



INPLAMINT

Increasing agricultural nutrient-use efficiency by
optimizing **plant–soil–microorganism interactions**

TP Lüneburg

Schlussbericht

- Förderkennzeichen:** 031A561H
- Zuwendungsempfänger:** Leuphana Universität Lüneburg
21335, Lüneburg
- Ausführende Stelle:** Leuphana Universität Lüneburg
Ecosystem Functioning & Services
Institute of Ecology,
Faculty of Sustainability
Universitätsallee 1, 21335, Lüneburg
- Projektleiter:** Prof. Dr. Vicky M. Temperton
temperton@leuphana.de
Fon +49.4131.677-2960
Fax +49.4131.677-2849
- Laufzeit & Berichtszeitraum:** 01.05.2015 – 30.04.2018

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

I. Kurzdarstellung

I.1 Aufgabenstellung

Exzessive Düngung in der Landwirtschaft führt zu einer unausgewogenen Nährstoffsituation, die wiederum schädliche Auswaschung von Nährstoffen aus den Böden in Oberflächen- und Grundwasser nach sich zieht. Für eine nachhaltige Landwirtschaft müssen demnach Wege gefunden werden, die Nutzung von Düngemitteln effizienter zu gestalten, während gleichzeitig die Ernteerträge und -qualität auf einem hohen Niveau gehalten werden müssen. Dieses Projekt ist auf der zentralen Hypothese aufgebaut, dass neue Anbaustrategien, basierend auf einer aktiven Beeinflussung der komplexen Interaktionen von Pflanzen und Mikroorganismen, sowie einer optimierten zeitlichen Koordinierung von Düngung und Bodenverbesserungen, maßgeblich die Effizienz der Nährstoffnutzung erhöhen. Die übergreifenden Ziele des INPLAMINT-Projektes sind dementsprechend (a) die Schlüsselprozesse aufzuklären, welche die Nährstoffkreisläufe und -flüsse bestimmen, (b) deren Bedeutung für eine nährstoffeffiziente landwirtschaftliche Produktion zu bewerten, (c) die kombinierte Nutzung und zeitliche Abfolge der Hauptnährstoffe N, P und K zu optimieren und (d) geeignete Managementoptionen abzuleiten, mit deren Hilfe die Nährstoffnutzungseffizienz der landwirtschaftlichen Produktion für verschiedene Bodenbedingungen und unter verschiedenen Szenarien des Klimawandels optimiert werden kann.

Teilprojekt H hat das Ziel, die Rolle der Pflanze, vor allem bei Interaktionen des Wurzelsystems mit Nährstoffen (N und P) und Mikroben, besser zu verstehen. Insbesondere wurden Wurzelarchitektur und Aufnahme von Pflanzen (Winter- und Sommergerste, aber auch Raps, Ackerbohne und Lupine) in kontrollierten Experimenten untersucht, die ergänzend zu den Feldexperimenten in Kiel und Speyer zu verstehen sind. Die Rolle der Pflanzenart bei diesen Interaktionen wurde : in einem zwei-jährigen Mesokosmenexperiment untersucht mit dem Ziel, die Effekte einer Fruchtfolge (Raps, Fababohne, Lupine und Gerste im ersten Jahr wurde verglichen mit Gerste in allen Töpfen im zweiten Jahr) auf das Pflanzenwachstum und die mikrobielle Bodengemeinschaften mit und ohne High-Carbon-Amendement (HCA: Stroh, Sägespäne und Kontrolle) untersuchen zu können.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

In unserem Mesokosmos-Experiment haben wir uns zum Ziel gesetzt, reale

landwirtschaftliche Feldbedingungen so gut wie möglich zu simulieren und dabei den Vorteil homogenerer Umwelt- und Bodenbedingungen zu nutzen, um so zufällige Effekte zu vermeiden und die eigentlichen Mechanismen besser sichtbar zu machen. Wir haben dies erreicht, indem wir Mesokosmen unter realistischen Wetterbedingungen draußen gehalten haben, und Boden aus dem Versuchsbetrieb der Hochschule Kiel (unserer Projektpartner) in den Meskosmen verwendet. Auch haben wir die gleichen kohlenstoffreichen Amendments (High Carbon Amendment HCA; Weizenstroh, Sägemehl) verwendet, um unsere Ergebnisse direkt mit dem Kieler-Fruchtfolge-Feldversuch vergleichen zu können. Schließlich haben wir Düngemittel und Pflanzenbau ähnlich wie bei der konventionellen Landwirtschaft eingesetzt. Diese Kombination bot einen einzigartigen Rahmen, der in den Agrarwissenschaften selten verwendet wird. So wurde beispielsweise der Vorteil homogener Ausgangsbodenverhältnisse in den Gesamtkohlenstoff- und Stickstoffdaten des Bodens beobachtet, wo wir kleine Veränderungen beobachten konnten, die normalerweise durch Schwankungen auf dem Feld verschleiert wären.

Für die Rhizobox-Experimente verwendeten wir eine Mischung aus Sand, einem Lössboden, der in 6 m Tiefe aus einer Tagebau bei Jackerath, NRW, abgebaut wurde, und einer Torferde. Dadurch entstand ein sehr nährstoffarmer, aber dennoch relativ natürlicher Boden für das experimentelle Arbeiten. Mit dem Einsatz von Rhizoboxen konnten wir das Wurzelwachstum im Laufe der Zeit bildlich (Fotos) verfolgen, ohne die Pflanzen zerstörerisch ernten zu müssen. So konnten von uns die Wurzelreaktionen über einen bestimmten Zeitraum beobachtet werden.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Teilprojekt Leuphana war hauptsächlich an den Arbeitspaketen 4 und 5 beteiligt. Die Hauptziele waren:

1. Messung der Reaktionen der Pflanzeigenschaften (Wurzel-Traits) auf a) der zeitlichen Reihenfolge der Nährstoffgaben und b) die Stöchiometrie der Nährstoffe (N:P Verhältniss) mit Fokus auf Stickstoff und Phosphor (WP4).
2. Prüfung der Wirkung von High Carbon Amendments (HCA) auf die Reduzierung von Nitrat-Sickerwasser nach der Pflanzenernte (WP5).
3. Prüfung der Wirkung von (Nicht-)Leguminosen/Mykorrhizapflanzen auf die

folgende Kultur (Fruchtfolge) (WP4 und WP5).

