

(Aus dem Institut für Pflanzenernährung der Techn. Universität München-Weihenstephan)

Phosphatwirkung in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung*

Von A. AMBERGER

(Mit 4 Abbildungen)

Der Begriff Standort beinhaltet Klima und Boden; im wesentlichen sind das Summe und Verteilung der jährlichen Niederschläge, mittlere Jahrestemperatur sowie die Summe aller Bodeneigenschaften.

Die Phosphatwirkung ist abhängig vom Gesamtgehalt und der Verfügbarkeit des Phosphors im Boden, also von der P-Kapazität (capacity), der P-Konzentration in der Bodenlösung (intensity) sowie der Umsatzrate, das heißt, wieviel P aus stabilen Verbindungen freigemacht (pflanzenverfügbar) werden kann unter dem Einfluß von Standort und Nutzung.

1. P-Gehalt und P-Formen

Die gesamte P-Menge in den weit verbreiteten Ackerbrunnen stellt eine beträchtliche P-Reserve dar. Die anorganischen P-Formen haben eine unterschiedliche Löslichkeit, abhängig vor allem vom pH-Wert des Bodens; die organischen P-Verbindungen sind mehr oder minder (Phytate) leicht mikrobiell abbaubar.

Tabelle 1

Phosphor im Boden

Gesamt-Phosphat-Gehalt in Ackerbrunnen

100 — 200 mg P_2O_5 /100 g Boden entsprechend
3000 — 6000 kg P_2O_5 /ha (Ackerkrume von 20 cm)

P-Formen

— definierte Ca-, Fe- oder Al-Phosphate (Salze)

$Ca_5(PO_4)_3F$	Strengit
$Ca_8(PO_4)_3OH$	Variscit
$Ca_8H_3(PO_4)_5 \cdot 5H_2O$	$Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ Vivianit
$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	
$Ca(H_2PO_4)_2$	

— sorbierte Phosphate an

Fe- und Al-Oxiden, -Hydroxiden, -Oxidhydraten

— organische P-Verbindungen

(Phytate, Substanzen des tierischen und pflanzlichen Stoffwechsels)

— Ionen ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) in der Bodenlösung
(0,02 — 1 ppm P)

Verhältnis anorg.-P : org.-P ist in:

Mineralböden \approx 50 : 50
org. Böden \approx 25 : 75

* Nach einem Vortrag, gehalten beim Symposium „Dynamik und Verfügbarkeit des Phosphates im Boden“ der Österreichischen Düngeberatungsstelle Wien am 14. Dezember 1983 an der Universität für Bodenkultur, Wien.

Phosphate unterliegen bekanntlich kaum der Auswaschung.

Das „pflanzenverfügbare“ Phosphat (Tabelle 2) wird ermittelt durch Extraktion des Bodens mit verschiedenen Lösungsmitteln (Bodenuntersuchung), die in etwa dem Lösungsvermögen der Pflanzenwurzeln entsprechen.

Die Wahl der Lösungsmittel richtet sich in erster Linie nach den vorherrschenden Bodeneigenschaften, jedoch spielen auch traditionelle Gepflogenheiten eine Rolle.

Tabelle 2

„Pflanzenverfügbares“ Phosphat

- durch Extraktion mit verschiedenen Lösungsmitteln, z. B.:
- Calciumacetat (CAL), pH 4,1
 - Doppellaktat (DL), pH 3,7
 - Bicarbonat (tropische Böden, Oisen), pH 8,1
 - Ammoniumfluorid/Salzsäure (USA, Bray) < pH 1
 - Wasser (P_w), pH 7 (Boden : Wasser = 1 : 50)
 - EUF (Nemeth) Wasser: 200 V, Temperatur 20° C
400 V, Temperatur 80° C

Beispiel: 4 — 8 — 16 — 20 mg CAL-P₂O₅/100 g Boden
entsprechend: 120 — 240 — 480 — 600 kg „pflanzenverfügbares“ Phosphat/ha (20 cm Ackerkrume)
60 — 120 — 240 — 300 kg „pflanzenverfügbares“ Phosphat/ha (10 cm Grünlandboden)

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung müssen am Pflanzenversuch geieicht sein, ihre Interpretation für die praktische Düngerberatung erfolgt nach einem national oder regional festgelegten konventionellen Schema (Gehaltsstufen, Versorgungsklassen).

Im Vergleich zur Gesamt-P-Menge (Tabelle 1) beträgt das pflanzenverfügbare Phosphat also höchstens ein Zehntel, häufig aber nur einige Prozent. Entscheidend für die Versorgung der Kulturpflanzen ist der Umsatz oder die jeweilige Nachlieferungsrate.

