

# Abschlussbericht

Titel der Arbeit: Mechanismen der P-Mobilisierung in der Rhizosphäre von Unkräutern und Kulturpflanzen

Bearbeiter: Anika Zacher

---

Betreuer: Dr. K. J. Dehmer<sup>1</sup>  
PD Dr. habil. C. Baum<sup>2a</sup>  
Prof. Dr. B. Gerowitt<sup>2b</sup>

Einrichtungen: 1) Leibniz-Institute for Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK) Groß Lüsewitz  
2) Universität Rostock, Lehrstuhl für Bodenkunde<sup>a</sup> und Lehrstuhl für Phytomedizin<sup>b</sup>

Laufzeit Förderung: 01.05.2015 - 31.10.2018

\*Datum der Abgabe: 2. Quartal 2019

\*Datum der Verteidigung:

\*Datum der Anerkennung:

---

\* Dies ist nur einzutragen, wenn es bereits zutrifft; ansonsten tragen Sie bitte den geplanten Zeitraum für die Abgabe der Doktorarbeit in die Zeile „Datum der Abgabe“ ein (geplante Abgabe: Monat oder Quartal Jahr).

Hinweis: Der Bericht sollte eine Länge von 8 bis 10 Seiten nicht überschreiten!

# Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	1
2 Einleitung und Ziele der Promotion	2
3 Material und Methoden	2
4 Ergebnisse	3
5 Diskussion	7
6 Literaturverzeichnis	7
Anhang*	8

\* Liste der: Forschungsaufenthalte außerhalb der betreuenden Einrichtungen, Vorträge bzw. Poster auf Konferenzen, Öffentlichkeitsarbeit und/oder Publikationen

## 1 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Verknappung der P-Ressourcen für die Düngemittelproduktion hat zur Folge, dass die Landwirtschaft die bestehenden P-Pools der Ackerböden für die Pflanzenproduktion effizienter nutzen muss. Unkrautregulierung reduziert die Konkurrenz der Unkrautvegetation gegenüber der Kulturpflanze, verhindert jedoch zugleich die Nutzung potenzieller bodenökologischer Vorzüge einer erhöhten Wurzelaktivität zur P-Mobilisierung. Die vorliegenden Untersuchungen prüfen daher im Gefäß- und Feldversuch die Wirkung der Vergesellschaftung von Kulturpflanzen mit typischer Unkrautvegetation auf die P-Versorgung in P-defizienten Böden. Als Modell-Kulturpflanzen wurden Mais (*Zea mays* L.) und Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) gewählt, die einen hohen P-Bedarf besitzen und zugleich im kommerziellen Anbau strikter Unkrautregulierung unterliegen. Die getesteten Unkrautarten (*Chenopodium album*, *Echinochloa crus-galli*, *Tripleurospermum perforatum*, *Solanum nigrum*, *Polygonum convolvulus*, *Viola arvensis*) sind Vertreter der typischen Samen-Unkrautgemeinschaft unter diesen Kulturen mit sehr diverser Wurzelmorphologie. Die Ergebnisse belegen, dass die Vergesellschaftung mit Unkräutern zu einer erhöhten P-Mobilisierung (gemessen als Phosphataseaktivität und Konzentration pflanzenverfügbarem P im Boden) führen kann. Jedoch hat die Witterung einen signifikanten Einfluss auf das Ausmaß der Wirkung auf die P-Mobilisierung. Vergesellschaftung mit Unkräutern führte zu einer erhöhten Mykorrhizierungsrate der Kulturpflanze, unabhängig davon, ob die jeweilige Unkrautart selbst eine geringe oder hohe Mykorrhizierungsneigung aufwies. Die meisten der getesteten Unkrautarten wiesen eine eher geringe Mykorrhizierungsneigung, jedoch ein intensives Feinwurzelnwachstum auf. Die P-Nutzungseffizienz der Unkräuter als Maß von Mobilisierung zu Pflanzenaufnahme und Wachstum variierte signifikant zwischen den Arten. Die Ergebnisse des Rhizobox-Versuches belegen, dass der zymographische Nachweis von Phosphataseaktivitäten im Boden sehr gut geeignet ist, um die P-Mobilisierung unterschiedlicher Unkrautarten in der Rhizosphäre zu bewerten. Die Ergebnisse der Gefäß- und Feldversuche belegen, eine temporäre Toleranz von Unkräutern im Bestand signifikant zu verbesserter P-Versorgung der Kulturpflanzen beitragen kann. Die praktische Umsetzung einer solchen Maßnahme muss jedoch im Feldversuch optimiert und unter verschiedenen Witterungsbedingungen getestet werden, bevor sie zur Nachahmung empfohlen werden kann. Der mykorrhizierungsfördernde Effekt einer temporären Unkrauttoleranz sollte in Folgeuntersuchungen auf seine bodenökologische Bedeutung getestet werden, da die P-Versorgung nur einen Teilaspekt der Mykorrhizierungswirkung umfasst.

