

„Sicherung einer nachhaltigen Phosphaternährung der Pflanzen“

von Wilhelm Römer

Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Vortrag auf der Düngungstagung
„Nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit“
der Sächsischen Landesanstalt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, in
Groitsch/Nossen, 25. 2. 2011

Folgende Fakten bestehen:

- Kein Organismus, sei es Mikrobe, Pflanze oder Tier einschließlich des Menschen, kann ohne Phosphat existieren, denn wichtige Teile der Zellen, wie die Erbsubstanz, zahllose Enzyme und Energietransporter wie z. B. Adenosintriphosphat enthalten Phosphor. Phosphor kann durch kein anderes Element ersetzt werden.
- In der Rangfolge der Bedeutung der Nährelemente steht Phosphor nach dem Stickstoff an 2. Stelle.
- Auf vielen Millionen ha Landflächen der Tropen und Subtropen ist eine Phosphormangelsituation gegeben, d.h. die Pflanzenproduktion ist dort eingeschränkt.
- Andererseits wächst insbesondere in Asien (China, Indien) die Bevölkerung stark und die Nahrungsproduktion hält nicht Schritt. Daraus resultiert ein hoher Bedarf an pflanzlicher Nahrung und an Futtermitteln.

Das ist letztlich die Ursache für den Anstieg der Preise für die P-Dünger weltweit und ebenso in Deutschland.

Tabelle 1 zeigt beispielhaft die Preisentwicklung für Triple-superphosphat (TSP) in Deutschland in den letzten Jahren.

Tab.1 Preise für TSP (Raiffeisen-Angebote)

Jahr	100kg TSP (46% P ₂ O ₅ = 20 % P)	1 kg P
	€	€
(1995) - 2007	25	1,25
2008	75	3,75
Jan. 2011	44	2,20

(nach Raiffeisen Handelsgesellschaft mbH Rosdorf)

Frage:

Ist die Verknappung an Rohphosphat in der Welt die wirkliche Ursache für den Preisanstieg?

Davor sind folgende Fragen zu beantworten:

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?

Prognose der Rohphosphatproduktion in der Welt:

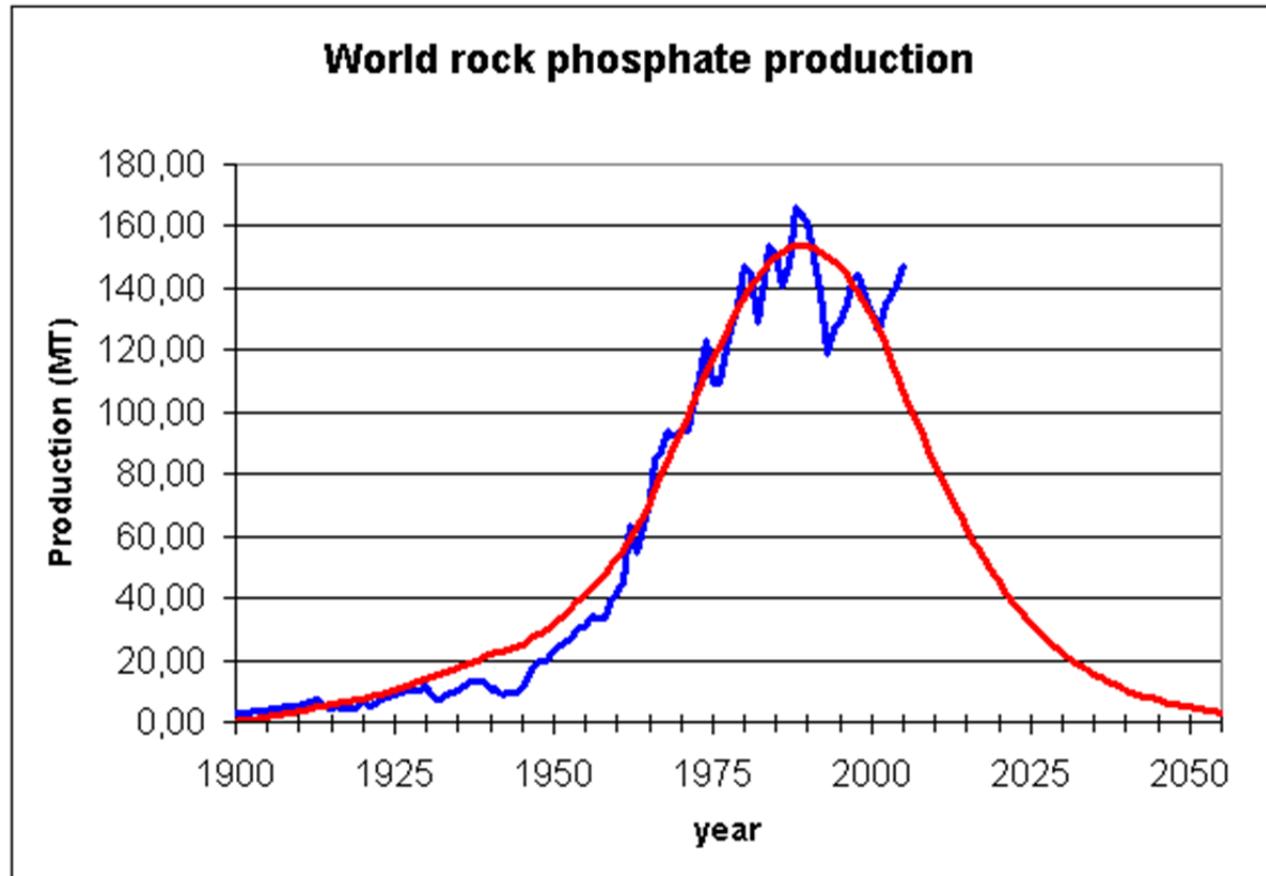


Abb. 1: Welt-Rohphosphatproduktion (gezackte Linie: Ist-Werte; durchgezogene Linie: Errechneter Kurvenverlauf), nach Dery und Anderson 2008.

Tab. 2: 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.

Aus Tabelle 2 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, die mit geringerer Qualität und nur mit höheren Kosten nutzbar sind, 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.

