



Phosphordüngung – Anpassung erforderlich?

Diedrich Steffens

Institut für Pflanzenernährung, Interdisziplinäres Forschungszentrum für
biowissenschaftliche Grundlagen der Umweltsicherung (iFZ)
Justus-Liebig Universität, Heinrich-Buff-Ring 26-32, 35392, Germany



**Einfluss einer Mineraldüngung auf das
Wachstum von Deutschem Weidelgras
und Senf, Justus-Liebig-Museum
in Gießen, 2009**

„ In den Versuchen, welche das Generalcomite des landwirtschaftlichen Vereins in Baiern im Jahre 1857 über die Wirkungen des Phosporits auf den an Phosphorsäure armen Feldern in Schleissheim anstellen liess, wurden auf zwei Strecken Feld, wovon das eine pro Hectare mit 241,4 Kg Phosphorsäure (657,4 Kg Phosphorit mit Schwefelsäure aufgeschlossen) gedüngt worden war, folgende Erträge in Sommerweizen geerntet:

	1857		
	Gesamternte	Korn	Stroh
Gedüngt mit 657 Kg phosphorsaurem Kalk	5114,7 Kg	1301,7 Kg	3813,0 Kg
Ungedüngt	2301,0 „	644,3 „	1656,7 „

Die Menge der Phosphorsäure, welche die Pflanze im Stroh und Korn von dem gedüngten Stück empfangen hatte:

beträgt im Ganzen	17,5 Kg Phosphorsäure
die vom ungedüngten	8 " "

durch die Düngung wurde mehr geerntet	9,5 Kg Phosphorsäure
---------------------------------------	----------------------

In den 657,4 Kg Phosphorit empfing das Feld im Ganzen 241,4 Kg Phosphorsäure, **die in dem Mehrertrag vorhandene macht demnach nur 1/25 der zugeführten Phosphorsäure aus.**

Wäre es möglich gewesen, jede Wurzel mit soviel Phosphorsäure oder phosphorsaurem Kalk zu umgeben, als der Mehrertrag an Korn und Stroh zu seiner Bildung bedurfte, so würde man in einer Düngung von 9 ½ Kg Phosphorsäure ausgereicht haben, um den Ertrag des ungedüngten Stückes zu verdoppeln“

Zitat aus : Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. Justus von Liebig, neunte Auflage, Seite 288-289, Braunschweig , Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, 1876.

Tabelle 1: Derzeitige Werte der Bodengehaltsklasse C für Phosphor in mg P/100 g Boden in Deutschland

Empfehlung VDLUFA 1997	4,5 – 9,0
Bayern /Baden-Württemberg/ Hessen	4,4 – 8,7
Nordrhein-Westfalen	4,4 – 7,9
Brandenburg (von DL umgerechnet auf CAL)	4,5 – 6,4
Sachsen/ Thüringen	4,9 – 7,2
Mecklenburg-Vorpommern/Niedersachsen	5,0 – 10,0
Rheinland-Pfalz	5,2 – 8,7
Sachsen-Anhalt	5,5 – 8,0
Schleswig-Holstein	7,4 – 14,0

Tabelle 2: Bisherige und vorgeschlagene neue Gehaltsklasseneinteilung für Acker- und Grünlandstandorte (mg CAL-P/100 g Boden)

Gehaltsklasse	Bisher			Neu						
A	>=	0	<	2	>=	0,0	<	1,5		
B	>=	2	<	4,5	>=	1,5	<	3,0		
C	>=	4,5	<	9	>=	3,0	<	*6,0		
D	>=	9	<	15	>=	6,0	<	12,0		
E	>=	15			>=	12,0				

* der Maximalwert von 6 mg CAL-P gilt für alle Standorte mit Niederschlagsmengen > ~550 mm/Jahr. In Trockengebieten (< ~550 mm) erhöht sich der Maximalwert

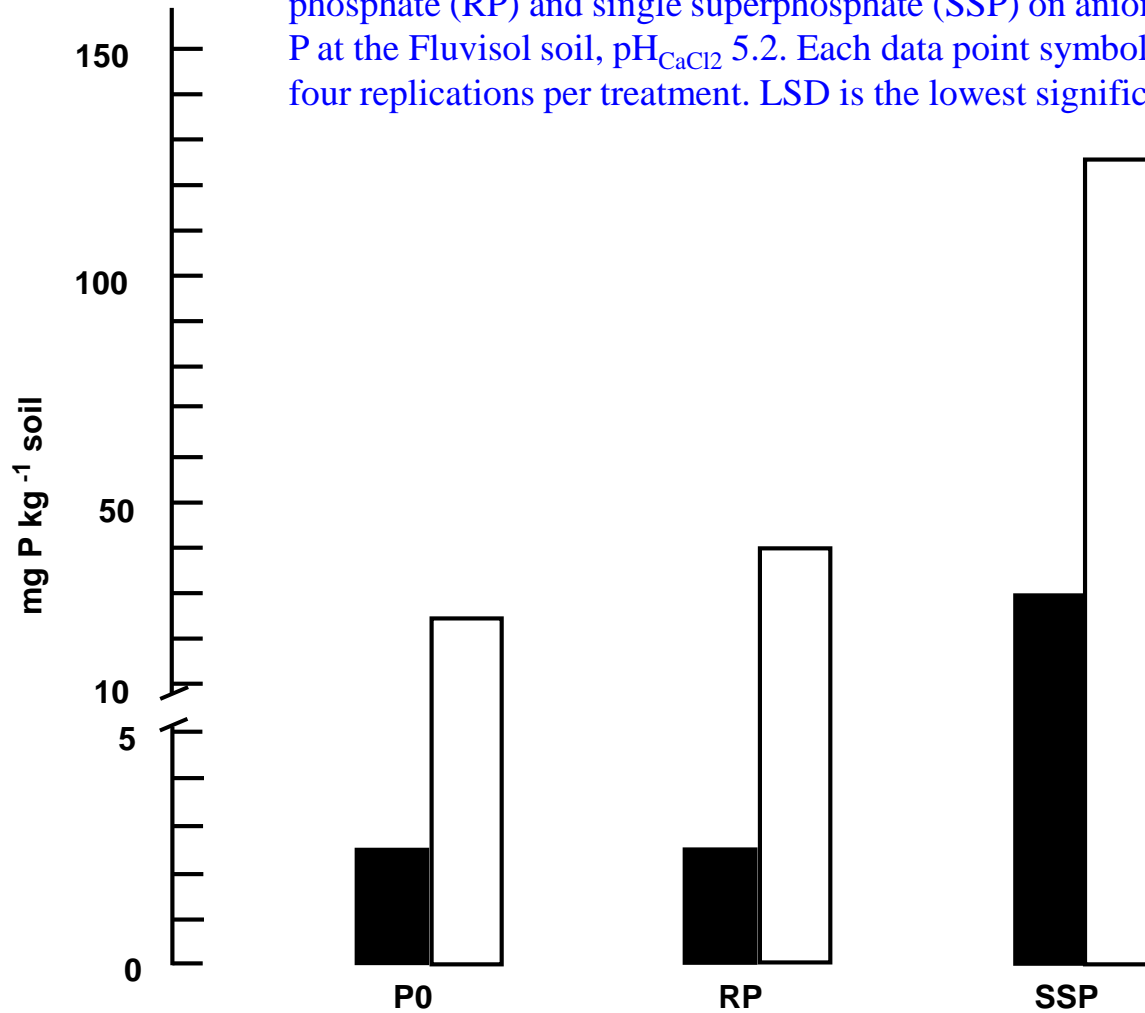
Richtwerte für die Gehaltsklassen A bis E für Acker- und Grünlandstandorte (Grünenentwurf; VDLUFA 2017)

Gehaltsklasse	Richtwert [mg CAL-P (100 g) ⁻¹ Boden]
A	<1,5
B	1,5 – 3,0
C	3,0 – 6,0*
D	6,0 – 12,0
E	>12,0

* Die Richtwerte gelten für alle Standorte mit einer Niederschlagsmenge von > ~550 mm/Jahr. In **Trockengebieten** (< ~550 mm) betragen die Richtwerte in Gehaltsklasse B 2,5 – 5,0 und in Gehaltsklasse C 5,0 – 7,5 mg CAL-P (100 g)⁻¹ Boden.

Fig. 3

Effect of soil moisture and P fertilization (100 mg P kg⁻¹ soil) in form of Rock phosphate (RP) and single superphosphate (SSP) on anion resin extractable soil-P at the Fluvisol soil, pH_{CaCl2} 5.2. Each data point symbolizes the average of four replications per treatment. LSD is the lowest significant difference.



LSD 5% : 2,2
1% : 3,1
0,1% : 4,4

■ 30% max. whc
□ 80% max. whc

Zusätzliche produktionstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der P-Effizienz