## 2 Einleitung und Ziele der Promotion

Die Verknappung der P-Ressourcen für die Düngemittelproduktion hat zur Folge, dass die Landwirtschaft die bestehenden P-Pools der Ackerböden für die Pflanzenproduktion effizienter nutzen muss. Unkräuter stellen grundsätzlich eine Nährstoffkonkurrenz zu den Kulturpflanzen dar, jedoch müssen sie zur erfolgreichen Vermehrung unter landwirtschaftlicher Bewirtschaftung mit Unkrautregulierung sehr effiziente Mechanismen zur P-Mobilisierung entwickeln, z.B. um bei Samenunkräutern in sehr kurzen Zeiträumen eine hohe Anzahl an keimfähigen Samen produzieren zu können (Blackshaw et al. 2004). Zugleich können Unkräuter und Kulturpflanzen durch das Hyphennetzwerk der Mykorrhizapilze im Boden direkt verbunden sein.

Es ist bisher nicht bekannt, wie sich eine zeitweise Unkrauttoleranz auf die P-Mobilisierung im Boden und die P-Versorgung der Kulturpflanzen auswirkt und welche Mechanismen zur P-Mobilisierung von verschiedenen Unkrautarten genutzt werden.

Daher ist es Ziel der vorliegenden Arbeit die Wirkung relevanter Unkrautarten einzeln und in Gemeinschaft auf die P-Mobilisierung und die P-Versorgung zweier Modell-Kulturpflanzen (Mais und Kartoffel) mit hohem P-Bedarf zu untersuchen. Hierbei soll geprüft werden, ob die Wurzelaktivität von Unkrautarten bei temporärer Einstellung der Unkrautregulierung zu einer intensiveren Nutzung des P-Pools des Bodens beitragen kann und langfristig Perspektiven für einen reduzierten Düngungsbedarf eröffnet.

## 3 Material und Methoden

Im Rahmen der Umsetzung des Promotionsvorhabens führte Frau Zacher **3 Gefäßversuche und 2 Feldversuche** durch, die planmäßig jeweils eine Wiederholung in einer zweiten Testperiode zur Prüfung der Repräsentativität der Versuchsergebnisse beinhalteten.

- **Gefäßversuche**
  - Rhizoboxversuch (2017)
    - *Echinochloa crus galli* als Unkraut-Modellpflanze
    - Zymographie und Wurzelpräparation für P-XANES
  - Gefäßversuch im Gewächshaus (2016/ 2017)
    - P-Effizienz von Unkräutern
  - Gefäßversuch unter Halbfreilandbedingungen – Aufstellung von Testgefäßen im Freiland (2015 und 2016)
    - Mais als Testpflanze in Kombination mit 6 Mais-typischen Unkräutern

- **Feldversuche**

- Feldversuch Mais (2017)
  - Mais als Testpflanze in Kombination mit 6 Mais-typischen Unkräutern (in Reinsaat) und mit der standortspezifischen Unkrautvegetation (ohne Unkrautregulierung)
  - 2 Wiederholungen (im gleichen Jahr)
- Feldversuch Kartoffel (2016 und 2017)
  - Testpflanzen: 4 unterschiedliche Kartoffelgenotypen aus dem Bestand des IPK
    - Sorten: Amsel, Gesa, Weinberger Schlosskipferl und Paterson's Victoria
  - mit und ohne Unkrautregulierung
  - 2 Wiederholungen