Was können wir tun, um mit dem Phosphat effektiver umzugehen?

Frage:

Sind unsere derzeitigen
Düngungsempfehlungen in Ordnung?

D.h. zum Beispiel:

Welche P-Gehalte brauchen wir in den Böden?

Tab. 3: Vorschlag von Richtwerten für die Gehaltsklassen A bis E nach der CAL-Methode des VDLUFA, nach VDLUFA-Standpunkt: „Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf“ Darmstadt, nach Kerschberger et al. (1997)

grüne Zahlen gelten in Sachsen seit 2002.

P-Gehaltsklasse	Gehalt	mg P / 100 g Boden	mg P / 100 g Boden
A	sehr niedrig	$\leq 2,0$	$\leq 2,4$
B	niedrig	2,1 – 4,4	2,5-4,8
C	anzustreben	4,5 – 9	4,9-7,2
D	hoch	9,1 – 15	7,3-10,4
E	sehr hoch	$\geq 15,1$	> 10,5

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. 4: 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 sowie Suntheim und Neubert, 2005; Albert, 2011).

Gehaltsklasse	Ackerland, Deutschland	Ackerland Sachsen	
	2006 %	1997-2001 in %	2007-2009 in %
E	12	10	7
D	29	24	16
C	38	27	32
B	18	31	37
A	3	8	8

Ergebnis:

In Sachsen wären nach den Vorschlägen des VDLUFA

23 % des Ackerlandes mit P überversorgt und
45 % des Ackerlandes mit P unterversorgt.

Konsequenzen:

1. Auf Flächen der Gehaltsklasse (GK) „D“ und „E“ kann die P-Düngung drastisch zurückgefahren werden bzw. ganz unterbleiben.
2. Die 45% der Flächen in GK „A“ und „B“ müssten verstärkt gedüngt werden.

Generell stellen sich aber die Fragen:

Sind diese Empfehlungen durch Experimente in der Praxis gedeckt?

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“ des VDLUFA von 4,5 bis 9 mg P / 100 g Boden oder in Sachsen von 4,9 bis 7,2 mg / 100 g Boden wirklich für hohe Erträge gebraucht?

Antworten zu diesen Fragen kommen von längerfristigen Feldversuchen:

1. Aus Niedersachsen (Raum Göttingen und Raum Walsrode)
2. Aus Bayern (Mittel aus 8 Standorten).

Tab. 5: Bodenkenndaten des Oberbodens (0-30 cm), Reinshof bei Göttingen zu Versuchsbeginn 1983 (Versuch angelegt von A. Jungk),

Niederschlag: 650 mm / Jahr; (Römer et al., 2004)

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. 6: 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 : ZR – WW – WG

Parzellen: 12 m 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 sich die Bodengehalte
ändern:

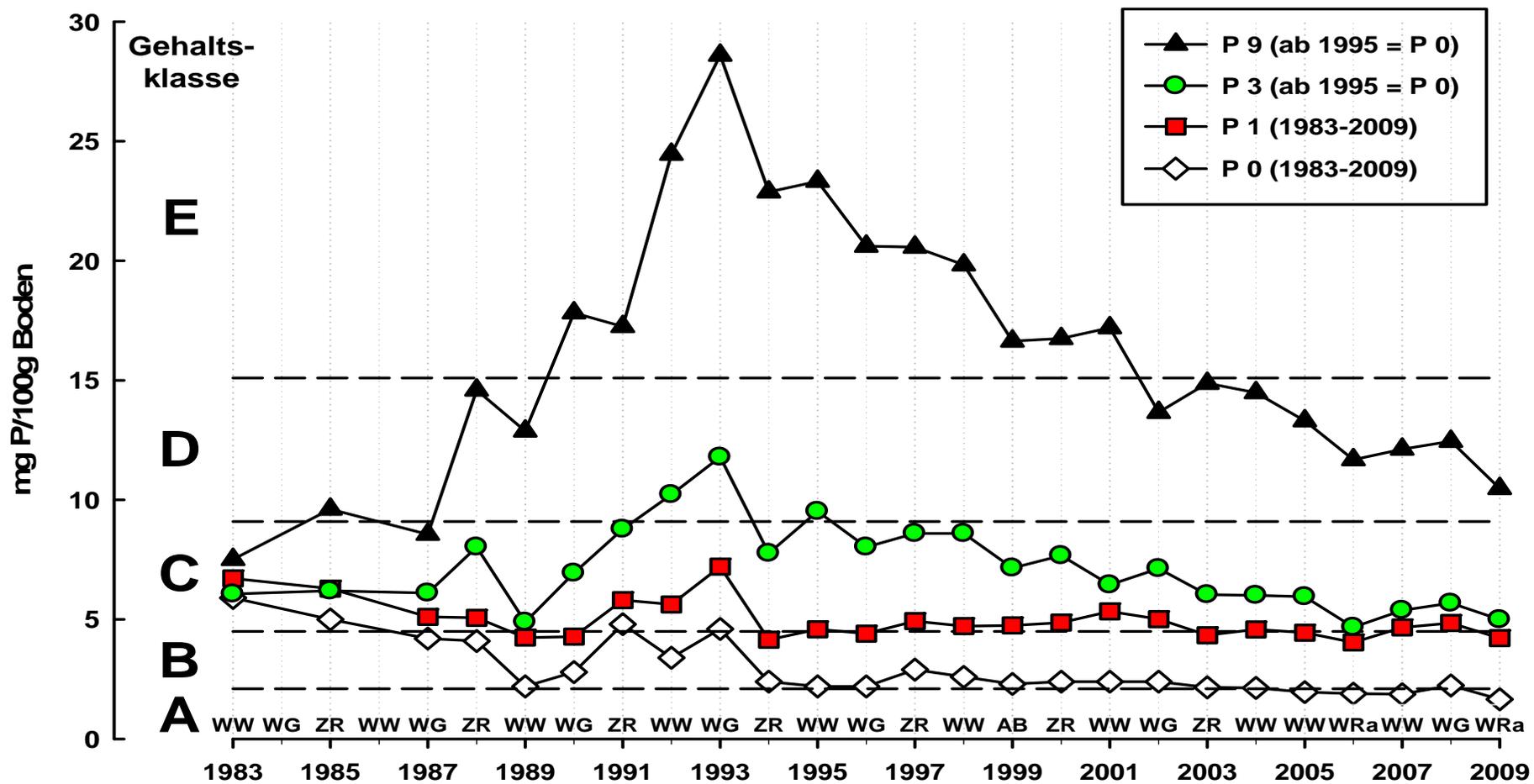


Abb. 2: CAL-P-Gehalte im Boden in Abhängigkeit von der P-Gabe,

jährlich 0 - 9-facher Ersatz der P-Abfuhr; (P-GK nach VDLUFA-Standpunkt, Sept. 1997); Römer et al., 2004, vervollständigt.