2. P-Entzüge durch Kulturpflanzen.

Diese werden ermittelt aus der Höhe der Erträge und dem P-Gehalt der Früchte. Für durchschnittliche Erträge und P-Gehalte ergibt sich also, je nachdem, ob Stroh oder Blätter vom Feld abgefahren werden, ein jährlicher „P-Export“ von 50 bis 80 kg P₂O₅/ha (Tabelle 3).

Vergleicht man diese „Exportzahlen“ mit den Werten der Bodenuntersuchung, so entsprechen z. B. 2 mg CAL-Phosphat/100 g Boden ≈ 60 kg P₂O₅/ha einem durchschnittlichen jährlichen P-Entzug/ha auf Ackerland bzw. der Hälfte auf Grünland.

Berücksichtigt man nun die Fehlerbreite der Bodenuntersuchung (bedingt vor allem durch Einflüsse von Jahreszeit, Tiefe der Probenahme, Vorfrucht usw. — dabei ist der analytische Fehler selbst unbedeutend), so wird klar, daß die Aussagekraft dieser chemischen Untersuchung oft weit überfordert und diese dadurch gelegentlich in Mißkredit gebracht wird. Sie kann nur eine ungefähre Einstufung des Nährstoffzustandes der Böden vermitteln.

Tabelle 3

Durchschnittliche P-Entzüge durch landwirtschaftliche Kulturpflanzen

Ø-Ertrag dt/ha	kg P ₂ O ₅ /ha durch		Σ
	Körner, Rüben, Knollen	Stroh, Blätter	
Getreide	50	40	60
Körnermais	60	50	80
Raps	30	50	80
Ackerbohnen	30	40	60
Kartoffeln	300	50	60
Zuckerrüben	550	55	100
Luzerne } Klee gras }	100	—	70
Wiese (2—3 Schnitte)	—	—	30—65
„Export“: a) wenn Stroh und Rübenblatt abgefahren werden			Ø-kg P ₂ O ₅ /ha
b) wenn Stroh und Rübenblatt auf dem Feld verbleiben			60—80 50—60

3. P-Dynamik

Zwischen der P-Reserve und dem „pflanzenverfügbaren P“ besteht ein „dynamisches Fließgleichgewicht“. Die Umsatzrate hängt ab von Standort und Nutzung, insgesamt also von vielfältigen Faktoren, die dem Gesamtbegriff „Bodenfruchtbarkeit“ zuzuordnen sind (Abb. 1).

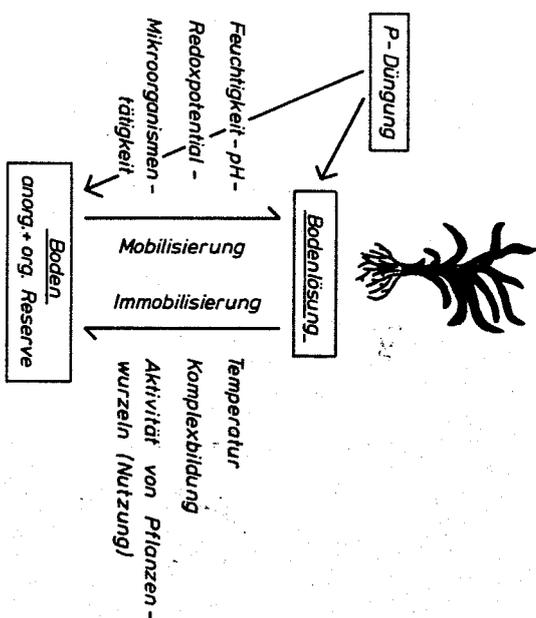


Abb. 1: P-Dynamik

Diese Faktoren können durch agrotechnische Maßnahmen in gewissem Umfang beeinflußt werden.

