

Welche P-Gehalte im Boden brauchen wir
und
welche Möglichkeiten zur bedarfsgerechten
P-Versorgung der Kulturpflanzen gibt es?

Von

Prof. Dr. Wilhelm Römer, Uni. Göttingen, Abtg. Pflanzenernährung, Carl-Sprengel-Weg 1, 37075
Göttingen, awroemer@web.de

**Vortrag (Kurzfassung) vor den Mitgliedern des Ackerbauverbandes Südhannover e. V.
am 13. 11. 2008 in Salzgitter-Lebenstedt**

Einleitung:

Das Thema ergibt sich aus der gegenwärtigen Situation, dass die Preise für P-Dünger drastisch angestiegen sind und nun Fragen nach einem effizienteren Umgang mit den P-Düngern gestellt werden. Deshalb sollen zu Beginn einige Fragen, die mit der P-Düngerproduktion zu tun haben betrachtet werden:

1. Wo in der Welt werden Rohphosphate abgebaut?
2. Wie viel Mill. Tonnen werden jährlich abgebaut?
3. Wie groß sind die noch vorhandenen P-Reserven?
4. Was sind die ersten Konsequenzen der Phosphatverknappung?

Tab. 1: Weltproduktion von Rohphosphat, die Weltreserve sowie die Basisreserve in Mio. t nach U.S. Geological Survey (2007)

	Weltproduktion		Reserve ¹	Basisreserve ²
	2005	2006		
United States	36,3	30,7	1200	3400
Australia	2,0	2,0	77	1200
Brazil	6,1	5,5	260	370
Canada	1,0	1,0	25	200
China	30,4	32,0	6600	13000
Egypt	2,7	2,7	100	760
Israel	2,9	3,0	180	800
Jordan	6,2	6,4	900	1700
Morocco and Western Sahara	25,2	25,3	5700	21000
Russia	11,0	11,0	200	1000
Senegal	1,5	1,5	50	160
South Africa	2,6	2,6	1500	2500
Syria	3,5	3,6	100	800
Togo	1,2	1,2	30	60
Tunisia	8,0	8,4	100	600
Other countries	6,5	6,7	890	2200
Welt insgesamt	147,0	145,0	18000	50000

¹ = Reserve: Es ist der Teil der Basisreserve der ökonomisch abgebaut bzw. produziert werden kann zu den gegenwärtigen Bedingungen seiner Erfassung.

² = Basisreserve: Es ist der Teil der identifizierten Ressourcen, die minimalen spezifischen physikalischen und chemischen Kriterien in Bezug auf die gegenwärtige Bergbau- und die Produktionspraxis erfüllen und zwar einschließlich jener für die Qualität, Stärke und Tiefe.

