung der Auswirkung auf Bodenorganismen, Ableitung von Indikatorarten und Schwellenwerten</p> | <p>Einfluss des Cu-Gehalts in Böden auf Bodenzönose, Einfluss von Standort, Bewirtschaftung (Begrünung, Mulchen, Bodenbearbeitung) und Pflanzenschutzintensität auf die Bioverfügbarkeit von Kupfer</p> |

3.6.2 Forschungsbedarf

Von den Teilnehmern des Expertenworkshops wurde insgesamt eine zu geringe Einbeziehung der Thematik „Mikronährstoffe“ in aktuelle Ansätze zur Erhöhung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau festgestellt. Bisher fehlt eine valide Da-

tengrundlage aus dem ökologischen Landbau zur Einbeziehung der Mikronährstoffe in Flächenbilanzsalden, da die Mikronährstoffgehalte von Kulturpflanzen im konventionellen Landbau sowie die Methoden der Bodenanalyse bezüglich ihrer Eignung für den ökologischen Landbau noch zu überprüfen sind. Aus diesem Grund ist der Status Quo der Versorgungssituation mit Mikronährstoffen im ökologischen Landbau auch nicht hinreichend erfasst. Als Ergebnis des Workshops wurden die nachstehenden Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben benannt und hinsichtlich ihres Handlungsbedarfes priorisiert (Tabelle).

Tabelle 7: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Mikronährstoffversorgung im ökologischen Landbau (Ergebnis des Experten-Workshop)

| | |
|--|------------------------------------|
| Erfassung und Bewertung der Mikronährstoffversorgung von Boden und Pflanze sowie organischer Düngemittel im ökologischen Ackerbau einschließlich der Mikronährstoffzu- und -abfuhr | Rang 1, Wertung nach Punkten: 7,4 |
| Status-Quo-Analyse der Molybdänversorgung von Leguminosen (hoher Mo-Bedarf dieser Arten) in der Praxis | Rang 2, Wertung nach Punkten: 4,2 |
| Ermittlung des Bedarfs an Mikronährstoffen verschiedener Kulturpflanzen im ökologischen Landbau mit nicht bekanntem Anspruch (Gefäßversuche in Böden mit Nährstoffmangel), ggf. unter Berücksichtigung bestimmter Sorten | Rang 3, Wertung nach Punkten: 3,7 |
| Erfassung und Bewertung von antagonistischen Wechselwirkungen verschiedener Nährstoffe | Rang 5, Wertung nach Punkten: 3,3 |
| Erarbeitung von Beratungsunterlagen für die Bodenuntersuchung u. Pflanzenanalyse sowie Boden- u. Blattdüngung von Mikronährstoffen im ökologischen Landbau | Rang 6, Wertung nach Punkten: 2,7 |
| Kalibrierung der CAT-Methode für die Mikronährstoffbodenuntersuchung im ökologischen Landbau (CAT-Methode: Kombination der Extraktionsmittel 0,01 M CaCl ₂ und 0,002 M DTPA-Lösung zur Erfassung mehrerer Mikronährstoffe mit einer Analyse) | Rang 7, Wertung nach Punkten: 2,4 |
| Wirkung und Vergleich der Düngung von Mikronährstoffstoffen über das Blatt und/oder den Boden im Gefäß- und Feldversuch auf Pflanzengesundheit, Ertrag und Qualität | Rang 9, Wertung nach Punkten: 1,6 |
| Mikronährstoffverfügbarkeit und -aufnahme durch Kulturpflanzen des Ackerbaus aus tieferen Bodenschichten | Rang 10, Wertung nach Punkten: 1,5 |
| Prüfung relevanter Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel (gemäß Betriebsmittelliste des ökologischen Landbaus) im Gefäß- und Feldversuch hinsichtlich ihrer indirekten oder direkten Wirkung auf die Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen | Rang 11, Wertung nach Punkten: 1,0 |

3.7 Bodenbiologie und Nährstoffumsatz

Aufgrund des Verzichts auf leicht lösliche mineralische Düngemittel ist die Pflanzenernährung im ökologischen Landbau in erster Linie von der Nährstoffmineralisierung aus der organischen Substanz des Bodens abhängig. Nährstoffe werden durch die organische Substanz gespeichert, transformiert und aus ihr freigesetzt. Bodenorganismen stellen die treibende Kraft bei der Umsetzung von Nährstoffen im Boden dar (Stockdale et al. 2002). Faktoren, die Einfluss auf die Aktivität der Bodenorganismen ausüben, sind vielfältig und Gegenstand der Forschung. Da sich Veränderungen der Bewirtschaftung im Boden häufig nur in längeren Zeiträumen auswirken, sind im Bereich der Bodenbiologie Dauerfeldversuche von herausragender experimenteller Bedeutung. Verglichen wurden ökologische und konventionelle Bewirtschaftung sowie Variationen innerhalb der ökologischen Bewirtschaftung, z.B. Art und Häufigkeit der Bodenbearbeitung und der organischen Düngung. Eine Übersicht zu Dauerversuchen im ökologischen Landbau gaben Raupp et al. (2006) und Urbatzka et al. (2011).

3.7.1 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Bodenbiologie und zum Nährstoffumsatz im ökologischen Landbau

Im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und anderer Formen Nachhaltiger Landwirtschaft BÖL und BÖLN, der Eiweißpflanzenstrategie (EPS) sowie CoreOrganic I, II und Plus bewilligte Forschungsprojekte untersuchten und untersuchen den Einfluss der Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Düngung) auf die Bodenfruchtbarkeit (Tabelle). Insbesondere Anbausysteme mit reduzierter Bodenbearbeitung und dem Anbau von Zwischenfrüchten wurden bezüglich ihrer Wirkung auf Nährstoffverfügbarkeit und Bodenorganismen untersucht und optimiert.

In Folge zahlreicher Untersuchungen von ein- und mehrjährigen Futterleguminosen sowie Körnerleguminosen wurden Daten zur Höhe der symbiotischen N₂-Fixierung ermittelt. Durch Kenntnisse zu Faktoren, welche die Höhe der symbiotischen N₂-Fixierung beeinflussen, wurden Optimierungsstrategien erarbeitet (vgl. Tabelle). Neben der Erforschung des N-Umsatzes im Boden wird im Hinblick auf weltweit schwindende P-Reserven der Einsatz von P-Recyclingdüngemitteln unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus geprüft. Da nur schwer lösliche mineralische P-Düngemittel im ökologischen Landbau zur Verfügung stehen, werden u.a. Möglichkeiten

geprüft, die P-Mobilisierung durch geeignete Mikroorganismen oder den Anbau geeigneter Pflanzenarten zu verbessern (Tabelle).

Die Bewertung der Humusreproduktionsleistung in Betrieben ohne und mit Wirtschaftsdüngereinsatz wurde an die Bedingungen des ökologischen Landbaus angepasst. Humusreproduktionskoeffizienten verschiedener Pflanzenarten und deren deren Ernterückstände sowie organischer Düngemittel wurden geprüft. Eine Übersicht zum Stand der Humusbilanzierung im Ackerbau in Mitteleuropa erstellten Brock et al. (2013).

Tabelle 8: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Fragestellungen der Bodenbiologie und des Nährstoffumsatzes im ökologischen Landbau (BÖL, BÖLN, EPS, CoreOrganic I, CoreOrganic II, CoreOrganic Plus)

| Titel, FKZ | Inhalt | Bodenbiologie und Nährstoffumsatz |
|--|--|--|
| BÖL, BÖLN, EPS | | |
| Praxiseinführung und Evaluierung eines Kalkulationsschemas zur bedarfsgerechten N-Düngung im ökologischen Freilandgemüsebau FKZ 02OE576 Verantw.: Laber (2003b) | Demonstrationsversuche zur N-Düngung im ökologischen Gemüsebau, Erstellung und Evaluation eines Kalkulationsschemas zur bedarfsgerechten N-Düngung | N-Nachlieferung des Bodens, N-Freisetzung aus organischen Düngemitteln, N ₂ -Fixierung von Gemüseerbse und Buschbohne, Erstellung des Kalkulationsschemas zur N-Düngung im ökologischen Gemüsebau |
| Phosphat-Mobilisierung durch Haupt- und Zwischenfrüchte nach Düngung von weicherdigem Rohphosphat im ökologischen Landbau FKZ 02OE424 Verantw.: Steffens et al. (2003) | Untersuchung der Vorfrüchte Ackerbohne und Weiße Lupine im Vergleich zu Sommerweizen auf die Phosphataufnahme von Spinat und Mais, Untersuchung der Wirkung von Thomasphosphat | Phosphatmobilisierung durch Ackerbohne und Weiße Lupine |
| Nicht wendendes Bodenbearbeitungssystem im Ökologischen Landbau -Dammkultursystem "Turiel" FKZ 02OE525 Verantw.: Brandt et al. (2003) | Pflanzenbauliche, bodenphysikalische, bodenbiologische und betriebswirtschaftliche Bewertung des Dammkultursystems im Vergleich zu reduzierter und wendender Bodenbearbeitung | Kurzfristige Effekte des Dammkultursystems auf Nährstoffverfügbarkeit (N, P, K, Mg) und bodenbiologische Parameter (mikrobielle Biomasse, Basalatmung, Regenwürmer) |

| Titel, FKZ | Inhalt | Bodenbiologie und Nährstoffumsatz |
|--|---|---|
| <p>Einsatz von Mykorrhizapilzen und Qualitätskomposten bei der Anzucht von Jungpflanzen im ökologischen Gemüse- und Zierpflanzenbau FKZ 02OE306 Verantw.: George et al. (2003)</p> | <p>Versuche zum Einsatz von Qualitätskomposten und arbuskulären Mykorrhizapilzen in der Jungpflanzenanzucht</p> | <p>Untersuchung der Vielfalt natürlich vorkommender arbuskulärer Mykorrhizapilze (AMP), Einfluss von AMP und Komposte auf Nährstoffaufnahme und Gesundheit von Jungpflanzen</p> |
| <p>Ertrag und Qualitätseigenschaften von Sommerweizen und Kartoffeln bei organischer Düngung tierischer Herkunft (Rottemist) und pflanzlicher Herkunft (Ackerbohenschrot) FKZ 03OE179 Verantw.: Raupp (2006)</p> | <p>Vergleich von mineralischer Düngung, Wirtschaftsdünger und pflanzlicher Düngung in Form von Ackerbohenschrot, N-Mineralisierung, Auswirkung auf Nährstoffaufnahme und Ertrag von Kartoffeln und Sommerweizen</p> | <p>Vergleich der N-Mineralisierung und der Humusgehalte im Boden im Langzeitversuch</p> |
| <p>Lebendmulchsysteme mit einjährigen Leguminosen FKZ 03OE099 Verantw.: Baresel und Reents (2006)</p> | <p>Untersuchung verschiedener einjähriger Leguminosenarten auf ihre Eignung als Untersaat, Einfluss Untersaat und des Management auf Nährstoffversorgung und Ertrag der Hauptkultur</p> | <p>Wirkungen von Untersaaten auf die N-Versorgung der Anbausysteme sowie auf biologische und physikalische Bodeneigenschaften</p> |
| <p>Erzeugung von Weizen hoher Backqualität durch Gemengeanbau mit Winterackerbohne und Wintererbse im ökologischen Landbau FKZ 03OE050 Verantw.: Hof und Schmidtke (2007)</p> | <p>Steigerung der Backqualität von Weizen durch Gemengeanbau mit Ackerbohne oder Erbse</p> | <p>Untersuchung der Nmin-Dynamik, N-Aufnahme, N₂-Fixierung und N-Transfer von Körnerleguminosen zum Weizen</p> |
| <p>Stickstoffdynamik im ökologischen Gemüsebau im Freiland mit organischen Düngern von Flachabdeckungen zur Verfrüherung und zur Verlängerung der Anbausaison FKZ 03OE031 Verantw.: Engelmann et al. (2007)</p> | <p>Vergleich organischer Handelsdünger zur N-Düngung im Gemüse, Einfluss der Vliesabdeckung</p> | <p>Untersuchung des Einflusses einer Vliesabdeckung auf die N-Mineralisierung aus organischen Handelsdüngern und Leguminosenschrot im zeitigen Frühjahr</p> |
| <p>Synchronisation der N-Mineralisierung aus Mulch mit der N-Aufnahme von Freilandgemüse durch optimiertes Management einer Leguminosengründüngung FKZ 03OE102 Verantw.: Heuwinkel et al. (2007)</p> | <p>Nutzung legumer Zwischenfrüchte als Mulch im ökologischen Freilandgemüsebau</p> | <p>N-Nachlieferung aus Weißkleemulch, N-Effizienz</p> |

| Titel, FKZ | Inhalt | Bodenbiologie und Nährstoffumsatz |
|--|---|--|
| <p>Untersuchung ackerbaulicher Probleme langfristig ökologisch wirtschaftender Betriebe FKZ 03OE024 Verantw.: Schmidt (2007)</p> | <p>Identifizierung und Untersuchung der Ursachen für Probleme im Ackerbau (Humus und Getreideertrag, Schadnester in Getreide und Schäden bei Körnererbsen)</p> | <p>Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf Humusgehalt und –qualität, Zusammenhang zwischen Humusgehalt und Ertrag</p> |
| <p>Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau FKZ 03OE084/1 und 03OE084/2 Verantw.: Brock et al. (2008)</p> | <p>Anpassung von Humusbilanzmethoden an die Bedingungen des ökologischen Landbaus, Bestimmung der optimalen Humusreproduktion, Untersuchung wichtiger Humusbilanzparameter, Vergleichsuntersuchungen unter konventionellen Anbaubedingungen</p> | <p>Untersuchung der Humusproduktion im ökologischen Landbau, Quantifizierung des Einfluss von Ertrag und Bodenbearbeitung auf die Humusdynamik</p> |
| <p>Anpassung bestehender Methoden zur Abschätzung der Bodenerosion an die Bedingungen des Ökologischen Landbaus FKZ 06OE256 Verantw.: Siebrecht et al. (2009)</p> | <p>Untersuchung und Verifizierung von erosionsmindernden und -verstärkenden Faktoren der ökologischen Bewirtschaftung, Anpassung eines Bewertungsprogramms</p> | <p>Zusammenhang zwischen organischer Substanz, Bodenmikroorganismen, Bodenfauna und Bodenerosion</p> |
| <p>Transfervorbereitende Evaluation und Kombination von Praxiserfahrungen und Forschungsergebnissen zu Konzepten reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau FKZ 06OE107 Verantw.: Schmidt (2010)</p> | <p>Untersuchung von Systemen reduzierter Bodenbearbeitung auf Praxisbetrieben</p> | <p>Physikalische, chemische und bodenbiologische Eigenschaften bei reduzierter Bodenbearbeitung</p> |
| <p>Status-Quo-Analyse von Dauerversuchen: Bestimmung des Forschungsbedarfes für den ökologischen Landbau FKZ 10OE036 Verantw.: Urbatzka et al. (2011)</p> | <p>Status Quo-Analyse der Dauerversuche für den ökologischen Pflanzenbau im deutschsprachigen Raum, Beschreibung des Forschungsgegenstand der Versuche</p> | <p>Übersicht zum Forschungsgegenstand der Dauerversuche, Ableitung von Forschungsbedarf</p> |

| Titel, FKZ | Inhalt | Bodenbiologie und Nährstoffumsatz |
|--|--|--|
| <p>Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit</p> <p>FKZ 08OE020, 08OE145 - 08OE147</p> <p>Verantw.: Köpke et al. (2011)</p> | <p>Optimierung des Anbaus von Erbsen und Ackerbohnen in viehschwachen oder viehlosen Betrieben, Einfluss verschiedener Formen reduzierter Bodenbearbeitung und temporärer Direktsaat im Verbund mit Mulchen, Zwischenfruchtanbau, Untersaat und gezielter Nährstoffversorgung auf Ertragsleistung und Unkrautvorkommen</p> | <p>Einfluss auf die symbiotische N₂-Fixierung von Ackerbohne und Erbse, N-Effizienz, Zusammenhang von Unkrautdeckungsgrad und Humusgehalt</p> |
| <p>Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebauter Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit „Bodenfruchtbarkeit“</p> <p>FKZ 08OE004 - 08OE009 und 11OE080 - 11OE085</p> <p>Verantw.: Wilbois et al. (2013)</p> | <p>Optimierung des Anbaus von Erbsen und Ackerbohnen in viehschwachen oder viehlosen Betrieben</p> | <p>Einfluss der Bewirtschaftung auf das Bodengefüge und die N₂-Fixierung von Körnerleguminosen, Zusammenhang von Unkrautdeckungsgrad und Humusgehalt; Einsatz suppressiver Komposte</p> |
| <p>Stand des Wissens und Ableitung des Forschungsbedarfs für eine nachhaltige Produktion und Verwertung von Ackerbohne und Erbse</p> <p>FKZ 12NA118</p> <p>Verantw.: Zerhusen-Blecher und Schäfer (2013)</p> | <p>Status Quo-Analyse zum Anbau von Ackerbohne und Erbse, Ableitung des Forschungsbedarfs</p> | <p>Übersicht über Daten zur N₂-Fixierung von Ackerbohne und Erbse</p> |
| <p>Reduced tillage and green manures for sustainable organic cropping systems</p> <p>FKZ 11OE002</p> <p>Verantw.: Haase et al. (2014)</p> | <p>Steigerung der biologischen Funktionen des Bodens und Verbesserung der zeitlichen N-Verfügbarkeit in Ackerbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung und Gründüngung, Optimierung der Unkrautregulierung, Modellierung der N-Dynamik im Programm NDICEA</p> | <p>Wirkung unterschiedlicher Einarbeitungszeiten und -intensitäten verschiedener Gründüngungspflanzen auf den N- und C- Haushalt des Bodens, N₂-Fixierung</p> |

| Titel, FKZ | Inhalt | Bodenbiologie und Nährstoffumsatz |
|--|--|---|
| <p>Erfassung genetischer Unterschiede des Weizens bezüglich der Fähigkeit zur Symbiose mit wurzelendophytisch wachsenden Pilzen und deren Auswirkungen auf die Stresstoleranz FKZ 10OE078 Verantw.: Lehnert et al. (2014)</p> | <p>Untersuchung genetischer Unterschiede von Weizen bezüglich Symbiose mit wurzelendophytisch wachsenden Pilzen, Auswirkungen der Mykorrhizierung auf die Biomasse- und Kornertragsbildung unter biotischen und abiotischen Stressbedingungen wie Pathogenbefall, Trockenstress oder Phosphormangel unter Gefäß- und Freilandbedingungen, Entwicklung von Selektionskriterien in der Zucht</p> | <p>Mykorrhizierbarkeit unterschiedlicher Weizengenotypen, Auswirkung auf Trockenstress- und Phosphormangeltoleranz</p> |
| <p>Innovative Kulturmaßnahmen zur Förderung der Bodengesundheit im ökologischen Obstbau FKZ 11OE010 Verantw.: Baab (2014)</p> | <p>Untersuchung von Kulturmethoden zur Reduzierung von Nachbauproblemen im Kern- und Steinobstbau, Einsatz von Komposten, Antagonisten zur Förderung der biologischen Bodenaktivität</p> | <p>Untersuchung der mikrobiellen Komponenten im Komplex der Bodenmüdigkeit, Einfluss der Maßnahmen auf biologische Bodenaktivität</p> |
| <p>Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer Betriebssysteme - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben FKZ 06OE160 und 06OE353 Verantw.: Hülsbergen und Rahmann (2013; 2015)</p> | <p>Analyse und Bewertung der Klimawirkungen von Milchviehbetrieben, Erarbeitung von Optimierungsstrategien; Nachhaltigkeitsbewertung mit Hilfe der Indikatoren Stoff- und Humussalden, Energieeffizienz, Treibhausgase und Bodenschadverdichtungen u.a.</p> | <p>Berechnung der Humussalden, Analyse des Bodengefüges</p> |
| <p>Regenwurmzönose - Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau FKZ 09OE015 und 12NA010 Verantw.: Strumpf et al. (2015)</p> | <p>Erfassung der Cu-Gehalte in Weinbergböden in Folge der Anwendung Cu-haltiger Pflanzenschutzmittel, Untersuchung der Auswirkung auf Bodenorganismen, Ableitung von Indikatorarten und Schwellenwerten</p> | <p>Einfluss des Cu-Gehalts in Böden auf Bodenzyklen, Einfluss von Standort, Bewirtschaftung (Begrünung, Mulchen, Bodenbearbeitung) und Pflanzenschutzintensität auf die Bioverfügbarkeit von Kupfer</p> |

| Titel, FKZ | Inhalt | Bodenbiologie und Nährstoffumsatz |
|---|--|--|
| <p>Pflanzenbauliche Strategien zur Minderung der Verunkrautung bei Mulchsaat von Ackerbohnen, Strategien der Optimierung des Anbaus von Erbse und Schmalblättriger Lupine bei reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau in Bearbeitung</p> <p>FKZ 11OE087 - 11OE089</p> <p>Verantw.: Köpke et al. (2013-2016):</p> | <p>Optimierung des Anbaus von Ackerbohne, Erbse, Sojabohne, Schmalblättrige Lupine, Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung und des Anbaus von Zwischenfrüchten</p> | <p>Immobilisierung von N durch Einarbeitung von C-reichen Ernterückständen, Einfluss einer Unterfußdüngung auf die N₂-Fixierung der Körnerleguminosen</p> |
| <p>Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Struktur und Funktion der Bodenmikroflora („Micro-Till) in Bearbeitung</p> <p>FKZ 11OE001</p> <p>Verantw.: Schloter (2011-2017)</p> | <p>Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung und Gründüngung auf die Bodenqualität im Sinne von Pflanzenqualität und –ertrag, Kohlenstoffspeicher, Nährstoffmobilisation und Emissionsreduktion von klimarelevanten Spurengasen</p> | <p>Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung und Gründüngung auf Verteilung und Aktivität von Bodenlebewesen unter verschiedenen Klima- und Bodenbedingungen, Messung von Umsatzraten und Zuordnung zu den mikrobiellen Gemeinschaften</p> |
| <p>Sicherung der Humusversorgung mit Grün- und Strohdüngung (HumuGS) - Ökonomische Bewertung von Managementstrategien (HumuGSE-con) in Bearbeitung</p> <p>FKZ 11NA061 und 11NA094</p> <p>Verantw.: Brock und Möller (2015-2016)</p> | <p>Überprüfung der Humusproduktion viehloser Ackerbaubetriebe, ökologische und ökonomische Bewertung</p> | <p>Untersuchung der Humusproduktion von Stroh und Futterleguminosengründüngung</p> |
| <p>Erweiterung und ackerbauliche Auswertung der Praxiserhebungen und -untersuchungen im Rahmen der modellhaften Demonstrationsnetzwerke Soja und Lupine der Eiweißpflanzenstrategie in Bearbeitung</p> <p>FKZ 14EPS035</p> <p>Verantw.: Schmidt (2015-2017)</p> | <p>Einfluss von Parametern der Bereiche Boden, Pflanze, Bewirtschaftung und Umwelt auf die im Anbau von Sojabohne und blauer Lupine beobachteten Variation von Ertrag, Proteingehalt und Pflanzengesundheit sowie Unkrautdruck und Artenzusammensetzung des Unkrauts</p> | <p>Untersuchung bodenbiologischer, -chemischer und -physikalischer Parameter beim Anbau von Lupine und Sojabohne</p> |

| Titel, FKZ | Inhalt | Bodenbiologie und Nährstoffumsatz |
|--|--|---|
| Optimierung des Anbaus von Sojabohnen - Bestimmung des Vorfruchtwertes und der N ₂ -Fixierleistung sowie Reduzierung der Bodenbearbeitung, in Bearbeitung FKZ 14EPS019 und 14EPS020 Verantw.: Butz et al. (2015-2018) | Vorfruchtleistung, N ₂ -Fixierung von Sojabohne und Erbse, Untersuchung reduzierter Bodenbearbeitung bei Soja | N ₂ -Fixierleistung von Soja und Erbse |
| Core Organic II | | |
| Integrating reduced tillage and green manures in organic cropping systems („TilmanOrg“) Verantw.: Mäder (2014) | Verbesserung der zeitlichen N-Verfügbarkeit und der Unkrautregulierung in Ackerbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung und Gründüngung | N-Verfügbarkeit in Abhängigkeit der Bewirtschaftung |
| Assessment of the suitability of recycling phosphorus fertilizers for organic farming („Improve-P“), in Bearbeitung Verantw.: Möller (2013-2016) | Untersuchung von P-Recycling-Düngemittel, Einsatz von Plant growth promoting Rhizobacteria zur P-Mobilisierung, Entwicklung von Strategien zur Schließung von P-Kreisläufen | Einfluss von Plant growth promoting Rhizobacteria auf die Pflanzenverfügbarkeit von P aus Recycling-Düngemitteln |
| Fertility building management measures in organic cropping systems („FertilCrop“) in Bearbeitung Verantw.: Fließbach (2015-2017) | Untersuchung der Nährstoff- und Humusdynamik im Boden, Untersuchung der funktionellen Biodiversität im Boden, Ableitung geeigneter (Boden-) Managementstrategien für hohe Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau | Nährstoff- und Humusdynamik, funktionelle Biodiversität im Boden, Untersuchung von Mikroorganismen als Indikator für Bodenfruchtbarkeit |
| Improving soil conservation and resource use in organic cropping systems for vegetable production („SoilVeg“), in Bearbeitung Verantw.: Canali (2015-2018) | Einsatz der Messerwalze in Zwischenfrüchten im ökologischen Gemüseanbau zur Verbesserung der Nährstoffeffizienz, Bodenschutz | Einfluss des Zwischenfruchtmanagement auf Bodenfruchtbarkeit und Bodenqualität |

3.7.2 Bodenorganismen und Stoffumsatz

Bodenorganismen erfüllen mannigfaltige Funktionen für Bodenstruktur und Nährstoffumsatz (Geisseler et al. 2010; Richardson und Simpson 2011; Damon et al. 2014; Bünemann 2015). C- und N-Flüsse im Boden sowie andere Nährstoffe sind vor allem durch Bakterien und Pilze dominiert. Beim Abbau organischen Materials sowie der Zersetzung abgestorbener Mikroorganismen werden Nährstoffe pflanzenverfüg-

bar. Im ökologischen Landbau zielt die Bewirtschaftung darauf ab, die Aktivität der Bodenorganismen, die am Umsatz der organischen Substanz, der symbiotischen N₂-Fixierung und der Unterdrückung von Pathogenen beteiligt sind, insgesamt zu fördern (Altieri 1999; Stockdale et al. 2002).