Die Meilensteine waren wie folgt:

MS 8: Ermittlung des (oberirdischen) Pflanzenwachstums in Mikrokosmen bei unterschiedlichen, in Task 4.1 ermittelten Nährstoffgaben. Für diesen Meilenstein haben wir uns auf ein *NP Timing Rhizobox-Experiment* konzentriert, bei dem die Wirkung der Zufuhr von N/P-Dünger zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf die Wurzelmerkmale (traits) untersucht wurde. Die Daten des Experimentes sind vollständig ausgewertet und wir schreiben derzeit eine Veröffentlichung, die voraussichtlich innerhalb des nächsten Monats eingereicht wird. Wurzelproben aus einem zweiten Rhizotron-Experiment zur Stöchiometrie von N/P, werden noch analysiert. Vorläufige Ergebnisse zeigen ähnliche Muster wie der zeitlichen versetzten Zufuhr von N und P – es scheint weniger wichtig zu sein wenn P sub-optimal verfügbar ist, im Vergleich zu N. Eine weitere Publikation über die Wurzelmerkmale und ihre Reaktion auf die Stöchiometrie wird in 2019 vorbereitet.

MS 15: Bewertung der Wurzelarchitektur von Raps und Weizen in Rhizotron-Experimenten in zuvor mit Leguminosen bewachsenen Böden:

Zu Beginn des Projekts haben wir für das gesamte Konsortium auf Sommergerste (var. Barke) umgestellt, da das Genom besser bekannt ist und somit eine bessere Möglichkeit der Wurzelquantifizierung besteht. Der ursprünglicher Plan Interaktionen auf Böden, die zuvor mit Hülsenfrüchten bestellt wurden, wurden stattdessen im Mesokosmen-Fruchtfolgeversuch behandelt, bei dem Hülsenfrüchte (Fababohne und weiße Lupine) sowie Nichtleguminosen (Raps und Sommergerste) vor Wintergerste angebaut wurden.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der Stickstoffüberschuss und die Nitratauswaschung sind dringende Probleme in der konventionellen Landwirtschaft. Das Problem ergibt sich aus der geringen Effizienz der Stickstoffnutzung und aus der Tatsache, dass zu viel gedüngt wird (Düngermittel sind relativ billig). Der eingesetzte Stickstoff wird nicht vollständig von den Anbaupflanzen aufgenommen (Di und Cameron, 2002) und geht als Sickerwasser und/ oder Treibhausgase verloren. Der entscheidender Zeitpunkt ist nach der Ernte, wenn die Evapotranspiration gering ist und die Niederschläge potenziell hoch sind. Zu diesem

Zeitpunkt könnten landwirtschaftliche Bewirtschaftungsoptionen wie Zwischenfrüchte oder High Carbon Amednemnts (HCA) die Stickstoffverluste reduzieren.

Darüber hinaus unterscheiden sich die Stickstoffverluste je nach Kultur, weshalb die Bewirtschaftungsoptionen diese Variation je Kultur beinhalten sollten. Hülsenfrüchte, die zwar oft für andere Kulturen in der Fruchtfolge von Vorteil sind, hinterlassen aber auch hohe N-Rückstände, die anfällig für erhöhte Auswaschungen sind (Plaza-Bonilla et al., 2015). Die nächste Ernte wirkt sich auch wieder auf das Management aus. In Deutschland steigert Wintergetreide die Gewinne im Vergleich zu Frühlingsgetreide, aber nicht immer können Deckgetreide (cover crops) in Verbindung mit Wintergetreide angebaut werden.

Pflanzenerträge, die ihren optimalen Ertrag nicht erreichen (auch bekannt als Ertragslücke), sind aufgrund der vielfältigen komplexen Wechselwirkungen zwischen Pflanzen, Boden, Mikroorganismen, Schädlingen und Witterungsbedingungen schwer abzuschätzen. Mikroorganismen können sich positiv auf die Pflanzen, aber auch auf die Nährstoffspeicherung und -verfügbarkeit auswirken und spielen eine entscheidende Rolle bei der Steigerung der landwirtschaftlichen Nachhaltigkeit. Eine der häufigsten Pilzsymbiosen bei Landpflanzen, die arbuskulären Mykorrhizapilze (AMF), spielen bekanntlich eine wesentliche Rolle bei der Nährstoffaufnahme von Pflanzen. Ihre Funktion in der Landwirtschaft ist jedoch nicht klar, da sie stark von den abiotischen und biotischen Bedingungen abhängig ist. Einige argumentieren, dass AMF nur eine kleine, unkritische Rolle in der intensiven Landwirtschaft spielen (Ryan und Graham, 2018) oder sogar parasitär sein können (Verbruggen und Kiers, 2010). Daher könnte die Bestätigung positiver AMF-Beiträge zu den Ernteerträgen durch verschiedene Fruchtfolgen, weniger Bodenbearbeitung oder weniger Fungizide einen nachhaltigen Weg zur Steigerung der Ernteerträge darstellen. Anhand der Daten zur Mykorrhizabesiedlung von Wurzeln im Fruchtfolgeexperiment in Mesokosmen fanden wir heraus, dass diese Besiedlung in unserem Experiment eher zum parasitären Seite des Interaktionsgradienten gehörte. Dies zeigt, dass die Dynamik dieser Symbiose zwischen positiv und negativ noch besser verstanden werden muss, um die positiven Effekte der Symbiose aktiv in der Landwirtschaft einsetzen zu können.