Man erkennt:

1. Wird mehr gedüngt als abgefahren, steigt der P-Gehalt deutlich an. Werden die hohen Gaben nicht mehr ausgebracht (seit 1994 = P0), sinken die P-Gehalte wieder ab.
2. Wird das gedüngt, was abgefahren wird (Ersatz der Abfuhr) bleibt der P-Gehalt nahezu gleich hoch.
(Variante P1 = 25 kg P/ha)
3. Wird nicht gedüngt, so sinkt der P-Gehalt innerhalb von ca. 10 Jahren bis zur Grenze der Gehaltsklasse B/A ab, 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 der Zuckerrübe:

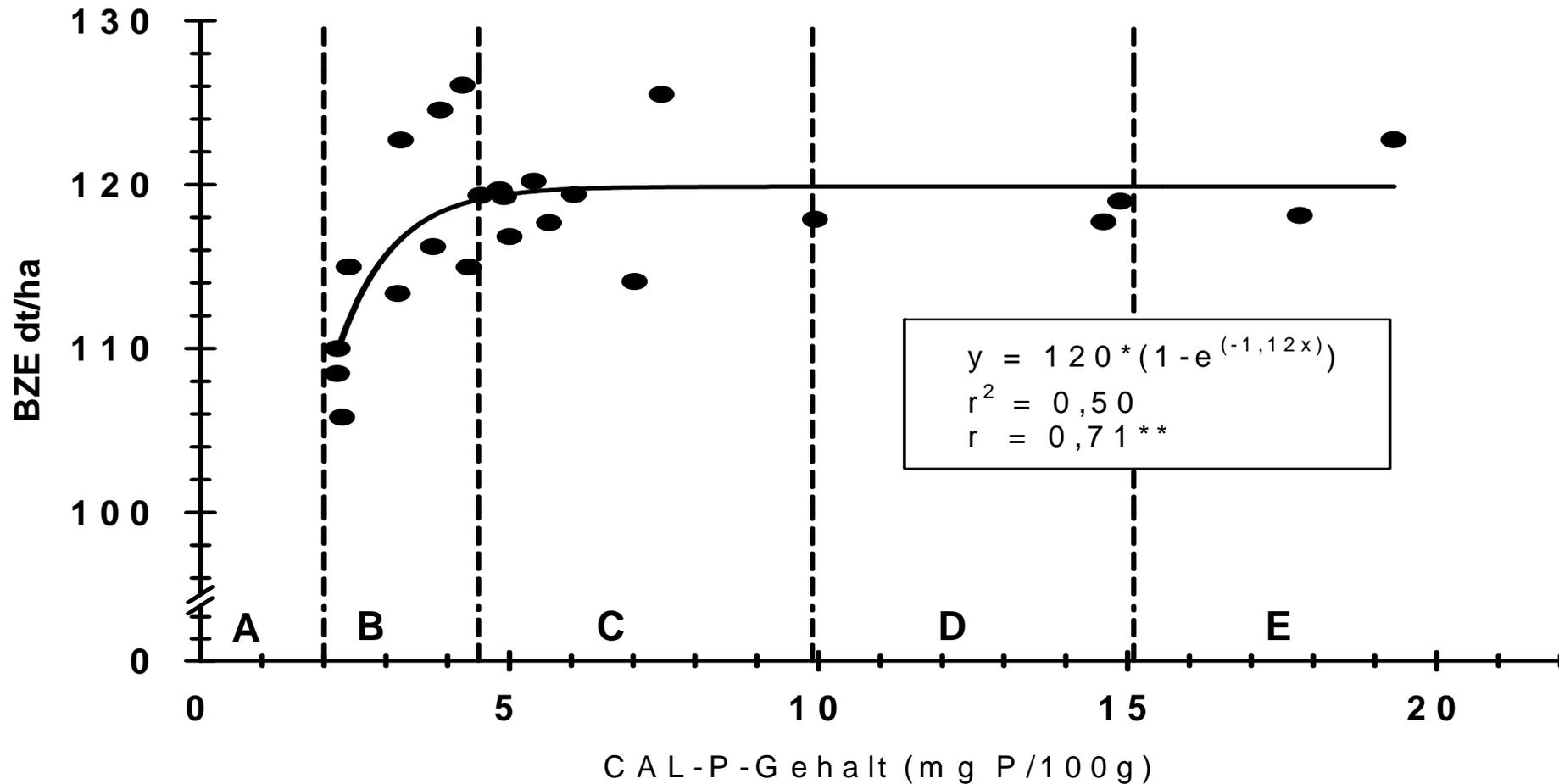


Abb. 3: Abhängigkeit des BZE im Jahre 2000 vom CAL-P-Gehalt des Bodens im Herbst 1999. Reinshof bei Göttingen, Auenlehm.

(P-Gehaltsklassen nach VDLUFA-Standpunkt, Sept. 1997); nach Römer et al., 2004.