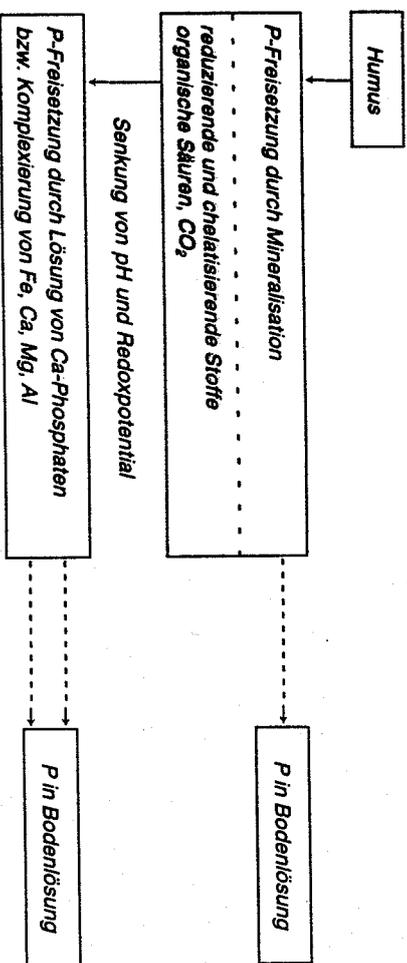
Hohe Niederschläge (Lösungsmittel) und ein niedrigerer pH-Wert erlauben z. B. den Einsatz langsam wirkender weicherer Rohphosphate mit gutem Erfolg, insbesondere zu Kulturen mit langer Vegetationszeit, während trockene Standorte die Anwendung leicht löslicher P-Formen notwendig machen.

a) Die P-Versorgung der Kulturpflanzen ist um so besser, je günstiger das

Wasserangebot und das Wasser/Luftverhältnis im Boden ist; die Menge an verfügbarem Wasser bestimmt letztlich die Produktivität landwirtschaftlich genutzter Böden.

b) Humusreiche Böden haben in der Regel ein großes Basensorptionsvermögen und eine hohe biologische Aktivität, die die P-Freisetzung aus organischen Verbindungen begünstigt (Abb. 2).

Abb. 2: Einflüsse auf die P-Dynamik



Dabei entstehen reduzierende und chelatierende Stoffe (Stoffwechsel-, Fulvo-, Huminsäuren), die durch Senkung von pH und Redoxpotential zur Lösung von Ca-Phosphaten bzw. Komplexbildung mit Fe-, Al-, Ca- und Mg-Ionen führen und damit die Bildung stabiler Bodenphosphate verhindern.

Dazu einige neuere Ergebnisse:

In einem Bebrütungsversuch (AMANN und AMBERGER 1984) mit einer Ackerbraunerde (pH 6,3) aus einem Dauerversuch (P₀ bzw. „Superphosphatböden“) war – unter Ausgleich des P-Gehaltes des organischen Materials mit nicht markiertem wasserlöslichem (NH₄)₂HPO₄ (Bebrütungszusatz) – die Wiederfindungsrate des einheitlich vorgelegten ³²P-Düngerphosphates durch den Zusatz von Maiswurzelextrakt deutlich höher (Tabelle 4).

Tabelle 4

³²P-Wiederfindungsrate im Boden nach Vorbebrütung mit wässrigem Extrakt aus Maiswurzeln (AMANN und AMBERGER 1984)

Bebrütung: 100 g Boden – 20 ml Extrakt \approx 5 g TS – 65 % WK – 22° C – 8 Std.
P-Zufuhr durch Maiswurzelextrakt \approx 14,4 mg/100 g Boden
³²P-Dünger: 1 g Boden – 1 ml Diammonphosphatlösung \approx 5 μ g ³²P (1–10 μ Ci), 24 Std. Einwirkungszeit

Behrütungszusatz	³² P-wiedergef. (CaCl ₂ -Auszug 1:10) %
„P ₀ -Boden“	0,7
„Superphosphatboden“	4,1
Kontrolle (Wasser)	2,9
Diammonphosphatlösung (P= Maiswurzeln)	5,6
Maiswurzelextrakt	5,8
GD _{5%} = 0,8	8,7

In einem P-Formen-Dauerversuch (AMBERGER und GURSER 1976) auf einem Standort mit hoher P-Mobilität (pH 6,0, C₁ = 0,72 %) wurden selbst ohne wesentliche (Stroh = 5 kg P₂O₅/Jahr) bzw. mit nur mäßiger (Stallmist = 37 kg P₂O₅/Jahr) P-Zufuhr gute (aber nicht höchste) Erträge erzielt und dies bei jährlichen P-Entzügen von 43 bis 53 kg P₂O₅/ha, die allerdings teilweise zu Lasten des relativ mobilen (pH 6,0) Bodenphosphates (Abnahme des Gesamt-P) gingen (Tabelle 5). Durch eine jährliche P-Düngung als Superphosphat wurden die Erträge gegenüber „Stallmist alle 2 Jahre“ nicht verändert, wohl aber stiegen die P-Entzüge sowie die Gesamt-P und CAL- bzw. DL-Werte im Boden deutlich an. In der Kontrollparzelle betragen dagegen die jährlichen P-Entzüge aus dem Bodenphosphat ca. 35 kg P₂O₅/ha, die zwar in einem Rückgang des Gesamt-P, nicht aber des CAL- bzw. DL-P zum Ausdruck kommen.