In der Pflanzen- und Agrarforschung wurden die Wurzeln weitgehend übersehen, obwohl zur Zeit die Forschung in diesem Bereich zunimmt, vor allem in Bezug auf die mögliche Rolle von Pflanzenexudaten für die Verfügbarkeit von Nährstoffen (Laliberte

2017). Während Ernteerträge und andere oberirdische Merkmale wie Blattfläche oder N-Aufnahme relativ einfach zu messen sind, sind Wurzelmessungen schwieriger und arbeitsintensiver. Wurzeln spielen jedoch eine wesentliche Rolle bei der Nährstoff- und Wasseraufnahme und spielen eine große Rolle bei der Interaktion zwischen Pflanze, Boden und Mikroben. Eine große Hürde besteht wissenschaftlich und technisch darin, die Wurzelfunktionen und -reaktionen zeitlich definiert aufzuklären. Während oberirdisches Pflanzenmaterial leicht zu verfolgen ist, sind die Wurzeln im Boden verborgen. Es stehen mehrere Optionen zur Verfügung, wie z.B. Rhizoboxen, Röntgen-Tomographie, Minirhizotronen oder Einwachskerne, um das Wurzelwachstum über die Zeit zu verfolgen. Dennoch gibt es eine Wissenslücke über Wurzelfunktionen und Reaktionen auf die Nährstoffverfügbarkeit. Dieses Wissen ist unerlässlich, um die Effizienz der Nährstoffnutzung zu erhöhen und so Nährstoffverluste in landwirtschaftlichen Nutzflächen zu verhindern.

Unsere Experimente haben erwiesen, dass sowohl die zeitlich versetzte Zufuhr von N und P, als auch die Stöchiometrie, einen signifikanten Effekt auf die gesamte Pflanzenbiomasse haben können. Wir fanden heraus, dass sich die Muster nicht zwischen Wurzeln und Spross unterscheiden haben, aber durchaus zwischen den Effekten N vs. P. Die Bauernweisheit, dass man immer N braucht, weniger aber P (über den Verlauf einer Wachstumsperiode), dass bis jetzt noch nicht wissenschaftlich untersucht wurde, stimmt. Wenn N später appliziert wurde, hatte dies durchaus größere Folgen für die Pflanzenbiomasse und Nährstoffe in den Blättern als wenn P später appliziert wurde. Dies hat sich wiederholt im stochiometrischen Experiment (erste Daten) gezeigt.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Unsere Experimente waren konzeptionell gesehen eng verlinkt mit den Experimenten der UCo (Bonkowski) und UKiel (Kage). Zusätzliche mikrobielle Messungen wurden von den Partnern in TUM (Schloter) und FUB (Rillig) unternommen. Das Fruchtfolgeexperiment folgte ebenfalls genau dem Feldversuch in Kiel und die gleichen *High Carbon Substrate* (High Carbon Substrate, HCA: Weizenstroh und Sägespäne) wurden verwendet. Julien Roy (FUB) und Christoph Schmid (TUM) waren einmal zur Probenentnahme in Lüneburg am Ende des Mesokosmenfruchtfolgeexperiment (Sommer 2017) und die mikrobiellen Daten sind inzwischen vorhanden und werden mit Aussicht auf weitere Publikationen weiter

ausgewertet. Beim nächsten Status-Seminar in Leipzig in Februar 2019 wird dieses einzigartige Fruchtfolgeexperiment mit pflanzenfunktionellen Gruppe Ansatz (Arten mit und ohne Rhizobia und Arten mit und ohne Mykorrhiza als Vorfrucht) als Gemeinsames Projekt der ersten Phase von Prof. Temperton vorgestellt.

Um die experimentellen Ergebnisse der Rhizobox-Experimente besser interpretieren zu können, haben wir den gleiche Bodentyp und auch die selbe Sommergersten-Sorte wie in UCo verwendet. Unsere Stoichiometrieexperimente publizieren wir erstmal separat, aber wir planen auch eine gemeinsame Publikation zu diesem wichtigen Thema, dass bis jetzt in der Literatur wenig Beachtung hatte.

Verwendete Literatur

- Di, H. J., and Cameron, K. C. (2002). Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 64, 237–256.
- Laliberté, E. (2017). Below-ground frontiers in trait-based plant ecology. *New Phytol.* 213, 1597–1603. doi:10.1111/nph.14247.
- Plaza-Bonilla, D., Nolot, J.-M., Raffaillac, D., and Justes, E. (2015). Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes: Field evidence and model simulations. *Agric. Ecosyst. Environ.* 212, 1–12. doi:10.1016/j.agee.2015.06.014.
- Ryan, M. H., and Graham, J. H. (2018). Little evidence that farmers should consider abundance or diversity of arbuscular mycorrhizal fungi when managing crops. *New Phytol.* doi:10.1111/nph.15308.
- Verbruggen, E., and Kiers, T. E. (2010). Evolutionary ecology of mycorrhizal functional diversity in agricultural systems: AMF in agriculture. *Evol. Appl.* 3, 547–560. doi:10.1111/j.1752-4571.2010.00145.x.



INPLAMINT

**Increasing agricultural nutrient-use efficiency by
optimizing **plant-soil-microorganism interactions****

TP Lüneburg

Schlussbericht

- Förderkennzeichen:** 031A561H
- Zuwendungsempfänger:** Leuphana Universität Lüneburg
21335, Lüneburg
- Ausführende Stelle:** Leuphana Universität Lüneburg
Institute of Ecology, Ecosystem Functioning &
Services
Universitätsallee 1, 21335, Lüneburg
- Projektleiter:** Prof. Dr. Vicky M. Temperton
temperton@leuphana.de
Fon +49.4131.677-2960
Fax +49.4131.677-2849
- Laufzeit & Berichtszeitraum:** 01.05.2015 – 30.04.2018

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



BONARES

II. Eingehende Darstellung

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

I.1.1.1 Prüfung von High Carbon Amendments zur Reduzierung der Nitratauswaschung und eines Plant-Functional-Group Ansatzes für Fruchtfolgen

Ein wesentlicher Bestandteil des Teilprojekts Lüneburg war die experimentelle Arbeit im und außerhalb des Gewächshauses, mit der Prüfung von Hypothesen hinsichtlich des Verständnisses der Mechanismen von Pflanzen- und Bodenprozessen unter kontrollierten Bedingungen. Daher haben wir über zwei Vegetationsperioden (Abb. 1) ein Mesokosmen-Experiment aufgebaut, das die Wirkung von kohlenstoffreichen Substraten wie Weizenstroh und Sägemehl (HCA) nach der Ernte einer der verschiedenen Vorfrüchte (Sommergerste, Weiße Lupine, Ackerbohne und Raps) auf den Ertrag von Wintergerste und auf Veränderungen der Bodenbeschaffenheit im Laufe der Zeit testet. Wir haben einen stickstoffarmen und stickstoffreichen Dünger während der Wachstumsperiode der Wintergerste appliziert, um besser zu verstehen, ob 1) die Nährstoffretention aufgrund des HCA höher und für die Wintergerste verfügbar war und ob 2) bestimmte Kulturen mit hohem N-Rest bei der Ernte (z.B. Hülsenfrüchte) unterschiedlich auf die HCA-Zugabe reagierten. Zusätzlich haben wir in diesem Experiment eine Mischung aus (Nicht-) Mykorrhiza-/Legumenvorfrüchten aufgenommen, um symbiotische Treiber des Wintergerstenertrags zu entwirren. Eine detailliertere Analyse des Mikrobioms wurde in Zusammenarbeit mit unseren Projektpartnern in Berlin und München durchgeführt. Die Daten sind inzwischen größtenteils analysiert und 1-2 zusätzliche Publikationen werden in 2019 geschrieben.