Reaktion von Raps

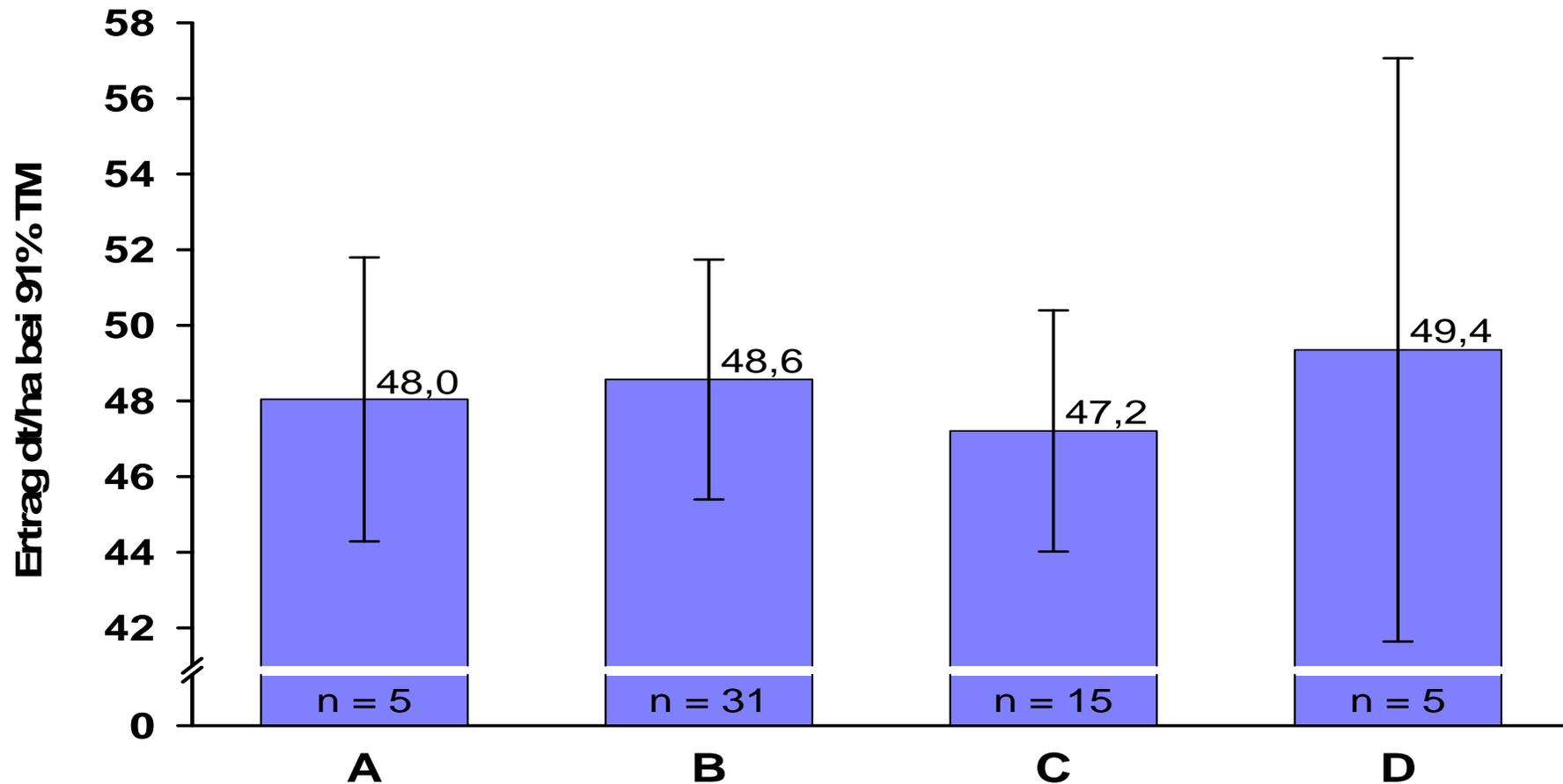


Abb. 4: Einfluss der P-Gehaltsklassen im Boden auf den Korn-Ertrag von Winterraps, Reinshof 2009, (Korn-Ertrag zur Ernte 2009, CAL-Bodenanalyse 2008 vor der Winterrapsaussaat,

Buchstaben A - D kennzeichnen die Gehaltsklasse für P im Boden nach VDLUFA, senkrechte Linien = Standardabweichung, n = Anzahl Werte, nach Schneekloth-Plöger, 2010).

