

Wirkungen organischer Substanzen auf Boden- und Düngerphosphat

Teil 1: Einfluß von Stroh- und Maiswurzelextrakten auf die Löslichkeit von Boden- und Dünger-P

Ch. Amann und A. Amberger

Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TU München, 8050 Freising-Weihenstephan

Eingegangen: 8.7.1982

Angenommen: 26.7.1983

Zusammenfassung – Summary

In Bebrütungsversuchen wurde die Wirkung von Stroh- und Maiswurzelextrakten auf die Löslichkeit von Boden- und Düngerphosphat geprüft mit folgendem Ergebnis:

1. Bebrütung einer P-armen bzw. P-reichen Ackerbraunerde (1 bis 14 Tage) nach Zusatz von Extrakt aus unverrottetem Stroh (10 g Stroh/100 g Boden) hatte gegenüber dem Kontrollzusatz von KH_2PO_4 keine wesentlichen Auswirkungen auf die H_2O - und CAL-P-Fraktion, förderte aber die Umwandlung von „leichtlöslichen“ (–15 bis –40 ppm) in „schwerer lösliche“ Fe- und Al-Phosphate (+15 bis +20 ppm) deutlich.

Durch Zusatz von Extrakt aus verrottetem Stroh wurde die Menge an H_2O -extrahierbarem P und „leichtlöslichen“ Fe- und Al-Phosphaten erniedrigt, die Menge an CAL-extrahierbarem P und „schwerer löslichen“ Fe- und Al-Phosphaten dagegen erhöht.

2. Bebrütung der P-reichen Bodenvariante mit Maiswurzelextrakt (Wurzel: Boden = 1:3) für 1 Tag ergab eine geringere Festlegung von Düngerphosphat (34 gegenüber 42 %) sowie einen Rückgang des als „schwerer löslicher“ Fe- und Al-P wiedergefundenen Düngerphosphats (von 31 auf 11 %); nach 14 Tagen war die Fixierung dagegen deutlich erhöht.

Effects of organic substances on soil- and fertilizer phosphate

Part 1: Influence of straw or maize-root extracts on the solubility of soil and fertilizer P

The effects of straw and maize-root extracts on the solubility of soil and fertilizer phosphate were tested in incubation trials. The following results were obtained.

1. Addition of an extract of unrotted straw (10 g straw/100 g soil) to incubate a brown-earth soil, (high or low in P) for 1–14 days did not have any significant effects on the H_2O and CAL P-fraction as compared to a KH_2PO_4 control, but markedly increased transformation of 'easily soluble' Fe- and Al-phosphates (–15 to –40 ppm) into 'less soluble' forms (+15 to +20 ppm). Addition of an extract of rotted straw decreased the amounts of water extractable P and 'easily soluble' Fe- and Al-phosphates but CAL-extractable P and 'less soluble' Fe- and Al-phosphates were increased.

2. Incubation of the same soil (P-enriched) with an extract of maize roots (roots: soil = 1:3) for 1 day resulted in a reduction in the fixation of fertilizer phosphate (34 as compared to 42 %) and in a decrease of fertilizer P recovered as 'less soluble' Fe- and Al-P (from 31 to 11 %); however, fixation was markedly increased after 14 days.

Einleitung

Die Zufuhr organischer Substanz zum Boden hat in mehrfacher Hinsicht positive Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit ackerbaulich genutzter Böden: zum einen wird indirekt z. B. über eine Verbesserung des Wasser- und Lufthaushaltes oder durch Erhöhung der Austauschkapazität und biologischen Aktivität die Nachlieferung von Nährstoffen verbessert, zum anderen können aber auch bestimmte Nährstoffe durch spezifische chemische Reaktionen mobilisiert werden. So wird z. B. die Löslichkeit schwerverfügbarer Phosphate über eine Chelatisierung von Fe-, Ca- und Al-Ionen durch Huminsäuren (*Elgala et al. 1976, Hashimoto 1969*), ganz besonders aber durch Fulvosäuren (*Adhikari 1971*) verbessert. Ähnliche Wirkungen können mit organischen Säuren (*Muir 1961, Bajpaj 1971, Vollert 1964*) erzielt werden, vor allem mit Citronensäure (*Deb 1967*), deren Anionen neben einer möglichen Chelatorwirkung auch in direkter Konkurrenz das Phosphation aus seinen Bindungspositionen verdrängen können.