Abb. 1. Feldversuch in Kiel (linksoben) und Fruchtfolge experiment (rechtsoben) mit unterschiedlichen Vorfruchtarten in Lysimetern. Unten von links nach recht: Raps, Sommergerste, Weiße Lupine und Ackerbohne.

Wir haben ein voll-faktorielles Experiment aufgebaut, das die Wirkung von HCA (3 Stufen; kein HCA, Weizenstroh, Sägemehl), die Identität der Vorkultur (4 Stufen; Sommergerste, Frühlingsraps, Ackerbohne, weiße Lupine) und die N-Düngung (2

Stufen; hoch: 160 kg/ha, niedrig: 40 kg/ha) getestet. Wir haben den Wintergersteertrag, die N-Aufnahme, den C/N Gehalt des Bodens gemessen und die N-Verluste mit dem Sickerwasser in Lysimetern (reduziertes n) ermittelt. Die Ergebnisse mit Fokus auf den Effekt bei Sommergerste sind publiziert (van Duijnen et al. 2018).

HCA's hatten einen Einfluss auf den Wintergersteertrag, aber einen geringeren, als der Effekt der Vorfruchtart. Während Sägemehl den Wintergersteertrag im Vergleich zur Kontrolle verringerte, wahrscheinlich aufgrund einer zu engen Bindung des Stickstoffs, führte Weizenstroh zu einem leichten Anstieg. Direkte Nitrat-Sickerwasser-Messungen zeigten, dass die Anwendung von Weizenstroh die Nitratauswaschung signifikant verringert hat und dass Leguminosen nach der Ernte anfälliger für Auswaschungen sind (Abb. 3).

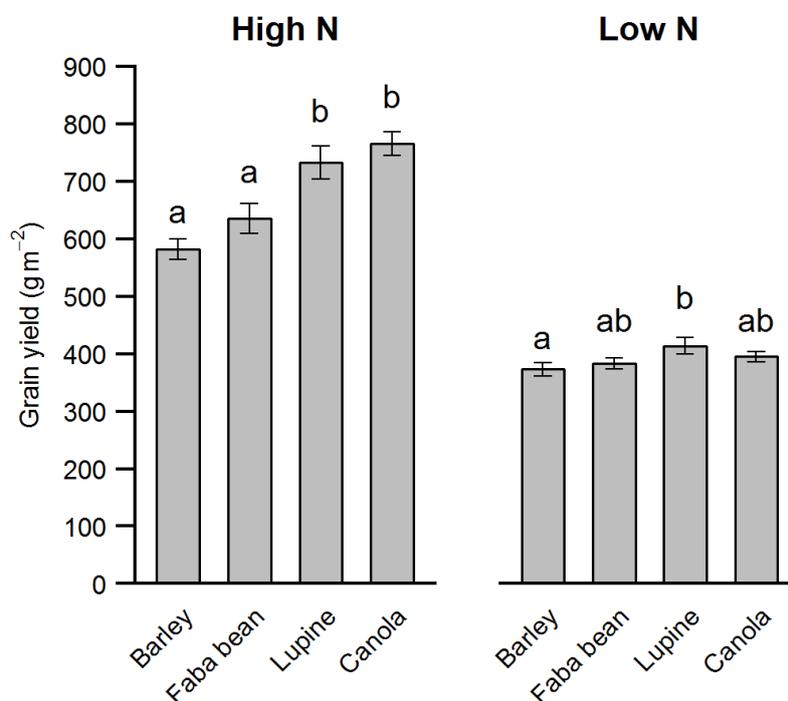


Abb. 2. Wintergerstenkornenertrag (in der zweiten Wachstumsperiode wurde diese Art in allem Mesokosmen angebaut), beeinflusst durch hohen und niedrigen N-Dünger und verschiedene Vorfrüchte. Balken sind Mittelwerte \pm Standardfehler.

Dieses Ergebnis könnte sich als nützlich erweisen, um zu entscheiden, nach welcher Vorkultur ein Landwirt HCAs hinzufügen sollte, um den größten Einfluss auf die Vermeidung von Nitratauswaschung zu haben. Ein Screening von mehr Präkulturen, zusammen mit den Daten des Feldversuchs in Kiel, könnte auch bei der Entscheidungsfindung helfen.

Interessanterweise fanden wir heraus, dass nicht-mykorrhizierende Vorfrüchte einen positiven Effekt auf die Wintergerste haben (Abb.2), ein Ergebnis, das wir so nicht erwartet haben, da normalerweise AMF-Symbiosen als hilfreich für die Pflanze angesehen werden. Darüber hinaus sahen wir keine großen Veränderungen unter niedrigem N, was hauptsächlich auf eine N-Begrenzung hindeutet, obwohl wir Leguminosen als Vorfrüchte hatten. HCAs hatten keinen sehr signifikanten Einfluss auf den Wintergersteertrag. Während Sägemehl den Wintergersteertrag im Vergleich zur Kontrolle verringerte, wahrscheinlich aufgrund einer zu engen Bindung des

Stickstoffs, führte Weizenstroh zu einem leichten Anstieg. Direkte Nitrat-Sickerwasser-Messungen zeigten, dass die Anwendung von Weizenstroh die Nitratauswaschung signifikant verringert hat und dass Leguminosen nach der Ernte anfälliger für Auswaschungen sind (Abb. 2). Dieses Ergebnis könnte sich als nützlich erweisen, um zu entscheiden, nach welcher Vorkultur ein Landwirt HCAs hinzufügen sollte, um den größten Einfluss auf die Vermeidung von Nitratauswaschung zu haben. Ein Screening von mehr Präkulturen, zusammen mit den Daten des Feldversuchs in Kiel, könnte auch bei der Entscheidungsfindung helfen.

