

# **Abschlussbericht**

# Genetic regulation of phosphatase production and activity to increase P uptake from deficient soils

# Katrin Wacker

Betreuer: Ralf Uptmoor

Einrichtungen: Professur Pflanzenbau, AUF, Universität Rostock

Laufzeit Förderung: 15.05.2015 - 14.05.2018

\*Datum der Abgabe: geplant 4. Q. 2019

\*Datum der Verteidigung: geplant 1. Q. 2020

\*Datum der Anerkennung:

<sup>\*</sup> 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).



# Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	1
2 Einleitung und Ziele der Promotion	2
3 Material und Methoden	3
4 Ergebnisse	5
5 Diskussion	9
6 Literaturverzeichnis	10
Anhang*	11

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



# 1 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Kartoffel hat eine niedrige P-Aufnahmeeffizienz und einen hohen Bedarf an Phosphor (P). Ziele dieser Arbeit waren die Evaluierung der P-Aufnahme- und Nutzungseffizienz von Genbankakzessionen der Kartoffel, die Identifizierung morphologischer und physiologischer Mechanismen zur Verbesserung der P-Aufnahme und die Charakterisierung der Rolle, die Phosphatasen bei der P-Aufnahmeeffizienz spielen. Hierfür wurden im Gefäß 28 Genbankakzessionen bei P-Mangel und optimaler Versorgung getestet und solche mit hoher und niedriger P-Effizienz wurden selektiert. Die selektierten Genotypen wurden in mehreren Versuchen mineralisch und organisch gedüngt bzw. P-Mangel ausgesetzt. Neben agronomischen Parametern wurde die P-Aufnahme ermittelt, Expressionsmuster von Phosphatasegenen wurden erstellt, die Phosphataseaktivität in der Rhizosphäre wurde ermittelt und die Wurzelmorphologie der Genotypen wurde erfasst. Eine weitere Evaluierung der Genotypen fand in Feldversuchen statt.

Innerhalb des aus 28 Genotypen bestehenden Diversitätssets gab es deutliche Unterschiede sowohl in der P-Aufnahme als auch in der P-Effizienz. Die selektierten Genotypen zeigten zwar Unterschiede im Expressionslevel der sauren Phosphatasegene *PAP2* und *PAP3*, diese korrelierten allerdings nur schwach mit der Phosphataseaktivität im Boden. Offensichtlich besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Ausprägung des Wurzelsystems und der P-Aufnahme. Im Feld konnten die genotypischen Unterschiede hinsichtlich der Trockenmassebildung und Ertragsunterschiede der selektierten Genotypen verifiziert werden, es zeigte sich jedoch kein statistisch signifikanter Effekt der Düngung auf den Ertrag, obwohl die niedrigsten Knollenerträge für alle Genotypen in der ungedüngten Kontrolle gemessen wurden.

Da P im Vergleich zu anderen Pflanzennährstoffen im Boden wenig mobil ist, scheint die intensive Durchwurzelung des Bodens einen erheblichen Beitrag zur Verbesserung der P-Aufnahmeeffizienz zu leisten. Die Bedeutung der Phosphatasen Phosphataseaktivität in der Rhizosphäre konnte im Rahmen dieser Studie nicht eindeutig belegt werden. Es gibt allerdings eine Reihe weiterer saurer Phosphatasen, die in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt wurden, und im Projekt PIPAPo konnte ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der P-Versorgung des Bodens und der Aktivität von Phosphatasen direkt an den Wurzeln gezeigt werden. Die Ergebnisse von Feldversuchen haben verdeutlicht, dass selbst eine P-Unterversorgung nach aktueller Düngeempfehlung nicht zwangsläufig zur signifikanten Ertragsreduktion führen muss. Diese Ergebnisse decken sich z.T. mit Erfahrungen aus der Landwirtschaft und lassen darauf schließen, dass auch die pflanzenbauliche Praxis mit aktuellen Sorten noch einiges an Potential zur Reduktion des Einsatzes P-haltiger Düngemittel aufzuweisen hat.