Inwieweit solche Lösungsvorgänge im Boden für die P-Verfügbarkeit tatsächlich eine Rolle spielen können, ist trotz zahlreicher meist älterer Arbeiten noch wenig bekannt.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, verschiedene organische Substanzen, insbesondere Abfallstoffe der pflanzlichen Produktion mit unterschiedlichem Verrottungsgrad, hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Verfügbarkeit von Boden- und Düngerphosphat zu prüfen. Zunächst sollte geklärt werden, in welchem Umfang durch Zugabe von Extrakten aus unverrottetem bzw. verrottetem Stroh oder Maiswurzeln die Löslichkeit von Boden- bzw. Düngerphosphat beeinflusst werden kann.

Material und Methoden

Versuchsböden: langjährig unterschiedlich gedüngte Böden aus einem P-Dauerdüngungsversuch des Instituts, entnommen im Herbst 1973 (s. Tab. 1 und Tab. 2).

Organisches Material als Zusatz zum Boden

Extrakt aus unverrottetem Stroh: 50 g luftgetrocknetes Weizenstrohmehl (0.06 % P i. TS) wurden mit 1000 ml H₂O und 5 ml Toluol (z. Hemmung mikrobiellen Wachstums) über Nacht geschüttelt und durch Membranfiltration (mit N₂-Überdruck) geklärt. Das Filtrat wurde nach Einengen (40°C im Vakuum) mit NaOH neutralisiert, auf eine Endkonzentration von 0.5 g TS/ml eingestellt und tiefgefroren.

Extrakt aus verrottetem Stroh: 100 g luftgetrocknetes Weizenstrohmehl wurden mit 13 g Ammoniumnitrat bei 35°C unter regelmäßiger Wasserzugabe ca. 5 Wochen bebrütet. Das verrottete Stroh wurde tiefgefroren, gefriergetrocknet und wie unverrottetes Stroh extrahiert; die Klärung erfolgte durch wiederholtes Filtrieren und Zentrifugieren.

Extrakt aus Maiswurzeln: Maispflanzen wurden nach Ansaat im Quarzsandbett in vollständige Nährlösung eingesetzt und nach 5 Wochen geerntet; die Wurzeln wurden abgeschnitten, sorgfältig gewaschen, tiefgefroren und nach Gefriertrocknung fein vermahlen. 100 Pflanzen erbrachten einen Ertrag von ca. 1000 g Wurzelfrischsubstanz (TS-Gehalt: 6 %). Die Extraktion erfolgte entsprechend dem verrottetem Stroh mit einer Endkonzentration von 1 g TS/ml.

Tabelle 1: Daten des Versuchsbodens (1968)**Table 1:** Data of experimental soil (1968)

		ϕ	
Bodentyp	Ackerbraunerde	pH (KCl)	6.5
Bodenart	sandig-toniger Lehm	Ges. K ₂ O	1.60 %
Grobsand	12 %	Ges. P ₂ O ₅	0.17 %
200-2000 μ m			
Feinsand	44 %	T-Wert	20 mval/ 100 g Boden
20- 200 μ m			
Schluff	22 %	C	0.9 %
2- 20 μ m			
Ton	22 % (ohne Zerstörung der organischen Substanz)	C/N-Ver- hältnis	10
< 2 μ m			

ϕ = Durchschnittswerte aus allen Parzellen des Versuchsfeldes

Tabelle 2: Bodenuntersuchung der Düngerparzellen (1973)**Table 2:** Soil analytical data in the different plots (1973)

Phosphatwerte (ppm P)	Düngung			Phosphat ⁴
	ohne P ¹	Stallmist ²	Stroh ³	
Ges.-P	611	679	638	823
H ₂ O-P	3.9	9.5	7.0	25.7
DL-P	10.8	21.3	17.0	76.3
NH ₄ Cl-P ⁵	1.7	3.9	2.3	13.4
NH ₄ F-P ⁵	21.8	28.3	35.5	70
NaOH-P ⁵	75.5	96.5	91.6	133
H ₂ SO ₄ -P ⁵	101.3	128.8	151.3	185
Σ anorg.-P	200	258	280	401
P-Adsorptions ⁶ max.	250	200	227.3	182
pH	5.9	6.4	6.1	5.9
C (%)	0.69	0.85	0.74	0.71

1 seit 1934 N-, K-Grunddüngung ohne P₂O

2 seit 1934 jedes 2. Jahr 300 dz Stallmist/ha, N-, K-Grunddüngung

3 seit 1956 auf früheren Stallmistparzellen jedes 2. Jahr 50 dz Stroh/ha + 40-50 kg N als Perlkalkstickstoff, N-, K-Grunddüngung