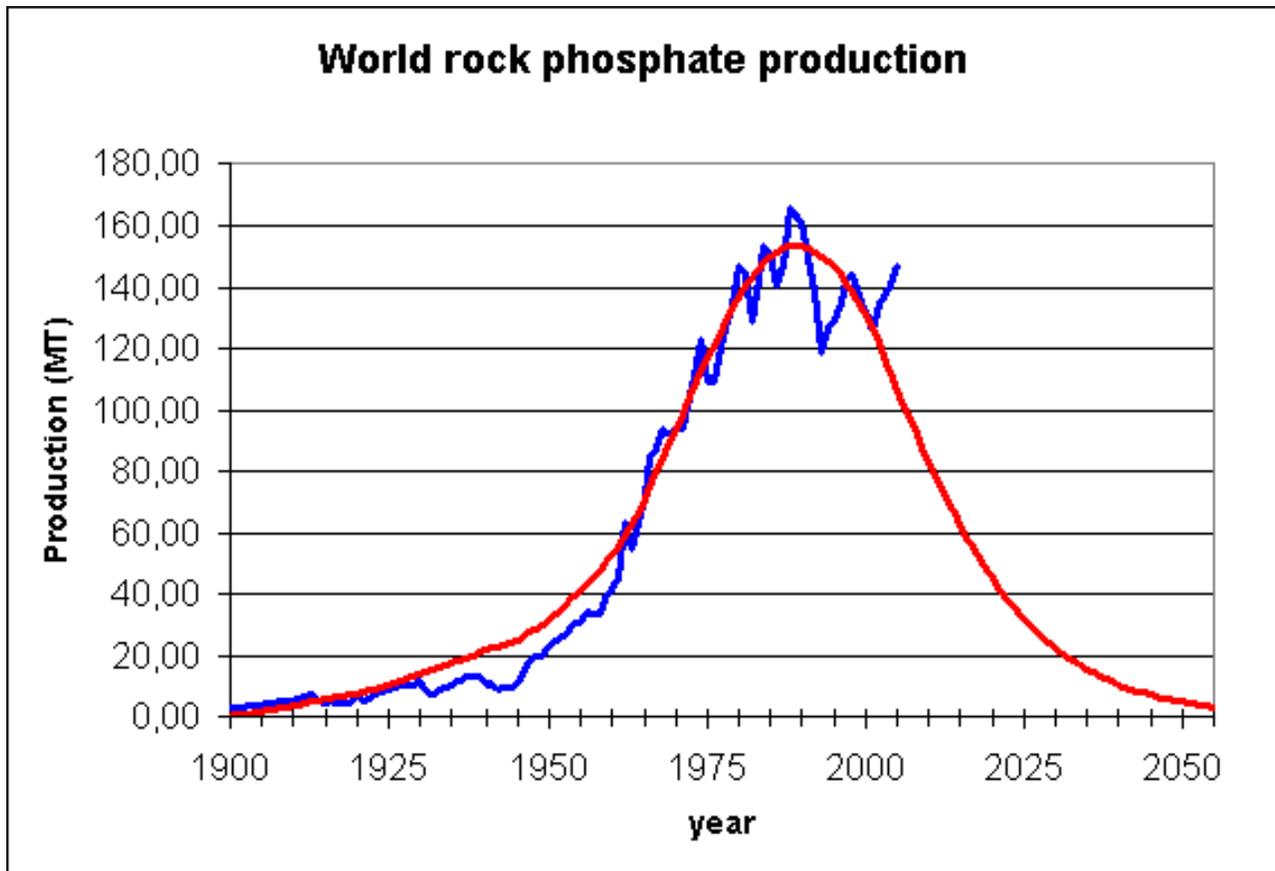


Abb. 1: Welt-Rohphosphatproduktion (gezackte Linie: Ist-Werte; durchgezogene Linie: Errechneter Kurvenverlauf), nach Dery und Anderson 2008. Quelle: <http://www.energybulletin.net/33164.html>

Aus Tab 1 ergibt sich, dass es etwa 18 Milliarden t Rohphosphat gibt, die zu den gegenwärtigen Bedingungen abbaubar sind. Werden jährlich 145 Millionen t abgebaut, so reichen diese Vorräte noch ca. 124 Jahre. Die Basisreserven mit geringerer Qualität und nur mit höheren Kosten nutzbar sind wesentlich größer und werden länger reichen. Das heißt, eine unmittelbare Verknappung der Rohphosphate kann so nicht konstatiert werden. Aber die Tatsache bleibt, dass die Weltvorräte endlich sind. Da jedoch der Bedarf an P-Düngern insbesondere in Asien (China, Indien) deutlich angestiegen ist und in den USA einige Minen wegen Erschöpfung geschlossen wurden, trat eine starke Nachfrage auf und **die Preise erhöhten sich um den Faktor 3. So auch in Deutschland:**

Raiffeisen - Preise, (Nov. 2008)

1 t Diammoniumphosphat (DAP) (46 % P_2O_5) = 790 €

1 t Triplesuperphosphat (TSP) (46 % P_2O_5) = 750 €

460 kg P_2O_5 = 750 €

Ca. 200 kg P = 750 €

1 kg P = 3,75 € → ca. 4 Euro (Preis im Jahr 2007 : 1.25 Euro / 1kg P)

Es folgen nun Ausführungen zur Frage: Welche P-Gehalte im Boden brauchen wir?

- Zunächst zeige ich die Zahlen für die Eingruppierung der Bodenuntersuchungswerte nach der CAL-Extraktion:

Tab. 2: Vorschlag von Richtwerten für die Gehaltsklassen A bis E nach der CAL-Methode des VDLUFA nach Kerschberger et al. (1997)

P-Gehaltsklasse	Gehalt	mg P / 100 g Boden	mg P ₂ O ₅ / 100 g Boden
A	sehr niedrig	≤ 2,0	≤ 4,6
B	niedrig	2,1 – 4,4	Bis 10
C	anzustreben	4,5 – 9	Ca. 10 - 20
D	hoch	9,1 – 15	Ca. 20 - 34
E	sehr hoch	≥ 15,1	> 34

Nach VDLUFA-Standpunkt: „Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf“
Darmstadt, Sept. 1997

Die Vorschläge des VDLUFA zur P-Düngung lauten kurz gefasst:

GK „C“: Düngung in Höhe der P- Abfuhr durch die Ernteprodukte

GK „D“: Weniger düngen als die Abfuhr

GK „E“: Nicht düngen

GK „B“: Doppelte Zufuhr als Abfuhr

GK „A“: 2-3 fache Zufuhr im Vergleich zur Abfuhr

Wie sieht es mit der P-Versorgung des Ackerlandes in Deutschland aus?

Tab. 3: Relative Anteile der Gehaltsklassen A bis E für Phosphor auf dem Ackerland (12 Mill. ha) in Deutschland. (Werner, 2006; nach Angaben von Brod et al., 2004; Suntheim und Neubert, 2005).

Gehaltsklasse	Ackerland, Deutschland	LandkreisGöttingen
		2006
E	12	3
D	29	25
C	38	58
B	18	12
A	3	2

Ergebnis:

Im Landkreis Göttingen sind nach den Vorschlägen des VDLUFA 28 % des Ackerlandes mit P überversorgt!