# 2 Einleitung und Ziele

Die Kartoffel hat einen hohen P-Bedarf bei einer gleichzeitig niedrigen P-Aufnahmeeffizienz, die u.a. mit einem schwach ausgeprägten Wurzelsystem begründet werden kann. Verglichen mit Getreidearten wie Gerste oder Weizen ist P-Bedarf der Kartoffel etwa doppelt so hoch (Balemi and Schenk 2009). Selbst wenn die P-Düngung fachgerecht durchgeführt wird, nehmen Pflanzen in der Regel nur 30 % des applizierten Düngers auf, der Rest wird zunächst durch mineralische Bodenbestandteile oder durch Mikroben fixiert (Lopéz-Arrendondo et al. 2014, Ha and Tran 2014), weshalb häufig auch auf grundsätzlich P-reichen Böden hohe Mengen an P-haltigen Düngemitteln eingesetzt werden, die in einigen Fällen zur Eutrophierung von Oberflächengewässern führen (Correll 1998, Smith und Schindler 2009, Dhillon et al. 2017). Zusammen mit den geringer werdenden Rohphosphatvorkommen, für die es keinen Ersatz gibt (Ha and Tran, 2014), sowie einer sich verschärfenden Gesetzgebung bezüglich des Einsatzes von Düngemitteln zur Erhaltung Oberflächenwasserqualität, ist zur nachhaltigeren und effizienteren Nutzung der limitierten Ressource P ein Umdenken in der Düngungspraxis notwendig. Ein möglicher Ansatz zur Einsparung P-haltiger Dünger ist die Entwicklung neuer Sorten mit verbesserter Effizienz von P-Aufnahme und Nutzung.

In den vergangenen Jahren wurden seitens der Forschung bedeutende Fortschritte gemacht, die zu einem besseren Verständnis der pflanzlichen Reaktion auf P-Mangel geführt haben und Strategien beschrieben, mit denen sich Pflanzen an P-Mangelbedingungen adaptieren. Da P im Boden wenig mobil ist, scheint hierbei der Veränderung der Wurzelarchitektur eine besondere Bedeutung zuzukommen: die oberen, i.d.R. P-reicheren Bodenschichten werden intensiver durchwurzelt (Lynch 2011, Parra-Londono et al. 2018). Die Ausscheidung von Phosphatasen spielt zur Mobilisierung organischer P-Verbindungen eine zentrale Rolle (Richardson et al. 2009, Vandamme et al. 2016). Sofern eine signifikante genetische Variabilität hinsichtlich der genannten Merkmale innerhalb von Kulturpflanzenarten vorhanden ist, kann diese dazu genutzt werden, Sorten mit verbesserter P-Aufnahme- und Nutzungseffizienz zu entwickeln (Lopéz-Arrendondo et al. 2014, Roberts und Johnston 2015).

Ziele dieser Arbeit waren (1) die Charakterisierung von Genbankakzessionen der Kartoffel hinsichtlich ihrer P-Aufnahme- und Nutzungseffizienz, (2) die Identifikation von Genotypen mit guter Anpassung an P-Mangel im Boden, (3) die Charakterisierung morphologischer und physiologischer Mechanismen zur Verbesserung der P-Aufnahme und (4) die Evaluierung der Rolle, die Phosphatasen bei der Erhöhung der P-Aufnahmeeffizienz spielen. Hierfür wurde zunächst ein Grobscreening mit Genbankakzessionen der Kartoffel durchgeführt. Kontrastierende Genotypen wurden selektiert und im Rahmen von Gefäßversuchen näher untersucht, hierbei wurde auch die Expression evtl. beteiligter Gene untersucht. Feldversuche sollten darauf aufbauend dazu dienen, die gewonnenen Erkenntnisse unter realen Anbaubedingungen zu verifizieren.



## 3 Material und Methoden

2016 wurde ein Gefäßversuch mit 28 Kartoffelakzessionen durchgeführt. Der Versuch war im Wesentlichen als Wiederholung eines Vergleiches von 32 Akzessionen aus 2014 angelegt. 25 Akzessionen wurden in beiden Jahren getestet, so dass die Ergebnisse beider Versuche miteinander verglichen werden konnten. Im Gefäßversuch 2016 wurden die Knollen am 19.04.2016 gelegt, die Ernte erfolgte am 19.07. Jedes Gefäß wurde nach dem Legen der Knollen mit 100 ml Nährstofflösung gedüngt. Die Düngung wurde im Abstand von zwei Wochen insgesamt fünf Mal wiederholt. Die Nährlösung setzte sich aus 0,5 g l<sup>-1</sup> N, 0,4 g l<sup>-1</sup> P,  $0.98~g~l^{-1}~K~und~0.1~g~l^{-1}~Mg~zusammen$ . Die Nährstoffe wurden in Form von  $NH_4NO_3,~K_2HPO_4$ und MgSO<sub>4</sub> x 7 H<sub>2</sub>O verabreicht. In der Behandlung ohne P-Düngung wurde KCl (0,99 K g l<sup>-1</sup>) anstelle von K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> eingesetzt. Der Boden war ein 2:1 Gemisch aus P-armem Unterboden und Sand. Das Substrat hatte vor Düngung einen Pdl-Gehalt bestimmt nach Riehm et al. (1948) von 18,74 mg kg<sup>-1</sup>, was in Mecklenburg-Vorpommern der Gehaltsklasse A (< 26 mg kg<sup>-1</sup> 1) entspricht und eine Unterversorgung charakterisiert. Agronomische Parameter wie Trockenmassen wurden erfasst und P-Gehalte mittels der Vanadat-Molybdat-Methode nach Gericke und Kurmies (1952) und photometrischer Messung bei 430 nm (Spekol 11, Carl Zeiss Jena, Jena, Germany) bestimmt.