4 seit 1934 jährlich ϕ 78 kg P₂O₅/ha als Superphosphat (fruchtspezifische Düngung), N-, K-Grunddüngung

5 nach Chang + Jackson (1957)

6 nach Langmuir (Olsen + Watanabe 1957)

Versuchsanstellung

Bebrütung mit Strohextrakten: 100 g auf 2 mm gesiebter, luftgetrockneter Boden wurden mit 20 ml des jeweiligen Extraktes entsprechend 65 % der vollen Wasserkapazität (d. v. WK) und einigen Tropfen Toluol (z. Hemmung mikrobieller Tätigkeit) versetzt und in offenen Polyäthylenflaschen bei 22°C bis zu 14 Tagen bebrütet. Die Extrakte wurden so verdünnt, daß mit 20 ml ein Verhältnis Stroh : Boden = 1:10 (Basis TS) erreicht wurde. In den Kontrollen wurden die Böden mit 20 ml H₂O bzw. neutralisierter KH₂PO₄-Lösung entsprechend der anorganischen P-Menge im Extrakt versetzt.

Bebrütung mit Maiswurzelextrakt: Um ein möglichst enges Verhältnis Mais : Boden zu erreichen, wurden nur 30 g luftgetrockneter Boden (2 mm) mit 10 ml Maiswurzelextrakt bzw. 10 ml H₂O unter Zusatz von einigen Tropfen Toluol bebrütet (22°C, offene Polyäthylenflaschen), entsprechend 100 % d. v. WK und einem Verhältnis von 1 g Mais : 3 g Boden. In einer zweiten Versuchsreihe wurden zusätzlich noch 430 mg P/kg Boden als KH₂PO₄ zugesetzt.

Nach Abschluß der Bebrütung (jeweils 2 Parallelen) wurden die Böden mit flüssigem N schockgefroren, gefriergetrocknet und der wasserlösliche P nach *Köster* (LUFÄ-Mitteilung) in Anlehnung an V. D. *Paauw* und *Sissing* (1969), der CAL-lösliche P nach *Schüller* (1969) und die P-Fractionen nach *Scharafat* (1969/70; mit 1 g weitgehend homogenisiertem Boden) ermittelt. Die P-Bestimmung erfolgte im Falle des CAL-P nach der Vanadatmethode, in allen anderen Fällen mit einer Molybdänblaumethode nach *John* (1970).

Ergebnisse

Zusatz von wässrigem Extrakt aus unverrottem Stroh

Eine Zugabe von Strohextrakt (unverrotet) erhöhte zwar die Werte für H₂O- bzw. CAL-Phosphat in beiden Böden (Tab. 3); diese Zunahme entsprach aber unter Berücksichtigung der Fehlerschwankung weitgehend der P-Menge des zugesetzten Extraktes (s. KH₂PO₄-Vergleichslösung).

Im P-gedüngten Boden führte der Strohextrakt nach 14 Tagen Bebrütung sogar zu einer Verringerung der extrahierten P-Menge verglichen mit KH₂PO₄.

Die Fraktionierung der Böden im Anschluß an die Bebrütung ergab folgendes Bild (Tab. 4): das dem P-Gehalt des Extraktes entsprechend verabreichte KH₂PO₄ wurde hauptsächlich in den beiden NaOH-Fractionen wiedergefunden. Im Vergleich dazu verringerte der Strohextrakt die Werte der 0.01 n NaOH-Fraktion (\cong „leichtlöslicher“ Fe- + Al-P), statt dessen wurde erheblich mehr P als „schwerer lösliches“ Fe- und Al-Phosphat (0.1 n NaOH-Fraktion) wiedergefunden. In beiden Böden sanken unabhängig von der Bebrütungsdauer die „leichtlöslichen“ Fe- und Al-Phosphate sogar unter die Werte der unbehandelten Kontrolle ab; Strohextraktzugabe bewirkte also trotz des mitgeführten anorganischen P sogar einen Rückgang der leichter löslichen nativen Fe- und Al-P-Formen. Die Ca- P-Fraktion (0.5 n H₂SO₄) zeigte uneinheitliche Schwankungen meist innerhalb der Fehlergrenzen.