Tabelle 5

P-Formenversuch auf einer Löß-Braunerde – Wethenstephan – 1955 bis 1982

Versuchsanlage: 1955 (1984) pH = 6,0; Ges. P₂O₅: 180 mg P₂O₅/100 g; C₁ = 0,72 %, N = 0,09 %
Fruchtwechsel: Blattfrucht – Halmfrucht; mittleres N-Niveau;
zur Blattfrucht: 300 dt Stallmist (\approx ca. 75 kg P₂O₅/ha) = \varnothing 37 kg P₂O₅/ha/Jahr
zum Getreidestroh (ca. 10 kg P₂O₅/ha) 40–50 N als N-Ausgleich = \varnothing 5 kg P₂O₅/ha/Jahr
 \varnothing P-Gabe als Mineraldünger: 74 kg P₂O₅/ha/Jahr

Düngung	1955–1982		DL – P ₂ O ₅ CAL – P ₂ O ₅ Ges. P ₂ O ₅				
	Σ kg P ₂ O ₅ /ha	Ertrag dt/TS/ha	1955	1981	1971	1981	1974
NK	—	950	2	2	3	2	153
+ Stallmist	975	1430	5	4	6	4	172
+ Stroh	265	1165	5	4	3	2	160
+ Superphosphat	1925	1453	12	12	10	10	200

c) Von sehr wesentlicher Bedeutung für die Mobilität der Boden- (und Dünger-)phosphate ist der pH-Wert.

Die Löslichkeit der Fe- und Al-Phosphate ist im stark sauren Bereich gering und nimmt mit steigendem pH zu; umgekehrt steigt die Löslichkeit der apatitischen Phosphate mit sinkendem pH an. Relativ gut löslich sind über einen weiten pH-Bereich hinweg die Düngerphosphate Dicalcium- und Octocalciumphosphat, während das wasserlösliche Monocalciumphosphat schon nach wenigen Tagen je nach Standortbedingungen in stabileres Bodenphosphat überführt wird (AMBERGER und MA. 1969).

Neben den bisher besprochenen definierten Phosphaten nehmen aber auch die sorbierten und organischen P-Formen einen beträchtlichen Anteil an der gesamten P-Reserve ein. Ihre Verfügbarkeit ist um so geringer, je niedriger der pH-Wert ist (starke Sorption an Metalloxiden bzw. geringe biologische Aktivität). Der anzustrebende pH-Bereich mit hoher P-Mobilität liegt etwa zwischen 6,0 und 6,5; damit ergeben sich günstige Bedingungen sowohl für die Desorption von Phosphat von den Metalloxiden (Abb. 3) als auch für eine Verhinderung der Festlegung von Düngerphosphat.

Eine laufende Kalkung ist daher unter unseren klimatischen Bedingungen eine wesentliche Maßnahme zur Regulierung von pH-Wert und P-Mobilität.

Die basische Wirksamkeit der Kalkdüngemittel besteht bekanntlich darin, daß im Verlaufe ihrer Umsetzung im Boden OH⁻ bzw. HCO₃⁻-Ionen frei werden, die die Protonen der Bodenlösung bzw. des Sorptionskomplexes unter Bildung von Wasser neutralisieren und damit den pH-Wert erhöhen (AMBERGER 1983).

In einem langjährigen P-Formen-Steigerungs-Kalkversuch auf pseudovergleyter Braunerde (pH 4,9) bei mittlerem bis gutem Gesamt-P-Gehalt, aber geringer P-Mobilität (Tabelle 6) wurde in der P₀-Parzelle der pH-Wert durch entsprechende Kalkgaben auf 5,9 bzw. 6,1 angehoben. Damit stiegen die Gesamt-P-Entzüge im Verlaufe von fast 20 Jahren beträchtlich an, das heißt, es wurden 264 kg P₂O₅ aus dem Phosphat-pool des Bodens mobilisiert (Rückgang des Gesamt-P von 154 auf 123 mg P₂O₅/100 g/Boden); dagegen blieben die CAL- bzw. DL-Werte praktisch unverändert.