**Parameter und Methoden:**

Enzymaktivitäten in der Rhizosphäre (photometrisch nach Inkubation nach Tabatabai und Bremner, 1969 und zymographisch nach Spohn et al., 2013),

P-Gehalte in der Biomasse, Aufschluss in der Mikrowelle, Messung am ICP-OES

Konzentration pflanzenverfügbarem P im Boden (Doppellactat-Extrakt); Messung der P-Konzentration im Extrakt photometrisch und am ICP-OES

Messung der P-Bindungsformen (P K-Edge und P L 2,3-Edge XANES, Messstation: Canadian Light Source Synchrotron)

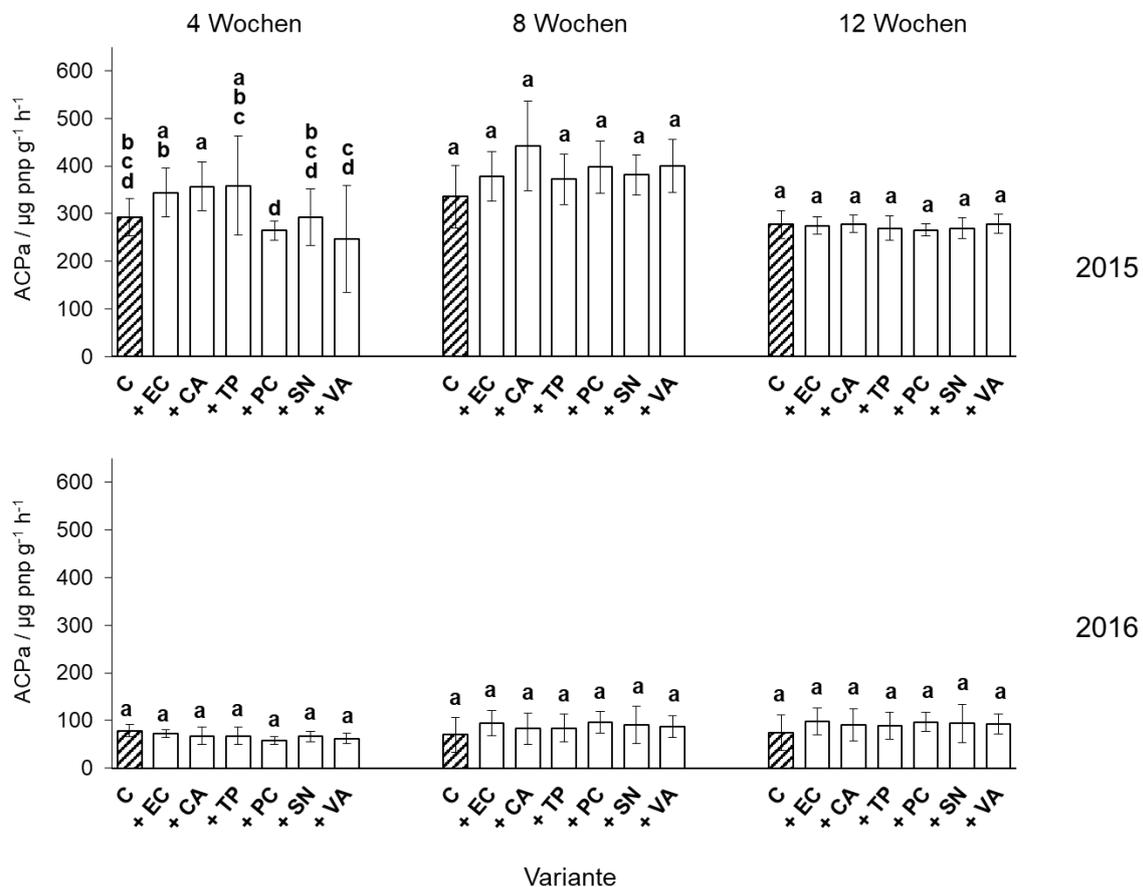
## 4 Ergebnisse

Exemplarisch werden im Folgenden 3 wesentliche Teilergebnisse der Untersuchungen beispielhaft dargestellt. Die Untersuchungen konnten insgesamt komplett im geplanten Umfang durchgeführt und ausgewertet werden und werden in vollem Umfang in der Promotionschrift von Frau Zacher präsentiert.