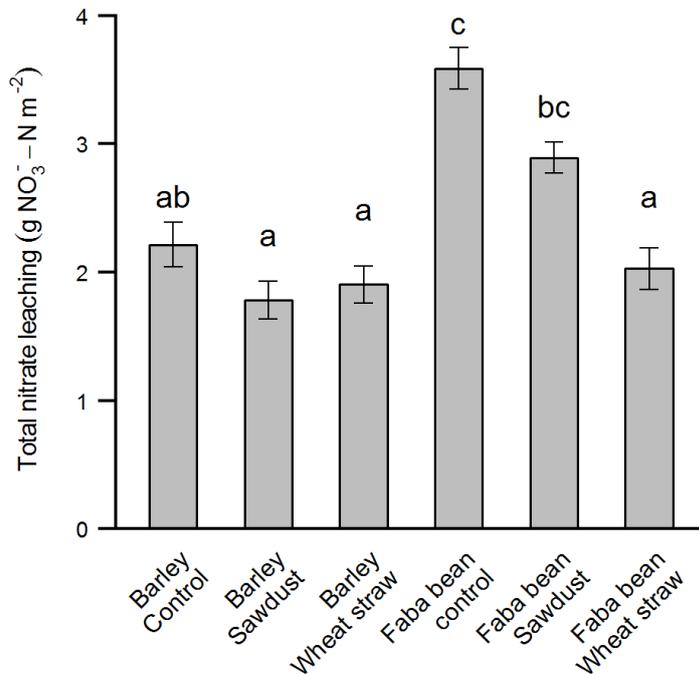


Abb. 3. Effekte der Vorrfruchtart und HCA Behandlung auf die Gesamtmenge des zwischen dem 16.09.09 und 17.03.01 ausgelaugten Nitrats (siehe auch Abb 1 für ein Bild des experimentellen Aufbaus). Die Werte sind Mittelwerte \pm SE. Verschiedene Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen hin ($p < 0,05$).

1.1.1.1 Rhizobox-Experimente zur Untersuchung von N/P-Düngemittelzufuhrzeitpunkt und Stöchiometrie

Da Wurzeln in Töpfen oder unter Freilandbedingungen schwer zu messen sind, haben wir Rhizoboxen mit einer transparenten Frontplatte verwendet, um das Wurzelwachstum und Wurzelarchitektur zeitlich und dynamisch verfolgen zu können (Abb. 4). Wir waren besonders daran interessiert, ein mechanistischeres Verständnis der Grundreaktionen zu erhalten, jedoch mit einer landwirtschaftlich angewandten Perspektive. So haben wir zwei Rhizobox-Experimente eingerichtet. Der erste testete das Timing von N- oder P-Dünger nach einer bestimmten Anzahl von Wochen auf das Wurzelwachstum und die Nährstoffaufnahme der Sommergerste. Die zweite hat verschiedene Stöchiometrien (d.h. Kombinationen aus hohem und niedrigem N/P) auf Wurzelreaktionen getestet und wird derzeit analysiert.

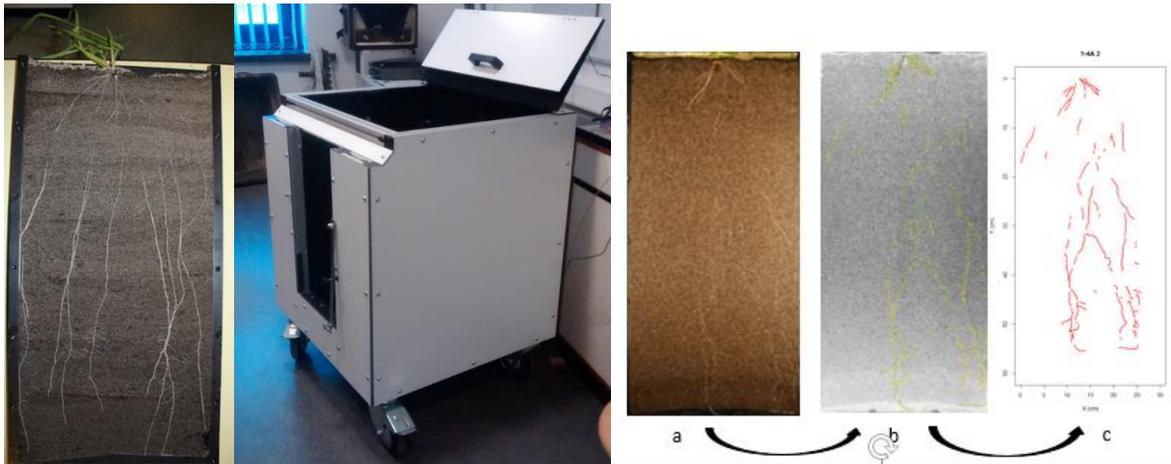


Abb. 4. Überblick über unsere verwendeten Wurzelmessmethoden. Von links: Abbildung eines Rhizoboxes mit Gerstewurzeln, und des weissen Fotobox, für Kameraaufnahmen der Wurzelarchitektur; der rechter Teil zeigt Verfahren zur nicht-invasiven und zeitlich dynamischen Messung von Wurzeln. Mit (a) hochauflösenden Fotos werden (b) Wurzeln mit Smartroot gezeichnet und (c) Wurzelmerkmale (traits) mit dem Softwarepaket archiDART quantifiziert.