Konsequenzen:

- 1. Das heißt auf solchen Flächen (GK „D“ u. „E“) kann die P- Düngung drastisch zurückgefahren werden.**
- 2. Generell stellt sich die Frage: Ab welchem Boden-P-Gehalt treten bei einer verringerten P-Zufuhr und sinkenden Boden-P-Gehalten deutliche Mindererträge auf?**

Werden die hohen P-Gehalte der Gehaltsklasse „C“ von 4,5 bis 9 mg P / 100 g Boden wirklich für hohe Erträge gebraucht?

ANTWORTEN ZU DIESER FRAGE KOMMEN VON LÄNGERFRISTIGEN FELDVERSUCHEN:

Tab. 4: Bodenkenndaten des Oberbodens (0-30 cm), Reinshof bei Göttingen zu Versuchsbeginn 1983 (Versuch angelegt von A. Jungk), Niederschlag: 650 mm / Jahr

Ton	Schluff	Sand	Humus	CAL-P	CAL-K	pH
%	%	%	%	mg / 100 g Boden		CaCl ₂
16	61	23	2,0	5-7	9-12	7-7,2

GK „C“

4,5-9 mg P / 100 g Boden

Tab. 5: P-Düngungsvarianten auf dem Reinshof bei Göttingen, Niedersachsen

P-Stufe	1983-1994	1995-2006
	kg/P/ha/a	kg/P/ha/a
P 0	0	0
P 1	25 = 57 kg P ₂ O ₅	25
P 3	75 = 172 kg P ₂ O ₅	0
P 9	225 = 515 kg P ₂ O ₅	0

Fruchtfolge : WW, WG, ZR

Parzellen: 12 x 12 m, 4 Wiederholungen

kg P multipliziert mit dem Faktor 2,29 = kg P₂O₅

Bevor wir zu den Pflanzenreaktionen kommen, sehen wir uns an, wie die Bodengehalte sich änderten:

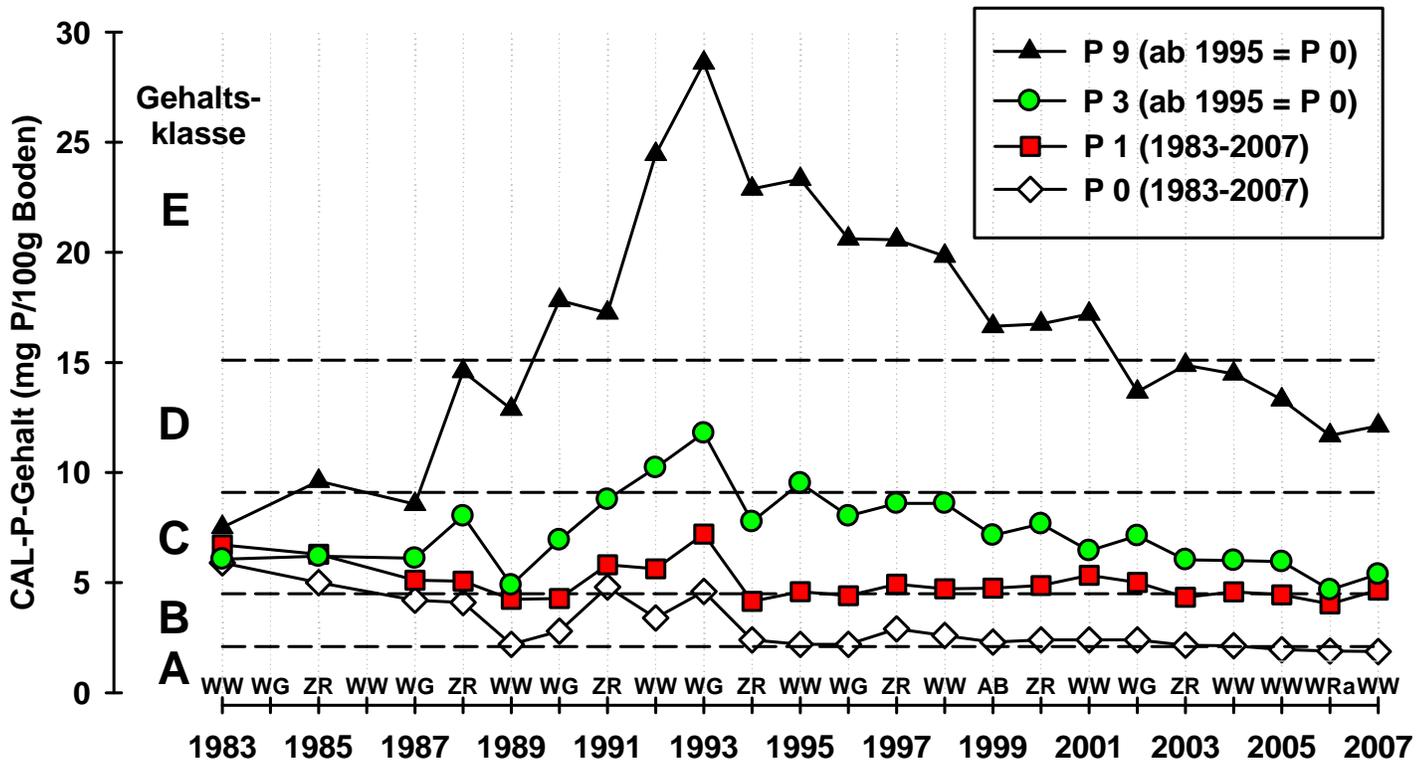


Abb. 2: CAL-P-Gehalte im Boden in Abhängigkeit von der P-Gabe, jährlich 0 - 9-facher Ersatz der P-Abfuhr; (P-Gehaltsklassen nach VDLUFA-Standpunkt, Sept. 1997)