Die Vergesellschaftung mit Unkräutern kann zu einer erhöhten Phosphataseaktivität und erhöhten P-Verfügbarkeit in P-defizienten Boden unter Mais führen, jedoch ist diese Wirkung zeitlich beschränkt und artspezifisch unterschiedlich (Abb. 1). Weiterhin war diese Wirkung der Vergesellschaftung abhängig von den Witterungsbedingungen und trat nur in einem der beiden Versuchsjahre (2015, nach 4 Wochen Wachstum) auf. Die Wirkung der Vergesellschaftung auf die Phosphataseaktivität im Boden war nur in den ersten 4 Wochen des Wachstums signifikant. Nach erfolgter Unkrautregulierung (nach 12 Wochen) wurde keine nachhaltige Wirkung auf die Phosphataseaktivität im Boden ermittelt.

Das Wachstum von Mais war durch die Unkrautpräsenz mindestens tendenziell, teils signifikant reduziert (Werte nicht dargestellt). Daher überwog im Gefäßversuch die Konkurrenzwirkung der Vergesellschaftung mit Unkräutern, während sie im Feldversuch bei

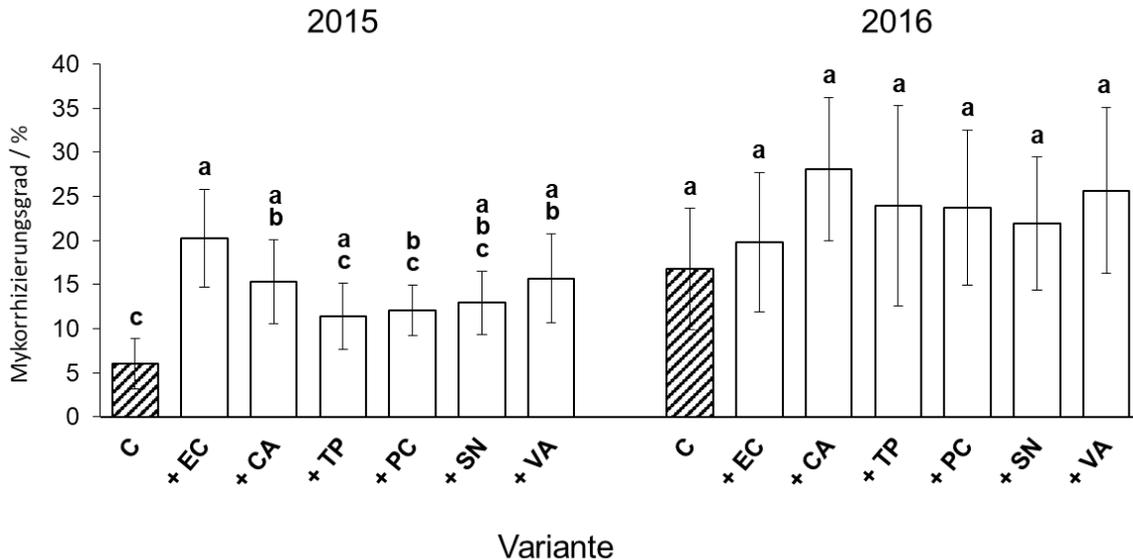
optimalen Wachstumsbedingungen ausblieb. Die Vergesellschaftung mit Unkrautarten führte zu einer erhöhten Mykorrhizierungsrate von Mais im Vergleich zu Mais in Reinkultur mit Unkrautregulierung (Abb. 2).