Metaanalysen zeigen, dass Ackerböden im ökologischen Landbau tendenziell einen höheren Corg-Gehalt, eine größere Häufigkeit und Aktivität von Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Nematoden) sowie eine größere Häufigkeit von Regenwürmern aufweisen (Hole et al. 2005; Stockdale und Watson 2009; Gattinger et al. 2012; Lynch 2015). Eindrucksvoll dargelegt werden konnte die erhöhte Biomasse und Aktivität von Bodenmikroben und -fauna am Beispiel des 21-jährigen DOK Versuchs in der Schweiz (Mäder et al. 2002). Im Grünland sind die Unterschiede für Mikroben- und Regenwurmabundanz zwischen ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung dagegen offenbar eher gering (Hole et al. 2005).

Die hohe Biodiversität von Bodenorganismen und deren Aktivität resultieren jedoch nicht aus dem System des ökologischen Landbaus *per se*, sondern werden insbesondere durch die Einsatz von z.B. Wirtschaftsdüngemitteln und Gründüngung begünstigt. Weitere positiv wirkende Faktoren stellen Bodenruhe und organisches Material auf der Bodenoberfläche dar (Altieri 1999; (Hole et al. 2005; Brock et al. 2008; Stockdale und Watson 2009). Die im ökologischen Landbau häufig praktizierte tief wendende Bodenbearbeitung ist in diesem Zusammenhang kritisch zu sehen, da Regenwürmer deutlich negativ beeinträchtigt werden können (Pelosi et al. 2015).

Ziel ist es, die Bodenfruchtbarkeit zu fördern und die Zersetzung organischen Materials sowie die Nährstoffimmobilisierung und -mineralisierung durch geeignete Bewirtschaftung derart zu beeinflussen, dass Nährstoffangebot und Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen möglichst in Einklang gebracht werden. Sofern Nährstoffverfügbarkeit und -bedarf der Pflanzen zeitlich synchron verlaufen, würde die Nährstoffeffizienz auch gesteigert werden können. Die Einflussfaktoren auf Höhe und Verlauf der Nährstoffmineralisierung sind jedoch vielfältig, sodass die Vorhersage des Mineralisierungspotenzials im Verlauf der Vegetationsperiode derzeit mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Es erscheint deshalb in zukünftigen Forschungsvorhaben auch erforderlich zu sein, das vorhandene Wissen zur Nährstoffverfügbarkeit zu bündeln, zu erweitern und in ein praxistaugliches Kalkulationsprogramm zur Bemessung des Nährstoffangebotes zu überführen (Bachinger und Bellon 2013; Koopmans et al.

2013). Sind die wesentlichen Einflussgrößen in ihrer Wirkung bekannt, sind darauf aufbauend auch die Verbesserung des Nährstoffmanagements und dessen aktive Steuerung besser möglich.

3.7.3 Verbesserung der Nährstoffversorgung durch Mykorrhizapilze

Durch Symbiose mit arbuskulären Mykorrhizapilzen oder Plant growth promoting Rhizobacteria können weitere Vorteile für die Nährstoffversorgung der Pflanzen entstehen, deren Bedeutung im Ackerbau bisher nicht hinreichend quantifiziert werden konnte (Krey et al. 2013; Wollmann und Möller 2015). Mykorrhizapilze tragen bei geringen Nährstoffkonzentrationen im Boden zur Nährstoffversorgung von Pflanzen bei (P, N, Mikronährstoffe) und könnten daher im ökologischen Landbau zur Verbesserung der Nährstoffversorgung führen. Hohe Nährstoffkonzentrationen im Boden (insbesondere P), intensive Bodenbearbeitung und der Anbau von Nicht-Wirtspflanzen können die Besiedelung durch arbuskulären Mykorrhizapilze verringern. Möglich ist zudem, dass geeignete Mykorrhizastämme im Boden fehlen oder Kulturpflanzen nur gering auf die Besiedelung reagieren. Die Ursachen für geringe Effekte durch Mykorrhizapilze sind derzeit nicht abschließend erklärt (Gosling et al. 2006), so dass hierzu im ökologischen Landbau besonderer Forschungsbedarf besteht.

3.7.4 Bodenbiologische Indikatoren der Bodenfruchtbarkeit

Entwicklung und Anwendung bodenbiologischer Indikatoren, welche den Fruchtbarkeitszustand des Bodens beschreiben, sind von besonderem Interesse, um den Zustand des Bodens und die Auswirkung von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Bodenorganismen und Umsetzungsprozesse zu untersuchen (Stockdale und Watson 2009). Aufgrund der Komplexität der funktionellen Gruppen im Boden und der verschiedenen Wege der Nährstoffmineralisierung ist kein alleiniger bodenbiologischer Parameter zu erwarten, mit dessen Hilfe die komplexen Wirkungszusammenhänge hinreichend gut beschrieben werden können. Anforderungen an Indikatoren werden wie folgt formuliert: Der Indikator muss mit einer günstigen Bodenfunktion korrelieren und auf Veränderungen im Management reagieren ohne starken Schwankungen durch kurzfristige Störfaktoren (z.B. Wetter, aktuelle Düngung) zu unterliegen. Die Messmethoden sollten möglichst einfach und kostengünstig durch-

zuführen sein und zu Aussagen führen, die sowohl für die Forschung als auch die praktische Landwirtschaft verständlich und nützlich sind (Schloter et al. 2005).

Geeignete Indikatoren und Messmethoden variieren je nach Fragestellung und befinden sich in Entwicklung und Diskussion. Die Entwicklung und Validierung entsprechender Indikatoren ist mit erheblichem Aufwand und Kosten verbunden. Der zu erwartende Erkenntnisgewinn wird als sehr hoch eingeschätzt und die Nachfrage besteht seitens Wissenschaft und Praxis gleichermaßen (Jørgensen 2015). Derzeit werden zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit die mikrobiologischen Indikatoren mikrobielle Biomasse (C_{mik}), metabolischer Quotient (qCO_2) und die Kohlenstoffverfügbarkeit für Mikroorganismen (C_{mik}/C_{org}) verwendet (Jørgensen 2011). Jedoch fehlen Zielwerte, die eine gute Bodenfunktion anzeigen. Da (mikrobiologische) bodenbiologische Kennwerte landwirtschaftlich genutzter Flächen innerhalb der Landnutzungsgruppe stark von der Bodenart bestimmt werden, ist es notwendig, vergleichbare Standorte zu untersuchen. Anschließend ist es von Interesse, den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Bodenfruchtbarkeit bzw. Bodenfruchtbarkeitsindikatoren zu untersuchen (Höper und Kleefisch 2001). Beispielsweise könnten anhand von ökologisch wirtschaftenden Betrieben, die sehr gute Werten bodenbiologischer Parameter aufweisen, analog zur Vorgehensweise der Bodendauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen, die Ursachen untersucht werden (Höper und Kleefisch 2001; Jørgensen 2015). Neben mikrobiologischen Indikatoren sind ebenfalls Organismen der Bodenfauna zu untersuchen. Es gibt Hinweise darauf, dass die Bodenfauna sensibler auf Veränderungen reagiert als Bodenmikroorganismen (Stockdale und Watson 2009; Lynch 2015).

Ein umfangreiches Forschungsprojekt zur Bodenfruchtbarkeit, wenngleich nicht spezifisch auf den ökologischen Landbau ausgerichtet, startete jüngst unter Leitung der Universität Wageningen („iSQAPER“) und umfasst die Bewertung und Verbesserung bisher entwickelter Indikatoren, um die Wirkung von Landwirtschaft und des Managements auf Eigenschaften und Funktionen des Bodens zu bewerten (Europäische Kommission 2015).

Indikatoren zur Bewertung der Bodenfruchtbarkeit müssen mit der Bewirtschaftung verknüpft werden, um zu beantworten, welche Art und Weise bzw. welche Maßnahmen der Bewirtschaftung die Bodenfruchtbarkeit positiv oder negativ beeinflussen. Mit diesem Wissen könnten negative Auswirkungen vermindert und die Bodenfrucht-

barkeit gesteigert oder stabilisiert werden. Diese Fragestellung wird ebenfalls im oben genannten Forschungsvorhaben bearbeitet, allerdings müssten die allgemeinen Erkenntnisse des Vorhabens unter Bedingungen des ökologischen Landbaus validiert und ggf. angepasst werden.

3.7.5 Forschungsbedarf

Der aktuell als notwendig erachtete Bedarf an Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Bereich Bodenbiologie lässt sich in fünf Schwerpunktbereichen untergliedern:

Vorhersage der Nährstoffmineralisierung

Es ist bisher nicht gelungen, Wissen zur Nährstoffmineralisierung im Boden so zu bündeln, dass ein entsprechend präzise arbeitendes Kalkulationsprogramm für Ackerböden im ökologischen Landbau entwickelt werden konnte, da Standort, Jahr und Bewirtschaftung stark variierenden Einfluss ausüben. Zum effizienten und verlustarmen Nährstoffeinsatz sind auch im ökologischen Landbau Instrumente notwendig, mit denen die Nährstoffmineralisierung im Boden möglichst gut prognostiziert werden kann. Simulationsmodelle zur Nährstoffmineralisierung finden bisher keinen flächendeckenden Einsatz, gleichwohl es entsprechende Bemühungen zur Entwicklung entsprechender Programme gibt (Bachinger und Bellon 2013). Die Forderung nach entsprechenden Rechenprogrammen wurde im Experten-Workshop bereichsübergreifend gestellt (Bereich Bodenbiologie, Ackerbau, Gemüsebau, Nährstoffflüsse), sodass sie in der Fußnote der Tabelle zu den Forschungsfragen ergänzt wurden (Tabelle).

Steuerungsmöglichkeiten der Nährstoffmineralisierung

Neben der Vorhersage der Nährstoffmineralisierung werden Untersuchungen zu Bewirtschaftungsmaßnahmen gefordert, um die Nährstoffmobilisierung gezielt steuern zu können (vor allem N, P, K).

Funktionelle Gruppen

Zur Biodiversität und Funktion von Bodenorganismen besteht erheblicher Bedarf in der Grundlagenforschung. Die Kenntnis über die einzelnen Bodenorganismenarten und deren Bedeutung für die Regulation von Nährstoffkreisläufen, der Speicherung und Bereitstellung von Nährstoffen, den Aufbau einer günstigen Bodenstruktur, die C-Sequestrierung sowie die Regulation bodenbürtiger Pflanzenkrankheiten und an-

derer Leistungen sind insgesamt nach wie vor eher lückenhaft vorhanden. Die Untersuchung funktioneller Gruppen innerhalb der Bodenorganismen sowie deren mögliche Eignung als Indikatoren für die Bodenfruchtbarkeit stehen damit noch am Anfang. Gleiches gilt für die gezielte Förderung günstiger Organismen durch Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Bodenbiologische Bodenfruchtbarkeitsindikatoren

Zur Entwicklung von bodenbiologischen Indikatoren, die zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit dienen, sind Untersuchungen innerhalb von Dauerversuchen notwendig. Alternativ könnten Praxisflächen mit sehr guten bodenbiologischen Kennwerten, wie z.B. innerhalb der Bodendauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen erkennbar, für diese Zwecke herangezogen werden.

Fördermöglichkeiten

Eine Verknüpfung von Ursache und Wirkung auf die Indikatoren ist wünschenswert, damit die Bodenfruchtbarkeit in der Praxis gezielt verbessert werden kann. Forschungs- und Entwicklungsbedarf sahen die Teilnehmer des Workshops in Dresden hinsichtlich der Bodenbiologie und des Nährstoffumsatzes in 12 Themenfeldern, die in Tabelle 9 um entsprechende Themenfelder aus den Bereichen Acker- und Gemüsebau sowie Nährstoffflüsse ergänzt wurden.

Tabelle 9: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Bodenbiologie und Nährstoffumsatz im ökologischen Landbau (Ergebnis des Experten-Workshop)

| | |
|---|-----------------------------------|
| Entwicklung geeigneter Methoden zur Erfassung bodenbiologischer Indikatoren der Bodenfruchtbarkeit unter Berücksichtigung der räumlichen Variabilität, Ermittlung von Richtgrößen bzw. Zielwerten | Rang 1, Wertung nach Punkten: 5,2 |
| Zusammenhang von Pflanzenkrankheiten und Pflanzenernährung | Rang 2, Wertung nach Punkten: 3,5 |
| Effekte organischer Düngung auf die Bodenfruchtbarkeit durch Untersuchung entsprechender Praxisflächen | Rang 3, Wertung nach Punkten: 3,3 |
| Reduzierung der N-Verluste aus organischen Düngemitteln (durch mikrobiologische Instrumente) | Rang 4, Wertung nach Punkten: 2,9 |
| Wie können metabolische Prozesse im Boden durch verschiedene Düngemittel gesteuert werden? | Rang 5, Wertung nach Punkten: 2,7 |
| Wie stark werden negative Auswirkungen auf <i>Lumbricus terrestris</i> durch angepasste Bewirtschaftung im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung reduziert? (Mulchschicht, nur flaches Einarbeiten organischer Dünger, Bodenbearbeitung ausschließlich bei trockenen oder sehr kalten Bedingungen) | Rang 6, Wertung nach Punkten: 2,5 |

| | |
|---|---|
| Quantifizierung des Nährstofftransfers und der Nährstoffmobilisierung durch arbuskuläre Mykorrhizapilze | Rang 7 Wertung 2 nach Punkten: 5 |
| Einfluss der Pflanzenarten und -sorten auf die Bodenmikroflora | Rang 8, Wertung nach Punkten: 2,2 |
| Zucht von Pflanzen mit besonders effizienten Symbiose mit arbuskulären Mykorrhizapilzen | Rang 9, Wertung nach Punkten: 2,0 |
| Erforschung natürlicher Nitrifikationsinhibitoren | Rang 10, Wertung nach Punkten: 1,5 |
| Auswirkungen der Biofumigation auf Bodenleben und Bodenfruchtbarkeit | Rang 11, Wertung nach Punkten: 1,5 |
| Untersuchung des Einflusses suppressiver Komposte auf das Bodenleben | Rang 12, Wertung nach Punkten: 1,0 |
| Themenverwandte Forschungsfragen aus den Bereichen Ackerbau, Gemüsebau und Nährstoffflüsse | |
| Potenziale der aktiven Nährstoffmobilisierung durch die Gestaltung der Fruchtfolge, den Zwischenfruchtanbau, die Bodenbearbeitung bei unterschiedlichen Standortbedingungen | Bereich Ackerbau Rang 10, Wertung nach Punkten: 1,8 |
| Steuerbarkeit der N-Nachlieferung durch Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfruchtanbau und Bodenbearbeitung bei unterschiedlichen Standortbedingungen | Bereich Ackerbau Rang 14, Wertung nach Punkten: 1,0 |
| Analyse von N- Dynamik im Boden, N-Aufnahme und Biomassebildung der Pflanzen mit Hilfe von Sensoren | Bereich Nährstoffflüsse Rang 8, Wertung nach Punkten: 2,4 |
| Methoden zur Abschätzung der Nährstoffnachlieferung | Bereich Ackerbau Rang 12, Wertung nach Punkten: 1,4 |
| Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Humusgehalt/anderer Parameter und Düngewirkung N-reicher Materials | Bereich Gemüse Rang 9, Wertung nach Punkten: 2,8 |

4 Gemüsebau

Der ökologische Anbau von Gemüse stellt hohe Ansprüche an die Nährstoffversorgung, da z.T. in sehr kurzer Zeit ein hoher Nährstoffbedarf gedeckt werden muss. Die Düngung stellt somit auch einen erheblichen Kostenfaktor in der Produktion dar (Belau et al. 2013). Je nach Kultur kommen derzeit vorrangig organische Handelsdüngemittel und oder Stallmist und Kompost zum Einsatz. Der Bedarf an P, K, Mg und anderen Nährstoffen ist durch die Kombination geeigneter Düngemittel zu decken. Die Integration einer Leguminosengrünbrache und die Anwendung von Stallmist oder Komposten führen allerdings allein nicht zur Bedarfsdeckung der Kulturen und stehen den spezialisierten Gemüsebaubetrieben häufig auch nur eingeschränkt zur Verfügung (Fragstein et al. 2004; Möller und Schultheiß 2014b).

Die Nährstoffaufnahme kann beim Anbau starkzehrender Gemüsearten im Freiland bis zu 300 kg N je ha und Jahr betragen (Feller et al. 2011; Möller und Schultheiß 2014a). Im geschützten Anbau werden deutlich höhere Nährstoffmengen von den Beständen aufgenommen. In den Niederlanden wurde unter Glas eine maximale N-Aufnahme von 1200 kg N je ha und Jahr ermittelt (Cuijpers et al. 2008). Im Schnitt beträgt die Aufnahme der Kulturen im geschützten Anbau 300 kg N, 44 kg P und 500 kg K je ha und Jahr (Stadler 2006; Klein 2009; Mattmüller 2009; Stadler 2015).

Da nach der Applikation organischer Düngemittel kurzfristig, zum Teil auch längerfristig nur ein Teil der insgesamt zugeführten N-Menge pflanzenverfügbar wird und entsprechend verwertet werden kann, resultieren beim Einsatz dieser Düngemittel häufig rechnerisch hohe N-Bilanzüberschüsse. Zudem bedürfen die meisten Gemüsekulturen, da sie wie z.B. Spinat oder Salat während des vegetativen Wachstums geerntet werden, hoher Mindestvorräte an Nmin im Boden bis zur Ernte, um die geforderten Qualitäten zu erreichen (Feller et al. 2011). Einige Öko-Gemüsebetriebe stoßen deshalb im Zuge der Bewirtschaftung an die Grenzen der geltenden Düngerverordnung, welche maximale N-Flächenbilanzsalden von plus 60 kg N je ha und Jahr zuzüglich Zuschlägen für bestimmte Kulturen toleriert, sodass Düngemittel mit hoher N-Verwertungseffizienz im Jahr der Anwendung als besonders geeignet für den Öko-Gemüsebau einzustufen sind (Albert et al. 2007; Möller und Schultheiß 2014b). Die Richtlinien des ökologischen Landbaus (EG-Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007 und die Durchführungsverordnung (EG) Nr. 889/2008) limitieren den Einsatz wirtschaftseigener Düngemittel aus der Tierhaltung auf 170 kg N je ha und Jahr. Je nach Zugehörigkeit zu den Anbauverbänden des ökologischen Landbaus gelten weitere Einschränkungen: Die N-Düngung im Freiland soll danach im Durchschnitt der Fruchtfolge der gemüsebaulich genutzten Fläche insgesamt 110 kg N je ha und Jahr nicht überschreiten. Eine höhere Düngemenge im geschützten Anbau ist allerdings gemäß des Bedarfs der Kulturen zulässig. Zum Teil gelten in den Verbänden strengere Kriterien für Art und Menge zugekaufter organischer Düngemittel (Bioland e.V. 2013; Naturland e.V. 2014; Demeter e.V. 2015; Gäa e.V. 2015).

4.1 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im ökologischen Gemüsebau

Forschungsprojekte des BÖL, BÖLN sowie CoreOrganic I, II, Plus zur Düngung im ökologischen Gemüseanbau untersuchen in erster Linie die N-Düngewirkung von

Wirtschaftsdüngern, organischen Handelsdüngemitteln und von angebauten Futterleguminosen aus Zwischenfruchtbau als Mulchmasse oder getrocknet und pelletiert (Tabelle). Die Ergebnisse wurden durch zahlreiche bundesländerübergreifend koordinierte Düngungsversuche der Landwirtschaftskammern und Landesämter ergänzt (Verband der Landwirtschaftskammern 1989 bis 2012, 2013, 2014, 2015).