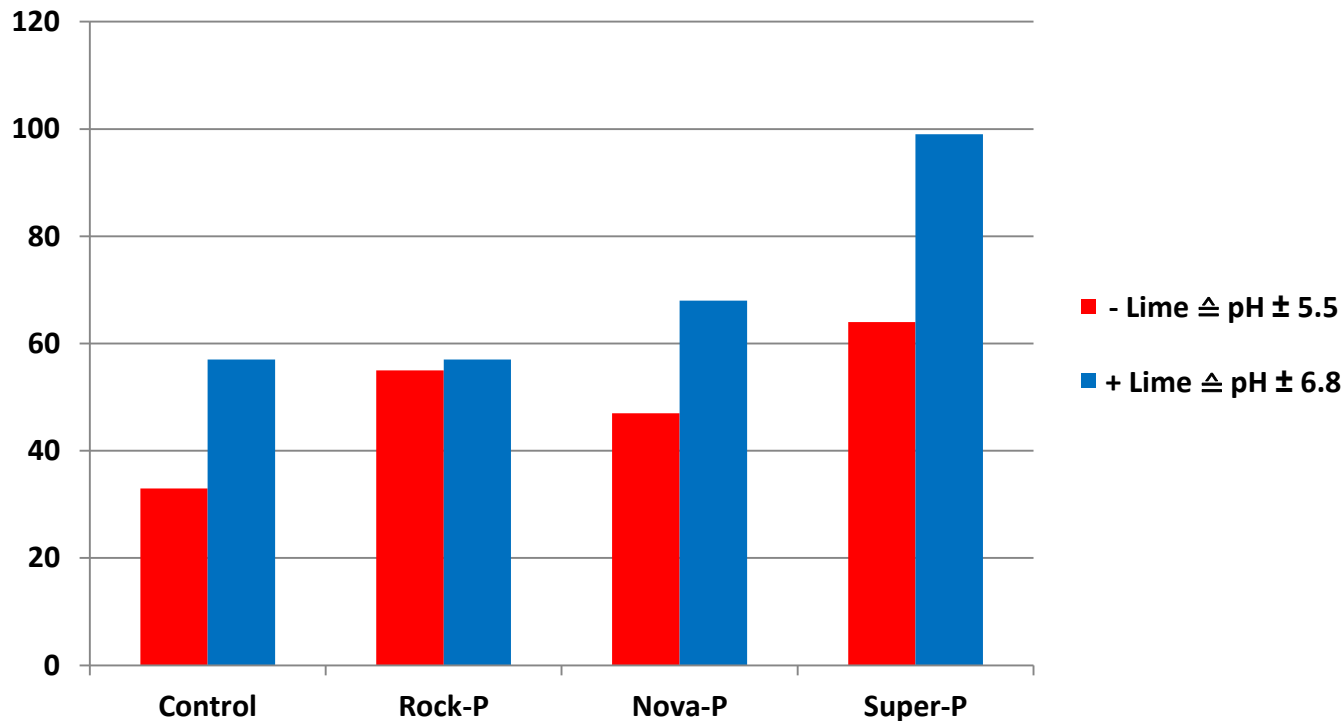
Um zu gewährleisten, dass die geänderten Richtwerte auch unter ungünstigsten Umweltbedingungen (z. B. sehr kaltes Frühjahr) eine hohe Ertragsfähigkeit der Kulturen sicherstellen, muss dafür Sorge getragen werden, dass die weiteren Komponenten der guten landwirtschaftlichen Praxis mit Relevanz für die P-Verfügbarkeit eingehalten werden. Dazu zählen:

1. Einhaltung eines guten Kalkzustandes des Bodens

Mit sub-optimalem pH-Wert sinkt die Phosphorverfügbarkeit. Dies betrifft sowohl die chemisch bedingte Verfügbarkeit als auch die räumliche Zugänglichkeit aufgrund einer zu geringen Ca-Sättigung der Austauscher und in der Folge einer beeinträchtigten Bodenstruktur.

Effect of a P fertilization in form of rock -, nova – and super phosphate (54 kg P ha a, 1973 – 1983) and liming on the CAL-extractable soil-P concentration (Steffens, 1994)

mg CAL-P kg⁻¹ soil



2. Einarbeitung des Phosphordüngers

Um eine möglichst hohe P-Düngerausnutzung bei abgesenkten Boden-P-Werten sicherzustellen, ist eine Einarbeitung des P-Mineraldüngers auf Ackerland vor der Saat sinnvoll. Bei organischen Düngern (Gülle, Gärreste) ist dies schon aus Gründen der Vermeidung von Ammoniakverlusten notwendig und auch entsprechend durch die Düngeverordnung geregelt. In Betriebssystemen mit Minimalbodenbearbeitung besteht das Risiko einer sehr ungünstigen P-Verteilung im Boden und entsprechend eingeschränkter P-Verfügbarkeit, z.B. bei Bodentrockenheit.

Hier sollte eine regelmäßige Einmischung der wenig mobilen Nährstoffe in die gesamte „Krume“ in Erwägung gezogen werden.

Einfluss der Tiefe der Bodenprobenentnahme nach langjähriger reduzierter Bodenbearbeitung

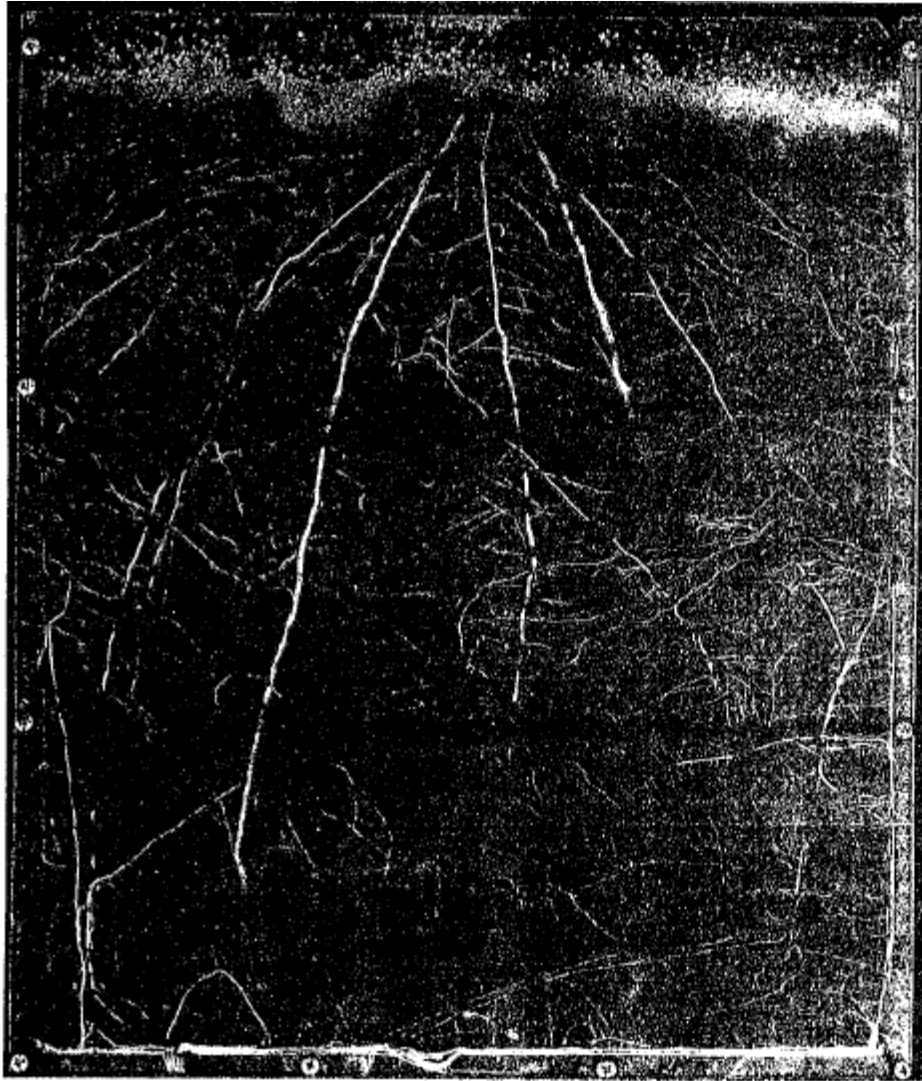
	Bodenschicht		
	0-15 cm	15-30 cm	0-30 cm
pH-Wert (0,01 M CaCl ₂)	6,6	7,2	7,0
N _t , %	0,317	0,233	0,256
C _t , %	2,925	3,189	2,638
S _t , %	0,061	0,042	0,048
CAL-P mg P ₂ O ₅ /100g	3,10	1,55	1,66
CAL-K mg K ₂ O/100g Boden	38,9	24,8	27,8
Nitrat ¹ mg NO ₃ -N/kg	15,2	17,2	8,7
Ammonium ¹ mg NH ₄ -N/kg	2,1	1,3	1,6
Norg ¹ mg Norg-N/kg	14,7	10,22	13,0

¹ im 0,01M CaCl₂-Extrakt

3. Platzierung des P-Düngers

Die Unterfußdüngung bei Mais ist inzwischen Standard der guten fachlichen Praxis.

Entsprechende Verfahren zur Düngerplatzierung bei Getreide und Raps sollten geprüft und ggf. weiterentwickelt werden.



Wurzellänge
cm/cm³ Bd.

Zone A, keine P Düng.

2,60 b

Zone B, 50 mg P/kg Bd.

5,37 a

← Zone mit 50 mg P kg⁻¹ Boden
Superphosphat

Zone C, keine P Düng.

3,77ab

Einfluss einer platzierten P-Düngung auf die Wurzellänge von Mais. Boden:
Unterboden einer Braunerde aus Löß, pH 6,1; 4,2 mg CAL-P/kg Boden (Steffens,
1992)

Einfluss verschiedener Düngerablagen auf den Mehrertrag von Wintergerste und Winterweizen auf einer Löß-Braunschwarzerde (1,6 mg CAL-P/100 g Boden ; 6,2 pH in 0-10 cm) (Zorn und Schröter 2016).

P-Düngung % Abfuhr	Mehrertrag dt/ha Wi-Gerste, 2016	Mehrertrag dt/ha Wi-Weizen, 2015
50 v. Saat einarbeiten	4,4	0,8
100 v. Saat einarbeiten	10,7 = 35 kg P/ha	3,0 = 40 kg P/ha
200 v. Saat	11,3	10,2
50 u. Fuß	6,4	4,5
100 u. Fuß	7,6	8,3
200 u. Fuß	9,3	11,4
50 Kopf-Düngung im Frühjahr	6,4	-0,2
100 Kopf-Düngung im Frühjahr	5,5	4,2
Ohne P, dt/ha	74,6	92,9
GD 5% Tuckey	4,8	4,8