Basierend auf den Ergebnissen des in 2014 durchgeführten Versuchs wurden 2016 vier Kartoffelgenotypen mit kontrastierender P-Effizienz ausgewählt. Zur näheren Untersuchung der Aktivität der sauren Phosphatase im Boden sowie der Expression der Gene PAP2 und PAP3 in den Pflanzen, wurden im Gewächshaus Gefäßversuche mit einer organisch und einer chemisch gedüngten Variante durchgeführt. In der anorganischen Variante (Pi) wurde KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> verwendet, während die organische Düngung (Po) über Phytinsäure (C<sub>6</sub>H<sub>16</sub>CaO<sub>24</sub>P<sub>6</sub>) erfolgte. In beiden Fällen sollten 1.11 g P je Gefäß gedüngt werden, durch einen Rechenfehler ist die Po-Variante real jedoch eher einer ungedüngten Kontrolle vergleichbar. N und K wurden in Höhe von 1.01 g N je Gefäß als KNO<sub>3</sub> (Po) bzw. Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (Pi) appliziert. Die Pflanzen wurden nach acht Wochen geerntet. Es wurden agronomische Parameter und Nährstoffgehalte bestimmt. Das Substrat wurde zu Beginn und am Ende des Versuchs bezüglich des P<sub>dL</sub>-Gehaltes getestet. Die Aktivität der sauren Phosphatase in der Rhizosphäre wurde zu drei Zeitpunkten bestimmt. Zeitgleich wurden Wurzelproben zur RNA-Extraktion und späteren Bestimmung der Genexpression genommen. Genspezifische Primerpaare wurden für die sauren Phosphatasen PAP 2 und PAP 3 designt (Tabelle 1). Vor Erstellung der Expressionsmuster wurde die RNA in cDNA umgeschrieben. EF1- $\alpha$  wurde in der quantitativen realtime PCR (qRT-PCR) als housekeeping-Gen eingesetzt. Das PCR-Protokoll wurde nach Koeslin-Findeklee et al. (2015) durchgeführt. Der Versuch wurde in 2017 mit drei Varianten Pi, Po und einer nicht gedüngten Kontrolle wiederholt. In diesem Versuch wurden die Wurzeln der Pflanzen möglichst unversehrt geerntet, eingescannt und die Morphologie des Wurzelsystems wurde analysiert.



Tabelle 1: Genname, korrespondierende NCBI ID und Primersequenzen des *housekeeping*-Gens  $StEF1-\alpha$  sowie der sauren Phosphatasegene für die Expressionsanalysen.

Gen	NCBI-ID	Primer	5´- 3´- Primersequenz
StEF 1α	102600998	Forward	CACTTCCCACATTGCTGTAAAG
	102600107	Reverse	CTTCAAGAACTTAGGCTCCTTC
StPAP2	102577713	Forward	GACATGCCACTCTTGCCATC
		Reverse	CTGGATGCCAAACTCGGTTG
StPAP3	102577583	Forward	TGCTATCTACCACTGGAATCG
		Reverse	CTTGTTCAACTTTCTCCTGCG