Tabelle 10: Abgeschlossene und laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im ökologischen Gemüsebau (BÖL, BÖLN, CoreOrganic I, CoreOrganic II, CoreOrganic Plus)

| Projektname | Inhalt / Ziel | Nährstoffversorgung, Düngung im Gemüsebau |
|--|--|--|
| BÖL / BÖLN | | |
| Praxiseinführung und Evaluierung eines Kalkulationsschemas zur bedarfsgerechten N-Düngung im ökologischen Freilandgemüsebau FKZ 02OE576 Verantw.: Laber (2003b) | Demonstrationsversuche zur N-Düngung im ökologischen Gemüsebau, Erstellung und Evaluation eines Kalkulationsschemas zur bedarfsgerechten N-Düngung | Ermittlung der N-Nachlieferung des Bodens, aus Wirtschaftsdüngern und organischen Handelsdüngern; Ermittlung der symbiotischen N ₂ -Fixierung von Gemüseerbse und Buschbohne; Erstellung eines N-Kalkulationsschemas für den ökologischen Gemüsebau |
| Wirkung verschiedener organischer Mulchmaterialien auf den Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens - Quantifizierung der Bedeutung für den ökologischen Landbau FKZ 02OE565 Verantw.: Müller (2003) | Einfluss von Mulch auf Wasser- und N-Verfügbarkeit für die Kulturen, Erosionsschutz, Unkrautunterdrückung und Bodenstruktur | Einfluss von langjährigem Mulch aus Kompost, Stroh, Hack-schnitzel, Rinde und Gras auf die N-Mineralisierung im Boden |
| Umsatz und Wirkung vegetabiler Düngemittel im ökologischen Gemüsebau FKZ 02OE169 Verantw.: Müller und Fragstein (2003) | Untersuchung der N-Mineralisierung und N-Effizienz beim Einsatz vegetabiler Düngemittel im ökologischen Gemüsebau | N-Mineralisierung und N-Effizienz von Ackerbohnen-, Lupinen- und Rizinusschrot, Biovegetal® und Phytoperls® in Inkubations-, Gefäß- und Feldversuchen mit Radies, Möhre und Kopfkohl |
| Stickstoffversorgung der Zweitfrüchte Feldgemüse und Mais nach Winterzwischenfrucht-Leguminosen FKZ 02OE318 Verantw.: Haas et al. (2004) | Vergleich legumer und nicht-legumer Winterzwischenfrüchte in Reinsaat und Gemenge als Vorfrüchte für Mais und Weißkohl an 3 Standorten | Ertrag, N-Aufnahme, N ₂ -Fixierung der Zwischenfrüchte, Verlauf der N-Mineralisierung nach Umbruch der gemulchten oder abgefahrenen Zwischenfrüchtaufwüchse, Ertrag, N-Aufnahme von Weißkohl, Berechnung der N-Bilanz, Humusbilanz, N-Nachlieferung aus dem Boden |

| Projektname | Inhalt / Ziel | Nährstoffversorgung, Düngung im Gemüsebau |
|---|--|--|
| <p>Ökologischer Gemüseanbau: Struktur, Entwicklung, Probleme, politischer Handlungsbedarf FKZ 02OE222 Verantw.: Fragstein et al. (2004)</p> | <p>Status Quo des ökologischen Gemüsebaus in Deutschland; Betriebsstruktur, Anbau, Aufbereitung und Absatzwege</p> | <p>Erfassung der Anbauverfahren inklusive Düngung</p> |
| <p>Intensivierung der Produktion und Verbesserung der Qualität bei Sätzwiebeln durch Sortenwahl und Düngungsstrategien FKZ 03OE056/1 Verantw.: Rau und Weier (2006)</p> | <p>Sorten- und Düngungsversuch von Zwiebeln, Einfluss auf Ertrag und Lagerfähigkeit, Mehltaresistenz und Etablierungsverfahren</p> | <p>Eignung verschiedener organischer Handelsdüngung zur N-Düngung in Zwiebeln</p> |
| <p>Stickstoffdynamik im ökologischen Gemüsebau im Freiland mit organischen Düngern unter besonderer Berücksichtigung von Flachabdeckungen zur Verfrühung und zur Verlängerung der Anbausaison FKZ 03OE031 Verantw.: Engelmann et al. (2007)</p> | <p>N-Mineralisierung organischer Dünger pflanzlicher Herkunft und Komposte im Vergleich zu Horndüngern im ökologischen Freilandgemüsebau</p> | <p>N-Freisetzung aus Horndüngern, Vinasse, Maltaflor, Rizinus- und Lupinenschrot (Weiße und Gelbe Lupine), Ackerbohnen-schrot, Sonnenblumenpresskuchen und Kompost in Feldversuchen mit Spinat, Sellerie, Porree, Kohlrabi und Weißkohl, Einfluss einer Vliesabdeckung auf die N-Freisetzung</p> |
| <p>Synchronisation der N-Mineralisierung aus Mulch mit der N-Aufnahme von Freilandgemüse durch optimiertes Management einer Leguminosengründungung FKZ 03OE102 Verantw.: Heuwinkel et al. (2007)</p> | <p>Nutzung legumer Zwischenfrüchte als Mulch im ökologischen Freilandgemüsebau</p> | <p>Ausbringung von Weißkleemulch als N-Dünger zu Porree und Sellerie in mehreren aufeinanderfolgenden Gaben, Bestimmung des Ertrags und der N-Ausnutzung</p> |
| <p>Bestimmung der optimalen Aussaat- und Umbruchtermine einer überwinternden Leguminosengründungung für die nachhaltige Bekämpfung pflanzenparasitärer Nematoden im ökologischen Gemüsebau FKZ 06OE052 Verantw.: Hallmann et al. (2012)</p> | <p>Maximierung der N₂-Fixierung von Futterleguminosen, gleichzeitige Verhinderung der Vermehrung von pflanzenparasitären Nematoden der Art <i>Meloidogyne hapla</i></p> | <p>N₂-Fixierung von Futterleguminosen bei Beschränkung der Kulturzeit, früheste Aussaat sowie spätester Umbruchtermin um Vermehrung der Nematoden zu unterbrechen</p> |

| Projektname | Inhalt / Ziel | Nährstoffversorgung, Düngung im Gemüsebau |
|---|---|---|
| Organische Handelsdüngemittel tierischer und pflanzlicher Herkunft für den ökologischen Landbau - Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis FKZ 2811OE034 Verantw.: Möller und Schultheiß (2014c) | Charakterisierung für den ökologischen Landbau zugelassener organischer NPK-Düngemittel tierischer und pflanzlicher Herkunft | Umfassende Zusammenstellung des Nährstoffgehalts, C/N-Verhältnis und N-Verfügbarkeit organischer Handelsdünger, Bewertung der Vorzüglichkeit, Anwendungshinweise |
| Förderung multi-funktionaler Vorteile von Untersaat-Gemüse-Mischanbau Verantw.: Fragstein (2015) | Untersuchung von Untersaaten (Lebendmulch) im ökologischen Gemüseanbau, Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung | Einfluss der Untersaat Weißklee auf die Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffverluste in Blumenkohl und Porree |
| Entwicklung und Erprobung eines neuartigen, aus dem ökologischen Landbau stammenden stickstoffreichen Düngemittels für den ökologischen Gemüsebau, in Bearbeitung FKZ 11OE109 Verantw.: Schmidtke und Scheffler (2013 bis 2016) | Entwicklung und Erprobung eines betriebseigenen Düngemittels aus Futterleguminosen für den Einsatz im ökologischen Gemüsebau | Einfluss sehr früher Schnitttermine auf das C/N-Verhältnis sowie den N-, P- und K-Ertrag von Futterleguminosearten; N-Mineralisierung des entwickelten Düngemittels in Inkubationsversuchen; Feldversuch zum Einfluss der Düngemittel auf Ertrag und Nährstoffaufnahme von Spinat und Rote Bete |
| Core Organic I, II, Plus | | |
| Risks and recommendations regarding human pathogens in organic vegetable production chains (PathOrganic) Verantw.: Sessitsch (2012) | Belastung von ökologisch erzeugten Gemüse mit Humanpathogenen in Folge des Einsatzes von Stallmist und Gülle aus der Tierhaltung, Ableitung eines HACCP-Konzepts zur Risikovermeidung | Managementempfehlungen zum risikoarmen Einsatz von Stallmist und Gülle im ökologischen Gemüsebau |
| Enhancing multifunctional benefits of cover crops - vegetables intercropping (InterVeg) Verantw.: Canali (2015) | Untersuchung von Untersaaten (Lebendmulch) im ökologischen Gemüseanbau, Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung | Management der legumen Untersaat in Lauch und Blumenkohl, Einfluss auf Ertrag, Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffverluste |
| Improving soil conservation and resource use in organic cropping systems for vegetable production through introduction and management of Agro-ecological Service Crops (SoilVeg) Verantw.: Canali (2015-2018) | Vergleich von Einarbeiten und Walzen von Zwischenfrüchten zur Gründüngung im ökologischen Gemüsebau, Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit | Vergleich des Einarbeitens und Walzen mit der Messerwalze von Winterzwischenfrüchten, Einfluss auf Ertrag, N-Dynamik sowie langfristige Boden-N und -C-Gehalte |

4.2 Nährstoffbilanz und Nährstoffversorgung im Boden

In einer Status Quo-Analyse zum ökologischen Gemüsebau in Deutschland wurden im Zeitraum 2002/2003 100 ökologisch wirtschaftende Betriebe zur Düngepraxis befragt. Ein großer Teil der Betriebe wendete demnach betriebseigenen oder zugekauften Stallmist und –kompost an (hauptsächlich Rinder- und Pferdemit) und ergänzte mit organischen Handelsdüngern tierischen oder pflanzlichen Ursprungs. Im Vordergrund der Nährstoffimporte standen N-Düngemittel. Auch das Bewässerungswasser, welches über 80% der Betriebe verwendeten (Fragstein et al. 2004), sollte auf dessen Nährstoffgehalte, vor allem N und S, untersucht werden (Mattmüller 2009; Laber 2010). Nach der Ernte verbleiben hohe N-Mengen in den Ernteresten sowie hohe N_{min}-Restmengen im Boden, da viele Gemüsearten einen sogenannten N-Mindestvorrat im Boden zur Ernte benötigen. Geeignete Maßnahmen zur Vermeidung von N-Auswaschung über den Winter sind erforderlich (Laber und Lattauschke 2014). Zwischenfrüchte, die hohe N-Mengen vor Vegetationsende aufnehmen oder Nachfrüchte, die hohe N-Mengen auch aus tieferen Bodenschichten erschließen, schützen vor einer N-Auswaschung (Kage 2000).

Standorte des ökologischen Gemüsebau zeigen z.T. gravierende Ungleichgewichte in der Nährstoffversorgung (Fragstein et al. 2004; Möller 2015; Zikeli et al. 2015). Als Ursache für Unter- bzw. Überversorgung einzelner Nährstoffe wird angeführt, dass sich die Kalkulation des Düngebedarfs häufig nur am N-Bedarf orientiert und die P- und K-Düngung somit nicht dem Bedarf entsprechend angepasst wird (Öborn et al. 2005). Die Böden der Anbauflächen des ökologischen Freilandgemüsebau in Deutschland wiesen zudem hinsichtlich der Nährstoffe P, K, Mg, Ca und den pH-Wert zu 63 %, im Gewächshaus zu 41 % die Gehaltsklasse A und B auf. Aus den Ergebnissen sind allerdings keine spezifischen Angaben zu den Bodengehalten der Nährstoffe P, K, Mg abzulesen. Die Autoren weisen auf stark inhomogen versorgte Flächen innerhalb der einzelnen Betriebe hin und fordern eine genauere Bilanzierung der zu- und abgeführten Nährstoffe (Fragstein et al. 2004). Fragstein et al. (2004) wiesen zudem bereits im Jahr 2004 darauf hin, dass die gängige Düngepraxis im ökologischen Gemüsebau zu einer K-Unterversorgung und Phosphoranreicherung im Boden führt, da die eingesetzten N-Dünger häufig mit erheblichen P-Frachten verbunden sind und den P-Bedarf der Gemüsekulturen deutlich übertreffen.

Zikeli et al. (2015) zeigten in ökologisch bewirtschafteten Gewächshäusern in Süddeutschland durch die Untersuchung von Bodenproben und

die Erstellung von Nährstoffflächenbilanzen, dass die Problematik auch aktuell noch im ökologischen Gemüsebau gegeben ist und dass sich die disproportionierte Nährstoffsituation im Boden mit der Dauer der ökologischen Bewirtschaftung im Gemüsebau weiter zuspitzt. Es wurde ebenfalls dargelegt, dass sich ausgeglichene Nährstoffflächenbilanzen beim Anbau von Gemüsekulturen mit den derzeit verfügbaren Düngemitteln im ökologischen Landbau nur schwer erzielen lassen. Der vorrangige Einsatz von Wirtschaftsdüngemitteln, wie durch Demeter-Betriebe bevorzugt, welcher in geringem Maß durch organische Handelsdünger wie Haar- und Hornprodukte ergänzt wird, führt zu Bilanzüberschüssen bei N, P, Ca, Mg, S und Na. Ein gesteigerter Einsatz von Haar- und Hornprodukten, wie in der Untersuchung durch die Bioland-Betriebe praktiziert, führt hingegen zu geringeren Überschüssen in der N-, P-, Ca-, Mg- und Na-Bilanz. Die Kaliumdefizite verstärkten sich jedoch stark (

Abbildung).

Zur Lösung dieser Problemstellung bedarf es dringend der Entwicklung innovativer und praxisumsetzbarer neuer Strategien. Hohe P-Gehalte im Boden in Verbindung mit hohen pH-Werten können zudem komplexen Spurennährstoffmangel verursachen. Hohe P-Gehalte im Boden in ökologisch bewirtschafteten Gewächsfächen deuten einhergehend mit hohen Stallmist- oder Kompostgaben auf hohe Salzgehalte im Boden hin. Insbesondere im Gewächshaus ist deshalb aufgrund fehlender Auswaschung bei ökologischer Wirtschaftsweise und hohem Einsatz organischer Düngemittel mit einer Salzanreicherung im Oberboden zu rechnen (Mattmüller 2009; Voogt et al. 2010; Zikeli et al. 2015).

Es ist anzunehmen, dass im Freiland ähnliche Ungleichgewichte bestehen. Die Versalzungsgefahr ist jedoch hier aufgrund des Niederschlags und zumeist vorhandener Auswaschung geringer. Neuere Daten, die eine umfangreiche Bewertung der Nährstoffbilanzen und Gehalte an Nährstoffen im Boden des ökologischen Freilandgemüsebaus in Deutschland liegen nicht vor. Für Freilandgemüsebetriebe in Sachsen (n = 7) wurden Nährstoffbilanzen von +40 kg N je ha und Jahr, -7 kg P je ha und Jahr, -25 kg K je ha und Jahr ermittelt. Die Gehalte an pflanzenverfügbaren P und K im Boden lagen hier im optimalen Bereich (Kolbe 2015).

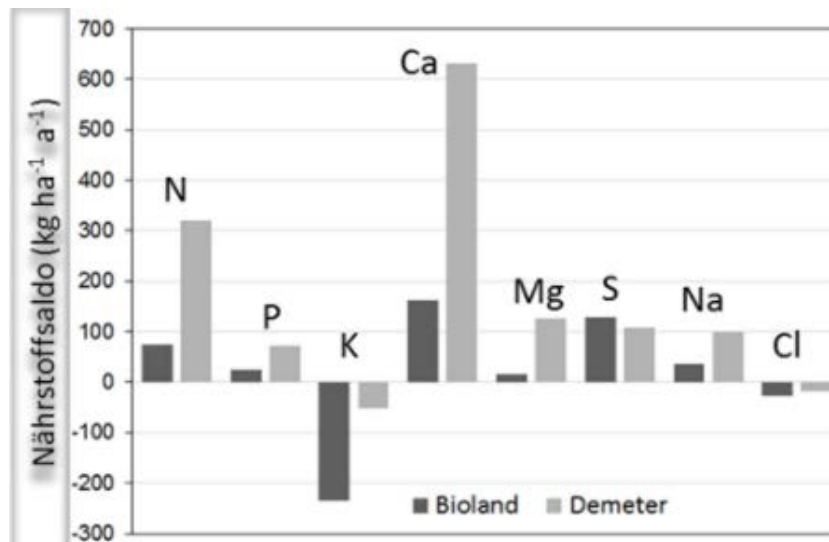


Abbildung 2: Nährstoff-Flächenbilanzsalden des geschützten Anbaus in südwestdeutschen Gartenbaubetrieben, differenziert nach Verbandszugehörigkeit (Bioland: N = 5, Demeter: N = 5) (Zikeli et al. 2015)

Watson et al. (2002b) gaben für das Nährstoffsaldo dreier Gartenbaubetriebe in Großbritannien durchschnittliche N-Salden von +194,2 kg N je ha und Jahr (Spannweite: +91 bis +395,6 kg N je ha und Jahr) und eine scheinbare N-Effizienz (Output/Input) von 0,3 an. Das P-Saldo betrug +38 kg P je ha und Jahr (+1,7 bis +89,0 kg P je ha und Jahr), die scheinbare P-Effizienz 0,4, das K-Saldo +122 kg K je ha und Jahr (-23,0 bis +281 kg K je ha und Jahr) und die scheinbare K-Effizienz 0,7. Allerdings ist in dieser Arbeit nicht genau beschreiben, ob es sich um Flächen im Unterglasanbau bzw. Freiland handelte. Die Daten aus Großbritannien zu den Flächenbilanzsalden belegen die in Südwestdeutschland ermittelten Ungleichgewichte bei den Nährstoffen nicht, zeigen aber starke Schwankungen zwischen den Betrieben und Studien. Im Vergleich zu den beschriebenen Ackerbau-, Mast-, Milchvieh- und Gemischtbetrieben lagen hier im Gartenbau allerdings die höchsten Überschüsse und zugleich die größten Unterschiede zwischen den Betrieben vor.

4.3 Mikronährstoffe

Die verschiedenen Gemüsearten zeigen einen unterschiedlichen Bedarf an Mikronährstoffen und reagieren auf Mikronährstoffmangel unterschiedlich empfindlich.

Mangelsymptome treten beispielsweise bei den Kohlarten, Sellerie und Rote Bete in Folge von einer Unterversorgung mit Bor auf (Alexander et al. 2013).

Zu Mikronährstoffaufnahme und -gehalten von Gemüse im ökologischen Anbau sowie zu den Gehalten in langjährig ökologisch bewirtschafteten Böden des Gemüsebaus liegen offenbar keine systematischen Untersuchungsergebnisse aus Deutschland vor. Zur Ableitung des gegebenenfalls spezifischen Forschungsbedarfes bedarf es deshalb zunächst einer entsprechend repräsentativ angelegten Ist-Analyse zum Versorgungszustand der Böden und Pflanzen sowie der Gehalte an Mikronährstoffen der häufig im ökologischen Gemüseanbau eingesetzten Düngemittel. Lediglich ein Versuchsergebnis zur Mikronährstoffdüngung von Zwiebeln im ökologischen Gemüsebau liegt vor, wobei sich allerdings hier eine Düngung mit Mikronährstoffen nicht als ertragssteigernd erwies (Rau und Weier 2006).

4.4 Düngemittel im ökologischen Gemüsebau

In der ökologischen Landwirtschaft stehen Düngemittel laut Positivliste der EG-Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007 und der Durchführungsverordnung (EG) Nr. 889/2008 zur Verfügung. Es handelt sich zumeist um Mehrnährstoffdünger. Vor einem Zukauf und Einsatz dieser Düngemittel muss allerdings der zuständigen Kontrollstelle der Bedarf angezeigt werden.

Organische Handelsdüngemittel

Unter den N-haltigen organischen Handelsdüngemitteln erreichen pflanzliche Produkte bisher keine vergleichbar hohe Preiswürdigkeit wie die tierischen Haar- und Hornprodukte (Laber 2003a; Müller und Fragstein 2003; Engelmann et al. 2007; Burgt et al. 2011; Möller und Schultheiß 2013; Möller und Schultheiß 2014b). Letztere stehen jedoch in der Kritik, da sie aus der Verarbeitung von Schlachtkörpern und somit zum Großteil aus der konventionellen Erzeugung stammen. Aufgrund guter Verfügbarkeit am Markt, schneller N-Freisetzung und hoher N-Verwertungseffizienz im Gemüsebau lassen sich diese allerdings bisher mangels entsprechender Alternativen nur schwer ersetzen. Es zeichnet sich jedoch eine zunehmende Erwartung seitens der Verbraucher, des Handels und der Anbauverbände des ökologischen Landbaus ab, im ökologischen Gemüsebau auf den Einsatz von Haar- und Hornmehle aus konventioneller Erzeugung zu verzichten (Möller 2015). Auch organische Handelsdüngemittel pflanzlichen Ursprungs stammen zum Großteil aus konventio-

neller Erzeugung. In der gartenbaulichen Praxis wird deshalb nach Alternativen zu den bisherigen Handelsdüngemitteln gesucht. So setzen bereits in einigen Betriebe vermehrt auf einen Nährstofftransfer über frisches oder siliertes Futterleguminosen-Schnittgut, die als Düngemittel eingesetzt werden, wobei die Düngewirkung des Futterleguminosenschnittgutes wissenschaftlich nur in Teilen untersucht wurde (vgl. Angaben unter „Nutzung von Futterleguminosen“).

Eine Besonderheit stellt die Aussaat von Körnerleguminosen mit extrem erhöhter Aussaatmenge dar, sodass hohe N-Mengen je ha ausgebracht werden. In den ersten zwei Wochen nach der Aussaat sinkt das C/N-Verhältnis im Zuge der Keimung von 8,6 bis 9,0 zu 1 bei Lupinensaatgut auf 7,0 bis 6,2 zu 1. Trotz z.T. im Gefäßversuch höherer Netto-N-Mineralisierung aus dem eingebrachten pflanzlichen Material zeigte sich die Verbesserung der N-Versorgung von Gemüsekulturen im Feld nicht zuverlässig (Laber 2004; Katroschan und Stützel 2008; Katroschan et al. 2012; Veh et al. 2013).

Problematisch ist, dass die organischen Handelsdüngemittel häufig ein zu weites P zu K-Verhältnis aufweisen, die dem Bedarf von Gemüse nicht entsprechen und somit in gemüsebaulich genutzten Flächen zur P-Anreicherung im Boden führen. Im ökologischen Landbau einsetzbare mineralische Kaliumdüngemittel enthalten hingegen hohe Mengen Magnesium oder Schwefel, welche im Gewächshaus zur Versalzung beitragen (Voogt et al. 2010; Möller 2015; Zikeli et al. 2015). Zudem ist die Humusreproduktionsleistung organischer Handelsdüngemittel weitgehend unbekannt (Möller und Schultheiß 2014b).

Wirtschaftsdüngemittel

Der Anteil gemüsebaulicher Betriebe des ökologischen Landbaus, der Wirtschaftsdüngemittel einsetzt, ist in der Umfrage von Fragstein et al. (2004) nicht exakt abzulesen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass Demeter-Gärtnereien Stallmist und Komposte vermehrt einsetzen und dass Öko-Betriebe mit zunehmender Spezialisierung und Betriebsgröße geringere Mengen Wirtschaftsdünger je Hektar ausbringen. Strohreicher Mist kommt in Kulturen mit langer Kulturzeit und mäßigem Nährstoffanspruch oder als Grunddüngung zum Einsatz (Fragstein et al. 2004). Übermäßiger Einsatz von Stallmist führt zu P-Anreicherung im Boden, sodass die geringe N-Freisetzung von 10 bis 30 % (bis zu 45 % bei Geflügelmist) der insgesamt

im Stallmist enthaltenen N-Menge im Jahr der Anwendung insbesondere bei hohen Nährstoffentzügen durch Handelsdünger ausgeglichen werden muss.

Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung erfordern besondere Vorsichtsmaßnahmen aufgrund des Risikos, Humanpathogene auf das Endprodukt zu übertragen (Sessitsch 2012; Möller und Schultheiß 2014b). Der Einsatz von Gülle und Jauche ist daher im Gemüsebau stark reglementiert (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2015). So ist der Einsatz von flüssigen Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft zur Kopfdüngung im Gemüsebau verboten und im Gemüsebau nur gestattet, wenn der Zeitraum zwischen der Anwendung und der Ernte der Gemüsekulturen nicht weniger als zwölf Wochen beträgt.

Die Inhaltstoffe der im ökologischen Landbau anfallenden Wirtschaftsdüngemittel unterscheiden sich nach Tierart und eingesetzten Futter- und Einstreumaterialien und -menge erheblich, so dass deren Einsatz besondere Schwierigkeiten bei der Kalkulation der für die Kulturen bereitgestellten Nährstoffmengen bestehen (Blank et al. 2011).

Nutzung von Futterleguminosen

Der Anbau von Futterleguminosen trägt durch die symbiotische N₂-Fixierung zur N-Versorgung im Gemüsebau bei, ohne P im Boden anzureichern, sofern der Aufwuchs auf der Fläche verbleibt. Wird der Aufwuchs von Futterleguminosen an anderer Stelle eingearbeitet, so entspricht die Nährstoffzusammensetzung des Futterleguminosenaufwuchses der Nährstoffaufnahme von Gemüse sehr gut, so dass durch den Einsatz von Futterleguminosen-Schnittgut in der Regel keine P-Bilanzüberschüsse resultieren dürften (Möller und Schultheiß 2014b).

80 % der Öko-Gemüsebaubetriebe gaben in einer deutschlandweiten Erhebung an, dass der Anteil Leguminosen in der Fruchtfolge mehr als 20 % betrug und dass sich unter den angebauten Leguminosen 60 % Futterleguminosen befanden (Fragstein et al. 2004). In Betrieben des ökologischen Feldgemüsebaus in Sachsen wurden im Mittel sogar 22 % Körnerleguminosen und 19 % Futterleguminosen angebaut (Kolbe 2015). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei nicht ausschließlich um spezialisierte Gemüsebaubetriebe handelte. Vorteile des Anbaus von Futterleguminosen stellen die Nutzung der symbiotischen N₂-Fixierung, die positiven Wirkungen

auf Bodenstruktur, das Bodenleben und die Minderung des Auftretens von Wurzel- und Samenunkräutern dar. Problematisch beim Anbau von Futterleguminosen auf gemüsebaulich genutzten Flächen ist allerdings die hohe Wirtspflanzendichte im Gemüsebau für Nematoden (z.B. *M. hapla*), zu denen auch Kleearten und Luzerne zählen (Hallmann et al. 2012).

Die symbiotische N₂-Fixierung und Düngewirkung von Futterleguminosen in Reinsaat und Gemengen in unterschiedlichen Managementsystemen war bereits Gegenstand verschiedener Untersuchungen: Das Einarbeiten überwinternder legumer Zwischenfrüchte, deren Aufwuchs gemulcht oder geschnitten wurde, stellt eine verbreitete Praxis und eine wichtige Stickstoffzufuhr im ökologischen Gemüsebau dar. In Gefäßversuchen wurde u.a. die N-Mineralisierung aus früh geschnittenen Futterleguminosen untersucht (Schmidtke und Scheffler 2016). Es gibt jedoch unter Feldbedingungen bisher kein geeignetes Kalkulationsprogramm, um die Nährstoffnachlieferung aus der Umsetzung von leguminosenbürtigem Stickstoff im Boden in Abhängigkeit vom Umbruchmanagement (Zeitpunkt, Intensität), von der Bestandeszusammensetzung des eingearbeiteten Aufwuchses und des Standorts bzw. der Witterungsbedingungen hinreichend gut abschätzen zu können (Laber 2007; Haas et al. 2004). Alternativ zur Einarbeitung von Zwischenfrüchten wurde das Anwalzen leguminosenhaltiger Zwischenfrüchte im Hinblick auf die Freisetzung des leguminosenbürtigen Stickstoffs untersucht. Die Pflanzen sterben durch die Bearbeitung mit einer Messerwalze ab. Der Aufwuchs verbleibt an der Oberfläche und trägt zum Erosionsschutz bei (Canali 2016). Futterleguminosenaufwuchs kann frisch oder konserviert als Silage oder getrocknet im ökologischen Gemüsebau eingesetzt werden (Riley 2003; Raupp 2005; Heuwinkel et al. 2007; Burgt et al. 2011; Schubert und Rascher 2013; Stumm und Köpke 2015). Legume Untersaaten hingegen dienen auch als Lebendmulchmasse (Kristensen et al. 2014; Tittarelli 2014; Fragstein 2015; Robačar et al. 2015).

4.5 Weitere Themen

Neben den oben adressierten Themenfeldern des Gemüsebaus sind weite Aspekte für den Gemüsebau von hoher Relevanz.

Hohe residuale N_{min}-Restmengen im Boden im Herbst

Nicht-legume Zwischenfrüchte dienen der Aufnahme von bodenbürtigem Stickstoff und Stickstoff aus der Mineralisierung von Ernterückständen vor dem Winter, sofern die Aussaat geeigneter Arten bis Anfang September stattfindet. Wird eine entsprechende Nachkultur wie z.B. Wintergetreide gewählt, die Stickstoff aus tieferen Bodenschichten aufzunehmen vermag, kann auch Stickstoff, der über Winter verlagert worden wäre, vor der Auswaschung geschützt werden (Kage 2000). Allerdings sind für auswaschungsgefährdete Standorte bisher kaum praktikable Konzepte zur Reduktion von Nmin-Stickstoffvorräten im Herbst und Stickstoff aus den Ernterückständen von späträumenden Kulturen wie z.B. Zwiebeln oder Lagermöhren erarbeitet worden. Verschiedene Pflanzenarten des Zwischenfruchtbaus tragen gleichzeitig durch ihre Inhaltsstoffe zur Vorbeugung von Krankheiten und Schädlingen bei oder werden gezielt als Fangpflanzen oder Nichtwirtpflanzen bestimmter Schaderreger im ökologischen Gemüsebau angebaut (Hallmann 2003; Hallmann et al. 2007; Hallmann et al. 2012; Gamliel und van Bruggen 2015).

N-Mineralisierung im Frühjahr

Eine besondere Herausforderung im ökologischen Gemüsebau stellt die N-Versorgung von Pflanzen mit hohem N-Bedarf und z.T. geringer Durchwurzelungstiefe und -intensität wie z.B. Salat im Frühjahr dar. Die Nmin-Vorräte im Boden im Frühjahr sind häufig niedrig und aufgrund der kühlen Bodentemperatur sind die mikrobiellen Umsetzungsprozesse gering. Die N-Mineralisierung erfolgt dann nur in geringem Maße (Möller und Schultheiß 2014b). Eine vergleichsweise hohe N-Freisetzung zeigen unter diesen Umständen organische Düngemittel mit einem hohen Gehalt an Ammonium wie z.B. Gülle und Gärreste (Kelderer et al. 2008), die allerdings im Gemüsebau nur unter Vorbehalt eingesetzt werden dürfen. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und N-Mineralisierung aus organischen Düngemitteln ist jedoch nur in Teilen wissenschaftlich bearbeitet worden. Magid et al. (2001) fanden für die Umsetzung von Gelbkle-, Steinklee- und Wiesenrispenaufwuchs eine nur geringe Verzögerung der N-Mineralisierung bei niedrigen Temperaturen. Im Gegensatz zur C-Mineralisierung zeigte sich hier die N-Mineralisierung vorrangig durch die Pflanzenart beeinflusst. Die Temperatur übte untergeordneten Einfluss aus. Die Netto-N-Mineralisierung von Leguminosenschroten aus Ackerbohne, Weißer und Gelber Lupine zeigte ebenfalls keine bzw. zeitweise sogar eine negative Reaktion auf die Temperatur (5°C bzw. 15°C, Müller und Fragstein 2006). Die Netto-N-Mineralisierung

von organisch gebundenem Stickstoff in Vinasse, Bioagenasol, Haar- und Hornmehlpellets, Bioilsa11 und Maltaflor reagierte in Inkubationsversuchen ebenfalls unterschiedlich auf Bodentemperaturen im Bereich von 5 bis 25°C (Katroschan und Mausolf 2014). In umfangreichen Versuchen von Kelderer et al. (2008) war die N-Mineralisierung bei 8°C bei vielen organischen Handelsdüngemitteln im Vergleich zu 16°C nur wenig herabgesetzt, Resultate die auch in Schlegel et al. (2007) eine Bestätigung finden. Zur Erhöhung des Anteils schnell pflanzenverfügbarer Nährstoffe in organischen Düngemitteln gilt es zukünftig auch entsprechende bioverfahrenstechnische Vorbehandlungen zu prüfen, um einem hohen Nährstoffbedarf im zeitigen Frühjahr bei gemüsebauliche Kulturen besser entsprechen zu können.

Novellierung der Düngeverordnung

Die Novellierung der Düngeverordnung wird auch für den ökologischen Gemüsebau zu einschneidenden Änderungen in der Düngepraxis führen, wobei bisher keine gezielten Anpassungsstrategien erarbeitet wurden, mit denen ein ökologisch wirtschaftender Gemüsebaubetrieb auf die neuen Vorgaben der Düngeverordnung reagieren kann. So sieht der Entwurf zur Novellierung der Dünge-Verordnung des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2015) vor, die N- und P-Düngung einzuschränken:

Die Phosphat-Bilanz darf unabhängig von den Bodengehalten bis 2023 im 6-jährigen Mittel 20 kg je ha und Jahr nicht überschreiten, anschließend lediglich 10 kg je ha und Jahr. Ab P-Gehalten im Boden von 8,7 mg je 100 g Boden darf auf den betroffenen Schlägen nur noch entsprechend der Höhe des zu erwartenden Entzuges gedüngt werden (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2015). Diese Vorgabe wird sich insbesondere im intensiven Gemüsebau des ökologischen Landbaus nur in erschwertem Maße umsetzen lassen, da die Flächen, wie dargelegt, zum Teil bereits hohe P-Gehalte im Boden aufweisen und bisher vielfach vergleichsweise P-reiche organische Düngemittel eingesetzt wurden. Der Einsatz von Mehrnährstoffdüngern wie z.B. Stallmist, Kompost oder pflanzlichen Düngemitteln muss sich deshalb zukünftig am P-Entzug orientieren. P-arme Düngemittel und der Anbau von Futterleguminosen werden deshalb im ökologischen Gemüsebau erheblich an Relevanz gewinnen.

Die Begrenzung der Höhe der N-Düngung über Wirtschaftsdüngemittel (derzeit 170 kg N je ha und Jahr) wird erweitert unter Anrechnung aller organischen und organisch-mineralischen Düngemittel. Die maximal zulässige Zufuhr an Stickstoff aus Komposten wird auf 510 kg N je ha in 3 Jahren begrenzt. Zudem werden Sperrzeiten für die Ausbringung N-haltiger Düngemittel im Gemüsebau eingeführt. Die zulässigen Flächenbilanzüberschüsse dürfen ab 2018 im dreijährigen Mittel bei Stickstoff nur noch 60 kg je ha und Jahr, ab 2021 50 kg je ha und Jahr betragen. Zusätzliche Einschränkungen erwachsen für den ökologischen Gemüsebau auch aus der Anforderung, dass beim Anbau von vielen Gemüsekulturen bezogen auf die letzte Kultur vor dem Winter als Ergebnis des Stickstoffvergleichs nur noch unvermeidliche Verluste in Höhe von maximal 60 kg N je ha zulässig sind; aktuell liegen die Werte je nach angebaute Kultur bei 50, 80, 120 bzw. 160 kg N je ha. Diese Vorgaben schränken die bisher bestehenden Möglichkeiten der N- und P-Düngung, insbesondere die Kombination von Wirtschaftsdüngemitteln mit organischen Handelsdüngemitteln auch für den ökologischen Gemüsebau deutlich ein, da nur ein Teil der in den im ökologischen Gemüsebau eingesetzten organischen Düngemitteln enthaltenen Nährstoffe kurzfristig pflanzenverfügbar ist, jedoch der Gesamtgehalt an Nährstoffen in der Bilanz angerechnet wird. Deshalb bedarf es für den ökologischen Gemüsebau der Entwicklung neuer Düngestrategien, die gleichzeitig Ertragsleistung und Qualität der angebauten Gemüsekulturen und die Einhaltung der Vorgaben der geänderten Düngeverordnung sicherstellen. Weniger praxisrelevant für den ökologischen Gemüsebau dürfte der Umstand sein, dass eine bedarfsgerechte N-Düngung von Gemüse im Freiland nur noch bis zum 01. Dezember zulässig ist. Der frühestmögliche Termin für eine N-Düngung ist der 01. Februar. Unabhängig davon gilt ein Ausbringungsverbot für Festmist von Huf- und Klautentieren, feste Gärrückstände oder Komposte in der Zeit vom 15. November bis zum 31. Januar.

4.6 Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Gemüsebau

Aus den oben dargestellten Sachverhalten resultieren hinsichtlich des Nährstoffmanagements im ökologischen Gemüsebau eine Reihe aktuell zu bearbeitender Fragestellungen. Diese umfassen zunächst eine aktuelle Status Quo Analyse zum Grad der Versorgung mit Makro- und Mikronährstoffen in Boden und Pflanze, der Nährstoffsalden sowie zu den Gehalten an Mikronährstoffen in den im ökologischen Ge-

müsebau eingesetzten Düngemitteln. Es sind ferner Strategien zu erarbeiten, mit denen bisher vielfach vorhandenen Überschüsse bzw. Defiziten im Nährstoffflächenbilanzsaldo auch unter den Vorgaben der geänderten Düngeverordnung deutlich vermindert werden können. Hierzu ist die Entwicklung neuer Düngemittel für den ökologischen Gartenbau erforderlich, die u.a. auch spezifisch aufgearbeitete und konservierte N-reiche Futterleguminosenaufwüchse (Silagen, Trockengut, Presssäfte) umfasst. Zur verbesserten Abschätzung der Nährstofffreisetzung aus organischen Düngemitteln gilt es erweiterte bzw. neue, in der Praxis umsetzbare Kalkulationsprogramme zu entwickeln, die einen gezielteren, d.h. flächen- und kulturartspezifischen Einsatz ermöglichen, hohe Ertragsleistung und Qualität gemüsebaulicher Kulturen nach Einsatz vor allem organischer Düngemittel gewährleisten und schlagspezifisch Nährstoffbilanzsalden ausgeben. Im Rahmen des Workshops wurden die in Tabelle genannten Themenstellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im ökologischen Gemüsebau herausgestellt und priorisiert.

Tabelle 11: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im ökologischen Gemüsebau (Ergebnis des Experten-Workshop)

| | |
|--|------------------------------------|
| Entwicklung von neuen Düngungskonzepten für Gemüse- und Obstbau mit ausgewogeneren Stoffbilanzen | Rang 1, Wertung nach Punkten: 5,0 |
| Entwicklung und Erprobung organischer Handelsdünger/Silagen aus ökologischer Herkunft | Rang 2, Wertung nach Punkten: 4,9 |
| Erarbeitung der Empfehlungen zur P, K, S-Düngung im ökologischen Gemüsebau | Rang 3, Wertung nach Punkten: 4,4 |
| Sammlung und Auswertung vorhandener Grundbodenanalysen für verschiedene Öko-Betriebssysteme – Analyse der Hoftorbilanzen und Schlagbilanzen für verschiedene Betriebstypen | Rang 4, Wertung nach Punkten: 3,9 |
| Weiterentwicklung eines EDV-gestützten Rechenprogramms zur Düngungsplanung im ökologischen Gemüsebau | Rang 5, Wertung nach Punkten: 3,8 |
| Entwicklung von Szenarien für ein verändertes Düngungsmanagement in intensiven Kulturen (vegan, vegetarisch) | Rang 6, Wertung nach Punkten: 3,3 |
| Entwicklung und Bewertung von Mulchsystemen | Rang 7, Wertung nach Punkten: 3,0 |
| Einfluss Düngungssystem und einzelne organische Düngemittel auf Qualität und Qualitätsparameter | Rang 8, Wertung nach Punkten: 2,9 |
| Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Humusgehalt/anderer Parameter und Düngewirkung N-reichen Materials | Rang 9, Wertung nach Punkten: 2,8 |
| Kurzfristige N-Nachlieferung aus Stallmist und anderen organischen Düngemitteln | Rang 10, Wertung nach Punkten: 1,4 |

5 Grünlandwirtschaft

Voraussetzung für die nachhaltige Nutzung der Grünlandstandorte im norddeutschen Tiefland, in den Mittelgebirgslagen und im Voralpenraum ist eine Steigerung der ökonomischen Attraktivität der Grünlandnutzung (BMEL 2011; Michaelis 2013). Diese Aussage wurde auch im Workshop bekräftigt und gleichzeitig festgestellt, dass das ökologisch bewirtschaftete Grünland in Forschungs- und Entwicklungsvorhaben derzeit eine zu geringe Bearbeitung erfährt, ebenfalls durch das Fachforum Grünland benannt (Michaelis 2013), obwohl der Anteil Dauergrünland an der ökologisch bewirtschafteten landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland im Jahr 2013 54 % betrug (Statistisches Bundesamt 2014) und das Grünland vielfach als zentrales Bindeglied zwischen Ackerbau und Tierhaltung fungiert (Möller 2009).

5.1 Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Grünlandbewirtschaftung im ökologischen Landbau

Im Fokus bisher bewilligter Forschungs- und Entwicklungsprojekte stand die Grünlandnutzung durch Rinder. Das Grünland erfüllt als Weidefläche hohe Anforderungen an die tiergerechte Haltung. Es entstehen jedoch neue Herausforderungen für Tiergesundheit, Tierernährung und Nährstoffmanagement, welchen durch Anpassung der Bewirtschaftung und die Wahl geeigneter Tierrassen begegnet werden muss. Ziel ist es, durch innovative Nutzungsverfahren die Wertschöpfung aus der Grünlandnutzung deutlich zu erhöhen. Eine untergeordnete Rolle spielt allerdings im ökologischen Landbau das Grünland als Auslaufläche für andere Tierarten.

Aspekte des Nährstoffmanagements wurden bisher eher untergeordnet behandelt. Thematisiert wurden im Rahmen der spezifisch auf den ökologischen Landbau ausgerichteten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Grünland hingegen vorrangig (Tabelle 2):

- die Verbesserung der Nutzungssysteme der Weide und des Schnittgrünlandes zur Erzeugung qualitativ hochwertiger Raufuttermittel,
- die Entwicklung geeigneter Tierzuchtprogramme zur Leistungssteigerung (Milch, Fleisch) in Verfahren mit Weidehaltung im ökologischen Landbau,
- die Untersuchung der Umweltwirkungen (Emissionen aus der Tierhaltung) im Zuge der Beweidung

- die Evaluation geeigneter Gräser- und Kräuterarten für den Geflügelauslauf.

Tabelle 2: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Grünland im ökologischen Landbau in BÖL, BÖLN, CoreOrganic I, CoreOrganic II, CoreOrganic Plus

| Projektname | Inhalt / Ziel | Nährstoffversorgung, Düngung im Grünland |
|--|--|---|
| BÖL/BÖLN | | |
| Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffnutzung von klee- und kräuterreichen Aufwüchsen ökologisch bewirtschafteten Graslandes entlang der Produktionskette Erzeugung - Konservierung - Verdauung FKZ 02OE621 Verantw.: Isselstein et al. (2003) | Bewertung der Futterqualität und Konservierungseigenschaft von Klee gras, kräuterreicher Grünlandaufwüchse und reinem Grasbestand, Bestimmung der N-Effizienz der Verwertung durch Wiederkäuer | kein direkter Bezug zum Nährstoffmanagement erkennbar |
| Analyse und Bewertung zu Stand und Entwicklungsmöglichkeiten von Futterbau und Tierernährung im ökologischen Landbau - Themenbezogenes Netzwerk Tierernährung im ökologischen Landbau FKZ 03OE475/F Verantw.: Abel et al. (2008) | Handlungsbedarf und Lösungsansätze zur Umsetzung der geforderten 100 % Biofütterung von Rind, Schwein und Geflügel | Ergebnis des Vorhabens: Produktionspotenzial des Grünlands noch nicht ausgeschöpft; Förderung hochwertiger Futterpflanzenarten notwendig; Verbesserung der Nährstoffverwertung in Schnittgrünland und Weide gefordert |
| Systembewertung der ökologischen Tierhaltung FKZ 07OE006 Verantw.: KTBL (2008) | Fachgespräch zur Beurteilung der Tierhaltung hinsichtlich Umweltschutz, Tiergerechtigkeit, sozialer und ökonomischer Nachhaltigkeit, Diskussion von Indikatoren und zusammenfassende Systembewertung | Umweltwirkung der Grünlandnutzung in Form von Emissionen aus der Tierhaltung, keine Quantifizierung der Verluste |
| Eignung belastungsfester Pflanzenarten für die Etablierung von Grasnarben für die Geflügel-Außenhaltung FKZ 06OE202 Verantw.: Breitsameter et al. (2011) | Untersuchung verschiedener Gräser- und Kräuterarten auf ihre Eignung zur Begrünung des Legehennenauslaufs; Verhinderung von Erosion und Nährstoffaustrag durch hohes Regenrationsvermögen der Narbe; Untersuchung des Verhaltens der Legehennen im Auslauf | Identifizierung regenerationsstarker Gräserarten; keine Quantifizierung der Nährstoffausscheidungen und -verluste durch die Tiere, keine Ableitung eines geeigneten Beweidungssystems |