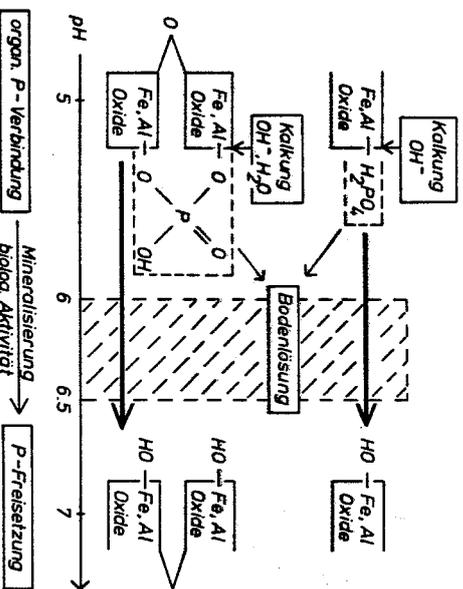


Abb. 3: Löslichkeit sortierter und organischer Phosphate

Tabelle 6

P-Steigerung ± Kalk — Pseudogley — Braunerde Pettenbrunn, 1953 bis 1982

Versuchsbeginn: pH 4,9, Ges. P₂O₅ = 154 mg/100 g Boden, DL-P₂O₅ (~CAL) = 2 mg P₂O₅/100 g Boden
 1953—1982: ohne organische Düngung — Ø jährliche P-Gabe: P₁ = 44 kg P₂O₅
 1989—1982: mit organischer Düngung — Ø jährliche P-Gabe: P₁ = 60 (1989—76) bzw. 75 (1977—82) kg P₂O₅/ha
 P-Form: Thomaspophat

P-Gabe	pH _(CaCl2) - Kalk +	mg/100 g Boden		Ges. P ₂ O ₅ - Kalk +
		CAL-P ₂ O ₅ - Kalk +	DL-P ₂ O ₅ - Kalk +	
1970 P ₀	4,9	2	2	123
P ₁	5,0	3	3	139
P ₂	5,1	7	5	158
1982 P ₀	5,0	1	1	123
bzw. 1975 P ₁	5,3	3	6	151
(Ges. P) P ₂	5,6	8	9	157

Entzüge kg P₂O₅/ha

P ₀	- Kalk		+ Kalk	
	1953-68	1970-82	1953-68	1970-82
262	616	1385	398	880
P ₁ 454	1041	1977	540	1185
P ₂ 552	1308	2126	720	1388
	Σ	Σ	Σ	Σ

Erträge (dt TS/ha)

Durch die Kalkung (pH-Erhöhung) ohne mineralische P-Düngung wurden nahezu die gleichen Gesamterträge (1781 dt TS/ha) erzielt wie durch die jährliche P-Düngung ohne Kalkung (1977 dt TS/ha) bei allerdings höheren P-Entzügen in letzterem Fall (AMBERGER und GÜTSSER 1976).

Die Wirksamkeit der üblichen Kalkdüngemittel hängt im wesentlichen von deren Löslichkeit und Vermahlungsgrad ab. Der neuerdings im Handel befindliche „Carbokalk“, ein Rückstandskalk aus der Zuckertechnologie (mit ca. 30% CaO), ist letztlich frisch gefälltes CaCO₃ mit großer Oberfläche, das dem gemahlenen Braunkalk hinsichtlich Reaktivität sicherlich gleichkommt (DELLER und TEICHER 1980, AMBERGER und GÜTSSER 1982; Tabelle 7).

Tabelle 7

Kalkform	Krumenkalkung zu Zuckerrüben Braunerde (L5) Weihenstephan, Kalkung 2. April 1981	
	pH _(CaCl2) — 10 dt CaO/ha 0—8 cm 11. 5.	pH _(CaCl2) — 20 dt CaO/ha 0—8 cm 11. 5.
ohne Kalk	6,1	5,6
Carbokalk	6,7	6,4
Braunkalk gem.	6,4	6,2
kohlens. Mg-Kalk	6,1	5,9
		6,4
		6,8
		6,3
		6,3

Geringe P-Mengen (ca. 0,7% P₂O₅) als Nebenbestandteile entsprechen auf der Basis einer Kalkung mit 100 dt Carbokalk/ha etwa 70 kg P₂O₅/ha, das heißt einem durchschnittlichen jährlichen P-Entzug in der Fruchtfolge.

In den Gärten findet sich je nach Tierart auch ein unterschiedlicher Anteil von langsamer wirksamen organischen Phosphat (ca. 20 bis 25% in Rinder- und Schweinegülle, 40% in Hühnergülle, jeweils vom Gesamtposphat, AMBERGER 1982); ihr mikrobieller Abbau und damit die Pflanzenverfügbarkeit wird durch Kalkdüngung deutlich erhöht (MAURER 1984; Abb. 4).

Faßt man die Standarderträge auf P-Dynamik zusammen, so kommt zweifellos dem pH-Wert die größte Bedeutung zu (hohe P-Mobilität im Bereich zwischen pH 6,0 und 6,5).