In 2016 und 2017 wurden Feldversuche mit drei Düngungsvarianten durchgeführt. Die Versuchsparzellen wurden in einen seit 1998 an der Universität Rostock bestehenden Dauerfeldversuch (Zicker et al. 2018) integriert. Beim Boden handelt es sich um einen lehmigen Sand mit einem pH-Wert von 5,8. Die Jahresdurchschnittstemperatur des Standortes liegt bei 8,1 °C, die mittleren Jahresniederschläge belaufen sich auf 600 mm. Der Versuch ist als randomisiertes split-plot-Design mit vier Wiederholungen angelegt. Die Großparzellen beinhalten die Varianten "Kontrolle" (keine P-Düngung), "organische Düngung" (Rindermist) und "mineralische Düngung" (Triplesuperphosphat, TSP zur P-Versorgung). Mit den Kleinparzellen werden variierende Fruchtfolgeglieder abgebildet. Die Kontrolle hat seit 1998 keine P-haltigen Düngemittel erhalten, es werden alle drei Jahre 30 t ha<sup>-1</sup> Rindermist, bzw. jährlich TSP in Höhe von 21.8 kg P ha<sup>-1</sup> (bis 2013) und 30 kg P ha<sup>-1</sup> (seit 2014) appliziert. Im Frühjahr 2016 lagen die P<sub>dl</sub>-Gehalte der Kontrolle, der mineralischen und der organischen Düngevariante bei 27.3, 33.2 bzw. 36.3 mg P kg<sup>-1</sup> in den oberen 30 cm des Bodens. Innerhalb jeder Parzelle wurden acht Reihen Kartoffeln in einem Reihenabstand von 75 cm gepflanzt. In den mittleren vier Reihen wurden die Genotypen Amsel, Gesa, Patersons Victoria oder Weinberger Schloßkipfler mit einem Pflanzabstand von 30 cm gelegt. Die Randreihen und die Enden jeder Reihe wurden mit Gala bepflanzt.

Zur Ernte wurden Knollenfrischmasseerträge bestimmt. Nach dem Trocknen der Pflanzenproben wurden als weitere agronomische Parameter wie Trockenmassen erfasst. Die getrockneten Pflanzenproben wurden gemahlen, für 4 h bei 105 °C nachgetrocknet und 5 h in einem Muffelofen bei 550 °C verascht. Gesamt-P wurde in 25 %-iger HCl-Säure extrahiert (Page et al. 1982). P-Konzentrationen wurden mittels *Inductively coupled plasma-optical emission* Spektroskopie (ICP-OES, Optima 8300, Perkin Elmer, USA) bei einer Wellenlänge von 214 nm bestimmt. Darüber hinaus wurde die Aktivität der Phosphatase in der Rhizosphäre nach Eivazi und Tabatabei (1977) und Turner und Haygarth (2005) gemessen.



# 4 Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt P-Gehalte (mg P Pflanze<sup>-1</sup>) und TM-Erträge (g Pflanze<sup>-1</sup>) ohne und mit P-Düngung. Es fällt auf, dass in beiden Jahren die Datenpunkte ohne P-Düngung nach links verschoben sind, d.h., die P-Düngung bewirkt eine stärkere Konzentration von P in der Pflanze, führte aber in 2016 nicht zu signifikanten Ertragsunterschieden zwischen den Düngevarianten. Die Variation innerhalb des Diversitätssets fällt in 2016 deutlich höher aus als in 2014.

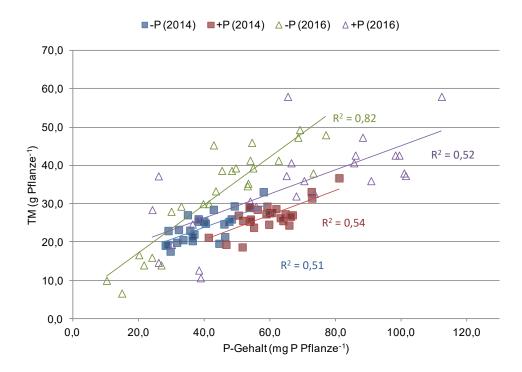


Abbildung 1: Beziehung zwischen TM (g Pflanze<sup>-1</sup>) und dessen P-Gehalt (mg P Pflanze<sup>-1</sup>) unter P-Mangel (-P, 0 g Pflanze<sup>-1</sup>) und mit P-Düngung (+P, 2 g Pflanze<sup>-1</sup>). Dargestellt sind die Regressionsgeraden für jeden Datensatz.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse und die Position von vier für weitere Untersuchungen selektierten Genotypen, anhand derer die Aktivität der sauren Phosphatase im Boden, die Größe des Wurzelsystems und die Expression saurer Phosphatasegene in verschiedenen Umwelten gemessen wurde. Deutlich sichtbar sind genotypische Unterschiede in der Aktivität der sauren Phosphatase und der Größe des Wurzelsystems (Abbildung 3). Ein klarer Einfluss der Umwelt war allerdings nicht zu erkennen, auch zeigen die Expressionsmuster der beiden Phosphatasen *PAP2* und *PAP3* keinen starken Zusammenhang zur Aktivität der Phosphatasen im Boden. Agronomische Parameter, P-Nutzungseffizienz und Phosphataseaktivität von vier Kartoffelakzessionen im Feldversuch mit unterschiedlichen Düngestrategien sind in Tabelle 2 dargestellt, Korrelationen agronomischer Parameter mit P-Aufnahme in Abbildung 4. Ein ausgeprägtes Wurzelsystem korreliert mit der P-Aufnahme.