| Projektname | Inhalt / Ziel | Nährstoffversorgung, Düngung im Grünland |
|---|--|---|
| <p>Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Milchkühen im ökologischen Landbau interdisziplinär betrachtet – eine (Interventions-) Studie zu Stoffwechselstörungen und Eutererkrankungen unter Berücksichtigung von Grundfuttererzeugung, Fütterungsmanagement und Tierhaltung</p> <p>FKZ 07OE012 bis 022</p> <p>Verantw.: Barth et al. (2011)</p> | <p>Stoffwechsel- und Eutergesundheit von Milchkühen im ökologischen Landbau, Einfluss von Fütterung, Haltung, Nährstoffversorgung, Charakterisierung von Standorttypen und Futterbaustrategien</p> | <p>Ermittlung der Artenzusammensetzung im Grünland auf 822 repräsentativen Standorten in Deutschland, Vergleich verschiedener Etablierungsverfahren und Arten, jedoch kein direkter Bezug zum Nährstoffmanagement erkennbar</p> |
| <p>Rolle des Phosphors als Steuerungsgröße des Stickstoffertrages und der Phytodiversität ökologisch bewirtschafteter Dauergrünlandbestände, in Bearbeitung</p> <p>FKZ 12OE008</p> <p>Verantw.: Müller (2013 bis 2016)</p> | <p>Einfluss der Phosphorversorgung auf die Artenzusammensetzung (insbes. Futterleguminosen) von ökologisch bewirtschafteten Grünland (Salzgrasland, Niedermoorgrünland, Moränengrünland), Ableitung von Schwellenwerten der P-Versorgung, Test alternativer P-Dünger in Exaktversuchen</p> | <p>Einfluss der P-Versorgung auf den Ertrag und die N₂-Fixierung von Futterleguminosen im Grünland, Untersuchung von P-Düngemitteln im Grünland</p> |
| <p>Ökonomische Evaluierung züchterischer Strategien in Weideproduktionssystemen zur Verbesserung der Tiergesundheit und des Tierwohlbefindens, in Bearbeitung</p> <p>FKZ 12NA035</p> <p>Verantw.: König (2013 bis 2016)</p> | <p>Erfassung neuer funktionaler Merkmale und Erstellung eines Gesamtzuchtwert Weide, Ermittlung ökonomischer Schwachstellen von Betrieben mit Weidegang bei Milchkühen</p> | <p>kein direkter Bezug zum Nährstoffmanagement erkennbar</p> |
| <p>Analyse und Optimierung der Beziehung zwischen Grünland, Tiergesundheit und Tierzucht bei Mutterkuhherden, in Bearbeitung</p> <p>FKZ 12NA042, FKZ 11NA127</p> <p>Verantw.: Gillandt et al. (2014 bis 2017)</p> | <p>Optimierung der Grünlandnutzung hinsichtlich der Tiergesundheit von Mutterkühen, Optimierung ökonomischer und ökologischer Faktoren, Ableitung geeigneter Zuchtprogramme</p> | <p>Steigerung der Wertschöpfung von Weidehaltungsverfahren, Optimierung der Nutzung, jedoch kein direkter Bezug zum Nährstoffmanagement erkennbar</p> |

| Projektname | Inhalt / Ziel | Nährstoffversorgung, Düngung im Grünland |
|---|--|---|
| Potenziale der teilflächenspezifischen Kalkversorgung von Grünland, in Bearbeitung FKZ 12NA031, 12NA116 Verantw.: Kramer und Gebbers (2014 bis 2017) | Erfassung kleinräumlicher Variation des pH-Wert in Grünlandböden ökologischer Betriebe in Brandenburg mit Hilfe eines Sensors, Anwendung und Validierung des Verfahrens, Ableitung von Empfehlungen zur teilflächenspezifischen Kalkung, ökonomische Bewertung, Untersuchung des Zusammenhang von pH-Wert und Artenzusammensetzung | Räumliche Schwankungen des pH-Werts in Grünlandböden, Zusammenhang Pflanzenart und pH-Wert im Boden |
| Ökonomische, ökologische und Tierwohlaspekte der Weidehaltung von Hochleistungskühen, in Bearbeitung FKZ 12NA009 Verantw.: Hüttel (2013 bis 2017) | Untersuchung der Weidehaltung von hochleistenden Milchkühen im ökologischen Landbau auf Betrieben unterschiedlicher Größe und Standorte, (Boden-) ökologische und ökonomische Auswirkungen | Auswirkungen der Beweidung auf bodenökologische Parameter (u.a. Nährstoffgehalte) |
| Core Organic I/II | | |
| Improving health in native dual-purpose cattle (2-org-cows), in Bearbeitung Verantw.: König (2015 bis 2018) | Charakterisierung weidebasierter Produktionssysteme, Optimierung des Zuchtprogramm und des Betriebsmanagements für Zweinutzungskühe | Charakterisierung der Weidesystemen, kein direkter Bezug zum Nährstoffmanagement erkennbar |
| Improving animal health and welfare in organic cattle milk production through breeding and management, in Bearbeitung Verantw.: Sorensen (2015 bis 2018) | Verbesserung des Gesundheitszustandes, Entwicklung von Management- und Zuchtstrategien zur Gesundheitsvorsorge, Entwicklung weidebasierter Produktionssysteme zur Vorbeugung von Stoffwechsel- und Eutererkrankungen | Optimierung der Weidesysteme, kein direkter Bezug zum Nährstoffmanagement erkennbar |

5.2 Nährstoffbilanz und Nährstoffversorgung im Boden

Die Nährstoffversorgung von ökologisch bewirtschafteten Grünlandböden, untersucht in Sachsen und Nordrhein-Westfalen, wies für Phosphor und Kalium im Mittel der Betriebe Defizite auf und zeigte abnehmende Tendenzen (Tabelle), welche in Verbindung mit nicht ausgeglichenen betrieblichen Nährstoffbilanzen zu setzen sind (Watson et al. 2002b; Bengtsson et al. 2003; Berry et al. 2003; Leisen 2013a; Schmidtke et al. 2016).

Tabelle 13: Prozentualer Anteil ökologisch bewirtschafteter Grünlandschläge hinsichtlich der Versorgungsklasse pH-Wert im Boden und Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden in Sachsen und NRW (Leisen 2013a; Schmidtke et al. 2016)

| Gehaltsklasse (%) | Schmidtke et al. (2016) | | | | Leisen (2013b) | | | |
|-------------------|-------------------------|----|----|----|----------------|----|----|----|
| | pH | P | K | Mg | pH | P | K | Mg |
| A | 4 | 44 | 4 | 1 | 17 | 3 | 0 | 0 |
| B | 28 | 25 | 32 | 1 | 52 | 20 | 11 | 3 |
| C | 32 | 11 | 29 | 2 | 30 | 58 | 60 | 24 |
| D | 33 | 9 | 22 | 20 | 2 | 18 | 28 | 41 |
| E | 3 | 11 | 13 | 76 | 1 | 1 | 1 | 32 |

Der N-Flächenbilanzsaldo kann durch die im Grünland wachsenden Leguminosen und durch Maßnahmen zur Förderung des Leguminosenwachstums ausgeglichen werden, allerdings nur bei ausreichendem Anteil und Ertragsleistung der Leguminosen im Bestand. Für Phosphor und Kalium erreichen jedoch lediglich Betriebe, die Nährstoffe in Form von Düngemitteln (auch Biogassubstrate), Einstreu oder Futtermitteln importieren, ausgeglichene Betriebsbilanzen (Watson et al. 2002b; Berry et al. 2003). Innerbetriebliche Nährstoffflüsse in Gemischtbetrieben führen häufig zu einer systematischen Verbringung der Nährstoffvorräte aus Grünlandböden zum Ackerland. Der Nährstoffexport resultiert aus einer unzureichenden Rückführung der im Schnittgut abgeführten Nährstoffe. Werden Nährstoffe durch Wirtschaftsdünger zum Grünland zurückgeführt, so weicht die Nährstoffzusammensetzung bei P und K häufig vom Entzug durch das Schnittgut ab, da im Wirtschaftsdünger eine Vermischung mit anderen Nährstoffquellen erfolgt (Möller 2009).

Obwohl die ganzjährige, tiefe und intensive Durchwurzelung von Grünlandnarben die Nährstoffaufnahme begünstigt, ist in der Regel bei abnehmenden Nährstoffgehalten im Boden auch im Grünland mit einem Ertragsrückgang zu rechnen (Greiner et al. 2015). Zudem beeinflussen geringe Gehalte an pflanzenverfügbaren P und K die Artenzusammensetzung im Grünland zu Gunsten von Gräsern und zu Lasten der Kräuter und Leguminosen. Der Ertragsanteil von Leguminosen sinkt, sodass mit dem Rückgang der N₂-Fixierleistung je Flächeneinheit zu rechnen ist (Römer und Lehne 2004) und damit die N-Versorgung auf Schlag- und Betriebsebene sinkt. Zugleich ist mit dem Absinken der Protein- und Mineralstoffgehalte im Futter zu rechnen.

Die Integration des Grünlands in den Nährstoffkreislauf des Betriebes bietet andererseits im ökologischen Landbau die Chance, Nährstoffe durch die intensive Durchwurzelung und den ganzjährigen Bewuchs im Grünland zu mobilisieren und im Grünland mobilisierte Nährstoffe für Ackerflächen nutzbar zu machen, sofern hierdurch auch die Nährstoff-Flächenbilanzensalden im Grün- und Ackerland ausgeglichen werden. Es besteht durch eine gezielte Integration des Grünlandes zudem die Möglichkeit, schwer lösliche P- Düngemittel im Grünland einzusetzen, die durch die intensiven Umsetzungsprozesse in Grünlandböden pflanzenverfügbar werden. Ohm et al. (2015) berechneten für einen Milchviehbetrieb in Norddeutschland eine innerbetriebliche Phosphorverteilung vom Grünland zum Ackerland von jährlich insgesamt 64 kg P über Wirtschaftsdüngemittel. Dem Grünland wurde dementsprechend 1,18 kg P ha und Jahr entzogen, wobei eine Nutzung über Milchrinder erfolgte.

Bezüglich der Nährstoffbilanzierung, welche als Grundlage der Düngebemessung dienen kann, bestehen für ökologisch bewirtschaftete Grünlandflächen erhebliche Unsicherheiten. Die Methode bedarf der Verfeinerung sowie der Anpassung an verschiedene Standorte (Öborn et al. 2005). Durch die Untersuchung und Modellierung von Mineralisierung und Immobilisierungprozessen von Nährstoffen im Boden könnten allerdings Vorhersagen zur Nährstoffverfügbarkeit im Grünland getroffen werden (Ledgard 2001; Öborn et al. 2005).

5.3 Kalium

Kaliumflüsse in Grünlandnutzungssystemen wurden wissenschaftlich bisher nur wenig betrachtet, obwohl Kalium im Grünland von den Pflanzen in großen Mengen aufgenommen wird (z.T. deutlich mehr als 100 kg je ha und Jahr) und eng mit der Stickstoffaufnahme verbunden ist (Kayser und Isselstein 2005). Um einer Unter- bzw. Überversorgung vorzubeugen, ist es notwendig, die Rolle des Kaliums in grünlandbasierten Systemen genauer zu untersuchen und Umsetzungsprozesse im Boden wie auch den Bedarf im Pflanzenbau und der Tierernährung gleichermaßen zu berücksichtigen. Das Verständnis zur Nährstoffdynamik und den zeitlichen wie räumlichen Schwankungen der Kaliumverfügbarkeit muss im Hinblick auf eine Optimierung der Grünlandnutzung verbessert werden. Insbesondere die Interaktion von Kalium und Stickstoff bedarf hier eine genaueren Untersuchung unter Bewirtschaftungs-

bedingungen des ökologischen Landbaus. Zur Interaktion zwischen K und anderen Kationen (Ca oder Mg) sowie Mikronährstoffen im Grünland liegen nach Kayser und Isselstein (2005) bisher kaum Erkenntnisse vor. Um Verluste an Kalium zu vermeiden, sind die K-Adsorption sowie die K-Nachlieferung aus Verwitterung genauer zu untersuchen und in der Bilanzierung zu berücksichtigen. K-Recycling aus Siedlungsabfällen in Grünlandnutzungssystemen ist zudem kaum entwickelt (Öborn et al. 2005).

5.4 Symbiotische N₂-Fixierung

Eine Herausforderung stellt die Steuerung des optimalen Leguminosenanteils in Grünlandbeständen dar (Koopmans et al. 2013; Loges 2013). Barth et al. (2011) ermittelten auf 822 ökologisch bewirtschafteter Grünlandschlägen aller bedeutenden Grünlandstandorte Deutschlands, dass zum Aufnahmezeitpunkt im Frühjahr 50 % der untersuchten Flächen einen Anteil wertvoller Leguminosen von weniger als 5 % aufwiesen. Hingegen wurde lediglich auf 3 % der Flächen ein empfohlener Leguminosenanteil von 25 bis 39 % erreicht.

Limitierungen des Leguminosenanteils und der symbiotischen N₂-Fixierung im Grünland entstehen insbesondere durch mangelnde Nährstoffverfügbarkeit (insbesondere P), zu niedrige pH-Werte des Bodens, eine geringe Konkurrenzfähigkeit gegenüber Gräsern (insbesondere bei hohem N_{min}-Angebot im Boden) und mit Ausnahme des Weißklee eine zu geringen Weideverträglichkeit vieler Leguminosenarten (Ledgard 2001). Um den Leguminosenanteil und die Ertragsleistung der Leguminosen im Grünland zu steuern, werden für extensiv genutzte Standorte Leguminosen benötigt, welche suboptimale Bodenverhältnisse (Menge an pflanzenverfügbarem P, zu niedrige bzw. hohe pH-Werte im Boden) tolerieren und eine lange Persistenz aufweisen. Auf intensiv bewirtschafteten Weiden sind Leguminosen gefragt, die Tritt und Biss der Weidetiere tolerieren und auch bei hohen N_{min}-Vorräten im Boden konkurrenzfähig sind. Ansätze zur Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit von Leguminosen sind die Selektion auf metabolische Effizienz der symbiotischen N₂-Fixierung und die Fähigkeit, bei punktuell hohen N_{min}-Vorrat des Bodens gegenüber Gräsern konkurrenzfähig zu bleiben, indem kurzfristig Boden-N aufgenommen wird (Ledgard 2001) sowie Sorten, die Nischen komplementär nutzen (Lüscher et al. 2014). Hierzu sind spezifische Untersuchungen zur Auswahl der Begleitgrasart, geeigneten Etablie-

rungsverfahren und zur gezielten Ausbringung von Wirtschaftsdüngemitteln (Loges 2013) sowie zur Anpassung des Schnittregimes notwendig. Ein grundlegendes Problem ist jedoch, dass noch keine praktikablen Mess- bzw. Schätzverfahren existieren, um den Ertragsanteil der Leguminosen und die Höhe der symbiotischen N₂-Fixierung der Leguminosen im Grünland zuverlässig in der Fläche zu ermitteln (Hülsbergen 2015 mdl. im Workshop).

Ledgard (2001) wies darauf hin, dass die kontinuierliche N-Mineralisierung aus Pflanzenresten kurzfristige Schwankungen des Leguminosenanteils und der symbiotischen N₂-Fixierung ausgleichen können und starke Ertragsschwankungen des Grünlandbestandes somit verhindert. Detaillierte Angaben zur Höhe der N-Mineralisierung aus Wurzel und Sprossmasse von Leguminosen fehlen jedoch und könnten mit Hilfe einer ¹⁵N-/¹³C-Markierung untersucht werden.

5.5 Besonderheiten der Beweidung

Die Weidehaltung von Wiederkäuern (sowie Auslauf für alle anderen Tierarten) ist ein elementarer Bestandteil dessen, wodurch sich der ökologische Landbau definiert. Bei Beweidung von Grünland werden nur sehr geringe Nährstoffmengen durch Milch und Fleisch exportiert. Der Anteil Nährstoffe, der von Rindern in Harn und Dung wieder ausgeschieden werden, beträgt 75 bis 95 % bei N, 60 bis 90 % bei P, 90 % bei K, 92 % bei Mg, 80 % bei Ca und 60 bis 90 % bei Na. Zu den Mikronährstoffen liegen Schätzungen zum Anteil vor (Whitehead 2000). Paulsen und Ohm (2015) schätzten, dass in der Beweidung mit Milchkühen 55 % der durch Weidefutter aufgenommenen P-Mengen auf der Fläche ausgeschieden wurden. Je Hektar Grünlandfläche wurden bei ökologischer Bewirtschaftung nach Angaben von Paulsen und Ohm (2015) 8,62 kg P je ha und Jahr durch Milch und Fleisch abgeführt, wobei ein betrieblicher Viehbesatz von 1,2 bis 1,4 GV ha⁻¹ und ein Ackeranteil von 55 % im Betrieb vorhanden war. Diese Untersuchung belegt, dass bei intensiver Grünlandnutzung über Milch und Fleischexporte erhebliche Mengen an Phosphor exportiert werden, die es durch Einsatz systemkonformer Düngemittel bzw. Zufuhr an Futtermitteln zu substituieren gilt.

Schmidtke et al. (2016) zeigten, dass Grünlandschläge im ökologischen Landbau in Sachsen, welche ausschließlich beweidet wurden, höhere Nährstoffgehalte an P, K und Mg im Boden aufwiesen als der Durchschnitt aus Schnittgrünland, Weideland

und Mähweide. Durch die Ausscheidungen der Tiere sind jedoch punktweise hohe Nährstoffakkumulationen verbunden, die den pflanzlichen Bedarf um ein vielfaches übertreffen können. Zudem werden durch die Bewegungsmuster der Tiere Nährstoffe innerhalb der Weide räumlich verlagert (Ledgard 2001; Kayser und Isselstein 2005). Die Höhe der verlagerten Nährstoffe übertrifft u.U. auch die Verluste durch Auswaschung, Denitrifikation und Verflüchtigung (Ledgard 2001).

Forschungsfragen bestehen hier vor allem hinsichtlich der optimalen Artenzusammensetzung der Grünlandbestände, um hohe Futtererträge mit optimalen Energie/Eiweiß-Verhältnis zu erhalten, welche die N-Effizienz der tierischen Produktion verbessern, und gleichzeitig eine hohe legume N₂-Fixierleistungen aufrecht erhalten. Es besteht zudem Forschungsbedarf zum Einfluss der intensiven Beweidung im Frühjahr und Sommer auf das Wachstum und die Zusammensetzung der Leguminosen im Wirtschaftsgrünland (Ledgard 2001).

5.6 Mikronährstoffe

Zur Mikronährstoffversorgung ökologisch bewirtschafteten Grünlands liegen nur wenige Angaben vor. Schmidtke et al. (2012) ermittelten die pflanzenverfügbaren Gehalte an Cu, Mn, Zn, B und Mo in Grünlandböden von 30 Betrieben in Sachsen. Die Werte wiesen starke Differenzen innerhalb eines Betriebes und zwischen den Betrieben auf. Zu den Arten des Grünlands liegen für den ökologischen Landbau keine systematischen Daten zu Mikronährstoffgehalten vor. Im Rahmen der Fütterung werden zur Deckung des Mikronährstoffbedarfs der Tiere Mikronährstoffgehalte des Grünlandaufwuchses analysiert. Für wichtige Grünlandarten zeigen z.B. Daten von Søgaard et al. (2010) starke Variationen innerhalb der Futterleguminosen und Gräser im konventionellen Anbau. Im Rahmen von Hoftor- und Stallbilanzen wurde gezeigt, dass der Import von Futtermitteln in der ökologischen Landwirtschaft zu positiven Bilanzsalden führt. Die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern im Grünland trägt somit entscheidend zur Mikronährstoffversorgung der Böden bei (Bengtsson et al. 2003; Govasmark et al. 2005; Gustafson et al. 2007).

5.7 Forschungsbedarf

Hinsichtlich der Optimierung des Nährstoffmanagements im ökologisch bewirtschafteten Grünland lassen sich spezifische Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ableiten: Hierzu zählen vor allem

- die Verbesserung der Methoden zur Nährstoffbilanzierung und die Ableitung von Düngeempfehlungen unter Einbeziehung von Pflanzen- bzw. Bodenanalysen,
- die Erstellung von Analyse- und Entscheidungshilfen zur Bestimmung und Verbesserung des Leguminosenanteils im Grünlandbestand sowie die Kalkulation der symbiotischen N₂-Fixierung der im Grünland vorhandenen Leguminosen,
- die Einflussfaktoren auf den Anteil Leguminosen im Bestand und deren Steuerungsmöglichkeit durch Bewirtschaftungsmaßnahmen,
- die Selektion und Zucht standortangepasster, konkurrenzstarker und nährstoffeffizienter Futterleguminosenarten für das Wirtschaftsgrünland,
- die Untersuchung und Modellierung der Mineralisierung und Immobilisierung von Nährstoffen in Grünlandböden,
- Spezifika der Beweidung im Hinblick auf dessen Einfluss auf Nährstoffflüsse und Optimierung des Weidemanagements,
- die Quantifizierung der K-Freisetzung aus dem Boden bzw. bodenbildenden Gestein unter Grünland,
- die Untersuchung der Interaktion der Nährstoffe im Boden (insbesondere K, Mg, Ca sowie Mikronährstoffe) im Hinblick auf eine bedarfsgerechte Versorgung von Grünlandbeständen und
- der Einfluss der Bewirtschaftung (Düngung, Schnitt, Beweidung) auf die Kalium-Gehalte im Schnittgut bzw. im Weidefutter.

Einen zentralen Themenkomplex stellt auch die Frage dar, wie ein Nährstoffmangel, der auf vielen ökologisch bewirtschafteten Grünlandflächen vorliegt, kurzfristig im Hinblick auch eine Steigerung von Ertrag und Qualität im Grünland behoben werden kann und welche Düngemittel hierzu im ökologischen Landbau eine effiziente Wirkung im Grünland entfalten. Bei den häufig im ökologischen Landbau anfallenden festen Wirtschaftsdüngemitteln besteht darüber hinaus Forschungsbedarf, wie Nährstoffverluste vermindert werden können, obwohl diese Düngemittel nicht eingearbeitet werden können. Im Verlauf des Experten-Workshops wurden die in (Tabelle 14) angegebenen Fragestellungen genannt und einer Priorisierung zugeführt.

Tabelle 3: Priorisierung der Fragestellungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Nährstoffmanagement im ökologischen bewirtschafteten Grünland (Ergebnis des Experten-Workshop)

| | |
|--|------------------------------------|
| Co-Limitierungen des Wachstums von Hauptbestandbildnern auf verschiedenen Grünlandtypen identifizieren | Rang 1, Wertung nach Punkten: 5,2 |
| Untersuchung zur Nährstoffeffizienz (apparente Nährstoffausnutzung, nicht nur auf N beschränkt) auf verschiedenen Skalenebenen des Futterbaubetriebs (Fläche, Betriebszweig, Betrieb) und Ermittlung von Ursachen räumlicher und zeitlicher Variabilität | Rang 2, Wertung nach Punkten: 4,7 |
| Entwicklung von Beratungskonzepten der Grünlandbewirtschaftung für verschiedene Betriebstypen des ökologischen Landbaus | Rang 3, Wertung nach Punkten: 4,6 |
| Nutzung und Weiterentwicklung von Modellen zur Kalkulation von Nährstoffdepots und deren Verfügbarkeit in Abhängigkeit von Standort, Vegetationstyp und Witterung | Rang 4, Wertung nach Punkten: 3,4 |
| Untersuchung zur Nährstoffmobilisierung über das Grünland | Rang 5, Wertung nach Punkten: 3,2 |
| Erhöhung der Nährstoffentzüge auf den zur Sommertrockenheit neigenden Grünlandstandorten durch Förderung/Nachsaat trockenheitstoleranter Futterpflanzen | Rang 6, Wertung nach Punkten: 3,2 |
| Entwicklung und Erprobung alternativer P-Quellen zur Deckung des P-Bedarfes im ökologisch bewirtschafteten Grünland | Rang 7, Wertung nach Punkten 3,2 |
| Erstellung von Beratungsgrundlagen für die Silierung kräuterreicher Grünlandbestände bzw. blühreicher Ansaatmischungen | Rang 7, Wertung nach Punkten: 2,3 |
| Strategien zur Beendigung der derzeit noch häufig in der ökologischen Bewirtschaftung des Grünlandes praktizierten Exhaustierungswirtschaft | Rang 9, Wertung nach Punkten: 2,3 |
| Nutzung von Nichtfutterpflanzen (Blümmischungen, Remediationsbestände) zu Düngungszwecken | Rang 10, Wertung nach Punkten: 1,7 |

6 Kontrolle

Zum Abschluss des Workshops in Dresden wurden noch Fragen des Kontrollwesens im ökologischen Landbau im Hinblick auf das Nährstoffmanagement diskutiert. Hierbei schälten sich drei Bereiche heraus, für die Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht:

1. Entwicklung eines praxistauglichen Instruments zur Bewertung der guten fachlichen Praxis für Öko-Inspektoren inklusive einer Definition der akzeptablen Gehaltstufen für Nährstoffe und pH-Wert im Boden und die Definition der Voraussetzungen für den Einsatz von betriebsfremder Biogasgülle.
2. Erstellung eines einheitlichen, praxistauglichen Bewertungsschemas zur Zulassung von Düngemitteln im ökologischen Landbau (z.B. P-Recyclingdüngemittel, Festlegung von objektiv messbaren Prüfkriterien mit Wirkung auf Pflanzenernährung, Düngung, Bodenfruchtbarkeit) für die Öko-Kontrolle. So werden Düngemittel in der Zulassung derzeit nicht systematisch beurteilt z.B. hinsichtlich Schadstoffbelastung durch Schwermetalle oder Krankheitserreger.
3. Erarbeitung einer praktikablen Handlungsanweisung für Feldversuche im ökologischen Landbau mit Düngemitteln, die über keine Zulassung im ökologischen Landbau verfügen (Prüfung neuartiger Düngemittel, Einsatz im konventionellen Landbau zugelassener Düngemittel zur Ermittlung von Nährstoffwirkungen)

Herausgestellt wurde zudem in der Diskussion, dass es auch für die Arbeit der Kontrollstellen und -behörden eines breit abgestimmten Memorandums zur Düngung und Pflanzenernährung im ökologischen Landbau, insbesondere auch für den Anbau von Intensivkulturen, bedarf.