Das erste Experiment testete den Zeitpunkt von N und P-Zufuhr auf das Wurzelwachstum von Sommergerste. Wir verwendeten einen Boden mit niedrigem Gehalt an N und P und fügten entweder N oder P nach 2/3/4 Wochen hinzu. Viele Experimente testen die räumlich explizite Platzierung von Nährstoffen (Nährstoffpflaster) oder Wurzelreaktionen auf ständigen Nährstoffstress. Experimente, die die Wirkung des relativen Zeitpunktes der Düngeszufuhr (N und P) testen, sind jedoch sehr selten. Mit Hilfe von Rhizoboxen haben wir die Wurzellänge im Laufe der Zeit verfolgt, indem wir dreimal pro Woche Fotos gemacht haben (Abb. 4). Pflanzen wurden mit Hoagland-Lösung bewässert, eine einfache Art N und P zunächst auszuschließen, um sie dann zu bestimmten Zeitpunkten separat hinzuzufügen zu können. Wir fanden eine anfängliche Zunahme der Wurzellänge bei N-begrenzten Pflanzen, aber kurz nachdem sie so N-unterversorgt waren, haben sie nicht so viel in ihr Wurzelwachstum investiert. Wenn N nach 4 Wochen jedoch immer noch fehlte, nahm die Wurzellänge wieder zu, was auf eine zweite Phase der Nahrungssuche hinweist (Abb. 5). Die Ergebnisse werden derzeit für die Veröffentlichung in einer wissenschaftlichen Zeitschrift (Plant and Soil, Einreichung um Weihnachten 2018) aufbereitet.

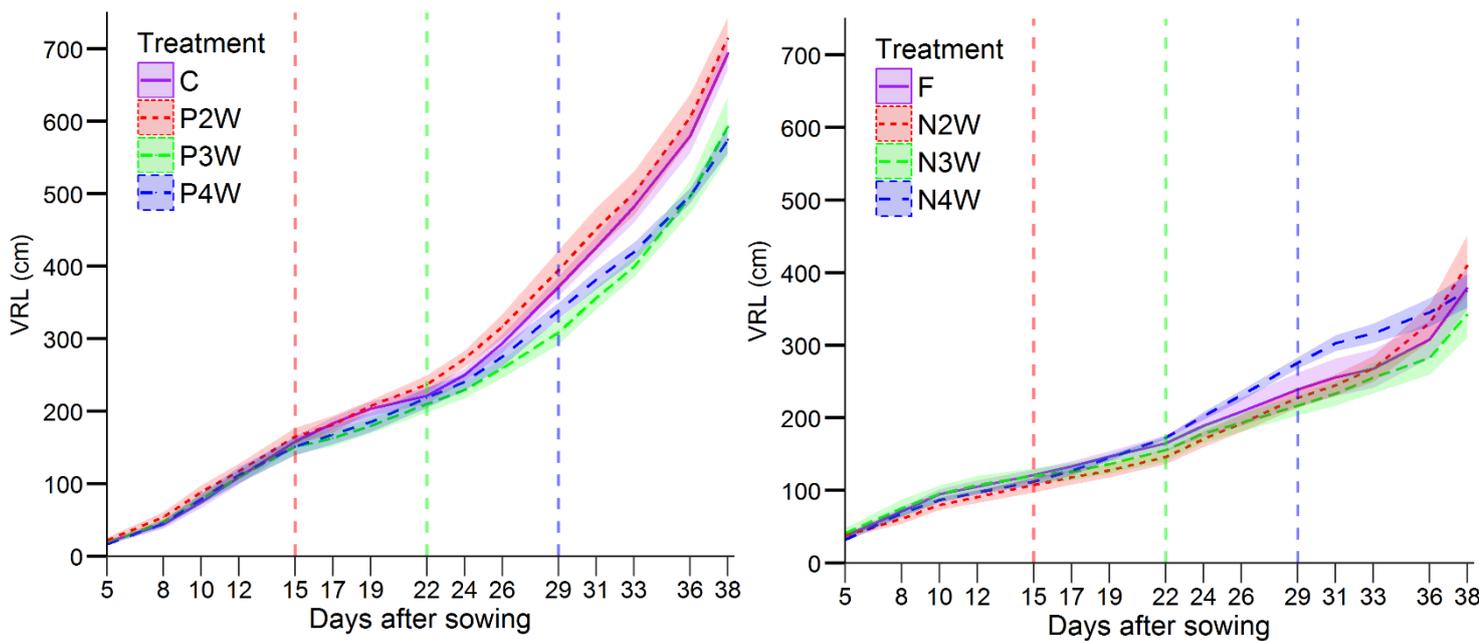


Abb. 5. NP TIMING-EXPERIMENT: Sichtbare Wurzellänge (Visible Root Length, VRL) im Zeitverlauf (an der Frontplatte der Rhizobox). Behandlungen sind C (Kontrolle), PxW (P appliziert nach 2/3/4 Wochen), F (N und P appliziert nach 3 Wochen) und NxW (N appliziert nach 2/3/4 Wochen). Die Werte sind Mittelwerte \pm SE.

Stöchiometrie Experiment mit Sommergerste in Rhizoboxen: Als letztes, wurde ein weiteres Experiment zum Effekt der NP Stoichiometrie im Düngemittel auf Sommergerstewurzeln ausgeführt. Die Daten sind noch nicht vollständig erhoben, da die Hälfte der Wurzelproben noch gewaschen werden. In Anlehnung an ein ähnliches Experiment in UCo (mit mehr N und P behandlungen) haben die Pflanzen entweder HighNLowP, HighNHigh P, LowNHighP, LowNLowP bekommen, und die Reaktion der Pflanzen, mit Blick auf den Wurzeln und N und P Konzentrationen im Sproß, wurde erfasst. Vorläufige Ergebnisse zeigen aber, ein ähnliches Muster wie beim *NP Timing-Experiment* (Abb. 6). Die Verfügbarkeit von N war wichtiger für das Pflanzenwachstum als die Verfügbarkeit von P. Erste Wurzeldaten zeigen spannende Unterschiede: wenn N reichlich vorhanden war, waren die meisten Wurzeln im Oberboden, wenn N jedoch nicht reichlich vorhanden war, befanden sich mehr Wurzeln im unteren Bereich des Rhizobox.