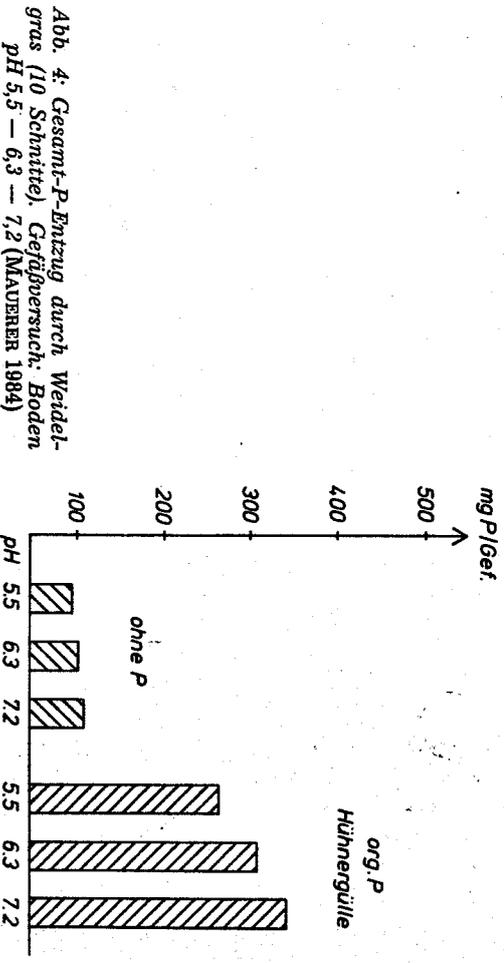


Abb. 4: Gesamt-P-Entzug durch Weidelgras (10 Schnitte). Gejägerversuch. Boden pH 5,5 — 6,3 — 7,2 (MAURER 1984)

Durch Erhöhung der mineralischen Phosphatdüngung kann zwar die P-Kapazität und für kurze Zeit auch die P-Intensität erhöht werden, dagegen ist die Nachlieferungsrate von vielfältigen Bodeneigenschaften abhängig (z. B. pH, organische Substanz, Redoxpotential, Feuchtigkeit, Temperatur usw.) und kann durch agrotechnische Maßnahmen optimiert werden.

Das durch die Bodenuntersuchung zum Zeitpunkt der Probenahme ausgewiesene (z. B. CAL-)Phosphat gibt also zwar gewisse Hinweise auf den jeweils aktuellen Pflanzenverfügbaren Anteil, gestattet aber nicht eine einfache Umrechnung von mg CAL-Phosphat/100 g Boden auf kg P₂O₅/ha in der Ackerkrume, da P-Kapazität und P-Intensität in einem ständigen „Fließgleichgewicht“ stehen, das nicht nur von den Standortgegebenheiten, sondern auch von der Nutzung abhängt.

4. Nutzung bzw. Bewirtschaftung

Die Kulturpflanze greift aktiv ein in dieses „Fließgleichgewicht“. Die Nutzung, das heißt also die Art der Kulturpflanzen und deren Anteil innerhalb der Fruchtfolge, üben einen nicht zu unterschätzenden Einfluß auf die P-Dynamik aus. Die Aktivität der Kulturpflanze hängt ab vom Ausmaß des Wurzelsystems (die Wurzeloberfläche des Getreides kann mehrere Quadratmeter betragen), vom Grad der Sauerstoffversorgung (= Wurzelwachstum), der Wurzel austauschkapazität sowie der Ausscheidung an Protonen, organischen Säuren (Chelatoren) und reduzierenden Substanzen.

Pflanzenarten bzw. -varietäten entwickeln demnach ein spezifisches, teils sehr unterschiedliches Aufschließungsvermögen z. B. für Phosphat oder Spurenelemente. Entscheidend ist aber nicht so sehr die Menge an ausgeschiedenen Protonen (Ansäuerung) in unmittelbarer Wurzelnähe, also die pH-Absenkung, als vielmehr das durchwurzelte Bodenvolumen.

In derzeit noch laufenden Untersuchungen unseres Institutes (ROTHMEIER 1984) zeigt der pH-Wert (= Protonenausscheidung) von Mais und Buchweizen in Neubauer- und Agarversuchen keine großen Unterschiede, wohl aber ist die jeweils angebotene N-Form von Bedeutung (Tabelle 8).