7 Literaturverzeichnis

- Abel, H. J.; Isselstein, J.; Brinkmann, G.; Pekrun, C.; Röver, K-U; Körber-Golze, B. (2008): Analyse und Bewertung zu Stand und Entwicklungsmöglichkeiten von Futterbau und Tierernährung im ökologischen Landbau - Themenbezogenes Netzwerk Tierernährung im Ökologischen Landbau. Abschlussbericht des BÖL-Vorhaben 2803OE475/F, <http://orgprints.org/13621/>.
- Adam, C.; Peplinski, B.; Kley, G.; Kratz, S.; Schick, J.; Schnug, E. (2008): Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen – Ergebnisse aus dem EU-Projekt SUSAN. *Österr Wasser- und Abfallw* 60 (3-4), 55–64.
- Albert, E.; Förster, F.; Ernst, H. Kolbe, H.; Dittrich, B.; Laber, H.; Handschak, M. et al. (2007): Umsetzung der Düngeverordnung. Hinweise und Richtwerte für die Praxis. *Schriftenreihe des LFULG*.
- Alexander, A.; Gondolf, N.; Orlovius, K.; Paeffgen, S.; Trott, H.; Wissemeier, A. H. (2013): Mikronährstoffe in der Landwirtschaft und im Gartenbau. Bedeutung - Mangelsymptome - Düngung. Industrieverband Agrar, Frankfurt a.M., 2. Aufl.
- Altieri, M. A. (1999): The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 19–31.
- Amelung, W. (2016): Nachhaltiges Unterbodenmanagement ("Soil3"). Projektbeschreibung 2015-2018. <http://www.bonares.de/portfolio/soil3/>.
- Askegaard, M.; Eriksen, J.; Olesen, J. E. (2003): Exchangeable potassium and potassium balances in organic crop rotations on a coarse sand. *soil use manage* 19 (2), 96–103.
- Baab, G. (2014): Innovative Kulturmaßnahmen zur Förderung der Bodengesundheit im ökologischen Obstbau "BIO INCROP". Projektbeschreibung zum BÖLN-Vorhaben 2810OE010. <http://orgprints.org/20527/>.
- Bachinger, J.; Bellon, S. (2013): Poor soil fertility: Crop rotation. In: Eip Agri Focus Group Organic Farming (Hg.): Mini Papers written by the experts. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/fg1_organic_farming_minipapers_2013_en.pdf, 8–12.
- Bachinger, J.; Fischer, H.; Stange, G. (2007): Neue Anbaustrategien zur Erhöhung der N-Effizienz und zur Reduzierung des Unkrautdruckes im ökologischen Landbau. Abschlussbericht des BÖL Vorhabens 2803OE180, <http://orgprints.org/15170/>.
- Baresel, J.; Reents, H. J. (2006): Lebendmulchsysteme mit einjährigen Leguminosen. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2803OE099. <http://orgprints.org/15762/>.

- Barker, A. V.; Pilbeam, D. J. (Hg.) (2007): Handbook of plant nutrition. CRC/Taylor & Francis, Boca Raton, FL.
- Barth, K.; Brinkmann, J.; March, S. (Hg.) (2011): Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Milchkühen im ökologischen Landbau interdisziplinär betrachtet – eine (Interventions-) Studie zu Stoffwechselstörungen und Eutererkrankungen unter Berücksichtigung von Grundfuttererzeugung, Fütterungsmanagement und Tierhaltung. Abschlussbericht des BÖLN-Vorhaben 2807OE012-022. Unter Mitarbeit von K. Aulrich, K. Barth, H. Böhm, J. Brinkmann, J. Isselstein, E. Leisen et al., <http://orgprints.org/25133/>.
- Beck, A.; Cuocq, E.; Häring, A. M.; Kahl, J.; Koopmans, C.; Micheloni, C. et al. (2014): Strategic Research and Innovation agenda for organic food and farming. http://www.ifoam-eu.org/sites/default/files/ifoameu_ri_strategic_research_and_innovation_agenda_for_organic_food_and_farming_brochure_20150129.pdf, zuletzt aktualisiert am 20.03.2016.
- Becker, K.; Riffel, A.; Leithold, G. (2015): Sicherung des Ertragspotentials von Luzerne-Klee-grasbeständen durch Verbesserung des aktuellen Schwefelversorgungszustandes ökologisch bewirtschafteter Flächen - Situation und Bedeutung unter Praxisbedingungen. Abschlussbericht des BÖLN-Vorhaben 2810OE104, <http://orgprints.org/29689/>.
- Bekele, T.; Cino, B. J.; Ehlert, P. A. I.; Van der Maas, A. A.; van Diest, A. (1983): An evaluation of plant-borne factors promoting the solubilization of alkaline rock phosphates. *Plant Soil* 75 (3), 217–227.
- Belau, T.; Braig, M.; Buck, H.; Fröba, N.; Klöble, U.; Laber, H. et al. (2013): Ökologischer Feldgemüsebau. Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationen (KTBL-Datensammlung). Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- Bengtsson, H.; Öborn, I.; Jonsson, S.; Nilsson, I.; Andersson, A. (2003): Field balances of some mineral nutrients and trace elements in organic and conventional dairy farming—a case study at Öjebyn, Sweden. *European Journal of Agronomy* 20 (1-2), 101–116.
- Bergström, L.; Bowman, B. T.; Sims, J. T. (2005): Definition of sustainable and unsustainable issues in nutrient management of modern agriculture. *soil use manage* 21 (1), 76–81.
- Berry, P. M.; Stockdale, E. A.; Sylvester-Bradley, R.; Philipps, L.; Smith, K. A.; Lord, E. I. et al. (2003): N, P and K budgets for crop rotations on nine organic farms in the UK. *soil use manage* 19 (2), 112–118.

- Berry, P. M.; Sylvester-Bradley, R.; Philipps, L.; Hatch, D. J.; Cuttle, S. P.; Rayns, F. W.; Gosling, P. (2002): Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *soil use manage* 18 (3), 248–255.
- Bioland e.V. (Hg.) (2013): Bioland-Richtlinien. Fassung vom 26. November 2013, Mainz.
- Blank, B.; Paulsen, H.-M.; Kassow, A.; Rahmann, G.; Aulrich, K. (2011): Zusammensetzung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe im Rahmen des Projekts Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen. In: C. Brock, K.-P. Wilbois, K. Becker, S. A. Fischinger, A.-K. Spiegel, K. Spory et al. (Hg.): Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis - Ergebnisse der Dialogworkshops bei der 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau (15.-17.März 2011 in Giessen). Gießen, 15.-17.03.2011. 2 Bände, Berlin. Köster, 199–202.
- Blume, H.-P.; Brümmer, G. W.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I.; Kretzschmar, R. et al. (2010): Scheffer / Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 16. Auflage.
- BMEL (2011): Forschungs- und Innovationsbedarf Nutztiere. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Tier/Konzept_Innovationsbedarf_Nutztiere.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 23.11.2015.
- Böhm, H. (2009): Körnerleguminosen – Stand des Wissens sowie zukünftiger Forschungsbedarf aus Sicht des Ökologischen Landbaus. *Journal für Kulturpflanzen* 61 (9), 324–331.
- Brandt, M.; Heß, J.; Finckh, M. R.; Jörgensen, R. G.; Kölsch, E.; Saucke, H. et al. (2003): Nicht wendendes Bodenbearbeitungssystem im Ökologischen Landbau - Dammkultursystem "Turiel". Abschlussbericht des BÖL Vorhabens 2802OE525, <http://orgprints.org/1266/>.
- Breitsameter, L.; Wedemeyer-Kremer, B.; Isselstein, J. (2011): Eignung belastungsfester Pflanzenarten für die Etablierung von Grasnarben für die Geflügel-Außenhaltung. Abschlussbericht zum BÖLN-Vorhaben 2806OE202, <http://orgprints.org/19513/>.
- Brock, C.; Franko, Uwe; Oberholzer, H.-R.; Kuka, K.; Leithold, G.; Kolbe, H.; Reinhold, J. (2013): Humus balancing in Central Europe-concepts, state of the art, and further challenges. *J Plant Nutr Soil Sci* 176 (1), 3–11.
- Brock, C.; Hoyer, U.; Leithold, G.; Hülsbergen, K.-J. (2008): Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Abschlussbericht der BÖL-Vorhaben 2803OE084/1 und 03OE084/2, <http://orgprints.org/16447/>.

- Brock, C.; Möller, D. (2016): Sicherung der Humusversorgung mit Grün- und Strohdüngung (HumuGS) - Ökonomische Bewertung von Managementstrategien (HumuGSEcon). Projektbeschreibung der BÖLN-Vorhaben 2811NA061 und 2811NA094. <http://orgprints.org/22911/>.
- Brown, P. E.; Gwinn, A. R. (1917): Effect of sulfur and manure on availability of rock phosphate in soil. *Agricultural Experiment Station Iowa State College Of Agriculture And Mechanic Arts Bulletin* 43, 367–389.
- Brüggemann, N. (2016): Erhöhung der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzungseffizienz durch Optimierung von Pflanze-Boden-Mikroorganismen-Wechselwirkungen ("INPLAM-INT"). Projektbeschreibung 2015-2018. <http://www.bonares.de/portfolio/inplamint/>.
- Bund ökologische Lebensmittelwirtschaft (BÖLW) (Hg.) (2009): Forschungsideen - Was der Ökolandbau wissen will. <http://boelwforschung.fiblprojekt.de/index.php>, zuletzt geprüft am 31.10.2015.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2015): Verordnungsentwurf Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen, vom 16.12.2015.
- Bünemann, E. K. (2015): Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus – A review. *Soil Biology and Biochemistry* 89, 82–98.
- Burgt, G. J. van der; Scholberg, G. J.; Koopmans, C. (2011): Developing novel farming systems: effective use of nutrients from cover crops in intensive Organic Farming. In: D. Neuhoff und et al. (Hg.): *Organic is Life - Knowledge for Tomorrow*. Proceedings of the Third Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research (ISOFAR). Vol. 1 Organic Crop Production. Namyangju, Korea, 32–35.
- Butz, A.; Urbatzka, P.; Mastel, K. (2016): Optimierung des Anbaus von Sojabohnen: Bestimmung des Vorfruchtwertes und der N₂-Fixierleistung sowie Reduzierung der Bodenbearbeitung. Projektbeschreibung der EPS-Vorhaben 2814EPS019 und 14EPS020. <http://orgprints.org/28766/>.
- Cabeza, R.; Steingrobe, B.; Römer, W.; Claassen, N. (2011): Effectiveness of recycled P products as P fertilizers, as evaluated in pot experiments. *Nutr Cycl Agroecosyst* 91 (2), 173–184.
- Canali, S. (2015): Enhancing multifunctional benefits of cover crops - vegetables intercropping (InterVeg). Projektbeschreibung des CoreOrganic II-Vorhabens "InterVeg".
- Canali, S. (2016): Improving soil conservation and resource use in organic cropping systems for vegetable production through introduction and management of Agro-ecological

- Service Crops (SoilVeg). Projektbeschreibung des CoreOrganic Plus-Vorhabens "SoilVeg". <http://coreorganicplus.org/research-projects/soilveg/>.
- Chien, S. H.; Menon, R. G. (1995): Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fertilizer Research* 41 (1), 227–234.
- Coester, M.; Kasten, J. (1999): Grüngutkompost oder Grünguthäcksel? Vergleichende Betrachtung zwischen den ökologisch und ökonomisch günstigen Verwertungswegen von Grüngutabfällen im ländlichen Raum. *Müll und abfall* 31 (1), 22–28.
- Connor, D. J. (2013): Organically grown crops do not a cropping system make and nor can organic agriculture nearly feed the world. *Field Crops Research* 144, 145–147.
- Cuijpers, W. J. M.; Burgt, G. J. van der; Voogt, W. (2008): Nitrogen balances in Dutch organic greenhouse production. 6 th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16-20, 2008.
- DAFA (Hg.) (2012): Fachforum Leguminosen: Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft – Ökosystemleistungen von Leguminosen wettbewerbsfähig machen. Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. Unter Mitarbeit von H. Wiggering, M. R. Finckh, J. Heß, P. Wehling und T. Michaelis. http://www.dafa.de/fileadmin/dam_uploads/images/Fachforen/ff_leguminosen-de_2012.pdf.
- Damon, P. M.; Bowden, B.; Rose, T.; Rengel, Zed (2014): Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils. A review. *Soil Biology and Biochemistry* 74, 127–137.
- Datnoff, L. E.; Elmer, Wade H.; Huber, D. M. (Hg.) (2007): Mineral nutrition and plant disease. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota.
- de Ponti, Tomek; Rijk, B.; van Ittersum, M. K. (2012): The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108, 1–9.
- Deittert, C.; Müller-Lindenlauf, M.; Athmann, M.; Köpke, U. (2008): Ökobilanz und Wirtschaftlichkeit ökologisch wirtschaftender Milchviehbetriebe mit unterschiedlicher Fütterungsintensität und Produktionsstruktur. Abschlussbericht des BÖL-Vorhabens 2803OE414, <http://orgprints.org/13567/>.
- Dell, B.; Huang, L. (1997): Physiological response of plants to low boron. *Plant Soil* 193 (2), 103–120.
- Demeter e.V. (Hg.) (2015): Richtlinien für die Zertifizierung „Demeter“ und „Biodynamisch“. Erzeugung, Darmstadt.

- Engelmann, P.; Scheu-Helgert, M.; Schubert, W.; Rascher, B.; Mansberg, A. von (2007): Stickstoffdynamik im ökologischen Gemüsebau im Freiland mit organischen Düngern unter besonderer Berücksichtigung von Flachabdeckungen zur Verfrühung und Verlängerung der Anbausaison. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2803OE031, <http://orgprints.org/15641/>.
- Eriksen, J.; Olesen, J.E; Askegaard, M. (2002): Sulphate leaching and sulphur balances of an organic cereal crop rotation on three Danish soils. *European Journal of Agronomy* 17 (1), 1–9.
- Europäische Kommission (Hg.) (2015): Interactive Soil Quality Assessment in Europe and China for Agricultural Productivity and Environmental Resilience (iSQAPER). Projektbeschreibung 2015-2020. http://cordis.europa.eu/project/rcn/193347_en.html.
- Feller, C.; Fink, M.; Laber, H.; Maync, A.; Paschold, P.-J.; Scharpf, H. C. et al. (2011): Düngung im Freilandgemüsebau. *Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau* 4.
- Fischinger, S. A.; Becker, K.; Leithold, G. (2011): Auswirkungen unterschiedlicher S-Versorgungszustände auf den N Flächenertrag eines Luzerne-Kleegrassbestandes. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P. und Williges, U. (Hrsg.) Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Justus-Liebig-Universität Gießen, 15.-18. März 2011, Verlag Dr. Köster, Berlin, 183-184.
- Fließbach, A. (2016): Fertility building management measures in organic cropping systems. Projektbeschreibung des CoreOrganic Plus-Projekt "FertilCrop". <http://coreorganicplus.org/research-projects/fertilcrop/>.
- Foissy, D.; Vian, J.-F.; David, C. (2013): Managing nutrients in organic farming system. Reliance on livestock production for nutrient management of arable farmland. *Org. Agr.* 3 (3-4), 183–199.
- Forster, F. J.; Reents, H. J.; Schmidt, H.; Hülsbergen, K.-J. (2015): Ursachen für Ertragsunterschiede in Betrieben mit unterschiedlicher Wirtschaftsweise und Betriebsstruktur in zwei Regionen Deutschlands am Beispiel von Winterweizen. In: A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthardt, J. Pape und G. Trei (Hg.): Am Mut hängt der Erfolg. Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landwirtschaft. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20.03.2015, Berlin. Köster.

- Fragstein, P. von (2015): Förderung multi-funktionaler Vorteile von Untersaat-Gemüse-Mischanbau, <http://orgprints.org/29484/>.
- Fragstein, P. von; Geyer, B.; Reents, H. J. (2004): Ökologischer Gemüseanbau: Struktur, Entwicklung, Probleme, politischer Handlungsbedarf. Projektbeschreibung zum BÖL-Vorhaben 2802OE222. <http://orgprints.org/5871/>.
- Gäa e.V. (Hg.) (2015): Gäa-Richtlinien. Erzeugung, Dresden.
- Gamliel, A.; van Bruggen, A. H. C. (2015): Maintaining soil health for crop production in organic greenhouses. *Scientia Horticulturae*.
- Gattinger, A.; Muller, A.; Haeni, M.; Skinner, C.; Fliessbach, A.; Buchmann, N. et al. (2012): Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (44), 18226–18231.
- Gebbers, R. (2016): Integriertes System zum ortsspezifischen Management der Bodenfruchtbarkeit ("14S"). Projektbeschreibung 2015-2018. <http://www.bonares.de/portfolio/i4s/>.
- Geisseler, D.; Horwath, W. R.; Joergensen, Rainer Georg; Ludwig, B. (2010): Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms – A review. *Soil Biology and Biochemistry* 42 (12), 2058–2067.
- George, E.; Bruns, C.; Arp, M.; Dlugowski, S.; Vieweger, A.; Koller, M. et al. (Hg.) (2003): Einsatz von Mykorrhizapilzen und Qualitätskomposten bei der Anzucht von Jungpflanzen im ökologischen Gemüse- und Zierpflanzenbau. Abschlussbericht des BÖL-Vorhabens 2802OE306, <http://orgprints.org/7738/>.
- Gerke, J. (2015): The acquisition of phosphate by higher plants. Effect of carboxylate release by the roots. A critical review. *J Plant Nutr Soil Sci* 178 (3), 351–364.
- Gillandt, K.; Kemper, N.; Waßmuth, R.; Wassermann, F.: Analyse und Optimierung der Beziehung zwischen Grünland, Tiergesundheit und Tierzucht bei Mutterkuhherden (Verbundvorhaben). Projektbeschreibung zum BÖLN-Vorhaben 2812NA042 und 28NA127. <http://orgprints.org/27653/>.
- Gosling, P.; Hodge, A.; Goodlass, G.; Bending, G. D. (2006): Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113 (1-4), 17–35.
- Gosling, P.; Shepherd, M. A. (2005): Long-term changes in soil fertility in organic arable farming systems in England, with particular reference to phosphorus and potassium. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105 (1-2), 425–432.

- Govasmark, E.; Steen, A.; Bakken, A. K.; Strøm, T.; Hansen, S. (2005): Factors affecting the concentration of Zn, Fe and Mn in herbage from organic farms and in relation to dietary requirements of ruminants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 55 (2), 131–142.
- Greiner, B.; Hertwig, F.; Hochberg, H.; Priebe, R.; Riehl, G.; Schuppenies, R. (2015): Auswirkungen einer unterlassenen Phosphor- und Kaliumdüngung im GL. In: Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. (Hg.): Multifunktionalität des Dauergrünlandes erhalten und nutzen. 58. Jahrestagung. Arnstadt, 28.-30.08.2014.
- Gustafson, G. M.; Salomon, E.; Jonsson, S. (2007): Barn balance calculations of Ca, Cu, K, Mg, Mn, N, P, S and Zn in a conventional and organic dairy farm in Sweden. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119 (1-2), 160–170.
- Haas, G. (2010): Wasserschutz im Ökologischen Landbau: Leitfaden für Land- und Wasserwirtschaft. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2806OE175, <http://orgprints.org/16897/>.
- Haas, G.; Brand, H.; Puente de la Vega, M. (2004): Stickstoffversorgung der Zweitfrüchte Feldgemüse und Mais nach Winterzwischenfrucht-Leguminosen, <http://orgprints.org/16765/>.
- Haase, T.; Heß, J.; Grosse, M. (2014): Reduced tillage and green manures for sustainable organic cropping systems ("TilmanOrg"). Projektbeschreibung des BÖLN-Vorhabens 2811OE002. <http://orgprints.org/19926/>.
- Hallmann, J. (2003): Resistenter Örettich zur Regulierung von Wurzelgallennematoden im ökologischen Landbau.
- Hallmann, J.; Fittje, S.; Warnecke, H.; Buck, H.; Rau, F.; Krüssel, S. (2012): Bestimmung der optimalen Aussaat- und Umbruchtermine einer überwinternden Leguminosen-Gründüngung für die nachhaltige Bekämpfung pflanzenparasitärer Nematoden im ökologischen Gemüsebau. Abschlussbericht zum BÖLN-Vorhaben 2806OE052, <http://orgprints.org/20939/>.
- Hallmann, J.; Rau, F.; Puffert, M. (2007): Bekämpfungsstrategien für den Wurzelgallennematoden *Meloidogyne hapla* im ökologischen Landbau. In: S. Zikeli, W. Claupein, S. Dabbert, B. Kaufmann, T. Müller und A. V. Zarate (Hg.): Zwischen Tradition und Globalisierung. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Hohenheim, 20.-23.03.2007, Berlin. Dr. Köster.