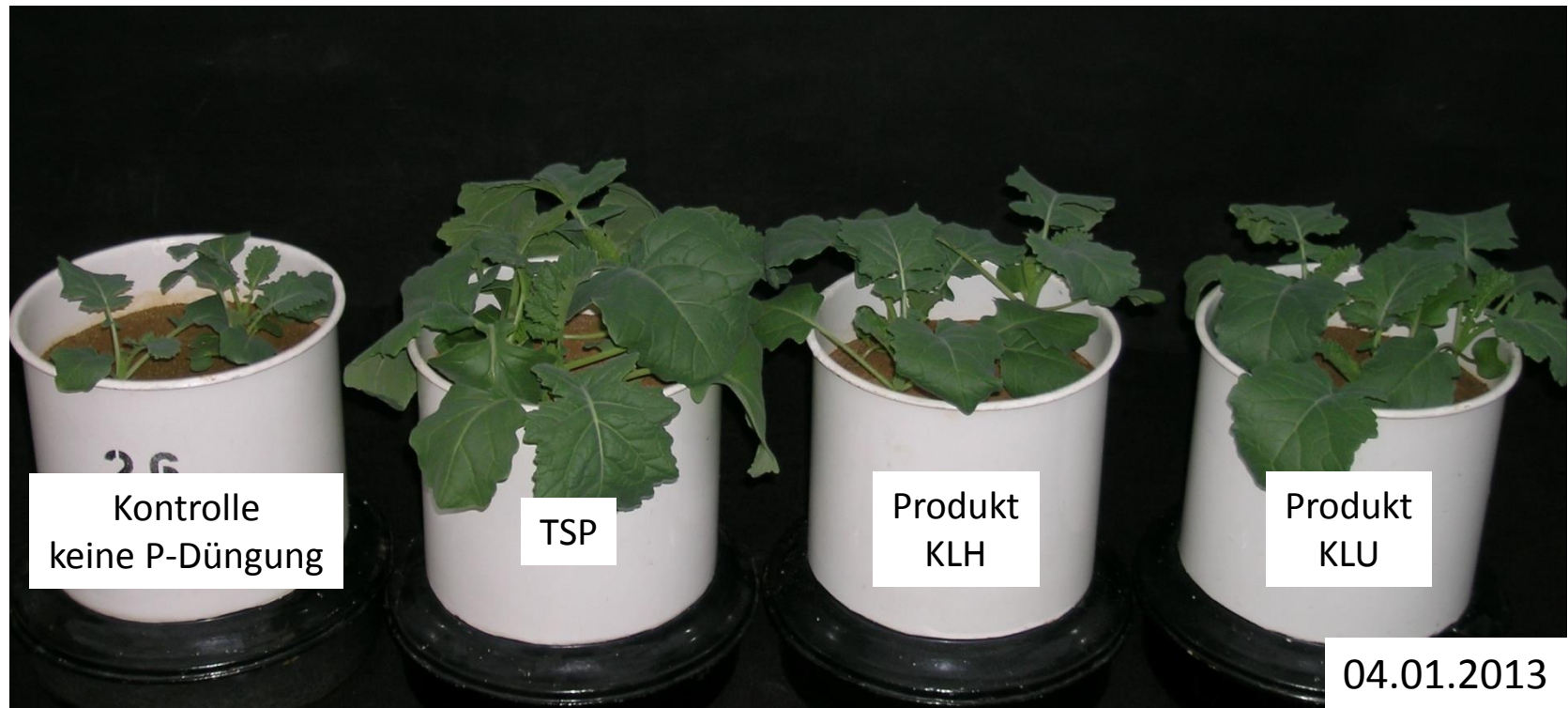
4. Kulturartenspezifität

Die in Feldversuchen identifizierte unterschiedliche Reaktion verschiedener Kulturarten auf die P-Düngung erfordert eine pflanzenartsspezifische Anpassung der P-Düngungshöhe. In der Fruchtfolge sollte die P-Düngung, z.B. als Vorratsdüngung, vornehmlich zu den Kulturarten Kartoffel, Mais, Zuckerrübe, Winterraps und zu Leguminosen erfolgen.

5. P-Düngerform

Generell sollten vornehmlich P-Dünger mit guter Pflanzenverfügbarkeit eingesetzt werden. Die Verfügbarkeit von Phosphor aus Wirtschaftsdüngern ist wie bei mineralischen Düngern langfristig mit 100 % anzusetzen.

Einfluß einer Phosphatdüngung (0,6 g P/Gefäß) in Form von Tripelsuperphosphat (TSP) und der Klärschlammverbrennungsprodukte KLH und KLU auf das Wachstum von Raps sowie die relative Ausnutzung des gedüngten Phosphats.



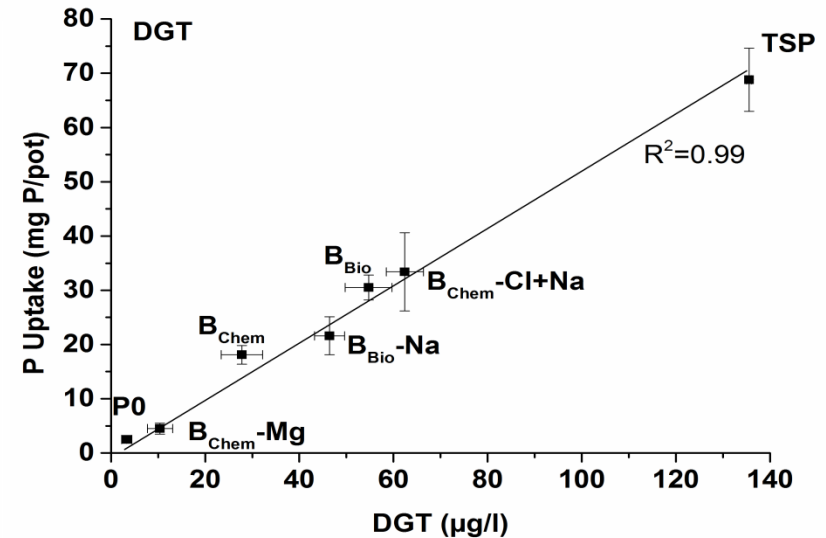
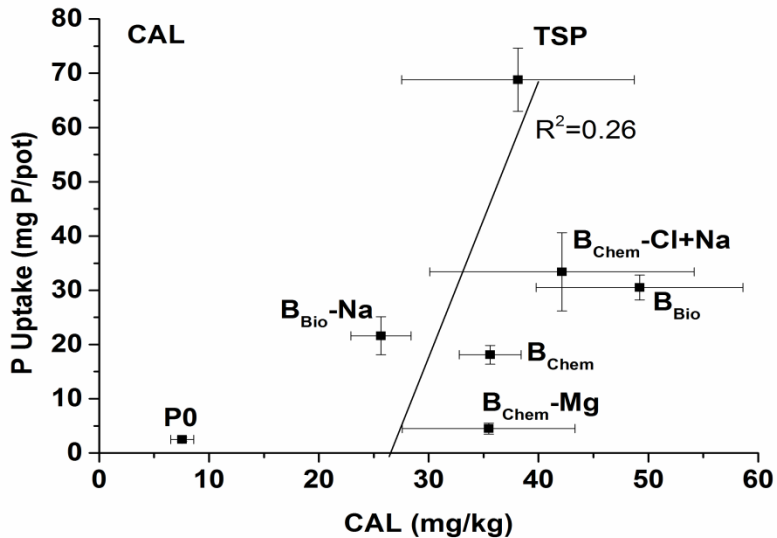
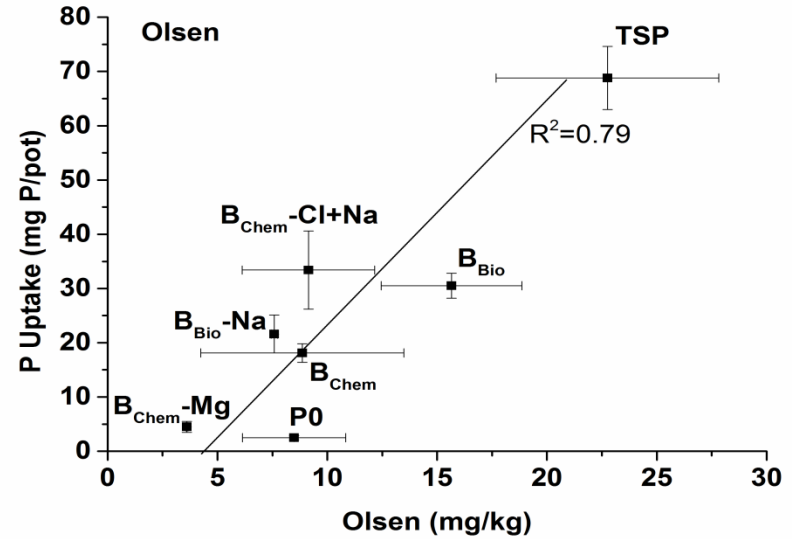
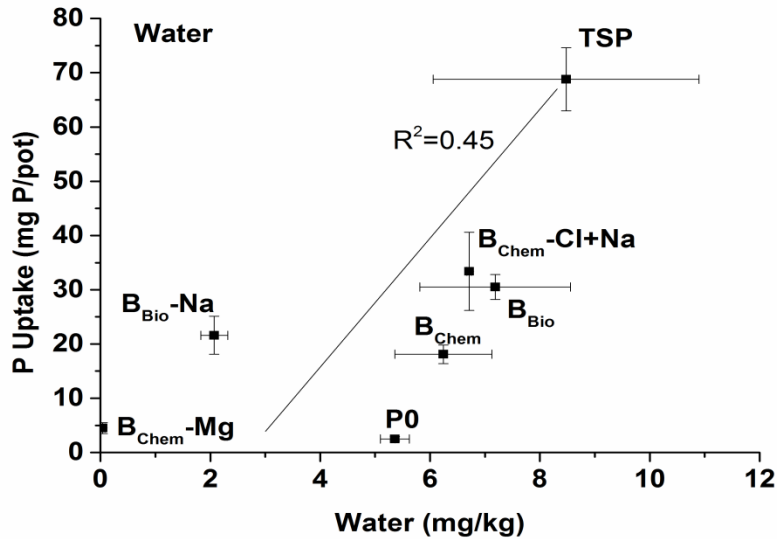
Rel. P-Ausnutzung