Man erkennt:

1. Wird mehr gedüngt als abgefahren, steigt der P-Gehalt deutlich an. Wenn die hohen Gaben nicht mehr ausgebracht werden sinken die P-Gehalte wieder ab.
2. Wird das gedüngt, was abgefahren wird (Ersatz der Abfuhr) bleibt der P-Gehalt nahezu gleich hoch.
3. Wird nicht gedüngt, so sinkt der P-Gehalt innerhalb von ca. 10 Jahren bis zur Grenze der Gehaltsklasse B/A, um dann aber nur noch ganz minimal abzunehmen. Wir sagen, der Boden hat dann ein hohes P-Pufferungsvermögen. Er kann lange beträchtliche P-Mengen nachliefern.

Die zentrale Frage lautet aber: Wie hoch müssen die P-Gehalte für hohe Erträge sein?

Reaktion des Getreides :

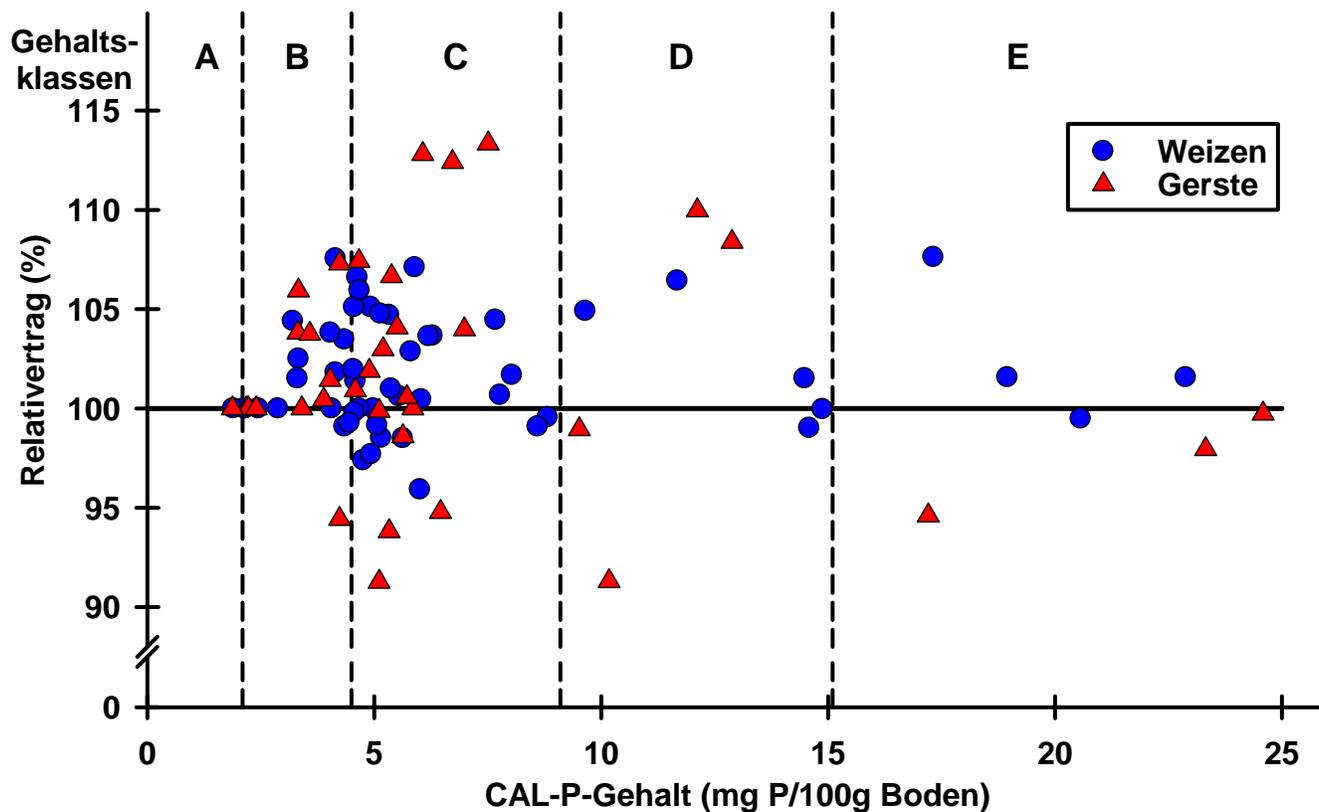


Abb. 3: Beziehung zwischen dem CAL-P-Gehalt des Bodens und dem Relativvertrag von Winterweizen und Wintergerste (Erträge der P 0-Variante = 100 %), Reinshof 1983-2008 (unveröffentlicht)

Reaktion der Zuckerrübe:

Tab. 6: Einfluss der jährlichen P-Gabe auf den Bereinigten Zuckerertrag (BZE: absolut und relativ) in den Anbaujahren 1988 bis 2003 (Absoluterträge der P 0-Variante = 100 %); nach Römer et al., 2004.