- Haneklaus, S.; Hagel, I.; Paulsen, H.-M.; Schnug, E. (2002): Objectives of plant nutrition research in organic farming. *Landbauforschung Völkenrode* 52 (2), 61–68.
- He, Z.; Yang, X.; Kahn, B. A.; Stoffella, P. J.; Calvert, D. V. (2001): Plant nutrition benefits of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and micronutrients from compost utilization. In: P. J. Stoffella, Z. He, B. A. Kahn, X. Yang und D. V. Calvert (Hg.): *Compost Utilization In Horticultural Cropping Systems*. CRC Press, 307–317.
- Herridge, D. F.; Peoples, M. B.; Boddey, R. M. (2008): Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil* 311, 1–18.
- Heuwinkel, H.; Scheu-Helgert, M.; Engelmann, P.; Schubert, W.; Rascher, B.; Kimmelman, S. et al. (2007): Synchronisation der N-Mineralisierung aus Mulch mit der N-Aufnahme von Freilandgemüse durch optimiertes Management einer Leguminosengründung. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2803OE102, <http://orgprints.org/19365/>.
- Hinsinger, P.; Gilkes, R.J (1997): Dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of five plant species grown in an acid, P-fixing mineral substrate. *Geoderma* 75 (3), 231–249.
- Hirschfeld, J.; Weiß, J.; Preidl, M.; Korbun, T. (Hg.) (2008): Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. *Schriftenreihe des IÖW* 186 (8).
- Hof, C.; Schmidtke, K. (2007): Erzeugung von Weizen hoher Backqualität durch Gemengeanbau mit Winterackerbohne und Wintererbse im ökologischen Landbau. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2803OE050, <http://orgprints.org/15171/>.
- Hoffland, E. (1992): Quantitative evaluation of the role of organic acid exudation in the mobilization of rock phosphate by rape. *Plant Soil* 140 (2), 279–289.
- Hoffland, E.; Findenegg, G. R.; Nelemans, J. A. (1989): Solubilization of rock phosphate by rape. *Plant Soil* 113 (2), 155–160.
- Hole, D. G.; Perkins, A. J.; Wilson, J. D.; Alexander, I. H.; Grice, P. V.; Evans, A. D. (2005): Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122 (1), 113–130.
- Höper, H.; Kleefisch, B. (2001): Untersuchung bodenbiologischer Parameter im Rahmen der - Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen. Schweizerbart.
- Hülsbergen, K.-J.; Rahmann, G. (Hg.) (2013): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer Betriebssysteme - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Forschungsergebnisse 2008-2013 des BÖLN-Vorhaben 2806OE160 und 2806OE353. *Thünen Report* 8.

- Hülsbergen, K.-J.; Rahmann, G. (Hg.) (2015): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer Betriebssysteme - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Forschungsergebnisse 2013-2014 des BÖLN-Vorhaben 2806OE160 und 2806OE353. *Thünen Report 29*.
- Hülsbergen, K.-J.; Rahmann, G. (2016): Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebliche Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten. Projektbeschreibung der BÖLN-Vorhaben 2812NA079 und 2812NA129. <http://orgprints.org/27910/>.
- Hüttel, S.: Ökonomische, ökologische und Tierwohlaspekte der Weidehaltung von Hochleistungskühen. Projektbeschreibung des BÖLN-Vorhaben 2812NA009. <http://orgprints.org/25078/>.
- Isselstein, J.; Bonorden, S.; Seng, M.; Abel, H. J. (2003): Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffnutzung von klee- und kräuterreichen Aufwüchsen ökologisch bewirtschafteten Grünlandes entlang der Produktionskette Erzeugung - Konservierung - Verdauung. Abschlussbericht zum BÖLN-Vorhaben 28OE621, <http://orgprints.org/7040/>.
- Jörgensen, R. G. (2011): Funktion und Quantifizierung der mikrobiellen Biomasse in Böden. In: J. C. G. Ottow (Hg.): Mikrobiologie von Böden. Biodiversität, Ökophysiologie und Metagenomik (Springer-Lehrbuch). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1. Aufl., 29–51.
- Jörgensen, R. G. (2015): Bodenbiologische Bodenfruchtbarkeitsindikatoren, HTW Dresden, 05.11.2015. Beitrag im Workshop "Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau".
- Kage, H. (2000): Simulation modelling for improving nitrogen use efficiency in intensive cropping systems. Habilitation. Universität Hannover. Fachgebiet Pflanzenbau, Fachbereich Gartenbau.
- Katroschan, K.-U.; Mausolf, B. (2014): N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern tierischer und pflanzlicher Herkunft - Zeitverlauf und Temperaturabhängigkeit im Brutversuch. In: Verband der Landwirtschaftskammern (Hg.): Versuche im deutschen Gartenbau Jahrgang 2014. Ökologischer Gemüsebau, Berlin.
- Katroschan, K.-U.; Stützel, H. (2008): Mineralization of lupine seed meal and seedlings used as N fertilizer in organic vegetable production. Poster at: Cultivating the Future Based on Science: 2nd Conference of the International Society of Organic Agriculture Research ISOFAR, Modena, Italy, June 18-20, 2008.

- Katroschan, K.-U.; Teixeira, G.; Kahlen, K.; Stützel, H. (2012): Decomposition of lupine seeds and seedlings as N fertilizer in organic vegetable production. *Plant Soil* 357 (1-2), 59–71.
- Kayser, M.; Isselstein, J. (2005): Potassium cycling and losses in grassland systems - a Review. *Grass Forage Sci* 60, 213,224.
- Kehres, B. (2011): Optimierung der Verwertung von Grünabfällen - Fehlsteuerungen korrigieren. Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial, Berlin, 01.03.2011.
- Kelderer, M.; Stimpfl, E.; Thalheimer, M. (2008): Stickstoffmineralisierung von organischen Bodenverbessern und Handelsdüngern bei unterschiedlichen Temperaturen (8 °C / 16 °C). Übersicht über die Düngemittel, Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg / Südtirol.
- Kern, M.; Raussen, T. (2010): Potenzieller Beitrag der Bioabfallverwertung zur Energieversorgung. In: K. Wiemer (Hg.): Bio- und Sekundärrohstoffverwertung V. Stofflich, energetisch, Witzenhausen. Witzenhausen-Inst. für Abfall Umwelt und Energie, 461–475.
- Kern, M.; Raussen, T.; Turk, T.; Fricke, K. (2003): Energiepotenzial für Bio-und Grünabfall. In: K. Fricke, G. Kosak, A. Meier-Ploeger, T. Turk, R. Wallmann und H. Vogtmann (Hg.): Die Zukunft der Getrenntsammlung von Bioabfällen. 20 Jahre Biotonne Witzenhausen - eine Standortbestimmung. 64. Informationsgespräch des ANS e.V. Witzenhausen, 8.-09.07.2003, Witzenhausen (Schriftenreihe des ANS), 355–374.
- Klein, D. (2009): Ansätze zur Erhaltung seltener Tomatensorten im Ökologischen Gemüsebau mit besonderer Berücksichtigung differenzierter Qualitätsparameter und regionaler Vermarktung. Dissertation. Universität Bonn.
- Klose, R.; Grunert, M.; Kurzer, H.-J. (2015): Mikronährstoffstatus sächsischer Ackerböden 2013.
- Kolbe, H. (2015): Wie ist es um die Bodenfruchtbarkeit im Ökolandbau bestellt - Nährstoffversorgung und Humusstatus? In: Bundesarbeitskreis Düngung (Hg.): Bodenfruchtbarkeit - Grundlage erfolgreicher Landwirtschaft. Gemeinsame Tagung des Verbands der Landwirtschaftskammern e. V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD). Würzburg, 21.-22.04.2015, Frankfurt a.M., 89–123. <http://orgprints.org/29539/>.
- König, S.: Improving health in native dual-purpose cattle ("2-Org-Cows"). Projektbeschreibung 2015-2018. <http://coreorganicplus.org/research-projects/2-org-cows/>.

- König, S.: Ökonomische Evaluierung züchterischer Strategien in Weideproduktionssystemen zur Verbesserung der Tiergesundheit und des Tierwohlbefindens. Projektbeschreibung 2013-2016. <http://orgprints.org/24358/>.
- Koopmans, C.; Brito, M.; Kemkens, K.; Sevon, A.; Wivstad, M. (2013): Inadequate nutrients supply: innovation and key elements for success. In: Eip Agri Focus Group Organic Farming (Hg.): Mini Papers written by the experts. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/fg1_organic_farming_minipapers_2013_en.pdf, 2–5.
- Köpke, U.; Athmann, M.; Han, Eusun; Kautz, T. (2015): Optimising Cropping Techniques for Nutrient and Environmental Management in Organic Agriculture. *SAR 4* (3), 15.
- Köpke, U.; Rauber, R.; Schmidtke, K. (2016): Optimierung der Unkrautregulation, Schwefel- und Phosphorverfügbarkeit durch Unterfußdüngung bei temporärer Direktsaat von Ackerbohne und Sojabohne. Projektbeschreibung der BÖLN-Vorhaben 2811OE087 - 2811OE089. <http://orgprints.org/23224/>.
- Köpke, U.; Rauber, R.; Schmidtke, K.; Goldbach, H.; Scherer, H. W. (2011): Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit. Abschlussbericht der BÖL-Vorhaben 2808OE020, 2808OE145, 2808OE146 und 2808OE147, <http://orgprints.org/20737/>.
- Krahner, M.; Gottschall, R.; Bruns, C.; Hafner, G. (2010): Energy or compost from green waste? - a CO₂-based assessment. *Waste Management* 30 (4), 697–701.
- Kramer, E.; Gebbers, R. (2016): Potenziale der teilflächenspezifischen Kalkversorgung von Grünland. Projektbeschreibung des BÖLN-Vorhaben 2812NA031. <https://www.bundesprogramm.de/index.php?id=916&fkz=12NA031&pos=360>.
- Kratz, S.; Haneklaus, S.; Schnug, E. (2010): Chemical solubility and agricultural performance of P-containing recycling fertilizers. *Landbauforschung / Applied agricultural and forestry research* 60, 227–240.
- Kratz, S.; Schick, J.; Shwiekh, R.; Schnug, E. (2014): Abschätzung des Potentials erneuerbarer P-haltiger Rohstoffe in Deutschland zur Substitution rohphosphathaltiger Düngemittel. *Journal für Kulturpflanzen* 66 (8), 261–275.
- Krey, T.; Baum, C.; Ruppel, S.; Seydel, M.; Eichler-Löbermann, B. (2013): Organic and Inorganic P Sources Interacting with Applied Rhizosphere Bacteria and Their Effects on Growth and P Supply of Maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 44 (22), 3205–3215.

- Kristensen, H. L.; Campanelli, G.; Bavec, F.; Fragstein, P. von; Yue, X.; Canali, S.; Tittarelli, F. (2014): Effect of an in-season living mulch on leaching of inorganic nitrogen in cauliflower cropping in Slovenia, Germany and Denmark. In: G. Rahmann und U. Aksoy (Hg.): Building Organic Bridges. Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference at the Organic World Congress 2014. Istanbul, 13.-15.10.2014. 4 Bände (Thünen-Report 20, 1), 199–202.
- KTBL (Hg.) (2008): Systembewertung der ökologischen Tierhaltung. Fachgespräch Systembewertung der ökologischen Tierhaltung. Eberswalde, 25.-26.04.2007, Darmstadt. KTBL (462).
- Laber, H. (2003a): N-Freisetzung aus organischen Handelsdüngern – Übersicht und eigene Versuchsergebnisse im ökologischen Gemüsebau. *Landbauforschung / Applied agricultural and forestry research* 259 (Sonderheft), 17–20.
- Laber, H. (2003b): Praxiseinführung und Evaluierung eines Kalkulationsschemas zur bedarfsgerechten N-Düngung im ökologischen Freilandgemüsebau. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 28OE576, <http://orgprints.org/5162/>.
- Laber, H. (2004): Junge Pflanzen einer Lupinen-Dichtsaat hatte enges C/N-Verhältnis, das mit zunehmendem Alter schnell anstieg. In: Verband der Landwirtschaftskammern (Hg.): Versuche im deutschen Gartenbau, Bd. 2004, Berlin.
- Laber, H. (2007): N-Freisetzung aus Klee gras. *Schriftenreihe des LFULG* 19.
- Laber, H. (2010): Anfänglicher Schwefelmangel bei Winterspinat offenbar durch S-Vorrat des Unterbodens behoben; K-Düngung wieder ertragswirksam. In: Verband der Landwirtschaftskammern (Hg.): Versuche im deutschen Gartenbau, Berlin.
- Laber, H.; Lattauschke, G. (2014): Gemüsebau. Ulmer Verlag, Stuttgart, 2. Aufl.
- Ledgard, S. F. (2001): Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant Soil* 228 (1), 43–59.
- Lehnert, H.; Serfling, A.; Ordon, F. (2014): Erfassung genetischer Unterschiede des Weizens bezüglich der Fähigkeit zur Symbiose mit wurzelendophytisch wachsenden Pilzen und deren Auswirkungen auf die Stresstoleranz. Abschlussbericht zum BÖLN-Vorhaben 2810OE078, <http://orgprints.org/28100/>.
- Leineweber, P. (2016): Innovative Lösungen für ein nachhaltiges Boden-P-Management ("InnoSoilPhos"). Projektbeschreibung 2015-2018. <http://www.bonares.de/portfolio/innosoilphos/>.
- Leisen, E. (2013a): Veränderung der Mineralstoffgehalte in Böden und Pflanzen von Öko-Milchviehbetrieben in den letzten 15 Jahren.

http://www.oekolandbau.nrw.de/pdf/leitbetriebe/2013_VB/34_Mineralstoffgehalte_B__den_Pflanzen_FB_13.pdf, zuletzt geprüft am 20.01.2016.

- Leisen, E. (2013b): Veränderung von Mineralstoffgehalten in Böden und Pflanzen von Öko-Milchviehbetrieben in den letzten 15 Jahren. In: D. Neuhoff, S. Stumm, G. Ziegler, U. Rahmann, U. Hamm und U. Köpke (Hg.): Ideal und Wirklichkeit. Perspektiven Ökologischer Landwirtschaft. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Bonn, 05.-08.03.2013, Berlin. Dr. Köster, 150–153.
- Lindenthal, T.; Spiegel, H.; Mazorek, M.; Heß, J.; Freyer, B.; Köchl, A. (2003): Ergebnisse von drei 40jährigen P-Dauerversuchen in Österreich: 2. Mitteilung: Auswirkungen unterschiedlicher P-Düngerformen und -mengen auf den P-Entzug und die P-Bilanzen. *Die Bodenkultur* 54 (1), 11–21.
- Løes, A.-K.; Øgaard, A. F. (2001): Long-term changes in extractable soil phosphorus (P) in organic dairy farming systems. *Plant Soil* 237 (2), 321–332.
- Loges, R. (2013): Leguminosen im Futterbau - Aktuelle und zukünftige Bedeutung sowie Forschungsbedarf. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hg.): Mehr Eiweiß vom Grünland und Feldfutterbau - Potenziale, Chancen und Risiken. 57. Jahrestagung der AGGF. Triesdorf, 29.08.-31.08.2013, 9–11.
- Lüscher, A.; Mueller-Harvey, I.; Soussana, J. F.; Rees, R. M.; Peyraud, J. L. (2014): Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass Forage Sci* 69 (2), 206–228.
- Lux, G. (2016): Einfluss organischer Düngung auf Ertrag, symbiotische N₂-Fixierung und Nährstoffaufnahme von Saatplatterbse (*Lathyrus sativus* L.), Ackerbohne (*Vicia faba* L.) und Rotklee (*Trifolium pratense* L.) sowie auf Ertrag eines nachfolgenden Winterweizens (*Triticum aestivum* L.). Dissertation. Humboldt-Universität, Berlin.
- Lynch, Derek H. (2015): Nutrient Cycling and Soil Health in Organic Cropping Systems - Importance of Management Strategies and Soil Resilience. *SAR* 4 (3), 80–88.
- Mäder, P. (2014): Reduced tillage and green manures for sustainable organic cropping systems ("TilmanOrg"). Projektbeschreibung 2011-2014. <http://orgprints.org/20830/>.
- Mäder, P.; Fließbach, A.; Dubois, D.; Gunst, L.; Fried, P.; Niggli, U. (2002): Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* 296 (5573), 1694–1697.
- Magid, J.; Henriksen; Thorup-Kristensen, K.; Müller, T. (2001): Disproportionately high N-mineralisation rates from green manures at low temperatures. Implications for modeling and management in cool temperate agro-ecosystems. *Plant Soil* 228 (1), 73–82.

- Mattmüller, H. (2009): Gemüsebau unter Glas und Folie. In: E. George und R. Eghbal (Hg.): Ökologischer Gemüsebau. Handbuch für Beratung und Praxis. Bioland Verlag, Mainz, 2. Aufl., 91–124.
- Mengel, K. (1986): Umsatz im Boden und Ertragswirksamkeit rohphosphathaltiger Düngemittel. *J Plant Nutr Soil Sci* 145 (3), 229–236.
- Mengel, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Jena, 7. Aufl.
- Michaelis, T. (2013): Fachforum Grünland - Forschungsstrategie der DAFA. Entwurf vom 01.08.2013. DAFA.
http://www.dafa.de/fileadmin/dam_uploads/images/Veranstaltungen/FF_Gruenland/FG-2013-08-01-Strategieentwurf.pdf, zuletzt aktualisiert am 20.03.2016.
- Mikkelsen, R. L. (2007): Managing potassium for organic crop production. *HortTechnology* 17 (4), 455–460.
- Möller, K. (2009): Inner farm nutrient flows between arable land and permanent grassland via the stable in organic cropping systems. *European Journal of Agronomy* 31 (4), 204–212.
- Möller, K. (2014): Assessment of the suitability of recycling phosphorus fertilizers for organic farming ("Improve-P"). Projektbeschreibung 2011-2014.
<http://www.coreorganic2.org/coreorganic2.asp>.
- Möller, K. (2015): Organische Handelsdünger im Ökologischen Landbau – Stand des Wissens und Forschungsbedarf KTBL Fachartikel.
https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Oekolandbau/Organische_Handelsduengemittel/Organischer_Handelsduenger_Tagung.pdf, zuletzt geprüft am 08.03.2016.
- Möller, K.; Schultheiß, U. (2014a): Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau. Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis. KTBL, Darmstadt.
- Möller, K.; Schultheiß, U. (2014b): Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau. Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis. KTBL-Schrift 499 (KTBL-Datensammlung). Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
- Möller, K.; Schultheiß, U. (2014c): Organische Handelsdüngemittel tierischer und pflanzlicher Herkunft für den ökologischen Landbau - Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis. Abschlussbericht zum BÖLN-Vorhaben 2811OE034,
<http://orgprints.org/26727/>.

- Möller, Kurt; Schultheiß, Ute (2013): Organische Handelsdüngemittel tierischer und pflanzlicher Herkunft für den ökologischen Landbau - Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis.
- Müller, J.: Rolle des Phosphors als Steuerungsgröße des Stickstoffertrages und der Phyto-diversität ökologisch bewirtschafteter Dauergrünlandbestände. Projektbeschreibung des BÖLN-Vorhaben 2812OE008. <http://orgprints.org/24374/>.
- Müller, S. (2003): Wirkung verschiedener organischer Mulchmaterialien auf den Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens - Quantifizierung der Bedeutung für den ökologischen Landbau. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2802OE565, <http://orgprints.org/17201/>.
- Müller, T.; Fragstein, P. von (2003): Umsatz und Wirkung vegetabiler Düngemittel im Ökologischen Gemüseanbau. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2802OE169, <http://orgprints.org/6957/>.
- Müller, T.; Fragstein, P. von (2006): Organic fertilizers derived from plant materials Part I. Turnover in soil at low and moderate temperatures. *J Plant Nutr Soil Sci* 169 (2), 255–264.
- Nasilowski, K. (2003): Organische Dünger bei der Anzucht von Gehölzen im Container. Erarbeitung einer Düngungsstrategie zur optimalen Nährstoffversorgung (NPKMg). Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 2802OE311, <http://orgprints.org/8438/>.
- Naturland e.V. (Hg.) (2014): Naturland Richtlinien. Erzeugung, Gräfelfing.
- Nesme, T.; Toublant, M.; Mollier, A.; Morel, C.; Pellerin, S. (2012): Assessing phosphorus management among organic farming systems. A farm input, output and budget analysis in southwestern France. *Nutr Cycl Agroecosyst* 92 (2), 225–236.
- Neumann, G.; Römheld, V. (1999): Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. *Plant Soil* 211 (1), 121–130.
- Niggli, U.; Slabe, A.; Schmid, O.; Halberg, N.; Schlüter, M. (2008): Vision for an Organic Food and Farming Research Agenda to 2025. http://www.ifoam-eu.org/sites/default/files/page/files/tpo_vision_research_agenda_200807.pdf.
- Nowak, B.; Nesme, T.; David, C.; Pellerin, S. (2013a): To what extent does organic farming rely on nutrient inflows from conventional farming? *Environ. Res. Lett.* 8 (4), 44045.
- Nowak, Benjamin; Nesme, T.; David, C.; Pellerin, Sylvain (2013b): Disentangling the drivers of fertilising material inflows in organic farming. *Nutr Cycl Agroecosyst* 96 (1), 79–91.

- Öborn, I.; Andrist-Rangel, Y.; Askegaard, M.; Grant, C. A.; Watson, C. A.; Edwards, A. C. (2005): Critical aspects of potassium management in agricultural systems. *soil use manage* 21 (1), 102–112.
- Oehl, F.; Oberson, A.; Tagmann, H. U.; Besson, J. M.; Dubois, D.; Mäder, P. et al. (2002): Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62 (1), 25–35.
- Ohm, M.; Schüler, G.; Fystro, G.; Paulsen, H.-M. (2015): Redistribution of soil phosphorus from grassland to cropland in an organic dairy farm. *Landbauforschung / Applied agricultural and forestry research* 3/4 (65), 193–204.
- Owens, K.; Watson, C. A. (2002): Nutrient budgeting for trace elements: Examples from Scottish organic farms. In: J. Powell und et al (Hg.): Proceedings of the UK Organic Research 2002 Conference. University of Wales Aberystwyth. Organic Centre Wales, Institute of Rural Studies, 147–148. <http://orgprints.org/8385/>, zuletzt geprüft am 09.12.2015.
- Paulsen, H.-M. (2005): Sulfur in organic farming. *Landbauforschung Völkenrode* 283, 105–110.
- Paulsen, H.-M.; Haneklaus, S.; Rahmann, G.; Schnug, E. (2010): Organic plant production - limited by nutrient supply? An overview. In: P. Sequi, D. Ferri, E. Era, F. Montemurro, A. V. Vonella und F. Fornaro (Hg.): More Sustainability in Agriculture: New Fertilizers and Fertilization Management. 18th International Symposium of CIEC. Rom, 08.-12.11.2009. International Scientific Centre of Fertilizer, Bari, Italien. CRA-SCA, 373–380.
- Paulsen, H.-M.; Ohm, M. (2015): Grünland und Phosphorflüsse - Mobilisierung durch Bewuchs. Projekt 6.2012 - 5.2015. JKI. <https://www.ti.bund.de/index.php?id=2306&L=0>, zuletzt geprüft am 27.11.2015.
- Pelosi, C.; Bertrand, M.; Thénard, J.; Mougín, C. (2015): Earthworms in a 15 years agricultural trial. *Applied Soil Ecology* 88, 1–8.
- Peoples, M. B.; Brockwell, J.; Herridge, D. F.; Rochester, I. J.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S. et al. (2009): The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis* 48, 1–17.
- Pinnekamp, J.; Montag, D.; Everding, W. (2013): Kreislaufwirtschaft für Pflanzennährstoffe, insbesondere Phosphor. Projektlaufzeit 2006-2011, 09.10.2013. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/p-rueckgewinnung-technisch_moeglich.pdf, zuletzt geprüft am 25.11.2015.