38%

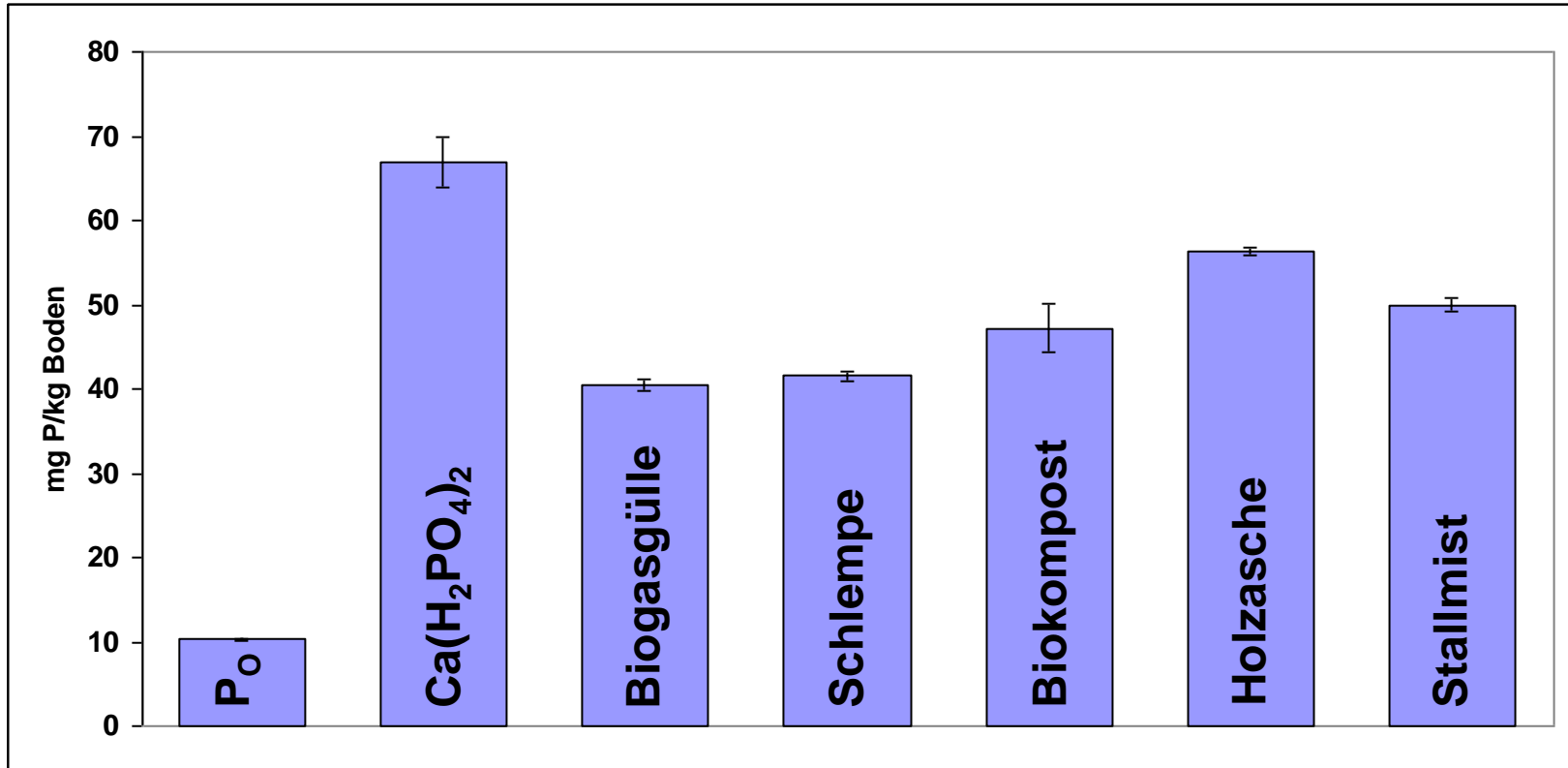
3%

6%

Beziehung zwischen der P-Aufnahme von Mais nach P-Düngung mit verschiedenen P-Recyclingsprodukten und der mit verschiedenen Methoden extrahierbaren P-Konzentration im Boden (Vogel, Sekine, Steckenmesser, Lombi, Steffens, Adam 2017)



Wirkung verschiedener Reststoffe auf CAL-extrahierbares P im Boden.
Es wurden 100 mg P/kg Boden in Form der Reststoffe gedüngt.



Einfluss von Bioabfallkompostdüngung auf das CAL extrahierbare Phosphat im Oberboden (0-30 cm). Angaben nach Steffens und Jahn-Deesbach.

Variante	mg P/100 g Boden	pH-Wert
K0N0 (Kontrolle)	3,7	5,09
K0N1	3,8	5,11
K1N0	4,5*	5,36*
K1N1	4,7*	5,41*
K2N0	5,4*	5,73*
K2N1	6,2*	5,73*

- * = signifikanter Unterschied zur K0N0 Variante, $P \leq 5\%$
- K1: 8 u. 25 t Bioabfallkompost in 3 Jahren
- K2: 16 u. 50 t Bioabfallkompost in 3 Jahren
- N1: Mineralische N-Düngung mit KAS
- Fruchtfolge: Kartoffel, WW, WG

6. Erosionsmindernde Maßnahmen

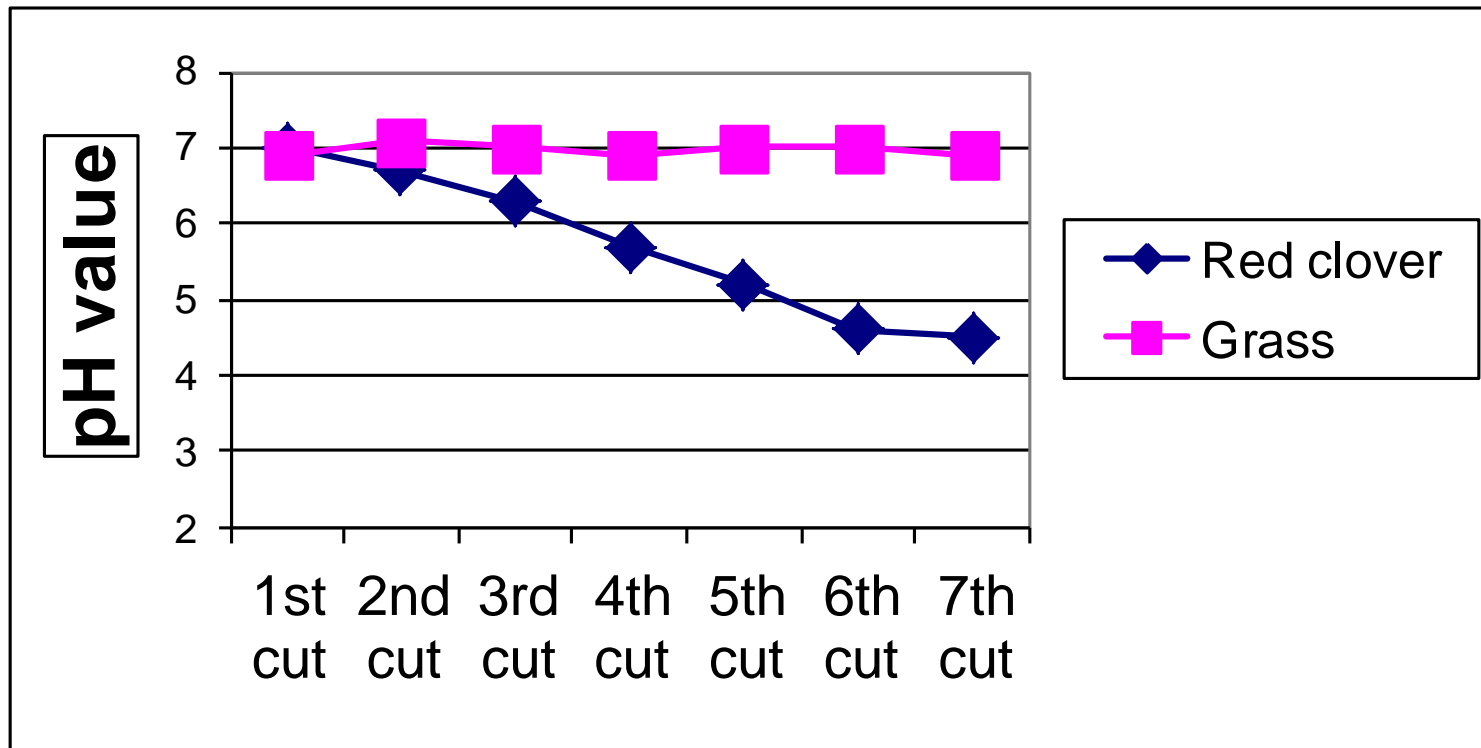
Da der wichtigste Verlustpfad für P aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung durch Bodenerosion (Wassererosion, Winderosion) entsteht, sind geeignete Erosionsschutzmaßnahmen umzusetzen.

Über Zwischenfruchtanbau kann zusätzlich Phosphor für Folgefrüchte mobilisiert werden.



Wurzelknöllchen an einer
Wurzel von Buschbohne
(*Phaseolus vulgaris* L.)

Einfluss von Rotklee und Deutschem Weidelgras auf den Boden pH-Wert (Steffens, 1982)