Variante	1988	1991	1994	1997	2000	2003	Mittel
P 0 dt/ha	80	86	97	114	110	119	101
P 0 relativ	100	100	100	100	100	100	100
P 1	97,2	111,7*	107,5	98,5	108,7*	109,2	105,1
P 3	96,9	110,5*	93,3	103,1	113,9*	113,3*	104,8
P 9	92,5	100,9	94,8	97,8	108,9*	107,0	100,3

*Bei GD 5% signifikant unterschiedlich zur Kontrolle (P 0)

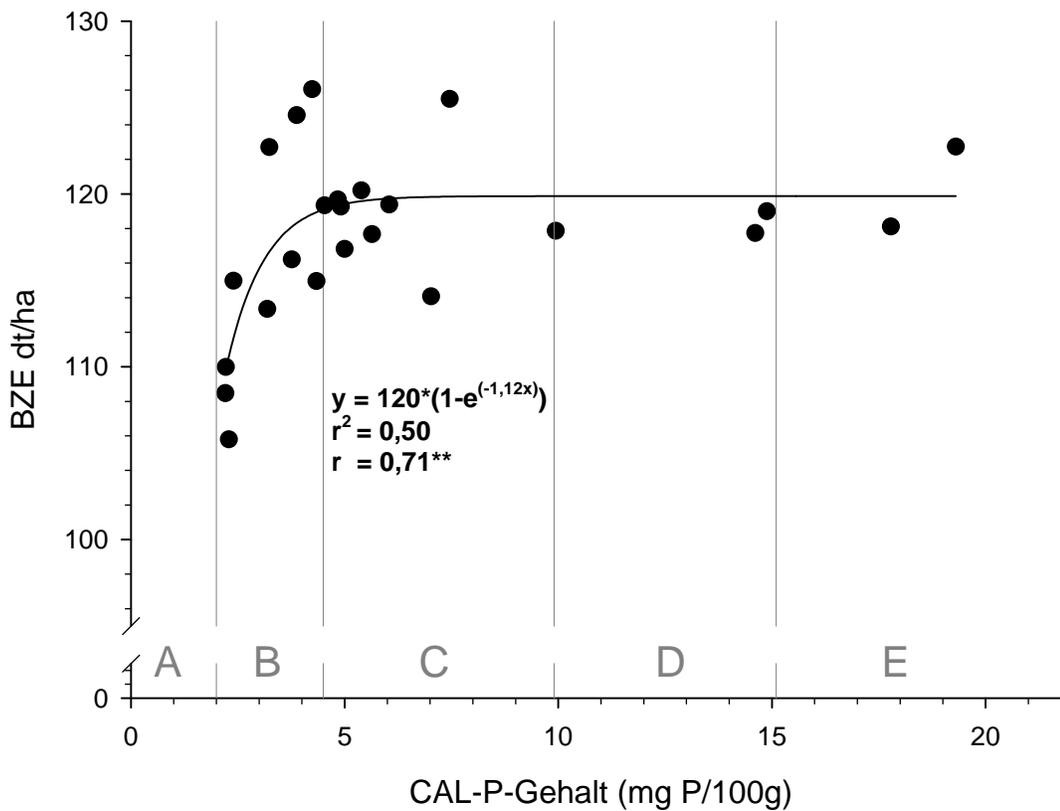


Abb. 4: Abhängigkeit des BZE im Jahre 2000 vom CAL-P-Gehalt des Bodens im Herbst 1999. (P-Gehaltsklassen nach VDLUFA-Standpunkt, Sept. 1997); nach Römer et al., 2004.

Reaktion von Raps:

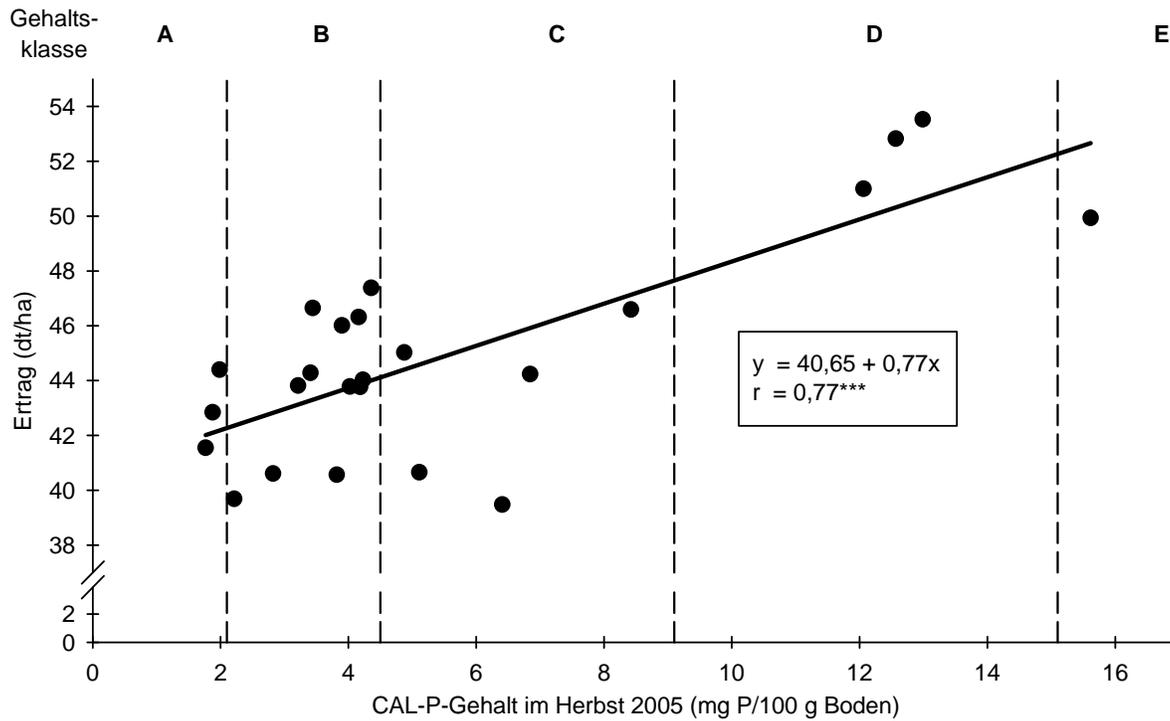


Abb. 5: Einfluss des P-Gehalts im Boden auf den Ertrag von Winterraps (Reinshof 2006, nach Claassen et al., unveröffentlicht)

Welche Ertragsreserven hat der Boden in Gehaltsklasse „A“?

Dazu ein Gefäßversuch mit Rotklee und Hafer:

Tab. 7: Kenngrößen des Ap-Horizonts einer Parabraunerde, 30 Jahre ohne Zufuhr betriebsfremder Düngestoffe (nach Römer und Lehne, 2004). Ort: Asche, Landkreis Göttingen.

Ton	Schluff	Sand	Humus	pH	CAL-P	CAL-K
%	%	%	%	CaCl ₂	mg / 100 g Boden	
20	74	6	1,9	5,4	0,5	11

GK „A“

Tabelle 8: Trockenmassen-Erträge, P-Entzüge und N-Mengen von Rotklee (1. Anbau), sowie Kornerträge und Körner / Rispe von Hafer (2. Anbau) in Abhängigkeit von der P-Düngung (je 400 mg P / 6 kg Boden¹ bzw. Kontroll-Variante ohne P), nach Römer und Lehne, 2004.

Variante	Rotklee						Hafer		
	TM - Ertrag		P - Entzug		N - Menge		Kornertrag		Körner / Rispe
	g	rel.	mg	rel.	g	rel.	g	rel.	
Ohne P	24	100	44	100	0,7	100	12	100	38
Rohphosphat	39	160	103	236	1,2	164	17	141	54
TSP	42	<u>173</u>	109	249	1,3	<u>174</u>	19	<u>153</u>	61
GD _{5%} ¹⁾	3,7	15	13	29	0,1	17	2,4	20	11

¹ entspricht 200 kg P / ha

Ergebnis:

In GK „A“ steigt der Ertrag durch eine P-Düngung signifikant, hier um ca. 60 bis 73 % an. Der P-Entzug war sogar bis auf 236-249 % angestiegen. Der nachgebaute Hafer steigerte den Kornertrag durch die P-Zufuhr um 41-53 % durch eine höhere Kornzahl je Rispe!

Frage: Wieviel kg P/ ha brauchen wir, um den P-Gehalt im Boden um 1 mg P / 100 g anzuheben?

Tab. 9: Düngermengen (kg P / ha) zusätzlich zum Pflanzenentzug zur Erhöhung des P-Gehaltes an DL-löslichem Phosphat im Boden um 1 mg / 100 g Boden (nach Kerschberger und Richter, 1978 nach Auswertung von 42 statischen P-Steigerungsversuchen in der DDR)

Boden	bei DL-P-Gehalten	
	Kleiner 3,5 mg P / 100 g Boden	3,5 - 7 mg P / 100 g Boden
Sandböden	100	82
SI / IS	120	92
SL / sL	100	96
L / LT / T	136	106
Löss-Schwarzerde ¹⁾	80	100
Im Mittel		100 kg P / ha
3 Sandböden im Raum Walsrode, Niedersachsen ²⁾		125 kg P / ha