Tabelle 8

*Wurzeltätigkeit von Mais und Buchweizen
Neubauer- bzw. Agarversuche (ROTHMEIER 1984)*

	Mais		Buchweizen	
	NO ₃	NH ₄	NO ₃	NH ₄
pH	7,1	4,7	6,7	4,6
Wurzeldurchmesser mm	1,25	4,7	0,5	4,6
Wurzellänge mm	42		105	
durchwurzelbarer Boden mm ³	857		1649	

Ferner ist der Durchmesser der Maiswurzeln zwar wesentlich größer als der von Buchweizen, aber dessen Wurzellänge und damit das durchwurzelbare Bodenvolumen etwa doppelt so groß wie das von Mais. Pro 1 g Wurzelrockensubstanz hatte Buchweizen eine dreimal so große Wurzeloberfläche wie Mais; Buchweizen kann somit sechsmal soviel Boden durchwurzeln. Zwischen diesen beiden Extremen liegen die Getreidearten, Raps und vor allem die Grünlandpflanzen mit ihrem sehr starken Durchwurzelungsvermögen. Dieses ist aber

wiederrum in hohem Maße abhängig vom Wasser-Luft-Haushalt (Bodenstruktur) und der Nährstoffversorgung und damit schließt sich der Kreis wieder. Dazu ein Beispiel aus einem Feldversuch mit einheitlich optimal gedüngten Zuckerrüben (Tabelle 9).

Tabelle 9

Bodenstruktur und N-Mineralisation

Bodenkennwerte: tiefgründige Braunerde (Lößlehm) — Kolluvium	
Ton	20 %
Schluff	72 %
Sand	8 %
pH 0,5	51 mg/100 g
CAL-K ₂ O	28 mg/100 g
CAL-P ₂ O ₅	28 mg/100 g

N_{min}-Mengen unter Brauche (kg N/ha, 90 cm Tiefe) (keine N-Düngung)

	I	II
24. Juni	113	73
11. August	101	68
7. Oktober	135	71

I = optimale Bearbeitung einer Lößbraunerde
II = schlechte Bearbeitung einer Lößbraunerde

Zuckerrübenerrträge (dt Fri. S./ha) (Düngung: PK + 200 kg N/ha)

Bearbeitung	Ernte 8. 8. 1980		Ernte 6. 10. 1980	
	Rüben	Blätter	Rüben	Blätter
I	84	174	463	510
II	33	76	284	238

Auf dem gleichen Feld mit gleichen CAL-Werten, aber unterschiedlicher Bodenstruktur wurden sehr unterschiedliche Durchwurzelung (Verdichtung durch Pflugschle) und Erträge festgestellt. Diese bodenphysikalischen Daten gehen aber nicht in die übliche chemische Bodenuntersuchung ein. Die sogenannte Görbingssche „Spätenanalyse“, vermag wichtige zusätzliche Informationen zu liefern.

Zusammenfassung

Die P-Dynamik ist ein sehr kompliziertes System, abhängig von Standort und Bewirtschaftung. Die Pflanze greift aktiv in dieses „Fließgleichgewicht“ zwrischen P-Reserve und löslichem Phosphat ein. Bodenuntersuchungen aller Art liefern neben einer ständigen Beobachtung des wachsenden Bestandes wertvolle Informationen für die Düngereinsatzermittlung; sie dürfen aber in ihrer Aussagekraft nicht überfordert werden.

Letztlich ist eine klare Bilanzierung notwendig, das heißt, eine „input-output“-Rechnung, in die je nach Wirtschaftsform auch die Menge an den aus den Abfallstoffen der Tierproduktion zurückfließenden Pflanzennährstoffen und der organischen Substanz sowie der Intensitätsgrad eingehen.

Den größten Nährstoffexport weisen die viehlosen Ackerbaubetriebe auf; je höher dagegen der Viehbestand, um so größer ist auch der Rücklauf an Pflanzennährstoffen, der in intensiven Güllbetrieben sogar zu einer Nährstoffüberversorgung führen kann, mit allen sich daraus ergebenden Problemen.

Summary

Phosphorus dynamics is a very complicated system and dependent on locations and agricultural management. The plant plays an active role in this "steady state" between phosphorus stock and soluble phosphorus. Besides observation of the growing crops, soil investigations of all kinds give valuable informations about the fertilizer demands, but must not be overstressed in that respect.

At final, a clear balance sheet must be drawn up, e.g. an "input-output" evaluation, where — according to the type of management — the amount of nutrients flow-back from the animal production and the organic matter as well as the level of management intensity are taken into consideration.

The highest export of nutrients have the animal-free arable farms. The higher the animal stock, the greater the flow-back of plant nutrients, in intensive liquid manure farming even a surplus of nutrients arises with all problems related to such a situation.