Tabelle 3: P-Gehalte in Böden nach Bebrütung mit Extrakt aus unverrottetem Stroh. Ansatz: 65 % d. v. WK – 22°C – Toluolzusatz. P-Zufuhr mit Strohextrakt \triangleq 18.2 ppm

Table 3: P-values in soils after incubation with an extract of unrotted straw. Exp. cond.: 65 % of total water capacity – 22°C – addition of toluene. P added with extract \triangleq 18.2 ppm

Bebr. dauer (Tage)	Bebrütungszusatz	H ₂ O-P (ppm)	CAL-P
Boden ohne P-Düngung			
1	Kontrolle	1.6	20.1
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	4.8	29.2
	Strohextrakt	5.3*	29.0*
14	Kontrolle	1.7	22.8
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	3.4	23.6
	Strohextrakt	3.5	25.6*
Boden mit P-Düngung			
1	Kontrolle	20.7	85.6
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	29.2	98.5
	Strohextrakt	23.3*	98.9
14	Kontrolle	19.7	70.4
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	25.8	76.6
	Strohextrakt	21.9	69.9

∅ Fehlerschwankung: H₂O-P = \pm 0.5 ppm, CAL-P = \pm 1 ppm

* = einzelner Analysenwert ohne Wiederholung

Zusatz von wässrigem Extrakt aus verrottetem Stroh

Da in der Praxis normalerweise das Stroh nach der Ernte auf dem Feld verbleibt und einer gewissen natürlichen Rotte unterliegt, bevor es in den Boden eingearbeitet wird, wurde die Wirkung eines Extraktes aus gut verrottetem Stroh geprüft.

Die H₂O- und CAL-Extraktionen lieferten in diesem Fall gegensätzliche Ergebnisse (Tab. 5); es wurde durchwegs etwas weniger H₂O-P, aber meist mehr CAL-P extrahiert als im KH₂PO₄-Vergleichsansatz; durch Zusatz von Extrakt aus Rottestroh wurde anorganisches Phosphat offenbar in eine Form überführt, die stärker im CAL-Extrakt erfaßt wird. Eine Vorhersage, wie sich dies auf die P-Versorgung der Pflanzen auswirkt, ist kaum möglich.

Die Fraktionierung der gleichen Böden nach *Scharafat* (Tab. 6) ergab nach Zusatz von Extrakt aus verrottetem Stroh unabhängig von der Bebrütungsdauer gegenüber dem Zusatz von KH₂PO₄ meist deutlich geringere Werte in der 0.01 n NaOH- und in der Regel etwas höhere Werte in der 0.1 n NaOH-Fraktion; es lagen somit weniger „leichtlösliche“ und mehr „schwerer lösliche“ Fe- und Al-Phosphate vor, verglichen mit dem KH₂PO₄-

Tabelle 4: P-Fractionen in Böden nach Bebrütung mit Extrakt aus unverrottetem Stroh. Ansatz: 65 % d. v. WK – 22°C – Toluolzusatz. P-Zufuhr mit Strohextrakt \cong 18.2 ppm

Table 4: P-fractions in soils after incubation with an extract of unrotted straw. Exp. cond.: 65 % of total water capacity – 22°C – addition of toluene. P added with extract \cong 18.2 ppm.

Bebr.- dauer (Tage)	Bebrütungszusatz	sukzessive Extraktion mit		
		0.01 n NaOH	0.1 n NaOH (ppm P)	0.5 n H ₂ SO ₄
Boden ohne P-Düngung				
1	Kontrolle	33.1	72.9	121.5
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	46.7	79.7*	126.4*
	Strohextrakt	26.6*	93.4	115.9*
14	Kontrolle	28.7	69.0	120.0
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	36.7	75.0	121.9
	Strohextrakt	23.0	88.0	121.9
Boden mit P-Düngung				
1	Kontrolle	92.4	131.2	189.6
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	97.9	150.7	190.4
	Strohextrakt	64.8	166.2	196.1
14	Kontrolle	88.4	126.1	198.5
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	99.8	138.1	195.2
	Strohextrakt	58.4	156.1	195.1

∅ Fehlerschwankung = \pm 2 ppm

* = einzelner Analysenwert ohne Wiederholung

Zusatz. Mit Ausnahme der kurzzeitigen Bebrütung des P-armen Bodens sanken die „leichtlöslichen“ Fe- und Al-Phosphate sogar unter die unbehandelte Kontrolle ab; damit wurde also auch Bodenphosphat in schwerer lösliche Formen überführt.

Zusatz von Extrakt aus Maiswurzeln

Da aus Wurzeln stammende lösliche organische Substanzen sowohl während des Pflanzenwachstums als auch im Verlauf der Rotte auf die P-Dynamik des Bodens einwirken können, wurden den Böden im folgenden Versuch Extrakte aus Maiswurzeln neben Düngerphosphat zugesetzt und die Veränderung der P-Fractionen untersucht.