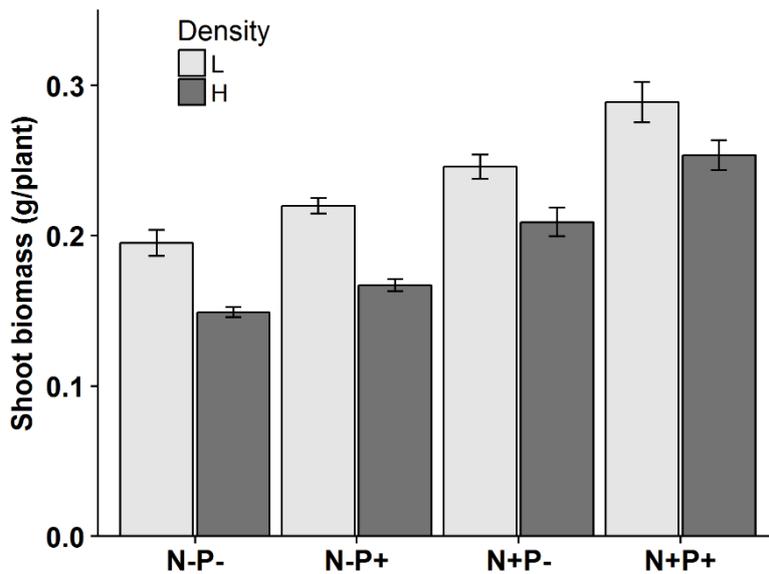


Abb. 6: *Stoichiometrie des Düngemittelzufuhrs bei Sommergerste: Sproßbiomasse am Ende des Experimentes in Rhizoboxen. Werte sind Mittelwerte plus/minus SE. Wir haben zwei Dichtebehandlungen mit getestet (1 oder 3 Pflanzen pro Rhizoron).*

I.1.1.1 Methodenweiterentwicklung und Protokolle bei Wurzelmessungen

Die Messung von Wurzeln ist keine einfache Aufgabe. Es gibt nicht einen einzigen richtigen Weg, sie zu messen, und die richtige Methode ist abhängig von der genauen Fragestellung und der Bedingungen des untersuchten Systems. Viele Softwarepakete versuchen, Root Traits aus Bildern zu extrahieren (siehe <https://www.plant-image-analysis.org/> für einen Überblick über die verfügbare Software). Es ist daher als wissenschaftliche Gemeinschaft sehr wichtig, zur Standardisierung und Überprüfung der Validität von Wurzelmethoden beizutragen. Wir haben zwei Publikationen geschrieben, in denen verschiedene Bildanalysemethoden getestet wurden: Delory et al., 2017 und ein Protokoll zur Messung von Wurzeln im Freiland und unter kontrollierten Bedingungen (Delory et al., 2018).

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der größte Teil des Geldes wurde für Personal ausgegeben, für einen Doktoranden (Richard van Duijn). Die Arbeiten umfassten die Einrichtung und Planung der kontrollierten Experimente, die Probenahme, chemische Analyse von Pflanzen und Bodenproben, statistische Analysen der Daten, die Interpretation der Ergebnisse und die Erstellung der Publikationen. Richard präsentierte auch die Ergebnisse der Experimente bei den Bonares-Treffen und auf einer internationalen Konferenz in Israel mit einem Wurzelforschungsfokus. Bis jetzt sind drei Publikationen erschienen aus dem TP: (Delory et al. 2017, van Duijn et al. 2018, Delory et al. 2018 (Buchkapitel), und drei weitere sind in Vorbereitung (van Duijn et al. Plant and Soil, Roy et al., Kumar et al.).

Geld wurde auch für den Aufbau der Experimente (Töpfe, Behälter, Einheitserde usw.) und Probenanalysen (C/N/P, Nitrat usw.) ausgegeben. Schließlich wurde wie geplant ein Teil des Geldes für Reisen zum INPLAMINT-Projekt und zu den Bonares-Treffen sowie zu anderen internationalen Konferenzen ausgegeben.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten waren der anspruchsvollen Aufgabenstellung des Projektes angemessen und in ihrem Umfang zur Erreichung der Projektziele allesamt notwendig. Wir konnten effektive Synergien mit Experimenten in anderen TPs herstellen (UCo bei der Stoichiometrie- und Timing NP Experimenten) und TUM, CAU, FUB und FZJ beim Mesokosmenvorfruchtexperiment.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Ergebnisse des Teilprojekts der Leuphana wurden und werden in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht. Ein Paper (van Duijnen et al., 2018) wurde ebenfalls Open Access veröffentlicht, um die Verfügbarkeit unserer Ergebnisse für die Öffentlichkeit weiter zu verbessern. Unsere Ergebnisse tragen bei zu einer effektiven Kaskade an Erkenntnissen und Herangehensweisen aus dem gesamten INPLAMINT Konsortium. Unsere Erkenntnisse tragen hauptsächlich für den Fortschritt der wissenschaftlichen Erkenntnisse bei, verknüpfen und unterstützen Ergebnisse auf Freilandebene (CAU). Ergebnisse der ersten Phase wurden auch in zwei Stakeholderworkshops mit Praxispartnern diskutiert und evaluiert, und dies hat geholfen, das Projekt gezielt auf die Belange der angewandten Landwirtschaft zu fokussieren. Neueste Modellierungen und Szenarien des TP Nürtingen in Phase II zeigen, wie wertvoll diese Untermauerung der Szenarien mit Daten auf unterschiedlichen Skalen für eine mögliche Anwendung in der Praxis ist. Hinzu kommt, dass wir die Bandbreite an Pflanzenarten, die untersucht werden im Konsortium erweitern konnten mit unseren Experimenten (siehe z.B. Abb 1.)

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Thematik der ökologischen Stöchiometrie, das heißt das Erreichen oder Abweichen von spezifischen Elementverhältnissen, die für bestimmte Organismen oder Prozesse notwendig sind, damit diese maximal aktiv sein oder optimal ablaufen können, gewinnt immer stärker an Aufmerksamkeit in der Fachwelt. Dies bedeutet, dass wir in INPLAMINT eine sehr aktuelle Thematik bearbeiten, welche ein großes Potenzial im Bereich der Erhöhung der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzungseffizienz erwarten lässt. Während der Projektlaufzeit ist eine Veröffentlichung erschienen, die andeutet, dass die P-Verfügbarkeit im Boden eine entscheidende Rolle bei der N₂O-Emission aus der Denitrifikation spielt (Mehnaz & Dijkstra, 2016, Geoderma 284, 34-41). Diese zeigt eine enge Wechselwirkung zwischen dem C-, N- und P-Kreislauf im Boden auf, beschränkt sich aber auf die Untersuchung der Denitrifikation. Bezüglich der anderen wichtigen Prozesse des N-Kreislaufs besteht weiterhin erheblicher Forschungsbedarf.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11

Veröffentlicht:

van Duijnen, R., Roy, J., Härdtle, W., and Temperton, V. M. (2018). Precrop Functional Group Identity Affects Yield of Winter Barley but Less so High Carbon Amendments in a Mesocosm Experiment. *Frontiers in Plant Science* 9. doi:10.3389/fpls.2018.00912

Delory, B. M., Weidlich, E. W., van Duijnen, R., Pagès, L., and Temperton, V. M. (2018). "Measuring Plant Root Traits Under Controlled and Field Conditions: Step-by-Step Procedures," in *Root Development* (Springer), 3–22. *Eingereicht:*

Delory, B. M., Weidlich, E. W. A., Meder, L., Lütje, A., van Duijnen, R., Weidlich, R., et al. (2017). Accuracy and bias of methods used for root length measurements in functional root research. *Methods in Ecology and Evolution*. doi:10.1111/2041-210X.12771.