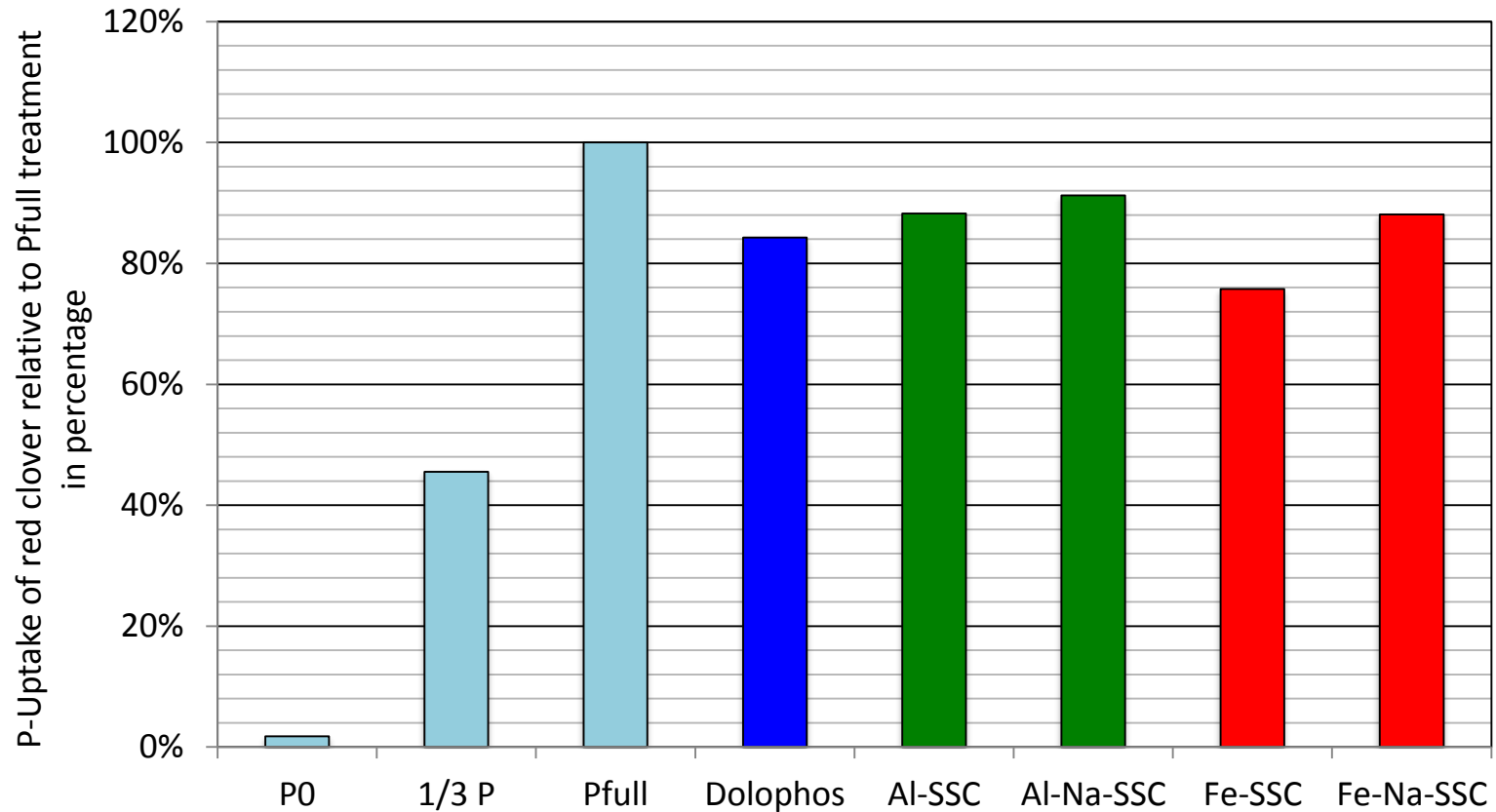


Einfluss einer P-Düngung (0,6 g P/Gefäß) in Form verschiedener Recyclingprodukte mittels Pyreg aus Klärschlämmen behandelt mit Al- bzw. Fe-Salzen und einer Na-Carbonatzugabe auf die relative P-Aufnahme von N₂-fixierendem Rotklee.

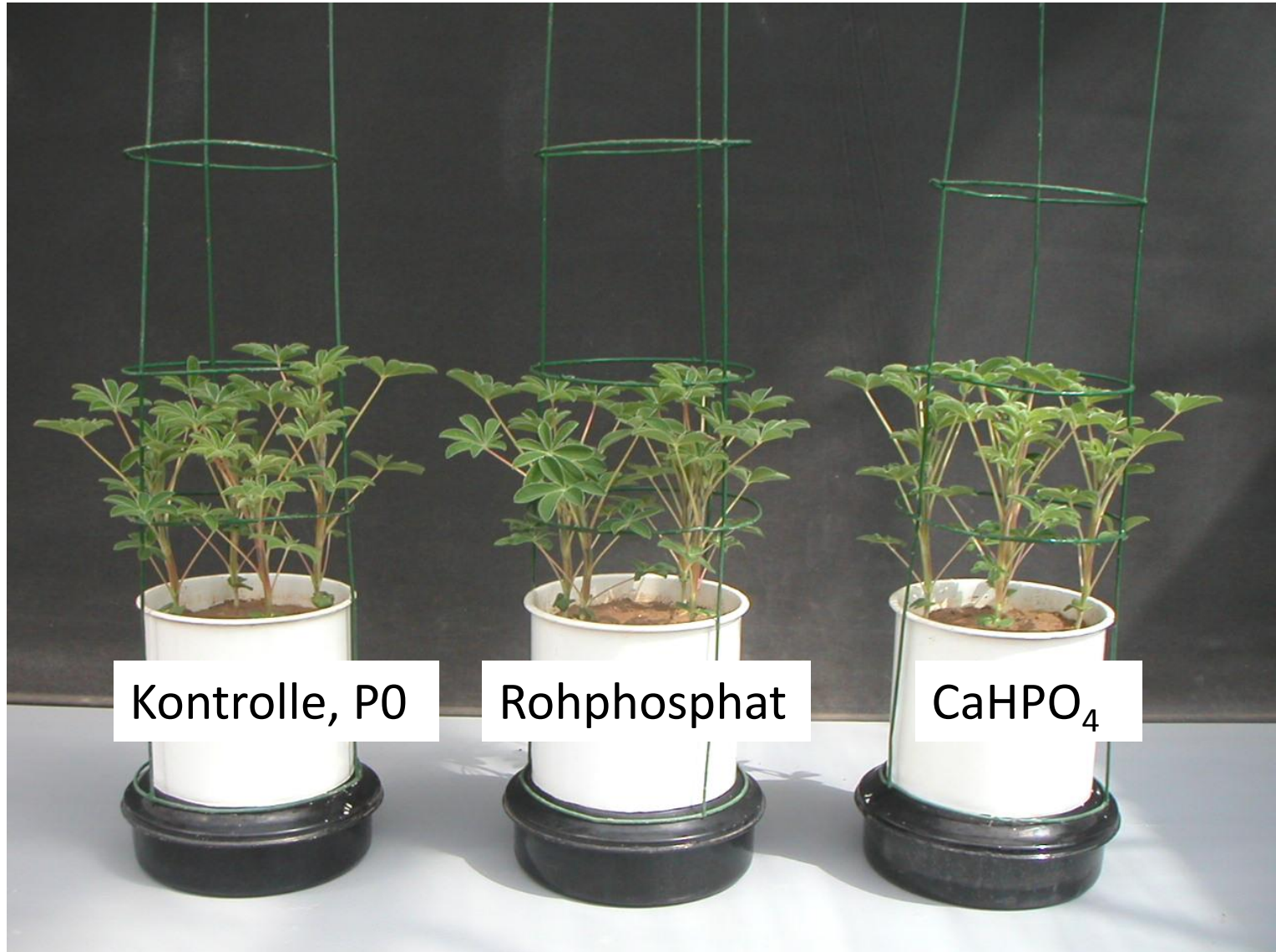
(Summe von 4 Schnitten, 1/3 P und Pfull: Ca(H₂PO₄)₂ = 100%) (Friedrich, Steffens u. Appel)

Ausgangs pH-Wert: 5,8

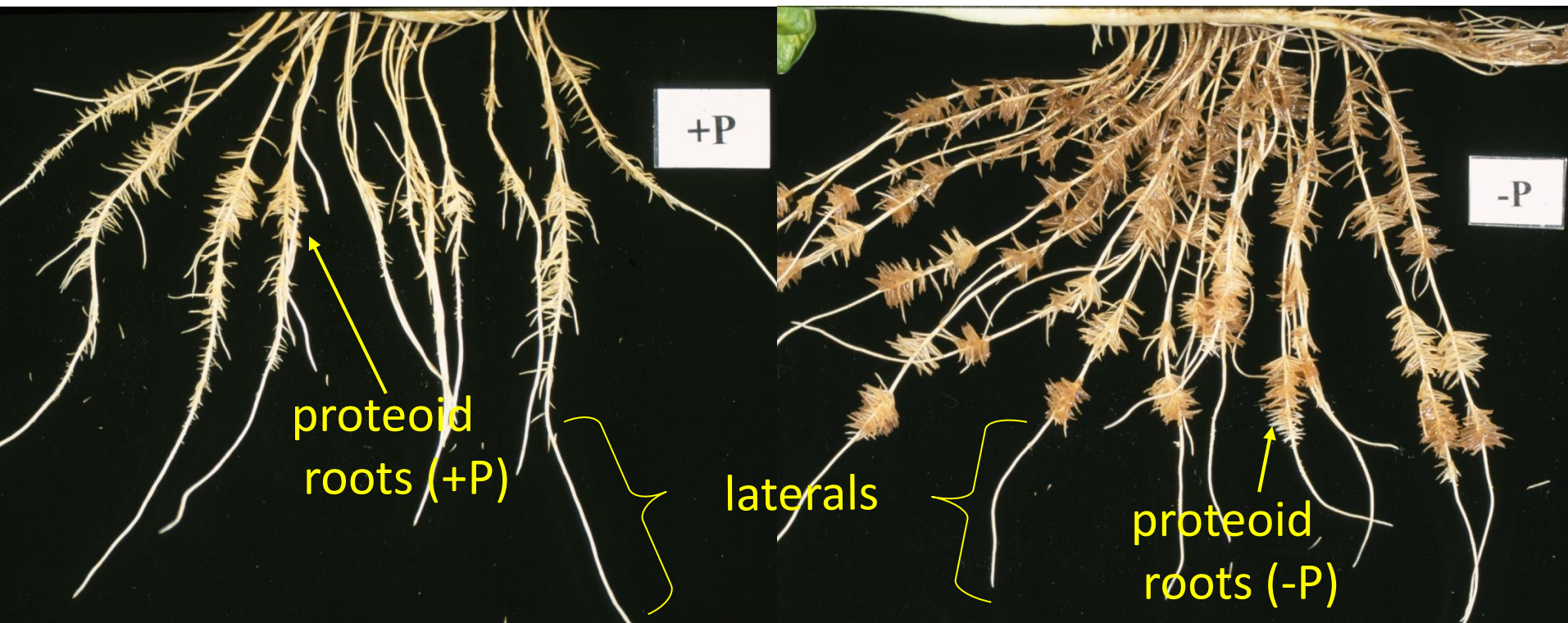
pH-Wert bei Ende: 5,7 4,9 4,6 4,8 4,7 4,7 4,7 4,8