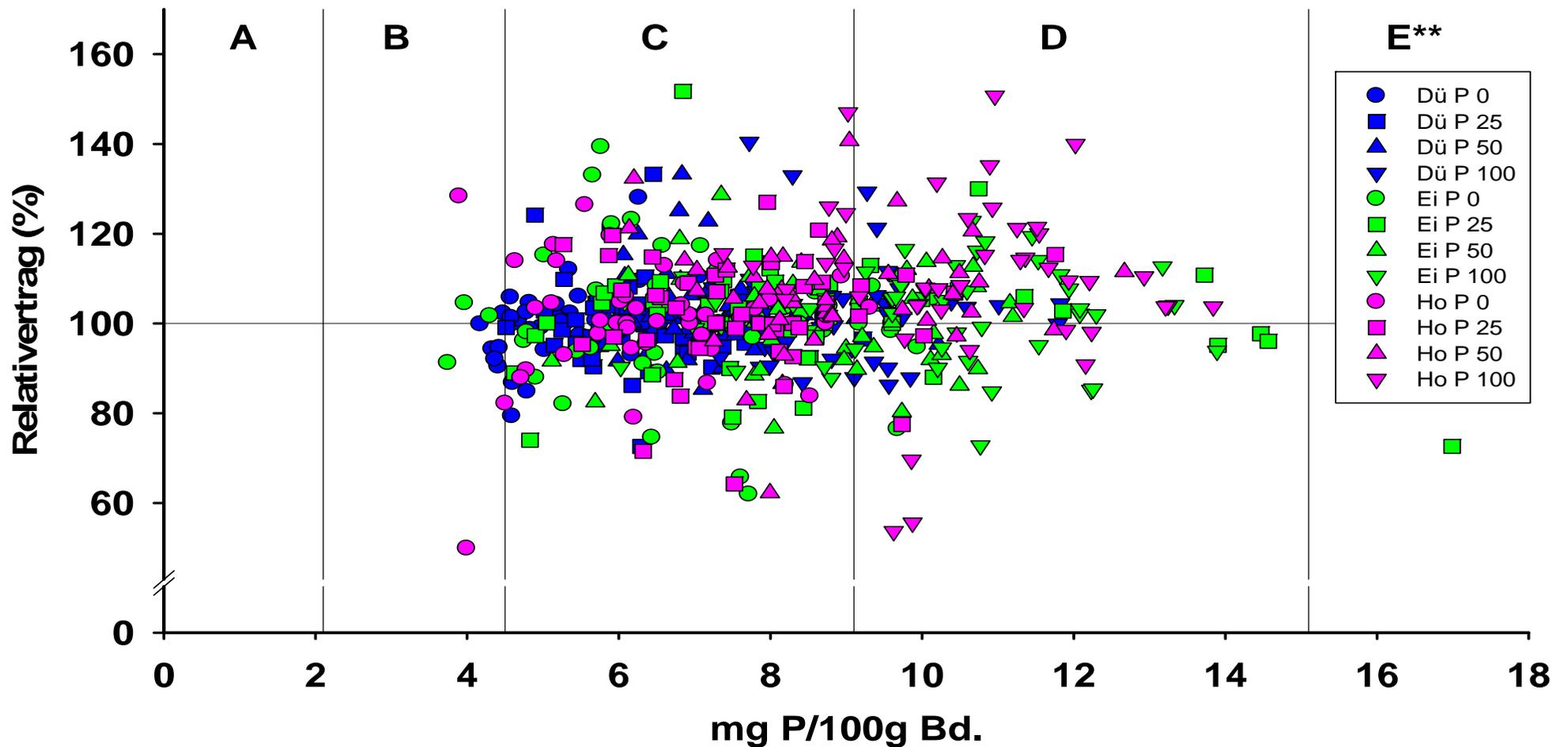


Abb. 5: Relativerträge* in Abhängigkeit vom (DL-)P-Gehalt von drei Sandböden (Düshorn, Eickeloh, Hodenhagen) bei jeweils vier Düngungsstufen, 1989 – 2007; (* Werte der P 0-Variante = 100 % , **P-Gehaltsklassen nach VDLUFA-Standpunkt, Sept. 1997; nach Römer, Claassen und Hilmer, bisher unveröffentlicht).

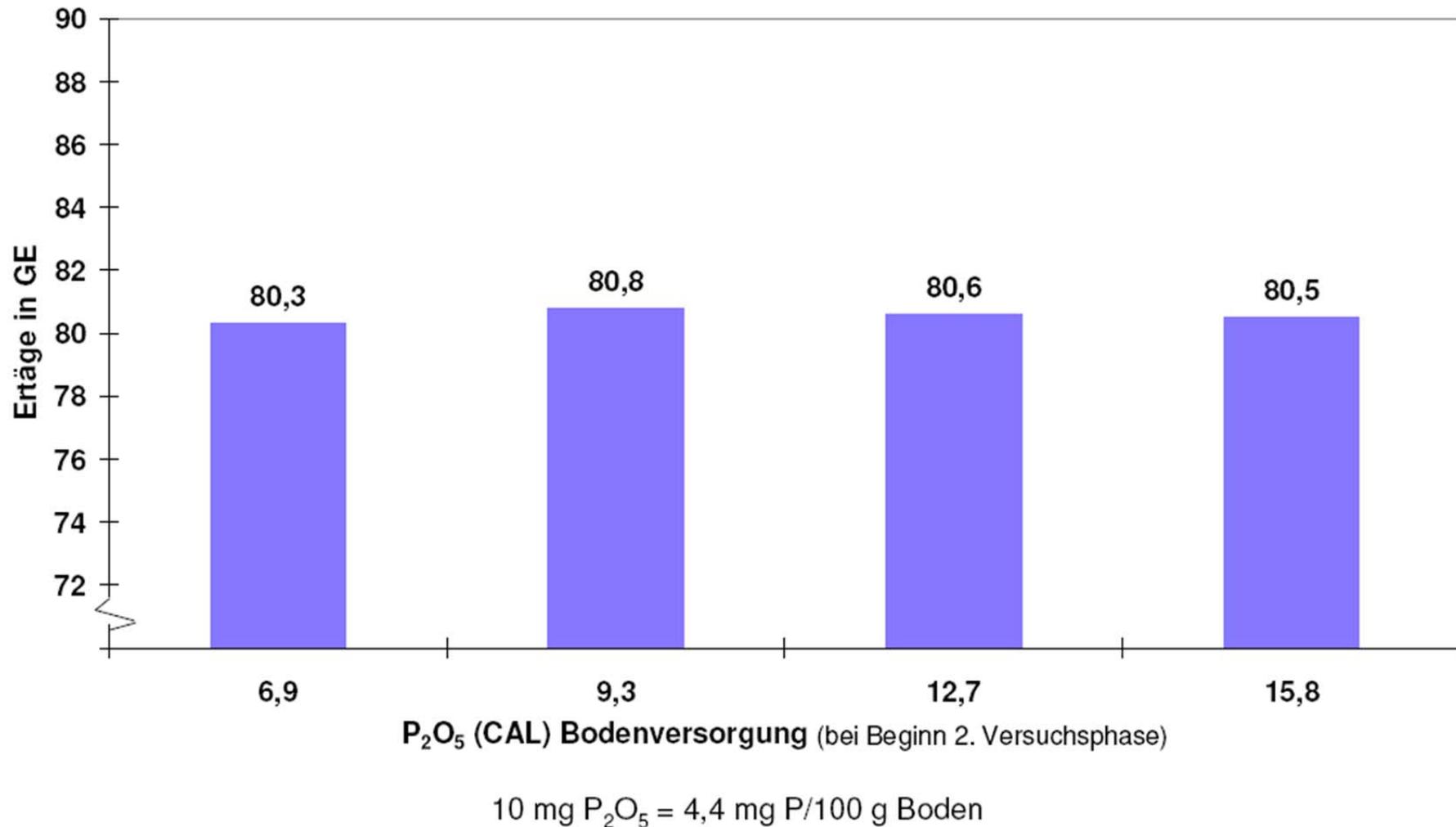


Abb. 6: Erträge in Abhängigkeit von der Boden-P-Versorgung, Mittelwert aller 8 Orte und Jahre; 2. Phase nach Abzug der Spezialkosten; 1 mg P₂O₅-Anhebung = 150 kg P₂O₅, 1 kg P₂O₅ = 0,55 Euro, Zinsabschreibung 6%, 1 GE= 15 €; (nach Hege et al. 2007 und 2008).