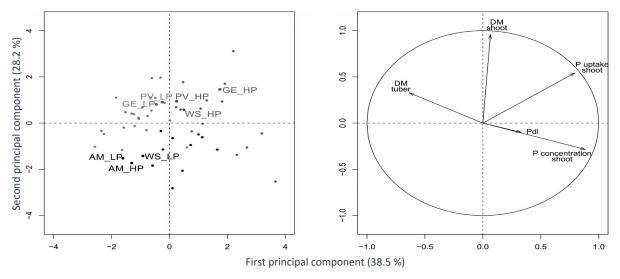


Abbildung 2: Hauptkomponentenanalyse für 28 Kartoffelakzessionen und Wachstum (DM) bzw. P-verbundene Merkmale mit dem prozentualen Anteil der Varianz, die durch die ersten beiden Hauptkomponenten erklärt wird. Die Kartoffelsorten Amsel (AM), Patersons Victoria (PV), Gesa (GE) und Weinberger Schlosskipfler (WS) sind für die gedüngte (HP) bzw. nicht gedüngte (LP) Variante getrennt markiert.

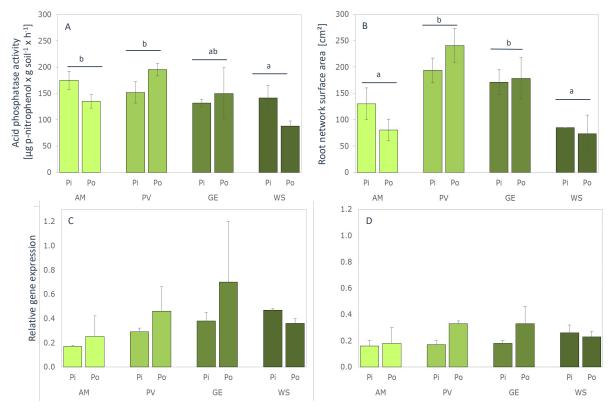


Abbildung 3: Aktivität der sauren Phosphatase (A), Größe des Wurzelsystems (B), relative Genexpression von *PAP2* (C) und *PAP3* (D) der Kartoffelsorten Amsel (AM), Patersons Victoria (PV), Gesa (GE) und Weinberger Schlosskipfler (WS) in einer Behandlung mit anorganischer (Pi) und organischer (Po) P-Düngung.



Tabelle 2: Agronomische Parameter, P-Nutzungseffizienz und Phosphataseaktivität von vier Kartoffelakzessionen im Feldversuch mit unterschiedlichen Düngestrategien. HP =  $KH_2PO_4$ , OP =  $C_6H_{16}CaO_{24}P_6$ , LP = ohne P-Düngung. Mittelwerte (Standardabweichungen) und p-Werte. Unterschiedliche Buchstaben indizieren signifikante Unterschiede zwischen Genotypen bzw. Düngungsvarianten (ANOVA/Tukeys HSD, p<0.05).