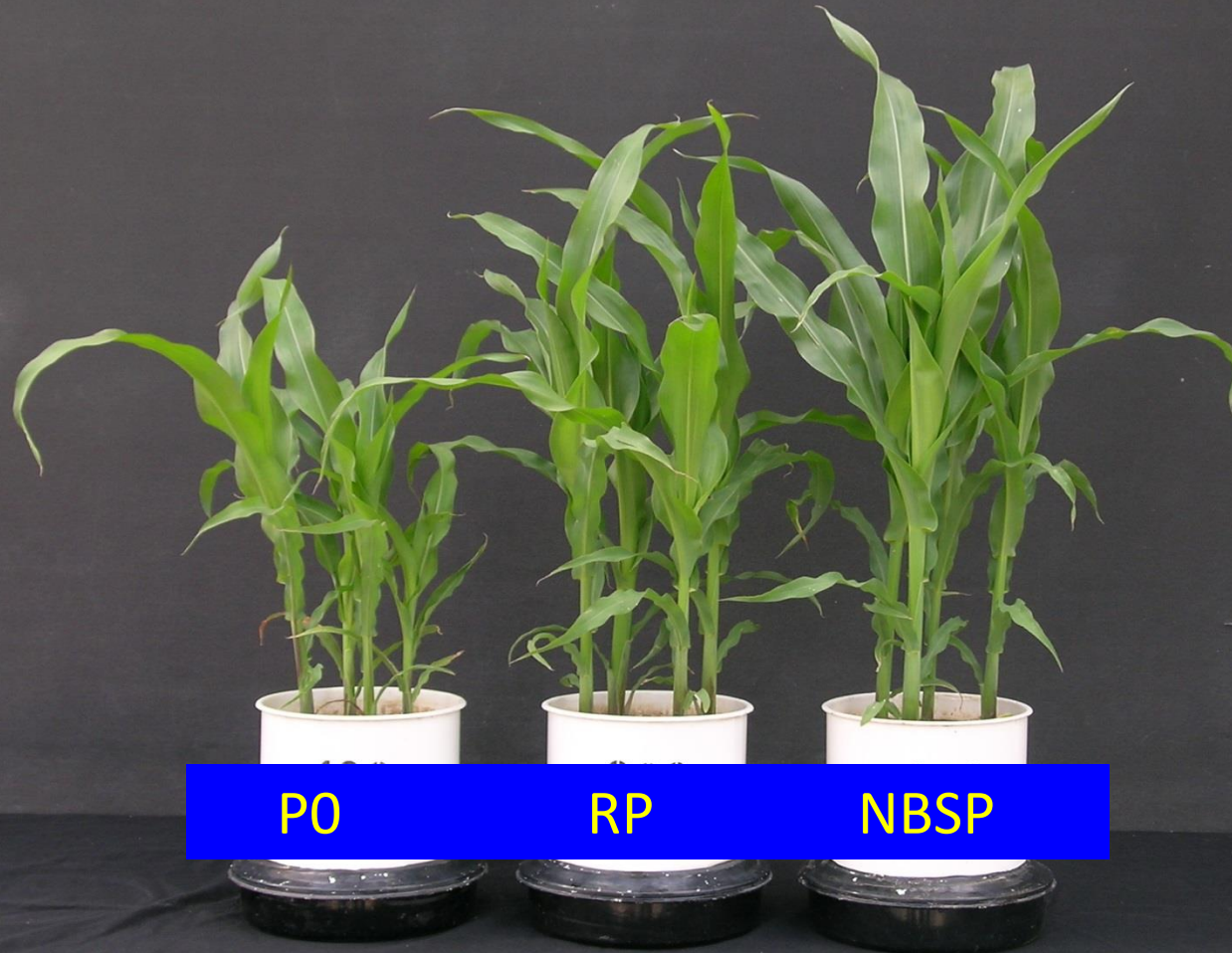
Wachstum von Weißlupine in Abhängigkeit der P Düngung
(0.6 g P/Gefäß) und der P-Form. (Steffens et. 2004)



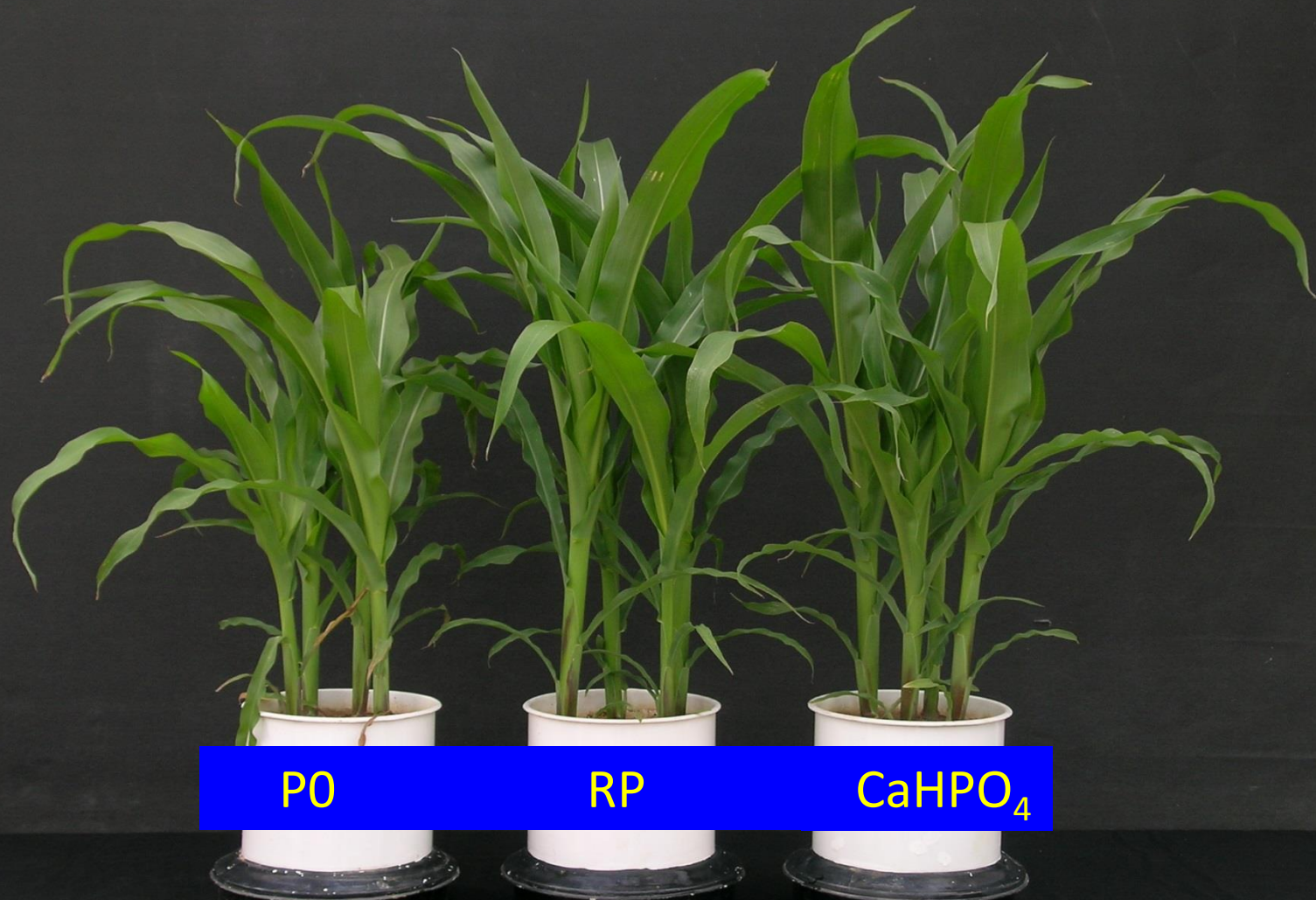
Einfluss der P-Ernährung auf die Wurzelmorphologie der Weißlupine (Feng Yan, pers. Mitteilg.)



Wachstum von Mais in der Fruchtfolge Weizen Brache in der
PO-, Rohphosphat- und CaHPO_4 Variante (Steffens et. al, 2004)



Wachstum von Mais in der Fruchtfolge Weißlupine Brache in der PO-, Rohphosphat- und CaHPO_4 Variante (Steffens et. al, 2004)



Maisbiomasse in the Fruchtfolge Weizen- Ackerbohne - und Weißlupine - Brache in the P0-, Rohphosphat- und CaHPO₄ Variante, 2004.

Treatment	Weizen	Vorfrucht Ackerbohne g TM/Gefäß	Weißlupine
P0	16,8	41,8	32,0
Rohphosphat	34,2	44,2	46,0
CaHPO ₄	39,6	46,8	45,4

7. Vermeidung bzw. Behebung von Bodenverdichtungen

Da die räumliche Verfügbarkeit von P sehr stark vom Wurzelwachstum abhängt, sollten Bodenverdichtungen vermieden und bereits bestehende Verdichtungen aufgelockert werden.

Problemstellung:

Schlagkraft erfordert leistungsstarke Maschinen für Bodenbearbeitung und Ernte!

Dabei werden die Maschinen aber immer größer und auch schwerer!

Insbesondere das Bearbeiten und Befahren bei nicht vorhandener Tragfähigkeit des Bodens führt zu starken Strukturschäden im Ober- aber auch im Unterboden!





Insbesondere das Bearbeiten und Befahren bei nicht vorhandener Tragfähigkeit des Bodens führt zu starken Strukturschäden im Ober- aber auch im Unterboden!