Antwort auf Frage I.

Sind unsere derzeitigen Düngungsempfehlungen in Ordnung?

„Als Ergebnis ist festzuhalten:

Eine höhere P-Versorgung als Gehaltsklasse „B“, d.h. 5-9 mg P_2O_5 /100 g Boden bzw. 2-4 mg P/100 g Boden hat bei Abfuhrdüngung nur in Ausnahmefällen zu signifikanten Mehrerträgen geführt.“

(Hege et al. 2007 und 2008)

Gilt dieser Schluss auch für alle Standorte in Sachsen?

Diese Frage ist nur mit längerfristigen Feldversuchen zu beantworten, denn:

1. Die Phosphatdynamik in den Böden hängt vom örtlichen Chemismus der Böden ab und
2. sich ändernde Klimabedingungen, z. B. längere Trockenperioden, verändern auch die P-Verfügbarkeit, z. B. in Gestalt der erschwerten P-Diffusion zu den Wurzeln.

II. Frage:

Wie viele phosphorhaltige Abfälle fallen pro Jahr in Deutschland an und in welchem Umfang sind sie nutzbar?

Tab. 7: P-haltige Abfälle pro Jahr in Deutschland

(nach DWA, 2005; www.fleischindustrie.de, Anonymus, 2005)

Klärschlamm	2,4 Mill. t TM	x	2 % P =	48.000 t P
Tiermehle	400.000 t TM	x	ca. 3 % P =	12.000 t P
Fleischknochenmehl	160.000 t TM	x	ca. 6 % P =	9.600 t P
Summe				ca. 70.000 t P
Aufwand an Mineraldünger-P 2003/2004				108.000 t P

Also ca. 2/3 des Mineraldüngereinsatzes sind zumindest theoretisch durch P-Recycling ersetzbar.

Was ist bei der Nutzung von
Klärschlamm als P-haltigen Dünger
zu beachten?

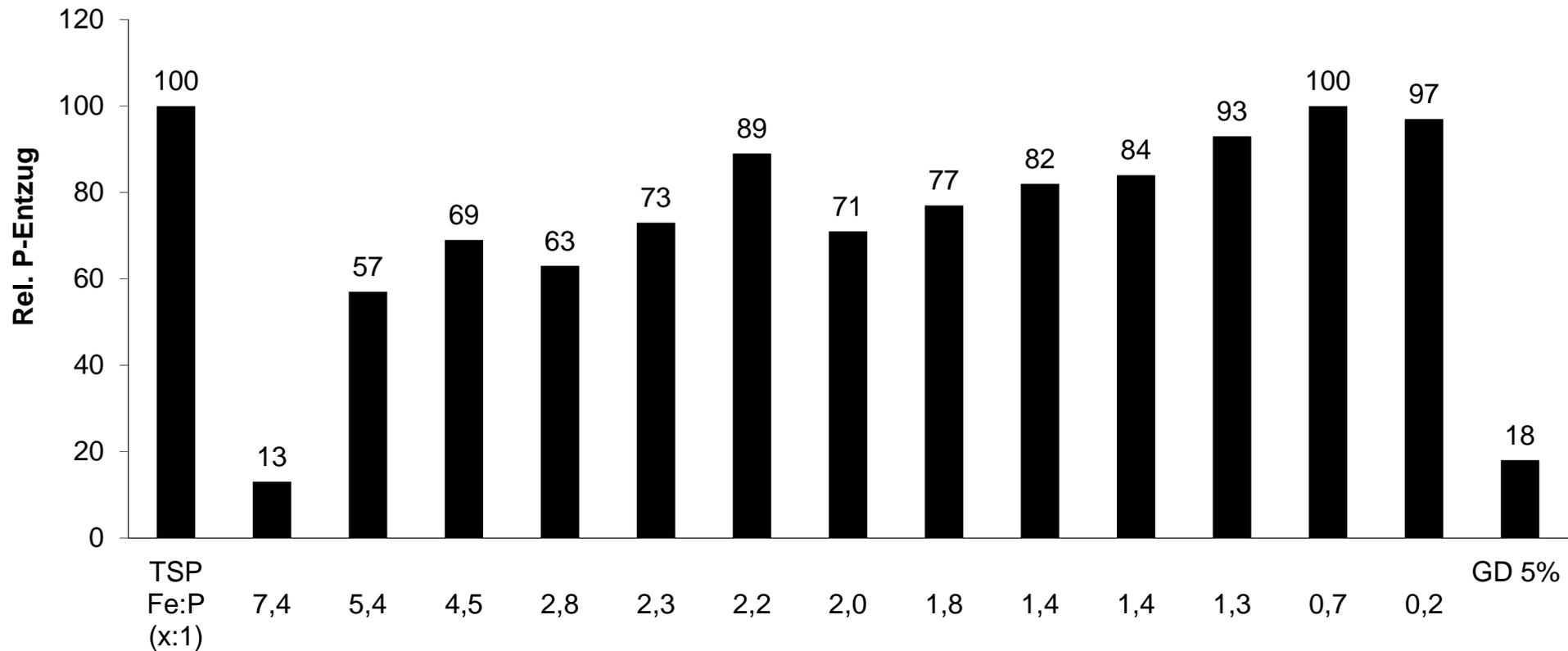


Abb. 7: Relative P-Aufnahme und das Fe:P-Verhältnis von 13 Klärschlämmen bezogen auf die P-Aufnahme aus Triplesuperphosphat (TSP), (nach Römer, W. et al., 2002 und 2003).

Schlußfolgerung:

Ist im Klärschlamm doppelt so viel Eisen wie
Phosphor,

dann sinkt die P-Ausnutzung im Vergleich zu P aus
dem TSP signifikant um ca.30% ab!

(z. Zt. wird die Klärschlammverordnung überarbeitet)

Welche neuen P-Dünger sind durch
das Recycling von
P-haltigen Abfällen möglich und wie
ist ihre Düngewirkung?