	Treatment	HP	OP	LP		p <sub>G</sub>	рт	p <sub>GxT</sub>
Trockenmasse (g plant <sup>-1</sup> )	Amsel	11.3	11.7	12.6	AB	0.017	ns	ns
		(3.23)	(3.16)	(2.64)				
	Gesa	9.79	13.5	10.8	AB			
		(3.36)	(2.07)	(2.53)				
	Patersons	13.8	12.0	12.0	В			
	Victoria	(2.78)	(0.63)	(3.04)				
	Weinberger	9.72	10.9	8.63	Α			
	Schloßkipfler	(3.29)	(4.33)	(2.45)				
Wurzel:Spross-	Amsel	0.51	0.50	0.46		ns	ns	ns
Verhältnis		(0.11)	(0.11)	(0.14)				
	Gesa	0.51	0.42	0.48				
	Dataman	(0.14)	(0.06)	(0.09)				
	Patersons	0.41	0.44	0.48				
	Victoria	(0.09)	(0.02)	(0.10)				
	Weinberger	0.54	0.55	0.57				
	Schloßkipfler	(0.21)	(0.22)	(0.14)				
P-Aufnahme (mg plant <sup>-1</sup> )	Amsel	41.5	32.4	32.4		ns	<0.001	0.015
		(11.8)	(4.96)	(9.73)				
	Gesa	34.8	45.4	29.1				
		(8.49)	(10.8)	(6.15)				
	Patersons	49.6	31.6	34.4				
	Victoria	(9.32)	(2.18)	(3.78)				
	Weinberger	37.7	35.5	27.3				
	Schloßkipfler	(5.44)	(12.8)	(5.78)				
		В	В	A				
P-Nutzungseffizienz (g mg <sup>-1</sup> )	Amsel	0.27	0.36	0.40		ns	<0.001	ns
		(0.04)	(0.08)	(0.05)				
	Gesa	0.28	0.31	0.37				
	Dataman	(0.04)	(0.04)	(0.08)				
	Patersons	0.28	0.38	0.35				
	Victoria	(0.02)	(0.03)	(0.07)				
	Weinberger	0.25	0.31	0.32				
	Schloßkipfler	(0.06)	(0.07)	(0.06)				
		A	В	В				
Phosphataseaktivität	Amsel	21.6	18.4	15.8		ns	ns	ns
Rhizosphäre	C	(6.91)	(7.20)	(8.19)				
(μg pNP g soil <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Gesa	14.9	18.6	18.3				
	Datorcons	(6.59)	(7.08)	(7.15)				
	Patersons	13.5	6.08	15.0				
	Victoria	(9.78)	(1.75)	(8.15)				
	Weinberger	13.7	12.1	17.7				
	Schloßkipfler	(7.88)	(6.92)	(7.84)				



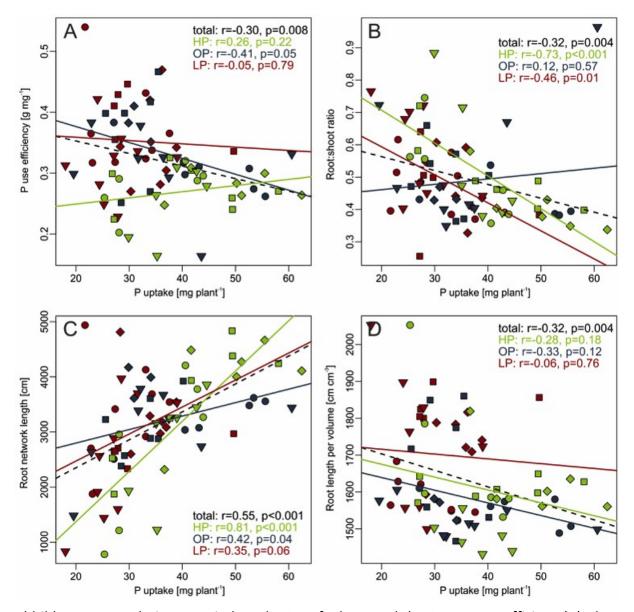


Abbildung 4: Korrelationen zwischen der P-Aufnahme und der P-Nutzungseffizienz (A), dem Wurzel-/Sprossverhältnis (B), der Länge des Wurzelnetzwerkes (C) sowie der Wurzellänge je cm<sup>3</sup> Boden. HP= KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, OP= C<sub>6</sub>H<sub>16</sub>CaO<sub>24</sub>P<sub>6</sub>, LP= ohne P-Düngung, Quadrat: Amsel, Kreis: Gesa, Dreieck: Patersons Victoria, Raute: Weinberger Schloßkipfler.

Bei den Knollenerträgen gibt es statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen, aber nicht zwischen den Düngevarianten des Dauerfeldversuchs mit Triple-Superphosphat als P-Quelle, organischer Düngung und ohne P-Applikation seit 1998 (Abbildung 5). Alle vier Genotypen Amsel, Gesa, Patersons Viktoria und Weinberger Schlosskipferl zeigen jedoch das niedrigste Ertragslevel in der ungedüngten Kontrolle.