**Abb. 1: Aktivität saurer Phosphatasen (ACP<sub>a</sub>) im Boden (µg pnp g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) in Abhängigkeit von Variante und Wachstumsstadium im Gefäßversuch (6 kg lehmiger Sand je Gefäß) unter Halbfreilandbedingungen in den Jahren 2015 und 2016. Die Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung dargestellt. Kleinbuchstaben indizieren signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (p < 0.05).**

(C: Kontrolle, +CA: Mais + *Chenopodium album*, +EC: Mais + *Echinochloa crus-galli*, +TP: Mais + *Tripleurospermum perforatum*, +SN: Mais + *Solanum nigrum*, +PC: Mais + *Polygonum convolvulus*, +VA: Mais + *Viola arvensis*)

Im Mittel lag die Mykorrhizierungsrate von Mais in allen vergesellschafteten Varianten höher als in der Reinkultur mit Unkrautregulierung. Diese Wirkung war unabhängig von der Mykorrhizierungsneigung der Unkrautarten. Die wenig-mykorrhizierungsgeneigte Unkrautart *Echinochloa crus-galli* wies die höchste Förderwirkung auf die Mykorrhizierung der in stark-mykorrhizierungsgeneigte Kulturart Mais auf.



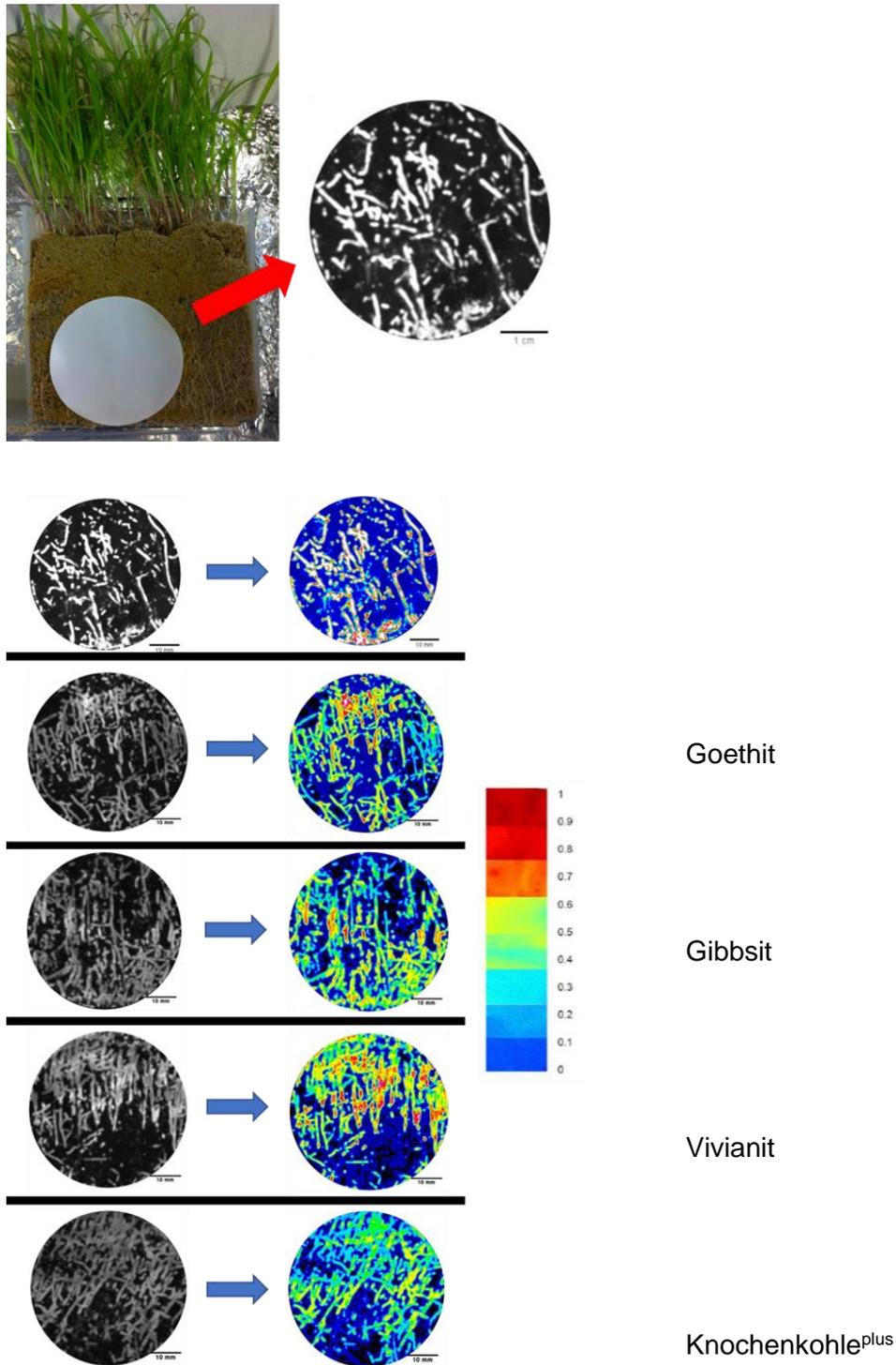
**Abb. 2: Mykorrhizierungsrate** (% Wurzellänge) von Mais mit und ohne Vergesellschaftung mit Unkrautarten in Abhängigkeit von Variante und Wachstumsstadium im Gefäßversuch (6 kg lehmiger Sand je Gefäß) unter Halfreilandbedingungen in den Jahren 2015 und 2016. Die Werte sind als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung dargestellt. Kleinbuchstaben indizieren signifikante Unterschiede zwischen den Varianten ( $p < 0.05$ ).