Wintergerste im „Grobaggregatgefüge“, Krummhörn-Visquard, 24.12.2015



Polyederggefüge in Verdichtungszone



Foto: Schumann/Müller

Wurzeln nur in Fugen

22.09.2004

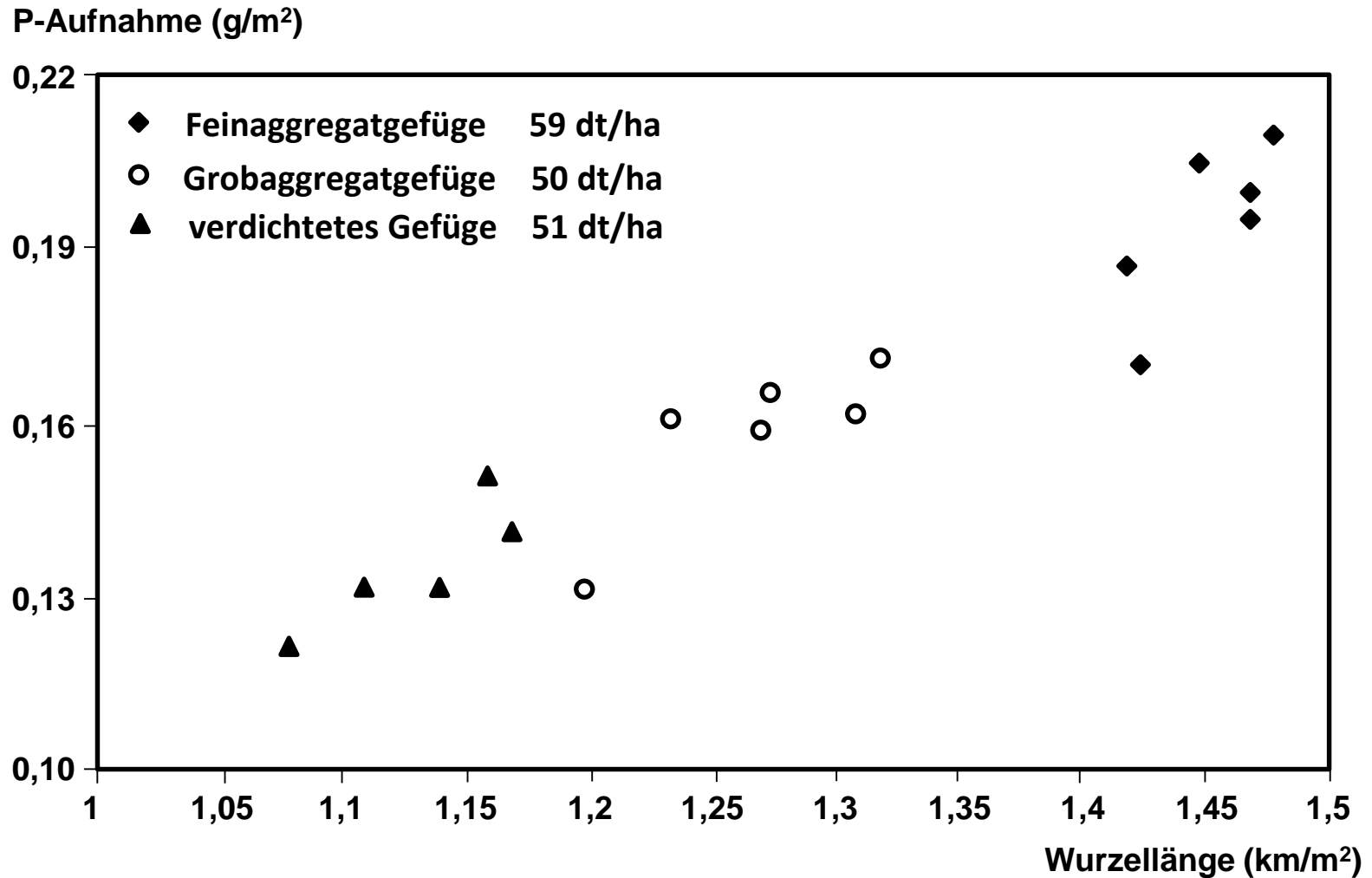


Krummhörn-Wolzetten, 24.12.2015

Einfluss der Bodenstruktur auf Wachstum, P-Konzentration und Wurzelmorphologie von Sommerweizen zum Zeitpunkt des Schossens. Gefäßversuch mit einem Alluvium: 33% Ton, 6,3 mg CAL-P/100 g Boden, pH: 6,5 (Keita u. Steffens, 1989)

	Feinaggregat-	Grobaggregat-	Verdichtetes Gefüge
Lagerungsdichte, g/cm ³	1,30	1,34	1,44
Weite Grobporen, >50 µm	21	18	6
Sprossmasse, g TM/Gefäß	55	45*	38*
P-Konzentration, mg P/g Spross-TM	4,6	3,7*	3,3*
Wurzellänge, m/Gefäß	397	316*	301*
Wurzeldurchmesser, mm	0,69	0,46*	0,49*
Wurzelhaarlänge, mm	0,41	0,23	0,24
Wurzeloberfläche, m ² /Gefäß	0,74	0,46*	0,46*

Beziehung zwischen Wurzellänge und P-Aufnahme (Schossbeginn) und Kornertrag von Sommerweizen (KEITA u. STEFFENS, 1989)

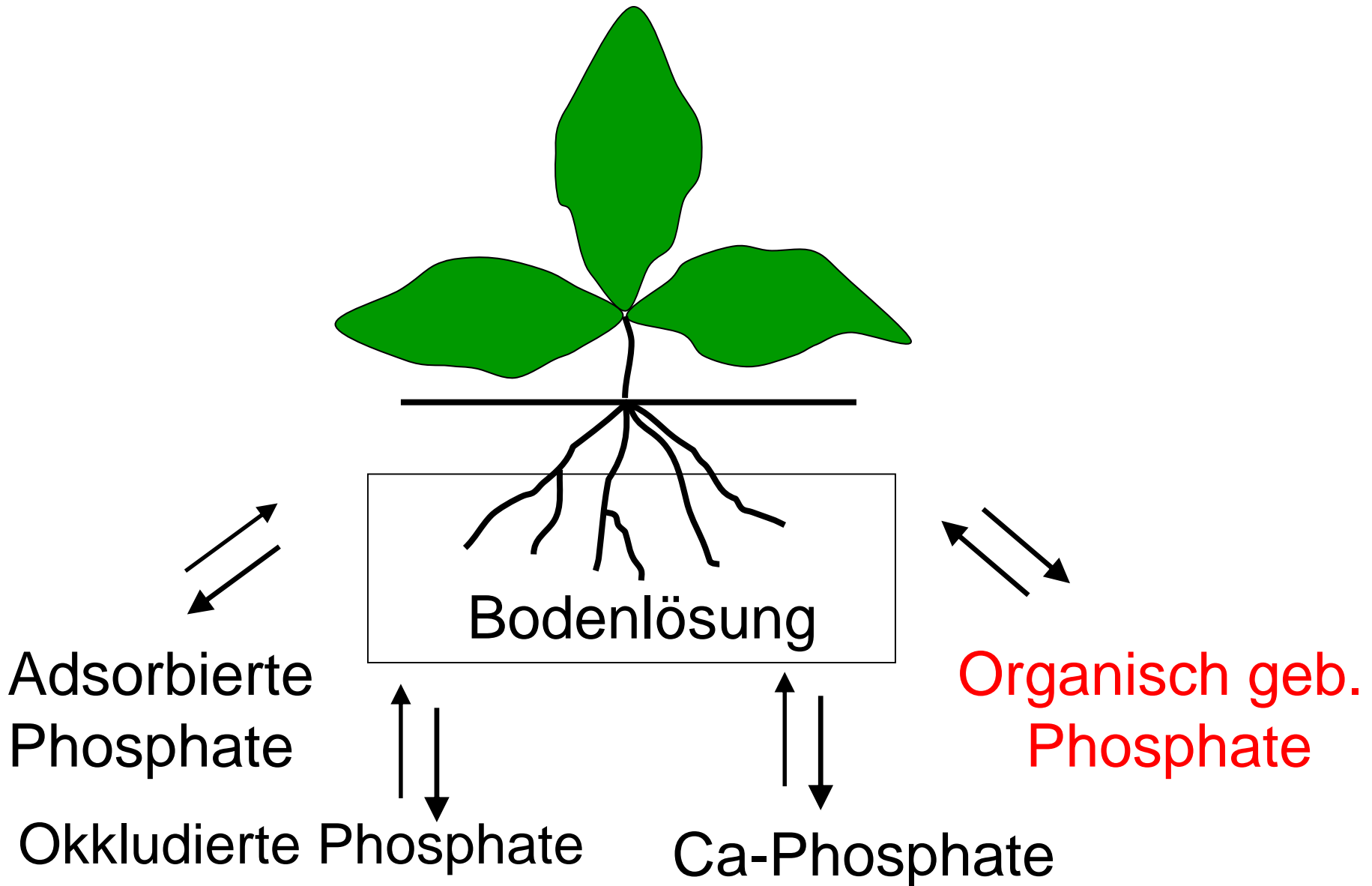


Notwendige Schritte zur Weiterentwicklung von standortangepassten P-Dünge- Bedarfsprognosen

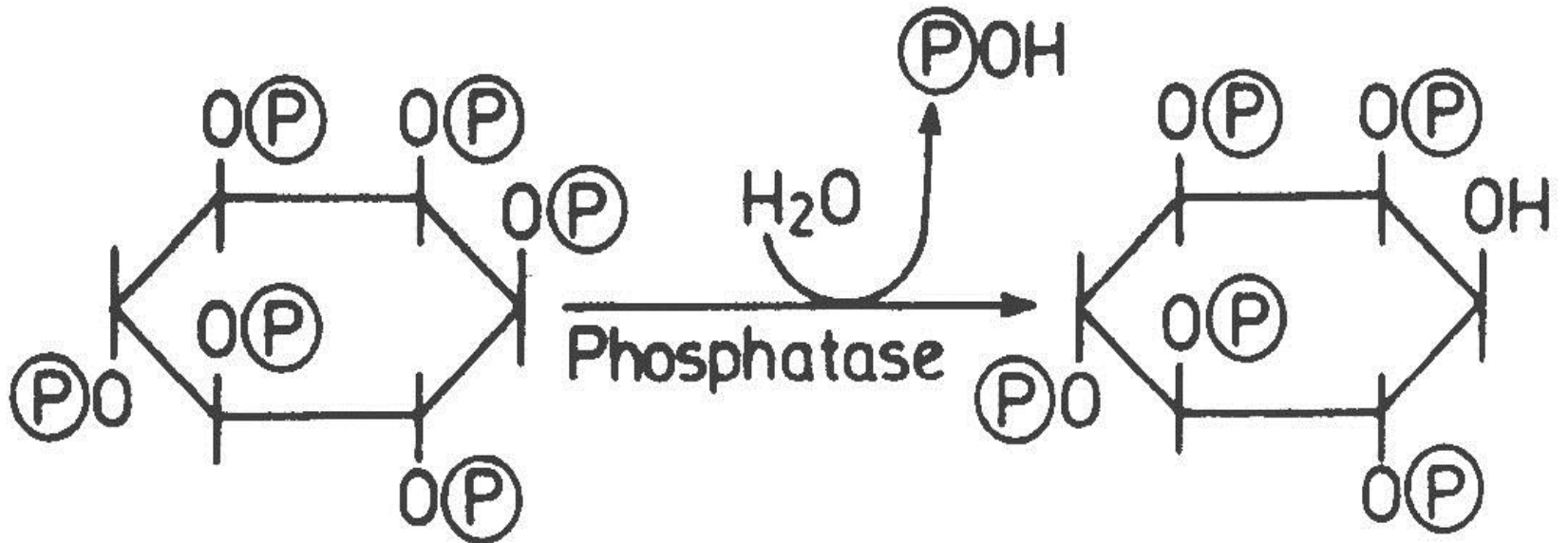
1. Qualität und Stabilität der Bodenstruktur !!