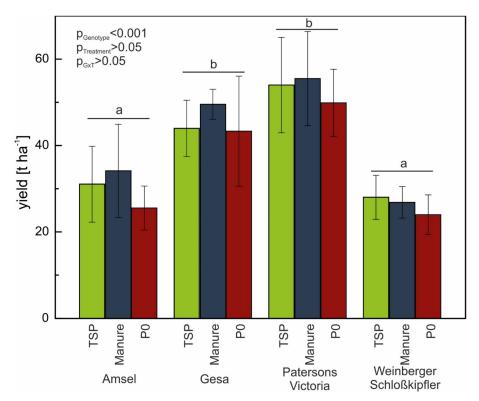


Abbildung 5: Erträge von vier Kartoffelsorten in einer mit TripleSuperPhosphat (TSP) und organischem Dünger (Manure) gedüngten Variante und einer ungedüngten Kontrolle (P0).

#### 5 Diskussion

P ist im Vergleich zu anderen Pflanzennähstoffen im Boden nur wenig mobil. Ergebnisse unserer Arbeitsgruppe konnten die Wurzelarchitektur von Sorghumlinien in drei wesentliche Gruppen einteilen (Parra-Londono et al. 2018). Dabei zeigte sich, dass solche Genotypen, die den Boden intensiv durchwurzeln, eine höhere P-Aufnahme bei mangelnder P-Versorgung des Bodens hatten. Die intensive Durchwurzelung des Bodens scheint somit einen erheblichen Beitrag zur Verbesserung der P-Aufnahmeeffizienz leisten zu können.

Ein Großteil des im Boden vorhandenen nicht direkt pflanzenverfügbaren Phosphors liegt organisch in Form von Phytin vor. Zur Abspaltung von Phosphat sind Phosphatasen notwendig, die durch Mikroorganismen oder von der Pflanze selbst gebildet und ausgeschieden werden. Die Bedeutung der Phosphatasen und der Phosphataseaktivität in der Rhizosphäre konnte im Rahmen dieser Studie nicht eindeutig belegt werden. Es gibt allerdings eine Reihe weiterer saurer Phosphatasen, die in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt wurden. Im Projekt PIPAPo des P-Campus konnte unsere Arbeitsgruppe den Zusammenhang zwischen der P-Versorgung des Bodens und der Aktivität von Phosphatasen bei der Kartoffel nachweisen. Im Unterschied zur aktuellen Studie wurde im Projekt PIPAPo mit *in-vitro-*Pflanzen gearbeitet und die Phosphataseaktivität wurde direkt an der Wurzeloberfläche, nicht in der allgemeinen Rhizosphäre gemessen. Somit kann einerseits eine ungenauere Methodik den Nachweis behindert haben, andererseits bilden die Knollen gewöhnlich gezogener Kartoffelpflanzen die erste P-Quelle, so dass der Zeitraum der Gefäßversuche nicht ausgereicht haben könnte, P-Mangel in den Pflanzen zu induzieren.



Düngeempfehlungen sind i.d.R. so gestaltet, dass eine optimale Versorgung der Kulturpflanzenbestände gewährleistet ist. Unsere Feldversuchsergebnisse führten selbst auf deutlich unterversorgtem Boden zu keiner statistisch signifikanten Ertragsreduktion im Vergleich zu optimal gedüngten Varianten. Hierbei ist zu bedenken, dass die niedrigsten Erträge bei allen Genotypen in der ungedüngten Kontrolle ermittelt wurden und der Versuchsfehler einen erheblichen Einfluss auf statistische Signifikanzen hat. Nichtsdestotrotz decken sich die Versuchsergebnisse z.T. mit Erfahrungen aus der pflanzenbaulichen Praxis. Unsere Ergebnisse lassen bedingt darauf schließen, dass auch mit dem aktuellen Sortenspektrum hohe Erträge bei reduzierter P-Düngung erzielbar sind.