(C: Kontrolle, +CA: Mais + *Chenopodium album*, +EC: Mais + *Echinochloa crus-galli*, +TP: Mais + *Tripleurospermum perforatum*, +SN: Mais + *Solanum nigrum*, +PC: Mais + *Polygonum convolvulus*, +VA: Mais + *Viola arvensis*)

Im **Rhizoboxversuch** wurde der Einfluss unterschiedlicher P-Quellen (u.a. Knochenkohle<sup>plus</sup>) auf die enzymatische P-Mobilisierung in der Rhizosphäre neben der photometrischen Messung der Aktivität der sauren Phosphatasen im Boden auch zymographisch getestet.

Der **zymographische Test** wies hierbei eine höhere Präzision bei räumlicher Auflösung der Verteilung der Aktivität im Wurzelraum auf. Mittels photometrischer Messung der Phosphataseaktivität im Inkubationsversuch wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten erfasst (Daten nicht dargestellt), während der zymographische Nachweis erhöhte Phosphataseaktivitäten nach Applikation von Knochenkohle<sup>plus</sup> nachwies (Abb. 3).

Der zymographische Test ermöglichte die Visualisierung der räumlichen Verteilung und Intensität der enzymatischen P-Mobilisierung in Gegenwart unterschiedlicher P-Quellen. Die Art der P-Quelle beeinflusste folgende Parameter: Wurzelmorphologie, Intensität und Verteilung der Phosphataseaktivität im Boden und der Verlagerung der Hot spots in der P-Mobilisierung im Boden (vgl. Abb 3).



**Abb. 3:** Rhizobox mit aufliegender mit MUF-Phosphat getränkter Polyamidmembran und Foto dieser Membran unter UV-Licht nach einstündiger Inkubation, sowie Zymogramme zur Darstellung der räumlich aufgelösten sauren Phosphatasenaktivität im durchwurzelteten Boden in Abhängigkeit unterschiedlicher P-Quellen

## 5 Diskussion

Methodisch erwies sich die zymographische räumlich-aufgelöste Messung der Phosphataseaktivität im Boden als wertvolle Ergänzung zur photometrischen Messung nach Inkubation mit p-Nitrophenylphosphat. Hierbei trat eine erhöhte Nachweissensitivität von artenspezifischen Unterschieden in der P-Mobilisierung im Wurzelraum auf (Abb. 3). Die von Spohn et al. (2013) entwickelte Methode konnte damit erfolgreich für die vorliegende Fragestellung adaptiert und umgesetzt werden zum Nachweis der P-Mobilisierung im Wurzelraum von Unkrautarten und unter Vergesellschaftung von Unkraut- und Kulturpflanzenarten.