1. Berücksichtigung von verfügbarem organischem
Bodenphosphat

P Dynamik im Boden



Mineralisation von organisch gebundenem Phosphat

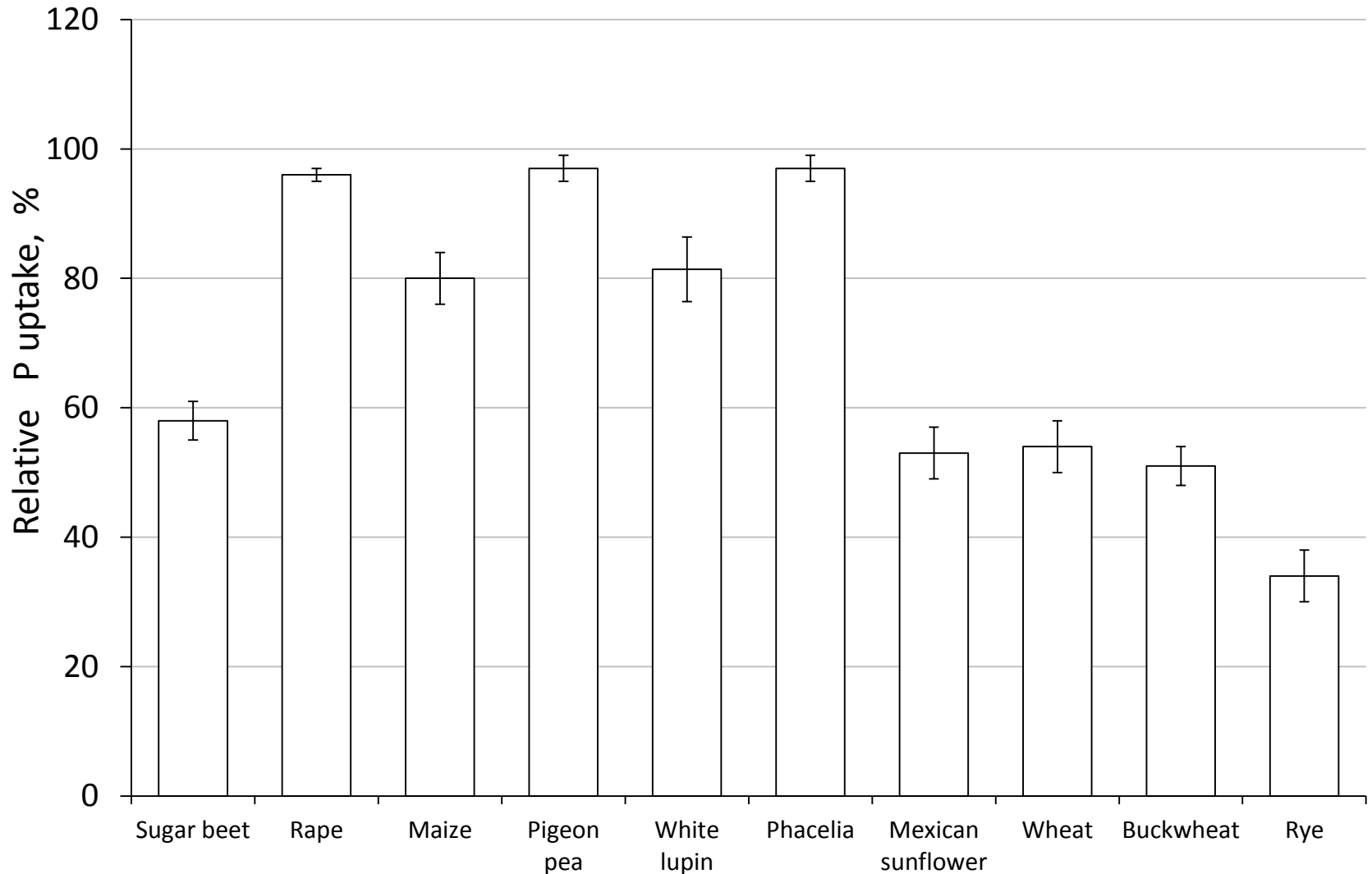


Myoinositol-
hexaphosphat

Myoinositol-
pentaphosphat

Relative P-Aufnahmeeffizienz von verschiedenen Pflanzen für Na-Hexaphytat ($C_6H_6O_{24}P_6Na_{12}$). P-Aufnahme der $Ca(H_2PO_4)_2$ Variante = 100%.
Mittelwerte \pm SE von 3 Wdhlg.

(Steffens, Leppin, Luschin-Ebengreuth, Yang, Schubert 2010)



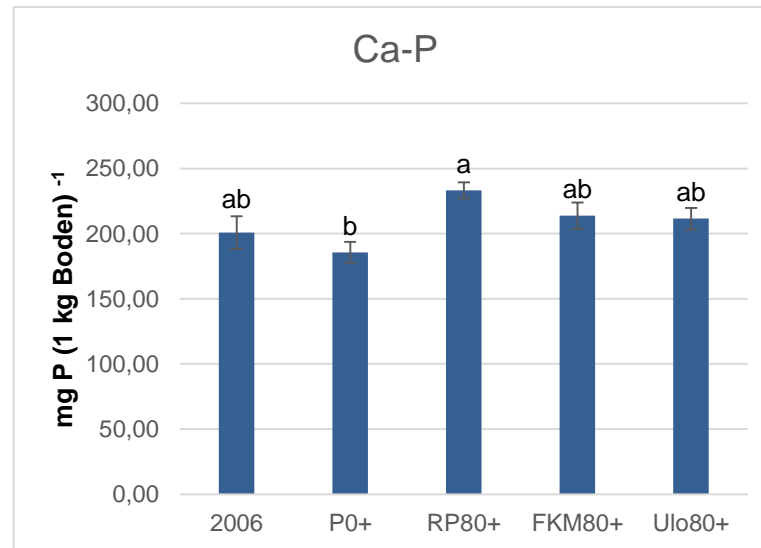
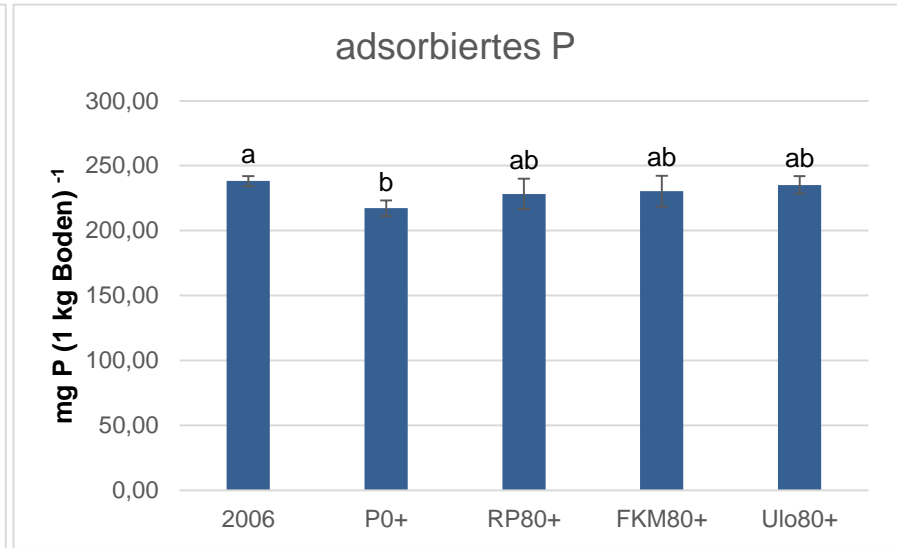
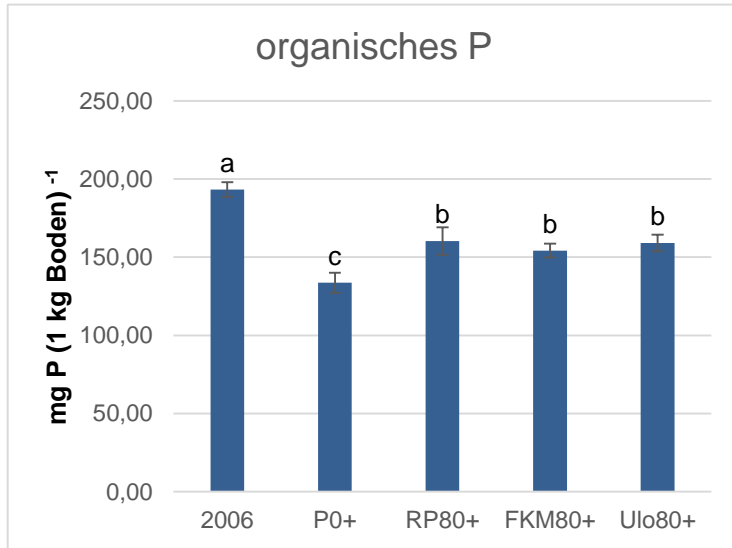
Einfluss der P-Düngung (100 mg P kg⁻¹ Boden) in Form von Na-Hexaphytat (C₆H₆O₂₄P₆Na₁₂) und Ca (H₂PO₄)₂ auf die mit verschiedenen Extraktionsmethoden extrahierte P-Konzentration im Boden.

Mittelwerte ± SE von 3 Wdhlg.

(Steffens, Leppin, Luschin-Ebengreuth, Yang, Schubert 2010)

Extraktionsmethode	Kontrolle, P0	Na-Hexaphytat	Ca(H ₂ PO ₄) ₂
	mg P kg ⁻¹		
Mehlich-III	8.52 (± 0.15)	10.01 (± 0.16)	86.20 (± 9.84)
P-Wasser	1.21 (± 0.06)	1.40 (± 0.07)	31.45 (± 2.74)
Ohlsen	3.33 (± 0.17)	2.71 (± 0.17)	67.06 (± 5.22)
CAL	4.53 (± 0.44)	5.12 (± 0.35)	80.42 (± 5.82)
DL	8.46 (± 0.15)	8.58 (± 0.11)	79.29 (± 5.65)
EUf (1. + 2. Fraktion)	4.16 (± 0.11)	5.61 (± 0.28)	47.34 (± 3.80)

Einfluss der Phosphat-Düngung mit verschiedenen P-Düngemitteln auf die Fraktion der organischen Phosphate im Vergleich zum Ausgangsjahr 2006. P0+: ohne P-Düngung (mit Jauche); RP80+: Rohphosphat, 80 kg P ha⁻¹ (mit Jauche); FKM80+: Fleischknochenmehl, 80 kg P ha⁻¹ (mit Jauche); Ulo80+: Ulophos, 80 kg P ha⁻¹ (mit Jauche). Die Werte sind Mittelwerte aus vier Wiederholungen mit je zweifacher chemischer Wiederholung, ± mittlerer Fehler des Mittelwertes, analysiert nach Kurmies (1972). Unterschiedliche Buchstaben zeigen einen signifikanten Unterschied ($\alpha=5\%$) (Vollrath, 2014).



Herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit



2007/10/31