Neue P-Dünger auf Basis des P-Recycling

I. : Gewinnung durch chemische Prozesse

- P-haltige Abwässer laufen über Ca-Silikat-Hydrat (z.B. Tobermorit) und das Phosphat wird an Ca-Ionen als wenig definierte **Ca-Phosphate** kristallin gebunden.
- In Klärwerken anfallender Faulschlamm wird z.B. mit Schwefelsäure gelöst und Phosphat wird durch Zugabe von basischen Substanzen und Mg-Salzen zu **Struvit**:
- **Magnesium-Ammonium-Phosphat = MAP**
- $\text{Mg NH}_4 \text{ PO}_4 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$

- II.: Gewinnung durch thermische Prozesse
- Tiermehlaschen (Erhitzung $> 1000^{\circ}\text{C}$).
- Klärschlammaschen (Erhitzung $> 1000^{\circ}\text{C}$, Schwermetalle werden mittels Chlorid bei $>1000^{\circ}\text{C}$ abgereichert).
- Kupolofenschlacke, Klärschlammbricketts werden ähnlich dem Prozess in der Thomasbirne (Stahlerzeugung) geschmolzen (P wird in der Schlacke angereichert).
- Sinterphosphat, ähnlich dem Alkalisinterphosphat werden Tiermehle etc. mit Soda und Quarzsand bei $> 1.000^{\circ}\text{C}$ im Drehrohrofen gesintert.

Tab. 8: P-Aufnahmen von Mais im Gefäßversuch mit P-Düngern aus dem P-Recycling;

(Auszugsweise nach Cabeza, 2010; Diss. Universität Göttingen)

Boden 1: Sandboden, CAL-P: 2,4 mg P/kg, pH: 4,7

Boden 2: Lehmboden, CAL-P: 2,1 mg P/kg, pH: 6,6

P-Gabe: 360 mg P / Gefäß (= 6 kg Boden)

Varianten	Sandboden		Lehmboden	
	mg P/kg		mg P/kg	
	Boden	relativ	Boden	relativ
Ohne P	13 a	100	10 ab	100
Triplephosphat	24 b	185	23 e	230
Rohphosphat	16 a	123	9 a	90
Ca-Phosphat	22 b	170	12 ab	120
Struvit	23 b	176	23 e	230
Tiermehl-Asche	15 a	115	15 bc	150
Klärschlamm-Asche	15 a	115	17 cd	170
Kupolofen-Schlacke	15 a	115	23 e	230
Sinterphosphat	22 b	170	18 de	180

Verschiedene Buchstaben stehen für statistisch signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 5\%$.

Tab. 9: Relative Erhöhung des isotopisch austauschbaren P im Boden zwei Jahre nach der P-Applikation in den Boden (Variante ohne P = Null, TSP-Variante = 100 %) Nach Cabeza, 2010

Düngervariante	Saurer Sandboden	Neutraler Lehmboden
TSP	100	100
Rohphosphat	44	9
Ca-Phosphate	75	13
3 MAP-Produkte	70-98	80-105
Tiermehlasche	23	18
Klärschlammasche	16	21
Kupolofenschlacke	36	80
Sinterphosphat	73	70

Wie viel kg Phosphor / ha
brauchen wir, um den P-Gehalt
im Boden um 1 mg P / 100 g
anzuheben?

Tab. 10: 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	bei DL-P-Gehalten 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 P_2O_5 /100 g Boden) 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 (Gefäßversuche, nicht gezeigt).
- Zur Anhebung des CAL-P-Gehaltes um 1mg/100g Boden sind ca. 100 kg P/ha über der Abfuhr nötig.
- Bei einem Preis von ca. 2,2 €/je kg P (Triplesuperphosphat, DAP) sind das bei 100 kg P (Entzug von 3-4 Ernten) ca. 220 €/ ha.

Zusatzinformationen

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. 11: Mittelwerte aus 6 Erntejahren (1988 - 2003) auf dem Reinshof, Römer et al., 2004

- der Rübenenerträge (RE)
- der bereinigten Zuckergehalte (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

	Rübenenerträge		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 Frühjahrsdüngung

Tab. 12: Mittelwerte aus 6 Erntejahren (1988 – 2003) auf dem Reinshof, Römer et al., 2004

- der Rübenenerträge (RE)
- der bereinigten Zuckergehalte (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)

	Rübenenerträge		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 Frühjahrsdüngung 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 zwei Gefäßversuche

Tab. 13: Einfluss der zeitlichen Applikation von Phosphat auf den Ertrag und die P-Aufnahme von Sommerweizen (Sorte Hatri); nach Römer, 1985, unveröff.

Boden: Sandboden, C_t : 0,6 %; $CaCO_3$: 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
 $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ in Wasser gelöst.

Variante	Kornertrag / Gefäß	Körner / Ähre	P in Korn + Stroh 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. 14: 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. Bestockungstrieb	9,8	100	92	59
Ährchen /2. Bestockungstrieb	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. Bestockungstrieb	40	100	82	26
Körner / 2. Bestockungstrieb	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.

Die P-Vorräte vieler Ackerböden in Deutschland sind durch das hohe P-Düngungsniveau von den 60er bis 90er Jahren (P-Bilanzüberschüsse 20-29 kg P ha⁻¹) stark angestiegen. Es gab **Anreicherungen von bis zu 1.000 kg P ha⁻¹**. Diese **Vorräte sind zu reaktivieren!!!** Das gilt auch für **Sachsen!! (vergl. Abb.8)**