¹⁾ nach Kerschberger und Richter, 1988

²⁾ nach Römer und Claassen, unveröffentlicht

Fazit

in Bezug auf den P-Gehalt im Boden

- Für wichtige Kulturpflanzen sind in vielen Regionen ca. 4 mg P / 100 g Boden (= ca. 9 mg P₂O₅/100 g Boden $\hat{=}$ Grenze zwischen Gehaltsklasse C und B) völlig ausreichend.
- Die P-Düngung in Höhe der P-Abfuhr reicht bei diesem P-Niveau zur Aufrechterhaltung des CAL-P-Gehaltes aus.
- Die P-Düngung sollte zu den Kulturen erfolgen, die am ehesten auf eine P-Düngung reagieren (Raps, Mais, Zuckerrüben).
- In Gehaltsklasse A ist mit signifikanten Mindererträgen zu rechnen. Deshalb bringt auf solchen Flächen die P-Düngung sichere Mehrerträge.
- Zur Anhebung des CAL-P-Gehaltes um 1 mg / 100 g Boden sind ca. 100 kg P / ha über der Abfuhr nötig.
- Bei einem Preis von ca. 4 € je kg P (Triplesuperphosphat, DAP) sind das ca. 400 € / ha.

Spielt der Zeitpunkt der P-Düngerausbringung für den Ertrag eine Rolle, wenn der Boden-P-Gehalt in GK“C“ liegt?

Dazu 2 Feldversuche vom Reinshof bei Göttingen:

1. Vergleich jährliche P-Düngung mit Fruchtfolge-P-Düngung alle 3 Jahre

Tab. 10: Mittelwerte aus 6 Erntejahren (1988 - 2003) auf dem Reinshof

- der Rübenenerträge (RE)
- der bereinigten Zuckergerhalte (BZG)
- der bereinigten Zuckererträge (BZE)

A bei jährlicher P-Düngung mit 25 kg P / ha

B bei Fruchtfolgedüngung alle 3 Jahre mit 75 kg P / ha vor den Zuckerrüben

	RE		BZG		BZE	
	dt	rel.	%	rel.	dt	rel.
A	657	100	16,1	100	106	100
B	654	99,5	16,1	100,3	106	99,7
		(90-106)		(98-102)		(92-108)

Ergebnis: Bei CAL-P-Gehalten von 4,5 bis 6 mg P / 100 g Boden bringt eine jährliche P-Düngung im Vergleich zu einer Fruchtfolgedüngung alle 3 Jahre keinen Zuckermehrertrag.

2. Vergleich Herbst- zu Frühlingsdüngung:

Tab. 11; Mittelwerte aus 6 Erntejahren (1988 – 2003) auf dem Reinshof

- der Rübenenerträge (RE)
- der bereinigten Zuckergerhalte (BZG)
- der bereinigten Zuckererträge (BZE)

A bei jährlicher P-Düngung im Herbst (37,5 kg P /ha)

B bei jährlicher P-Düngung im Frühjahr (37,5 kg P /ha)

	RE		BZG		BZE	
	dt	rel.	%	rel.	dt	rel.
A	650	100	16,1	100	105	100
B		100,5		99,7		100,3
		(98-104)		(97-101)		(97-103)

Ergebnis: Bei CAL-P-Gehalten von 4,5 bis 8 mg P /100 g Boden erbrachte die Frühlingsdüngung gegenüber der Herbstdüngung keinen Zuckermehrertrag.

Welche Möglichkeiten zur bedarfsgerechten P-Versorgung der Kulturpflanzen gibt es bei niedrigen Boden-P-Gehalten?

In welchen Stadien braucht die Getreidepflanze viel Phosphat und in welchen weniger?

Dazu die folgenden Gefäßversuche:

Tab. 12: Einfluss der zeitlichen Applikation von Phosphat auf den Ertrag und die P-Aufnahme von Sommerweizen (Sorte Hatri); nach Römer, 1985.

Boden: Sandboden, C_t: 0,6 %; CaCO₃: 9,3 %; pH: 6,9;
DL-P: 1 mg / 100 g Boden, also P-arm GK „A“

Düngung: 0,8 g N; 1,2 g K; 0,3 g Mg
P: 300 mg P / Gefäß = 50 mg P /kg Boden als Ca(H₂PO₄)₂ • H₂O in Wasser gelöst.

Variante	Kornertrag / Gefäß	Körner / Ähre	P in Korn + Stroh
	g		mg/ Gefäß
Ohne P	3	11	17
3 Wochen vor d. Saat	7	18	35
Direkt zur Saat	7	20	41
3 Wochen nach d. Saat	11	26	52
5 Wochen nach d. Saat	5	17	42
GD5% Tukey	2	3	9
	----- Relativwerte -----		
3 Wochen vor d. Saat	100	100	100
Direkt zur Saat	103	111	118
3 Wochen nach d. Saat	154	141	149
5 Wochen nach d. Saat	75	90	121
GD5% Tukey	28	18	24

Tab. 13: Abhängigkeit der Anzahl der generativen Organe (Weizen¹⁾) von der P-Ernährung.
 Prüfstadium: Dezimalcode: EC 39 (Blatthäutchen des Fahnenblattes sichtbar) und EC 91 (Reife).
 Nach M. Schmidt, 1990.