# 6 Literaturverzeichnis

- Balemi T, Schenk MK (2009) Genotypic variation of potato for phosphorus efficiency and quantification of phosphorus uptake with respect to root characteristics. J Plant Nutr Soil Sci 172: 669-677
- Corell DL (1998) The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. J Environ Qual 27: 261-266
- Dhillon J, Torres G, Driver E, Figueiredo B, Raun WR (2017) World phosphorus use efficiency in cereal crops. Agron J 109: 1-8
- Eivazi S, Tabatabei MA (1977) Phosphatases in soils. Soil Biol Biochem 9: 167-172
- Gericke S, Kurmies B (1952) Colorimetrische Bestimmung der Phosphorsäure mit Vanadat-Molybdat. Fresenius Z Für Anal Chem 137: 15-22
- Ha S, Tran LS (2013) Understanding plant responses to phosphorus starvation for improvement of plant tolerance to phosphorus deficiency by biotechnological approaches. Crit Rev Biotechnol 34: 16-30
- Koeslin-Findeklee F, Rizi VS, Becker MA, Parra-Londono S, Arif M, Balazadeh S, Mueller-Roeber B, Kunze R, Horst WJ (2015) Transcriptomic analysis of nitrogen starvation- and cultivar-specific leaf senescence in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Plant Sci 233: 174-185
- López-Arrendondo DL, Leyva-González MA, González-Morales SI, López-Bucio J, Herrera-Estrella L (2014) Phosphate nutrition: Improving Low-Phosphate Tolerance in Crops. Ann Rev Plant Biol 65: 95-123
- Lynch JP 82007) Roots of the second green revolution. Turner review no. 14. Aust J Bot 55: 493-512
- Page AL, Miller RH, Keeney DR (1982) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, 2nd edition. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA
- Parra-Londono S, Kavka M, Samans B, Snowdon R, Wieckhorst S, Uptmoor R (2018) Sorghum root-system classification in contrasting P environments reveals three main rooting types and root-architecture-related marker-trait associations. Ann Bot 121: 267-280
- Richardson AE, Hocking PJ, Simpson RJ, George TS (2009) Plant mechanism to optimise access to soil phosphorus. Crop Pasture Sci 60: 124-143
- Roberts TL, Johnston EA (2015) Phosphorus use efficiency and management in agriculture. Resour Conserv Recy 105: 275-281
- Smith VH, Schindler DW (2009) Eutrophication science: where do we go from here? Trends Ecol Evol 24: 201-207
- Turner BL, Haygarth PM (2005) Phosphatase activity in temperate pasture soils: Potential regulation of labile organic phosphorus turnover by phosphodiesterase activity. Sci Total Environ 344: 27-36
- Vandamme E, Rose T, Saito K, Jeong K, Wissuwa M (2015) Integration of P acquisition efficiency, P utilization efficiency and low grain P concentrations into P-efficient rice genotypes for specific target environments. Nutr Cycl Agroecosyst 104: 413-427
- Zicker T, von Tucher S, Kavka M, Eichler-Löbermann B (2018) Soil test phosphorus as affected by phosphorus budgets in two long-term field experiments in Germany. Field Crops Res 218: 158-170



# **Anhang**

# Liste der Konferenzbeiträge

- Eichler-Löbermann B, Zicker T, Wacker K, Uptmoor R (2017) Phosphorus budgets and bioavailablbe phosphorus content in soil results of a long-term field experiment.

  25th International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers, Sep 2017, Reports Julius Kuehn Institut 191, DOI: 10.5073/berjki.2017.191.000
- Kavka M, Wacker K, Pfahler V, Dehmer K J, Uptmoor R (2018) Phosphorus acquisition mechanisms of potato (*Solanum tuberosum* L.), 6th symposium on Phosphorus in Soils and Plants, Leuven, Belgien, 10.09.18-13.09.18
- Kavka M, Wacker K, Pfahler V, Dehmer KJ, Uptmoor R (2018) Phosphorus acquisition mechanisms of potato (*Solanum tuberosum* L.), Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Kiel, 25.09.18-27.09.18
- Wacker K, Kavka M, Dehmer KJ, Eichler-Löbermann B, Uptmoor R (2017) Unterschiede in der Phosphoreffizienz und Phosphoraneignung verschiedener *Solanum tuberosum* L. Genotypen aus in vitro- und Knollen-Kultur. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 29 269-270
- Wacker K, Kavka M, Dehmer KJ, Eichler-Löbermann B, Uptmoor R (2016) Phosphoreffizienz und genetische Regulation der Phosphataseproduktion und -aktivität bei Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 28 (2016) 276-277

#### **Publikationen**

Wacker K, Pfahler V, Bachmann-Pfabe S, Dehmer KJ, Uptmoor R, Kavka M (20xx) Genotype specific differences in phosphorus efficiency of potato (in prep.)

## **Abschlussarbeiten**

- Anna Völz, BSc (2018) Potenzial alter Kartoffelsorten hinsichtlich der P-Aneignungs- und P-Nutzungseffizienz in drei Umwelten
- Laurine Kim Larsen, MSc (2018) Genotypische Variation der P-Aufnahme- und Nutzungseffizienz bei der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.)

# Aufenthalte, Teilnahme an Workshops außerhalb des P-Campus

Zymografie Workshop, Universität Göttingen 28.02. – 02.03.2017

# Sonstige Vorträge

Katrin Wacker (2017) Wissenschaftlerseminar der AG Teilsammlungen Nord des IPK am 16.01.2017