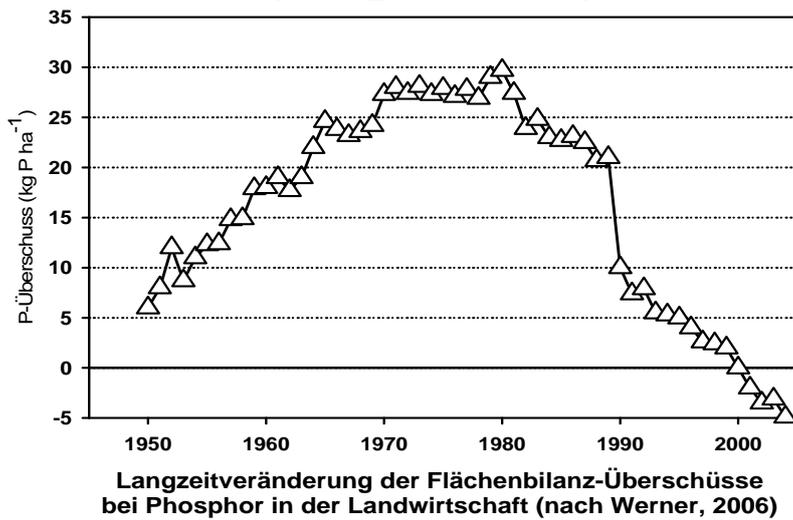


Abb. 8: Langzeitveränderung der Flächenbilanz-Überschüsse bei Phosphor

Jährliche und kumulative P-Bilanz in Sachsen
1961 - 2009

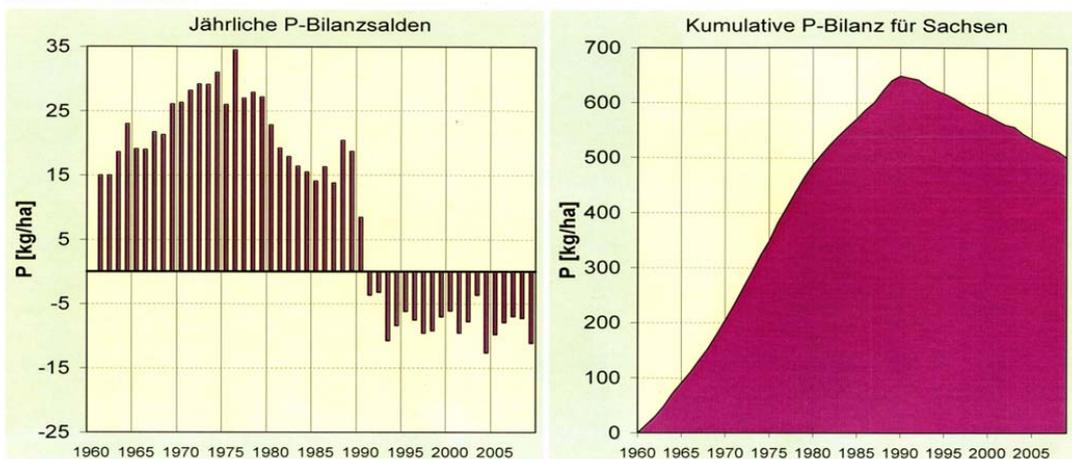


Abb. 9 P-

Bilanz für Sachsen nach E. Albert 2010

Literatur

Albert, E., 2011: persönliche Mitteilung

Anonymus, 2005: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.

Cabeza Pérez, R.A., 2010: Phosphorus dynamics in soil and plant availability of fertilizers from phosphorus recycling evaluated in field and pot experiments. 1. Aufl. Göttingen: Cuvillier.

Dery, P., Anderson, B., 2008: Peak Phosphorus. In: <http://www.energybulletin.net/33164.html> und: [energybulletin.net/node/28720](http://www.energybulletin.net/node/28720)

DWA, 2005: Aktuelle Daten zur Klärschlammbehandlung und Entsorgung. Filtrieren und Pressen, 19, S. 135

Hege, U., Offenberger, K., Wendland, M., 2007: Stimmen die Beratungsempfehlungen für die P- und K-Düngung? Vortrag auf dem 10. Düngungstag der LUFA Rostock, 22. Nov. 2007 in Güstrow. www.lms-lufa.de.

Hege, U., Wendland, M., Offenberger, K., 2008: Versuchsergebnisse zur Bedeutung der Bodenversorgung mit Phosphat und Kali. Wie hoch müssen die Nährstoffgehalte im Boden sein? Pflanzenbauwissenschaften, Bd. 12, Heft 2, S. 53–63.

Kerschberger, M., Richter, D., 1978: Ermittlung von Bilanzkoeffizienten für die P-Düngerbemessung. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 22 (9), S. 559-567.

Kerschberger, M., Richter, D., 1988: Ergebnisse eines 12jährigen P-Steigerungsversuches auf einer Löß-Schwarzerde im Bezirk Halle. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 32 (6), S. 369-377.

Kerschberger, M., Hege, U., Jungk, A., 1997: VDLUFA-Standpunkt „Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf“. Eigenverlag Darmstadt, 1997.

Raiffeisen Handelsgesellschaft mbH Rosdorf, Am Flüthedamm 12, 37124 Rosdorf, mündliche Mitteilung

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., 2004: Reaktion der Zuckerrübe auf Phosphordüngung – Ergebnisse eines 20jährigen Feldversuchs. Zuckerrübe 6, 291-293.

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

Römer, W., Samie, I.F., Neubert, M., Merkel, D. 2002: P-Düngewirkung von 13 eisenhaltigen Klärschlämmen. 114. VDLUFA-Kongress, Leipzig, Poster-Nr. 113, Kongressband, S.1-4

Römer, W., Samie, I.F., Neubert, M., Merkel, D. 2003: P-Düngewirkung von Klärschlämmen mit unterschiedlichen Eisengehalten. KA-Abwasser, Abfall (50) Nr.4, S.476-481.

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

Schmidt, M., 1990: Einfluß der Phosphaternährung auf Wachstums- und Differenzierungsprozesse von Weizenpflanzen. Diplomarbeit, Universität Halle/Saale.

Schneekloth-Plöger, C., 2010: Ergebnisse eines Dauerdüngeversuches zur Wirkung von P- Düngung auf Ertrag und Inhaltsstoffe von Raps, Masterarbeit Universität Göttingen, Juni 2010

U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2007: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2008-phos.pdf.

VDLUFA-Standpunkt, 1997: Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf“. Eigenverlag Darmstadt, 1997.

Werner, W., 2006: Düngung von Böden. Handbuch der Bodenkunde. 26. Ergänzung Lfg. 11/06; Kap. 6.4, 1-63

www.fleischindustrie.de

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