Literatur

- AMANN, Ch. und A. AMBERGER: Wirkungen organischer Substanzen auf Boden- und Düngersphat. Z. Pflanzenern. und Bodenkde. 147, 1, 49—59, 1984.
- AMBERGER, A.: Gülle — ein schlechtester Dünger (Bewertung der Gülleinährstoffe in der Praxis) DLG-Mitteilungen 78—80, 2/1982.
- AMBERGER, A.: Pflanzenernährung (UTB). 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (S. 152 und 204), 1983.
- AMBERGER, A. und R. GUTSER: Aussagekraft von Bodenuntersuchungsmethoden in langjährigen Feldversuchen mit verschiedenen P-Formen. Landw. Forsch. SH 33/1, VDLÜFA-Kongreß 18—38, 1976.
- AMBERGER, A. und R. GUTSER: Carbonationskalk, ein Rückstandskalk aus der Zuckerfabrikation. Bayer. Landw. Jb. 59, 886—889, 1982.
- AMBERGER, A., G. SOMMER und A. SÜSS: Umsetzungen von wasserlöslichem Düngersphat in verschiedenen Böden. Landw. Forsch. 22, 10—25, 1969.
- DELLER, B. und K. TEICHER: Ermittlung der Reaktivität von Carboalk. Bayerische Hauptversuchsanstalt, Freising-Weihenstephan, unveröffentlicht, 1980.
- MAUERER, L.: Zusammensetzung und Wirkung der Güllephosphate verschiedener Tierarten unter besonderer Berücksichtigung des Phytin-P. Dissertation TU München-Weihenstephan, 1984.
- ROTHMEIER, H.: Zink-Dynamik im Kontaktraum Pflanze/Boden unter besonderer Berücksichtigung rhizosphärenspezifischer Substanzen. Dissertation TU München-Weihenstephan, 1984.

(Manuskript eingelangt am 6. März 1984)

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Anton AMBERGER, Institut für Pflanzenernährung der Technischen Universität München, D-805 Freising-Weihenstephan, Bundesrepublik Deutschland

(Aus dem Institut für Landwirtschaft des Österreichischen Forschungszentrums Seibersdorf, Leiter a. o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. E. Haunold)

Untersuchungen zur Eisenphysiologie der Weinrebe im Zusammenhang mit der Chlorose

Teil 2: Die Induktion von Chlorose durch Hydrogencarbonat

Von A. FARDOSSI und O. H. DANNEBERG

(Mit 8 Abbildungen)

Einleitung

Hohe Bicarbonatkonzentrationen im Nährmedium dürfen als wesentlicher Faktor der Chloroseinduzierung betrachtet werden. Dieser Zusammenhang wurde bereits von HARLER und LINDNER (1945) festgestellt. Sie beobachteten, daß Apfel- und Birnbäume unter Feldbedingungen durch erhöhten Bicarbonatgehalt im Beregnungswasser chlorotisch wurden. Das Krankheitsbild verschwand, wenn man bicarbonatarmes Wasser verwendete. Diese Beobachtung wird von ABDEL-SALAM und ER-KADI (1968), AGARWALA und MA. (1976) und MIRAMORO (1980) bestätigt. Bei höheren Konzentrationen von Hydrogencarbonat im Boden traten an Rosen, Birnen und Äpfeln (BOXMA 1972), Mandarinen (KOVANCI und MA. 1978), Pfirsichen (ROGERS 1978) und Reben (MORLAT und MA. 1980) chlorotische Erscheinungen auf.

Das Entstehen von Hydrogencarbonat im Boden läßt sich nach SCHERRER und SCHACHTSCHABEL (1976) nach folgenden, stark vereinfachten Reaktionsgleichungen beschreiben:



Ausführliche neuere Modelle findet man bei MIRAMORO (1980) und ROBBINS und MA. (1980).

Die Bicarbonatkonzentration ist vom Partialdruck des CO_2 und von der Temperatur abhängig, tiefere Temperaturen entsprechen höheren Bicarbonatkonzentrationen. Auch die Pflanze selbst kann im Bereich ihrer Wurzeloberfläche durch Abgabe von CO_2 oder Aufnahme von Bicarbonat die Konzentration beeinflussen (RILEY und BARBER 1969, OLSEN und WATANABE 1979, OLSEN und BROWN 1980).

In Böden unter chlorotischen Pflanzenbeständen fanden BOXMA (1972) und LIXANDRU und MA. (1977) Konzentrationen von 170 bis 530 ppm HCO_3^- , das entspricht 2,8 bis 8,7 mMol/l; dagegen lag der Hydrogencarbonatgehalt von Böden unter gesunden Beständen zwischen 30 und 180 ppm entsprechend 0,5 bis