EC 39	P-Gabe (mg / Gefäß)			
	----- 300 -----		100	50
	Anzahl	rel.	rel.	rel.
Triebe/Pflanze	3,4	100	126	82
Ährchen/Haupttrieb	9,9	100	104	88
Ährchen/1. Bestockungtrieb	9,8	100	92	59
Ährchen/2. Bestockungtrieb	3,3	100	116	22
Rel. Anteil der abgestorbenen Triebe/Gefäß ²⁾	36	100	122	155

	P-Gabe (mg / Gefäß)			
	----- 300 -----		100	50
	Anzahl	rel.	rel.	rel.
TM Körner/Gefäß (g)	43	100	86	38
Körner/Haupttrieb	54	100	88	83
Körner/1. Bestockungtrieb	40	100	82	26
Körner/2. Bestockungtrieb	29	100	100	0

¹⁾ Sorte Alcedo

²⁾ angelegte Triebe = 100 %

Fazit der Experimente

- Die junge Getreidepflanze - auch der Mais - benötigt ein hohes P-Angebot, denn schon in der Bestockungsphase werden angelegt:
 - Die Zahl der Bestockungstriebe.
 - Die Ährchen bzw. Blüten pro Ähre und somit die Halmzahl und die Kornzahl pro Fläche.
- Ausreichende P-Versorgung der jungen Getreidepflanze senkt die Triebreduktion und das Absterben von Blüten und hält damit die Kornzahl pro Fläche hoch.
- Eine späte gute P-Versorgung nach der Blüte erhöht zwar die Tausendkornmasse, aber diese kann die geringere Kornzahl bei ungenügender P-Versorgung in der Jugend nicht ausgleichen.

Konsequenzen für die P-Düngung bei geringem P-Angebot aus dem Boden

- Die Düngung in der Fruchtfolge trifft nicht den zeitlich hohen Bedarf einzelner Kulturen, d.h. das Phosphat ist wie der Stickstoff dem Bedarf der Kultur anzupassen.
- Kulturpflanzen, deren Ertrag aus generativen Organen besteht (Getreide, Körnermais, Corn-Cob-Mix-Mais, Raps etc.) haben Phasen hohen P-Bedarfs, in denen die generativen Organe angelegt werden. Diese sind zu berücksichtigen.
- Im Gegensatz dazu: Futterpflanzen oder Pflanzen mit langer Vegetationsdauer (z.B. Zuckerrüben, Energiemais u.ä.) haben keine so ausgeprägten Bedarfsspitzen.
- Der zu düngende Phosphor sollte gut löslich sein und in Wurzelnähe abgelegt werden.
- Die Unterfußdüngung mit Diammoniumphosphat zu Mais ist das Paradebeispiel für eine gezielte Ernährung von Pflanzen. Bei Getreide kann man ein Düngerband zwischen zwei Reihen ablegen. Prof. Sommer, Uni. Bonn empfiehlt „Depotdüngung“.
- Unterfußdüngung zur Zuckerrübe ist (war) problematisch wegen des gestörten Saatbettes.

Literaturliste:

(hier nicht wiedergegebene Literatur-Zitate können beim Autor nachgefragt werden)

Literatur zur P- und K-Düngung vom Lehrstuhl für Pflanzenernährung der Universität Göttingen in den der Praxis gut zugänglichen Fachzeitschriften:

Römer, W., Nitsch, A., 2006: Kalkung nicht vernachlässigen. GetreideMagazin 3, 172-178.

Römer, W., Claassen, N., Steingrobe, B., Hilmer, R., 2005: P- und K-Düngung – Reaktion von Winterweizen und Wintergerste auf die P- und K-Düngung in einem 20jährigen Feldversuch. Getreide-Magazin, 10. Jg. 4, 238-242.

Römer, W., 2008: Vom Acker in den Seeburger See. Land und Forst 31/2008, S. 30.

Römer, W., Claassen, N., Steingrobe, B., Hilmer, R., Märländer, B., 2007: Kalium für die Rübe unersetzlich. Land und Forst 13, 28-30.

Römer, W., Lehne, P., 2005: Nährstoffdefizite in Biobetrieben. Land und Forst 36, 20-21.

Römer, W., Claassen, N., Steingrobe, B., Hilmer, R., Märländer, B., 2005: K-Düngung der Zuckerrübe – 20-jähriger Feldversuch. Zuckerrübe 54, 30-33.

Römer, W., Claassen, N., Steingrobe, B., Hilmer, R., Märländer, B., 2004: Reaktion der Zuckerrübe auf Phosphordüngung – Ergebnisse eines 20jährigen Feldversuchs. Zuckerrübe 6, 291-293.

Römer, W. & Samie, I.F., 2004: Sind alle Klärschlämme effektive P-Dünger? Land und Forst (Hannover) 1, 16-17.

Kontakt: W. Römer, email: awroemer@web.de