Erstmalig wurde in der vorliegenden Untersuchung eine generelle Mykorrhizierungsförderung an Mais bei Vergesellschaftung mit Unkrautarten (bzw. temporäre Toleranz von Unkrautbesatz) nachgewiesen (Abb. 2). Da Mais eine stark mykorrhizierungsgeneigte Pflanze ist, stellt eine erhöhte Mykorrhizierungsrate einen Vorteil für die P-Versorgung des Bestandes und das Wachstum von Mais dar (Chu et al., 2013). Die Rolle der Mykorrhizierung für die P-Versorgung von Mais ist auch in Hochzuchtsorten nicht gesunken (Lehmann et al., 2012). Hervorzuheben war hierbei, dass diese Wirkung unabhängig von der Mykorrhizierungsneigung der Unkrautarten auftrat.

Die artenspezifische differenzierte Wirkung der Vergesellschaftung von Unkrautarten mit der Kulturart Mais auf die P-Mobilisierung im Boden (vgl. Abb. 1) und P-Nutzungseffizienz ist im Einklang mit der von Grant et al. (2007) beschriebenen artspezifisch signifikant unterschiedlichen Wirkung von Düngung (K, S) auf verschiedene Unkraut- und Kulturpflanzenarten. Dies erschwert eine zuverlässige Prognose der Wirkung von einer temporären Toleranz von Unkrautarten auf die P-Versorgung des Bestandes. Weiterhin zeigen die vorliegenden Untersuchungsergebnisse das Ausmaß des Witterungseinflusses auf die Wirkung der Unkräuter auf die P-Versorgung der Kulturpflanze (vgl. der beiden Versuchsjahre, vgl. Abb. 1).

Beide Ergebnisse bekräftigen den Optimierungsbedarf für eine praxistaugliche temporäre Unkrauttoleranz im Pflanzenbau als Maßnahme einer erhöhten P-Effizienz.

## 6 Literaturverzeichnis

Blackshaw, R. E., Brandt, R. N., Janzen H. H., Entz, T. (2004): Weed Species Response to Phosphorus Fertilization. *Weed Science* 52, 406-412.

Chu, Q., Wang, X., Yang, Y., Chen, F., Zhang, F., Feng, G. (2013): Mycorrhizal responsiveness of maize (*Zea mays* L.) genotypes as related to releasing date and available P content in soil. *Mycorrhiza* 23, 497-505.

Grant, C. A., Derksen, D. A., Blackshaw, R. E., Entz, T., Janzen, H. H. (2007): Differential response of weed and crop species to potassium and sulphur fertilizers. *Can. J. Plant Sci.* 87, 293–296.

Lehmann, A., Barto, E.K., Powell, J.R., Rillig, M.C. (2012): Mycorrhizal responsiveness trends in annual crop plants and their wild relatives— a meta-analysis on studies from 1981 to 2010. *Plant Soil* 355, 1–20.

Spohn, M., Carminati, A., Kuzyakov, Y. (2013): Soil zymography - A novel *in situ* method for mapping distribution of enzyme activity in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 58, 275-280.

Tabatabai, M.A. and Bremner, J.M. (1969) Use of p-nitrophenol phosphate for the assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology Biochemistry*, 1, 301-307.

## Anhang

**Tab. 1:** Liste der promotionsbezogenen Aktivitäten der Doktorandin Anika Zacher im Förderzeitraum

<b>Aktivität</b>	<b>Organisation</b>	<b>Datum</b>
R-Workshop	P-Campus/ Baltic Transcoast	Jun 16
7 <sup>th</sup> IWSC - 7. Internationale Conference on Weed Science (Vortrag)	IWSS (International Weed Science Society)	Jun 16
Basis elements of rhetoric	Graduate school	Jul 16
P-Summer-Workshop (Vortrag)	P-Campus	Aug 16
IPW8 - 8 <sup>th</sup> International Phosphorus Workshop (Poster)	P-Campus	Sep 16
GPW 59 – German Conference of Crop Production (Vortrag)	German Society for Crop Production	Sep 16
Anleitung von Masterstudenten im Labor	Universität Rostock, AUF	WS 16/ 17 (ca. 75 h)
Messestandbetreuung EUROTIER Hannover	Universität Rostock, AUF	Nov 16
Kolloquium (Vortrag)	Universität Rostock, Lehrstuhl für Phytomedizin	Jan 17
Seminar AG TEN Groß Lüsewitz (Vortrag)	GLKS	Jan 17
Lecture series	P-Campus	WS 16/ 17
Gastwiss. an der Universität Göttingen zur Methodeneinarbeitung	Dept. of Agricultural Soil Science, Georg August Universität Göttingen	Feb 17 (3 Tage)
Standbetreuung „Lange Nacht der Wissenschaften“	P-Campus	Apr 17
Betreuung von Masterstudenten	Universität Rostock	SS 17