- Rahmann, G.; Nieberg, H.; Drengemann, S.; Fenneker, A. March, S. Zurek, C. (Hg.) (2004): Bundesweite Erhebung and Analyse der verbreiteten Produktionsverfahren, der realisierten Vermarktungswege and der wirtschaftlichen sowie sozialen Lage ökologisch wirtschaftender Betriebe and Aufbau eines bundesweiten Praxis-Forschungs-Netzes. *Landbauforschung Völkenrode* (276).
- Rahmann, G.; Oppermann, R.; Paulsen, H.-M.; Weißmann, F. (2009): Good, but not good enough? : Research and development needs in Organic Farming. *Agriculture and Forestry Research* 59 (1), 29–40.
- Rat der europäischen Kommission (1991): Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. Richtlinie 91/676/EWG, vom 12.12.1991.
- Rat der europäischen Kommission (2007): VERORDNUNG (EG) Nr. 834/2007 DES RATES vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. EG-ÖKO-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007, vom 18.10.2014 (berichtigte Fassung).
- Rat der europäischen Kommission (2008): VERORDNUNG (EG) Nr. 889/2008 DER KOMMISSION vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle. VERORDNUNG (EG) Nr. 889/2008, vom 05.09.2008.
- Rau, F.; Weier, U. (2006): Intensivierung der Produktion und Verbesserung der Qualität bei Säckweizen durch Sortenwahl und Düngungsstrategien. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2803OE056/1, <http://orgprints.org/10768/>.
- Raupp, J. (2005): Stickstoffmineralisation von Stallmist, Ackerbohnschrot, Luzernegrünmehl und Rizinusschrot unter kontrollierten Bedingungen im Brutversuch. In: J. Hess und G. Rahmann (Hg.): Ende der Nische. 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 01.-04.03.2005, Kassel. Kassel University Press. <http://orgprints.org/3650/>.
- Raupp, J. (2006): Ertrag und Qualitätseigenschaften von Sommerweizen und Kartoffeln bei organischer Düngung tierischer Herkunft (Rottemist) und pflanzlicher Herkunft (Ackerbohnschrot). Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2803OE179, <http://orgprints.org/15800/>.

- Raupp, J.; Pekrun, C.; Oltmann, M.; Köpke, U. (Hg.) (2006): Long-term field experiments in organic farming. International Society of Organic Agriculture Research (Scientific series / ISOFAR). Köster, Berlin. <http://orgprints.org/8554/1/raupp-et-al-2006-long-term-content.pdf>.
- Richardson, A.E.; Simpson, R. J. (2011): Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant physiology* 156 (3), 989–996.
- Riffel, A.; Hornischer, H.; Fischinger, S. A.; Leithold, G.; Becker, K. (2013) Wirkung einer Schwefeldüngung zu einem Luzerne-Klee gras-Bestand auf den Kornertrag der Nachfrucht Winterweizen. http://orgprints.org/21546/1/21546_riffel.pdf.
- Riley, H. (2003): Yield responses and nutrient utilization with the use of chopped grass and clover material as surface mulches in an organic vegetable growing system. *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems* 21 (1), 63–90.
- Robačar, Martina; Canali, Stefano; Kristensen, H. L.; Bavec, Franc; Mlakar, S. G.; Jakop, Manfred; Bavec, Martina (2015): Cover crops in organic field vegetable production. *Scientia Horticulturae*.
- Römer, W. (2013): Möglichkeiten der P-Recyclingdüngemittel im Ökologischen Landbau. KTBL-Fachgespräch "Organische Handelsdüngemittel tierischer und pflanzlicher Herkunft für den Ökologischen Landbau". KTBL, Fulda, 23.10.2013.
- Römer, W.; Lehne, P. (2004): Vernachlässigte Phosphor- und Kaliumdüngung im ökologischen Landbau senkt die biologische Stickstofffixierung bei Rotklee und den Kornertrag bei nachfolgendem Hafer. *J Plant Nutr Soil Sci* 167 (1), 106–113.
- Schirrmann, M.; Gebbers, R.; Berg, W.; Kramer, E.; Palme, S. (2014): Ist der Boden sauer? Kartierung des pH-Werts mit neuen Bodensensoren. *ForschungsReport Spezial Ökologischer Landbau* 3, 4–5.
- Schlegel, I.; Li, Z.; Schenk zu Schweinsberg-Mickan, M. von; Schulz, r.; Müller, T. (2007): Purchasable and on farm produced plant based organic fertilisers: I. N-turnover and net N-mineralisation in incubation experiments. *VDLUFA Schriftenreihe* 62, 409–412.
- Schlöter, M. (2016): Einfluss von Bewirtschaftungsverfahren auf die Struktur und Funktion der Bodenmikroflora ("Micro-Till"). Projektbeschreibung des BÖLN-Vorhabens 2811OE001. <http://orgprints.org/19905/>.
- Schlöter, M.; Munch, J.-C.; Tittarelli, F. (2005): Managing Soil Quality. In: J. Bloem, D. W. Hopkins und A. Benedetti (Hg.): Microbiological methods for assessing soil quality. CABI, Wallingford, 50–62.

- Schmidt, H. (2003): Viehloser Ackerbau im ökologischen Landbau - Evaluierung des derzeitigen Erkenntnisstandes anhand von Betriebsbeispielen und Expertenbefragungen.
- Schmidt, H. (2007): Untersuchung ackerbaulicher Probleme langjährig ökologisch wirtschaftender Betriebe; Kooperationsmodell Praxis - Beratung - Wissenschaft. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2803OE024, <http://orgprints.org/15767/>.
- Schmidt, H. (2010): Transfervorbereitende Evaluation und Kombination von Praxiserfahrungen und Forschungsergebnissen zu Konzepten reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2806OE107, <http://orgprints.org/17200/>.
- Schmidt, H. (2016): Erweiterung und ackerbauliche Auswertung der Praxiserhebungen und -untersuchungen im Rahmen der modellhaften Demonstrationsnetzwerke Soja und Lupine der Eiweißpflanzenstrategie. Projektbeschreibung des EPS-Vorhabens 2814EPS035. <http://orgprints.org/28703/>.
- Schmidtke, K.; Lux, G. (2015): Wirkung verschiedener Verfahren der Schwefeldüngung auf Ertragsleistung und Vorfruchtwert von Körnerleguminosen im Ökologischen Landbau. Abschlussbericht zum BÖLN-Vorhaben 2811OE110 und 2811OE111, <http://orgprints.org/29783/>.
- Schmidtke, K.; Scheffler, S. (2016): Entwicklung und Erprobung eines neuartigen, aus dem ökologischen Landbau stammenden stickstoffreichen Düngemittels für den ökologischen Gemüsebau. Projektbeschreibung zum BÖLN-Vorhaben 2811OE109. <http://orgprints.org/22610/>.
- Schmidtke, K.; Wunderlich, B.; Lauter, J.; Wendrock, Y.; Kolbe, H. (2016): Nährstoff- und Humusbilanz sowie Nährstoffversorgung im Boden von langjährig ökologisch bewirtschafteten Acker- und Grünlandflächen im Freistaat Sachsen. *Schriftenreihe des LFULG*. (in Vorbereitung)
- Schnug, E.; Rogasik, J.; Haneklaus, S. (2003): Die Ausnutzung von Phosphor aus Düngemitteln unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus. *Landbauforschung Völkenrode* 53 (1), 1–11.
- Schubert, W.; Rascher, B. (2013): Betriebseigene Kleegrassilage bei Kohlrabi im Frühjahrsanbau möglich. Verzögerung der Erntereife durch langsamere N-Mineralisation. In: Verband der Landwirtschaftskammern (Hg.): Versuche im deutschen Gartenbau. Ökologischer Gemüsebau, Berlin, zuletzt geprüft am 09.03.2016.

- Sessitsch, A. (2012): Risks and recommendations regarding human pathogens in organic vegetable production chains ("PathOrganic"). <http://core1.coreorganic.org/research/projects/pathorganic/index.html>.
- Seufert, V.; Ramankutty, N.; Foley, J. A. (2012): Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485 (7397), 229–232.
- Siebrecht, N.; Kainz, M.; Hülsbergen, K.-J. (2009): Anpassung bestehender Methoden zur Abschätzung der Bodenerosion an die Bedingungen des Ökologischen Landbaus. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2806OE256, <http://orgprints.org/18812/>.
- Søegaard, K.; Sehested, J.; Jensen, S. K. (2010): Micro-mineral profile in different grassland species. In: H. Schnyder, J. Isselstein, F. Taube, K. Auerswald, J. Schellberg, M. Wachendorf et al. (Hg.): Grassland in a changing world. Proceedings of the 23th general meeting of the European Grassland Federation. Grassland in a changing world. Kiel, 29.08.-02.09.2010. European Grassland Federation, 566–568.
- Stadler, C. (2006): Nitrogen release and nitrogen use efficiency of plant derived nitrogen fertilisers in organic horticultural soils under glasshouse conditions. Dissertation, TU München.
- Stadler, C. (2015): Welcher Dünger bietet sich als Ersatz für Champignonkompost im ökologischen Unterglasgemüsebau in Island an? In: A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthardt, J. Pape und G. Trei (Hg.): Am Mut hängt der Erfolg. Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landbewirtschaftung. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20.03.2015, Berlin. Köster.
- Statistisches Bundesamt (2014): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Betriebe mit ökologischem Landbau, Agrarstrukturerhebung 2013 (Fachserie 3, Reihe 2.2.1), Wiesbaden.
- Steffens, D. (2016): Phosphorrecycling mittels Kombination von Nieder-Temperatur-Konvertierung und thermochemischem Aufschluss von biogenen Reststoffen. Projektbeschreibung des BÖLN-Vorhabens 2811NA023. http://www.fisaonline.de/index.php?lang=dt&act=projects&p_id=7330.
- Steffens, D.; Stamm, R.; Leithold, G.; Schubert, S. (2003): Phosphat-Mobilisierung durch Haupt- und Zwischenfrüchte nach Düngung von weicherdigem Rohphosphat im ökologischen Landbau. Abschlussprojekt des BÖL-Vorhabens 2802OE424, <http://orgprints.org/17240/>.
- Stockdale, E. A.; Shepherd, M. A.; Fortune, S.; Cuttle, S. P. (2002): Soil fertility in organic farming systems – fundamentally different? *soil use manage* 18 (3), 301–308.

- Stockdale, E. A.; Watson, C. A. (2009): Biological indicators of soil quality in organic farming systems. *Renew. Agric. Food Syst.* 24 (04), 308.
- Stoltz, E.; Wallenhammar, A-C. (2014): Influence of boron in organic red clover (*Trifolium pratense* L.) seed production. *Grass Forage Sci* 69 (2), 285–293.
- Strumpf, T.; Strassemeyer, J.; Herwig, N.; Horney, P.; Felgentreu, D.; Hommel, B.; Krück, S. (2015): Regenwurmzönose - Auswirkungen von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfruchtbarkeit unter Nutzung von Regenwürmern als Indikatoren am Beispiel Weinbau. Abschlussbericht des BÖLN-Vorhabens 2812NA010 und 2812NA015, <http://orgprints.org/28689/>.
- Stumm, C.; Köpke, U. (2015): Optimierung des Futterleguminosenanbaus im viehlosen Acker- und Gemüsebau. In: A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthardt, J. Pape und G. Trei (Hg.): Am Mut hängt der Erfolg. Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landwirtschaft. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20.03.2015, Berlin. Köster, zuletzt geprüft am 11.12.2015.
- Thumm, U.; Böhmel, C.; Tonn, B.; Schulz, H.; Claupein, W. (2009): Energetische Verwertung des Schnittguts von Golfanlagen. *European Journal of Turfgrass Science* 4, 133.
- Tittarelli, F. (2014): Effect of living mulch management on nitrogen dynamics in the soil - plant system of cauliflower. In: G. Rahmann und U. Aksoy (Hg.): Building Organic Bridges. Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference at the Organic World Congress 2014. Istanbul, 13.-15.10.2014. 4 Bände (Thünen-Report 20, 3), 737–740, zuletzt geprüft am 18.01.2016.
- Tittonell, P. (2014): Ecological intensification of agriculture—sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 8, 53–61.
- Urbatzka, P.; Cais, K.; Rehm, A.; Rippel, R. (2011): Status-Quo-Analyse von Dauerversuchen: Bestimmung des Forschungsbedarfes für den ökologischen Landbau. Abschlussbericht zum BÖL-Vorhaben 2810OE036, <http://orgprints.org/19317/>.
- van Den Bossche, A.; Neve, S. de; Hofman, G. (2005): Soil phosphorus status of organic farming in Flanders. An overview and comparison with the conventional management. *soil use manage* 21 (4), 415–421.
- Veh, C.; Graeff-Hönninger, S.; Claupein, W.; Zikeli, S.; Ziehm, N. (2013): Bedeutung von Ackerbohrendichtsamt und Horngries für den Ertrag bei Brokkoli. In: D. Neuhoff, S. Stumm, G. Ziegler, U. Rahmann, U. Hamm und U. Köpke (Hg.): Ideal und Wirklich-

- keit. Perspektiven Ökologischer Landwirtschaft. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Bonn, 05.-08.03.2013, Berlin. Dr. Köster.
- Verband der Landwirtschaftskammern (Hg.) (1989-2012): Versuche im deutschen Gartenbau. Gemüsebau, Berlin.
- Verband der Landwirtschaftskammern (Hg.) (2013): Versuche im deutschen Gartenbau. Ökologischer Gemüsebau, Berlin.
- Verband der Landwirtschaftskammern (Hg.) (2014): Versuche im deutschen Gartenbau Jahrgang 2014. Ökologischer Gemüsebau, Berlin.
<http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.woa/ebook/tAc-rybzXf6kYzkD4bGHrrM/63441/start>.
- Verband der Landwirtschaftskammern (Hg.) (2015): Versuche im deutschen Gartenbau Jahrgang 2015. Ökologischer Gemüsebau, Berlin.
- VERORDNUNG (EG) Nr. 834/2007 DES RATES vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, ABl. Nr. L 189 vom 20.07.2007, S. 1. Online verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/OekologischerLandbau/834_2007_EG_Oeko-Basis-VO.pdf?__blob=publicationFile
- VERORDNUNG (EG) Nr. 889/2008 DER KOMMISSION vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle, ABl. Nr. L 250 vom 18.09.2008, S. 1. Online verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/OekologischerLandbau/889_2008_EG_Durchfuehrungsbestimmungen.pdf?__blob=publicationFile
- Voogt, W.; van Winkel, A.; Cuijpers, W. J. M. (2010): Nutrient management in organic greenhouse production; navigation between constraints. ISHS 1st Int. Symposium on Organic Greenhouse Horticulture. ISHS, Bleiswijk, 11.10.2010.
<http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/158022>.
- Watson, C. A.; Atkinson, D.; Gosling, P.; Jackson, L. R.; Rayns, F. W. (2002a): Managing soil fertility in organic farming systems. *soil use manage* 18 (3), 239–247.
- Watson, C. A.; Bengtsson, H.; Ebbesvik, M.; Løes, A-K.; Myrbeck, A.; Salomon, E. et al. (2002b): A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility. *soil use manage* 18 (3), 264–273.

- Watson, C. A.; Öborn, I.; Edwards, A. C.; Dahlin, A. S.; Eriksson, J.; Lindström, B.E.M. et al. (2012): Using soil and plant properties and farm management practices to improve the micronutrient composition of food and feed. *Journal of Geochemical Exploration* 121, 15–24.
- Weiske, A.; Vabitsch, A.; Olesen, J. E.; Schelde, K.; Michel, J.; Friedrich, R.; Kaltschmitt, M. (2006): Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112 (2-3), 221–232.
- White, J. G.; Zasoski, R. J. (1999): Mapping soil micronutrients. *Field Crops Research* 60 (1-2), 11–26.
- Whitehead, D. C. (2000): Nutrient elements in grassland. Soil-plant-animal relationships. CABI Pub, New York.
- Wilbois, K.-P.; Böhm, H.; Bohne, B.; Brandhuber, R.; Bruns, C.; Demmel, M. et al. (2013): Steigerung der Wertschöpfung ökologisch angebaute Marktfrüchte durch Optimierung des Managements der Bodenfruchtbarkeit. Abschlussbericht der BÖLN-Vorhaben 2808OE004 - 08OE009 und 11OE080 - 11OE085, <http://orgprints.org/28973/>.
- Wollmann, I.; Möller, K. (2015): Recycling Phosphor Düngemittel für den Ökologischen Landbau. In: A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthardt, J. Pape und G. Trei (Hg.): Am Mut hängt der Erfolg. Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landwirtschaft. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20.03.2015, Berlin. Köster.
- Zerhusen-Blecher, P.; Schäfer, B. (2013): Stand des Wissens und Ableitung des Forschungsbedarfes für eine nachhaltige Produktion und Verwertung von Ackerbohne und Erbse. Abschlussbericht zum BÖLN-Vorhabens 2812NA118, <http://orgprints.org/23003/>.
- Zikeli, S.; Deil, L.; Möller, K. (2015): Nährstoffmanagement in ökologisch bewirtschafteten Gewächshäusern in Südwest-Deutschland: Bedingt der Anbauverband die Düngestrategie? In: A. M. Häring, B. Hörning, R. Hoffmann-Bahnsen, H. Luley, V. Luthardt, J. Pape und G. Trei (Hg.): Am Mut hängt der Erfolg. Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landwirtschaft. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Eberswalde, 17.-20.03.2015, Berlin. Köster.
- Zorn, W.; Kerschberger, M.; Marks, G.; Krause, O. (2001): Mikronährstoff-Düngebedarf (B, Cu, Mn, Mo, Zn) in der Pflanzenproduktion.

Zorn, W.; Wagner, S. (2010): Nährstoffversorgung ökologisch bewirtschafteter Ackerflächen sowie Konsequenzen für die Düngung. In: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hg.): Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Bd. 8, Jena, 38–43.

8 Anhang

Tabelle 4: Teilnehmer des Experten-Workshops „Nährstoffmanagement und Düngung im ökologischen Landbau“ am 05. und 06.11.2015 an der HTW Dresden

| Referenten | |
|-------------------------------------|--|
| Prof. Dr. Rainer-Georg Jörgensen | Universität Kassel |
| Prof. Dr. Jürgen Heß | Universität Kassel |
| Prof. Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen | Technische Universität München |
| Dr. Wilfried Zorn | TLL Jena |
| Dr. Herrmann Laber | LfULG Dresden |
| PD Dr. Kurt Möller | Universität Hohenheim |
| Dipl.-Ing. Werner Voigt-Kaute | Naturland |
| Dr. Johann Anthes | Gesellschaft für Ressourcenschutz, Göttingen, Kontrollstelle |
| Dr. Jürgen Müller | Universität Rostock |
| Teilnehmer | |
| Dr. Thomas Döring | Humboldt-Universität Berlin |
| Dr. Herwart Böhm | von Thünen-Institut Trenthorst |
| Dipl.-agr.Biol. Martin Hänsel | Bioland Beratung |
| M.Sc. Jörg Wolf | Fachhochschule Südwestfalen |
| Dr. Harriet Gruber | Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Fischerei Mecklenburg-Vorpommern |
| Dr. Christopher Brock | Universität Gießen |
| Prof. Dr. Ulrich Köpke | Universität Bonn |
| Dr. Ben Schmehe | Forschung & Züchtung Dottenfelder Hof |
| Dr. habil. Hartmut Spieß | Forschung & Züchtung Dottenfelder Hof |
| Prof. Dr. Sonoko Bellingrath-Kimura | ZALF Müncheberg |
| Dipl. Ing. Markus Mücke | LWK Niedersachsen |
| Dr. Stephanie Fischinger | Bioland Beratung |
| Dipl.-Ing. Dorothee Hahn | BLE / BOELN, Bonn |
| M.Sc. Judith Braun | BLE / BOELN, Bonn |
| Prof. Dr. Knut Schmidtke | HTW Dresden |
| Dipl. Ing. (FH) Guido Lux | HTW Dresden |
| B.Sc. Marit Deumlich | HTW Dresden |
| Dipl.-Ing. agr. Bernhard Jansen | Forschungskoordination HTW Dresden |

Tabelle 5: Vortrags- und Diskussionsprogramm des Experten-Workshops „Nährstoffmanagement und Düngung im Ökologischen Landbau“ am 05. und 06.11.2015 an der HTW Dresden

| Tag/Uhrzeit | Impulsreferent | Thema |
|--|---|--|
| 05.11.2015 | | |
| 12:00 bis 12:50 Uhr | <i>Eintreffen der Teilnehmer an der HTW Dresden</i> | |
| 12:50 bis 13:00 Uhr | Begrüßung der Teilnehmer | |
| 13:00 bis 13:20 Uhr 13:20 bis 13:55 Uhr 13:55 bis 14:00 Uhr | Prof. Jörgensen | Bodenbiologie/Nährstoffumsatz Diskussion der Themenliste Priorisierung |
| 14:00 bis 14:20 Uhr 14:20 bis 14:40 Uhr 14:40 bis 15:00 Uhr | Prof. Heß W. Voigt-Kaute | Ackerbau (Wissenschaft) Ackerbau (Praxis/Beratung) Diskussion der Themenliste I |
| 15:00 bis 15:30 Uhr | <i>Pause</i> | |
| 15:30 bis 15:55 Uhr 15:55 bis 16:00 Uhr | Prof. Heß W. Voigt-Kaute | Ackerbau, Diskussion Themenliste II Priorisierung |
| 16:00 bis 16:20 Uhr 16:20 bis 16:55 Uhr 16:55 bis 17:00 Uhr | Prof. Hülsbergen | Nährstoffflüsse Diskussion der Themenliste Priorisierung |
| 17:00 bis 17:20 Uhr 17:20 bis 17:55 Uhr 17:55 bis 18:00 Uhr | Dr. Zorn | Mikronährstoffe Diskussion der Themenliste Priorisierung |
| 18:00 bis 19:00 Uhr | <i>Check in Hotel</i> | |
| ab 19:00 Uhr | <i>Gemeinsames Abendessen in der Altstadt Dresdens</i> | |
| 06.11.2015 | | |
| 8:30 bis 8:50 Uhr 8:50 bis 9:25 Uhr 9:25 bis 9:30 Uhr | Dr. Müller | Grünland, Diskussion der Themenliste Priorisierung |
| 9:30 bis 10:00 Uhr | <i>Pause</i> | |
| 10:00 bis 10:20 Uhr 10:20 bis 10:40 Uhr 10:40 bis 11:25 Uhr 11:25 bis 11:30 Uhr | PD Dr. Möller Dr. Laber | Gemüsebau/Unterglas (Wissenschaft) Gemüsebau (Praxis/Beratung) Diskussion der Themenliste Priorisierung |
| 11:30 bis 11:50 Uhr 11:50 bis 12:15 Uhr 12:15 bis 12:20 Uhr | Dr. Anthes | Kontrolle Diskussion der Themenliste Priorisierung |
| 12:20 bis 12:45 Uhr 12:45 bis 12:50 Uhr | General-/Abschlussdiskussion Empfehlungen zur Programmgestaltung | |
| 12:50 Uhr | Abschluss des Workshops mit Mittagsimbiss | |