Geplant:

van Duijnen, R; Uther, H. Temperton, V.M: Identity of Nutrient Added (N or P) and Timing of Application Affects Root System Architecture Responses of *Hordeum vulgare*. (submitting to) *Plant and Soil*

Roy J; Schmid CAO; van Duijnen, R; Kamau C;; Schröder P; Schloter M; Rillig M; Temperton V. Precrop and Carbon Amendment effects on bacterial and fungal communities in a Mesocosm Experiment.

Kumar, A.; van Duijnen, R; Temperton, V.M.: Effect of N/P stoichiometry on spring barley root traits.

Verwendete Literatur

Delory, B. M., Weidlich, E. W. A., Meder, L., Lütje, A., van Duijnen, R., Weidlich, R., et al. (2017). Accuracy and bias of methods used for root length measurements in functional root research. *Methods Ecol. Evol.* doi:10.1111/2041-210X.12771.

Delory, B. M., Weidlich, E. W., van Duijnen, R., Pagès, L., and Temperton, V. M. (2018). "Measuring Plant Root Traits Under Controlled and Field Conditions: Step-by-Step Procedures," in *Root Development* (Springer), 3–22.

Di, H. J., and Cameron, K. C. (2002). Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 64, 237–256.

Plaza-Bonilla, D., Nolot, J.-M., Raffaillac, D., and Justes, E. (2015). Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes: Field evidence and model simulations. *Agric. Ecosyst. Environ.* 212, 1–12. doi:10.1016/j.agee.2015.06.014.

Ryan, M. H., and Graham, J. H. (2018). Little evidence that farmers should consider abundance or diversity of arbuscular mycorrhizal fungi when managing crops. *New Phytol.* doi:10.1111/nph.15308.

van Duijnen, R., Roy, J., Härdtle, W., and Temperton, V. M. (2018). Precrop Functional Group Identity Affects Yield of Winter Barley but Less so High Carbon Amendments in a Mesocosm Experiment. *Front. Plant Sci.* 9. doi:10.3389/fpls.2018.00912.

Verbruggen, E., and Kiers, T. E. (2010). Evolutionary ecology of mycorrhizal functional diversity in agricultural systems: AMF in agriculture. *Evol. Appl.* 3, 547–560. doi:10.1111/j.1752-4571.2010.00145.x.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel BonaRes (Modul A): INPLAMINT – Erhöhung der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzungseffizienz durch Optimierung von Pflanze-Boden-Mikroorganismen-Wechselwirkungen, Teilprojekt H	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Temperton, Vicky, Prof. Dr.	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.04.2018
	6. Veröffentlichungsdatum 30. November 2018
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Institut für Ökologie Fakultät Nachhaltigkeit Leuphana Universität Lüneburg Universitätsallee 1 21335 Lüneburg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 031A561H
	11. Seitenzahl 17
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Kapelle-Ufer 1 11055 Berlin	13. Literaturangaben 8
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 6
16. Zusätzliche Angaben Keine.	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projekträger Jülich, Bioökonomie, Fachbereich Strategie und Kommunikation (BIO 6); Jülich, 30.11.2018	
18. Kurzfassung Um die Schlüsselprozesse aufzuklären, die für eine nährstoffeffiziente landwirtschaftliche Biomasseproduktion relevant sind, wurden im Teilprojekt <i>ULün</i> die Effekte verschiedener landwirtschaftlicher Managementvarianten auf die Performance unterschiedlicher Pflanzenarten untersucht. Mit Hauptfokus auf Wintergerste (da bei dieser Art das Genom sequenziert ist) wurden Effekte der Nährstoffzufuhr von Stickstoff und Phosphor (zeitlich und bei unterschiedlichen Konzentrationen, sogenannte Stoichiometrieexperimente und Timingexperimente) auf die Wurzelarchitektur und Pflanzenbiomasse und N und P Gehalte untersucht. Ergebnisse zeigen zum ersten Mal, dass Pflanzen weit besser mit sub-optimaler P-Zufuhr klar kommen als bei N, obwohl weniger oder später P Zufuhr auch zu einer Reduzierung der Biomasse geführt hat. Des Weiteren wurden die Mechanismen der Stickstoffimmobilisierung im Boden und deren Beeinflussung durch Zugabe von Substraten mit hohem C:N-Verhältnis in einem zwei jährigem Mesokosmexperiment mit vier unterschiedlichen Vorfruchtarten untersucht. Mit vier verschiedenen Vorfruchtpflanzenarten, die Wurzelsymbiosen mit Mykorrhizapilze oder nicht, Rhizobienbakterien oder nicht eingehen, konnte die Frage zum ersten Mal beantwortet werden, ob z.B. Mykorrhizapilze eine Vorfrucht überleben können die keine Symbiose mit ihnen eingeht, um dann in der Folgefrucht Gerste wieder besiedeln zu können. Das Ergebnis war überraschend, da die Folgefrucht Gerste besser gewachsen ist mit einer Vorfrucht, die keine Mykorrhizierung eingeht. Mikrobielle Analysen ergänzen diese Ergebnis und werden noch publiziert.	
19. Schlagwörter Nachhaltige Landwirtschaft, Nährstoffnutzungseffizienz, Pflanze-Nährstoff-Mikroorganismen-Interaktionen, Wurzelarchitektur, Stöchiometrie	
20. Verlag	21. Preis