**Tab. 2:** Aktivitäten und ECTS von Frau A. Zacher im Förderzeitraum

<b>Name: Zacher, Anika</b>	
<b>Aktivitäten</b>	<b>ECTS</b>
80% P-Campus Aktivitäten	11
2 Workshops	7,5
Konferenzen	21
Seminare	3
Internationaler Austausch	3
Beitrag zur akademischen Lehre (Studentenbetreuung)	3
Öffentlichkeitsarbeit (z.B. Messe)	7
Soft Skills	10,5
Lehre	9,5
<b>Total</b>	<b>75,5</b>

### Tagungsbeiträge und Publikationen von Frau A. Zacher

2015

- 12.06.2015: Präsentation während „Start-Workshop“ des Leibniz Wissenschaftscampus Phosphorforschung Rostock
  - o „P-Mobilisierung in der Rhizosphäre von Unkräutern und Kulturpflanzen“

2016

- 10.03.2016: Präsentation während „Campus-Symposium“ des Leibniz Wissenschaftscampus Phosphorforschung Rostock
  - o „P-Mobilization in the rhizosphere involving weeds and crop plants“
- 19. – 25.06.2016: Teilnahme und Präsentation bei IWSC 7 (Internationale Unkrauttagung) in Prag
  - o „P-Mobilization in the rhizosphere involving weeds and crop plants“
- 12. – 16.09.2016: Teilnahme und Poster bei IPW 8 in Rostock
  - o „P-Mobilization in the rhizosphere involving weeds and maize“
- 27. – 29.09.2016: Teilnahme und Präsentation bei GPW 59 (Pflanzenbautagung) in Giessen
  - o „Potentielle Wirkung von Unkräutern auf die P-Mobilisierung unter Mais“

2017

- 06./ 07.04.2017: Teilnahme und Präsentation bei Symposium des Leibniz Wissenschaftscampus Phosphorforschung Rostock
  - o „P-Mobilization in the rhizosphere involving weeds and crop plants“

- 02. – 07.09.2017: Teilnahme und Präsentation bei DBG-Jahrestagung in Göttingen
  - o „Potentielle Wirkung von Unkräutern auf die P-Mobilisierung unter Mais“
- 26. – 28.09.2017: Teilnahme und Poster bei GPW 60 in Witzenhausen
  - o „Wirkung von Unkräutern auf die P-Mobilisierung unter Mais“
- 08./ 09.11.2017: Teilnahme, Präsentation und Poster bei Symposium des Leibniz Wissenschaftscampus Phosphorforschung Rostock
  - o „P-Mobilization in the rhizosphere involving weeds and crop plants“

2019:

**Zacher, A.** Baum, C.; de Mol, F.; Dehmer, K.J.; Gerowitt, B.: Mixed growth with weeds promotes mycorrhizal colonization and increases the plant-availability of phosphorus under maize (*Zea mays* L.). Weed Research (eingereicht Jan. 2019)

#### **Sonstiges**

- diverse Präsentationen während verschiedener Kolloquien/ Workshops

#### **Forschungsaufenthalte in anderen Institutionen**

- 28.02. – 02.03.2017: Aufenthalt in Göttingen zur Erlernung der Methode der Zymographie (Abteilung Bodenwissenschaften – Ökopedologie der gemäßigten Zonen)
- 11. – 26.06.2017: Saskatoon Kanada – Canadian Light Source Synchrotron, XANES-Messung