In Tab. 7 wurde die Menge des nach Wasserextraktion wiedergefundenen Düngerphosphates als Differenz (Δ P) zwischen dem extrahierten Phosphat mit (+P) und ohne P-Düngung (-P) errechnet und danach das festgelegte Phosphat in % der Düngergabe angegeben. Durch Bebrütung des P-gedüngten Bodens mit Maiswurzelextrakt ergab sich

Tabelle 5: P-Gehalte in Böden nach Bebrütung mit Extrakt aus verrottetem Stroh. Ansatz: 65 % d. v. WK – 22°C – Toluolzusatz. P-Zufuhr mit Strohextrakt \cong 10.3 ppm. (Stroh vorher 5 Wochen bei 35°C und H₂O-Sättigung unter NH₄NO₃-Zugabe verrottet)

Table 5: P-values in soils after incubation with an extract of rotted straw. Exp. cond.: 65 % of total water capacity – 22°C – addition of toluene. P added with extract \cong 10.3 ppm (straw was previously incubated to rot at 35°C under water saturation and addition of NH₄NO₃)

Bebr. dauer (Tage)	Bebrütungszusatz	H ₂ O-P	CAL-P (ppm)
Boden ohne P-Düngung			
1	Kontrolle	2.4	16.9
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	4.0	21.0
	Strohextrakt	2.3	26.1
14	Kontrolle	2.5	19.2
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	3.6	21.8
	Strohextrakt	2.6	25.1
Boden mit P-Düngung			
1	Kontrolle	24.1	77.1
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	28.9	77.1
	Strohextrakt	21.9	84.3
14	Kontrolle	21.2	79.9
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	26.7	84.8
	Strohextrakt	21.0	85.6

∅ Fehlerschwankung: H₂O-P = \pm 0.4 ppm. CAL-P = \pm 1.2 ppm

nach wässriger Extraktion eine kurzfristige Verringerung der P-Festlegung (von 42 auf 34 %); nach 14 Tagen war diese gegenüber der Kontrolle aber erheblich erhöht. Vermutlich wurde die P-Sorption des Bodens nach 1 Tag Bebrütung durch kurzlebige aktive organische Substanzen des Maiswurzelextraktes verringert; im weiteren Verlauf der Bebrütung kam es aber zu einer verstärkten P-Fixierung.

Nach der *Scharafat*-Fraktionierung der Bodenproben wurde in jeder Fraktion das wiedergefundene Düngerphosphat als Differenz Δ P zwischen den Gehalten mit (+P) und ohne P-Düngung (–P) errechnet und in % der zugesetzten P-Menge angegeben (Tab. 8).

Unter dem Einfluß des Extraktes ging nach einem Tag Bebrütung der Anteil der 0.1 n NaOH-Fraktion im Vergleich zur Kontrolle stark zurück (von 31 auf 11 %). Nach 14 Tagen Bebrütung mit Maiswurzelextrakt zeigten die beiden NaOH-Fraktionen so große Fehlerschwankungen, daß die zunehmende Tendenz ungesichert ist. In der H₂SO₄-Fraktion wurde überhaupt kein Dünger-P mehr gefunden.

Tabelle 6: P-Fractionen in Böden nach Bebrütung mit Extrakt aus verrottetem Stroh. Ansatz: 65 % d. v. WK – 22°C – Toluolzusatz. P-Zufuhr mit Strohextrakt \cong 10.3 ppm
(Stroh vorher 5 Wochen bei 35°C und H₂O-Sättigung unter NH₄NO₃-Zugabe verrottet)

Table 6: P-fractions in soils after incubation with an extract of unrotted straw. Exp. cond.: 65 % of total water capacity – 22°C – addition of toluene. P added with extract \cong 10.3 ppm.
(straw was previously incubated to rot at 35°C under water saturation and addition of NH₄NO₃)

Bebr. dauer (Tage)	Bebrütungszusatz	sukzessive Extraktion mit		
		0.01 n NaOH	0.1 n NaOH (ppm P)	0.5 n H ₂ SO ₄
Boden ohne P-Düngung				
1	Kontrolle	30.0	66.2	127.1
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	31.5	72.1	127.1
	Strohextrakt	31.1	78.0	129.0
14	Kontrolle	29.8	64.0	129.8
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	33.4	77.3	132.8
	Strohextrakt	25.8	77.3	132.8
Boden mit P-Düngung				
1	Kontrolle	87.1	122.9	192.2
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	95.0	127.7	194.1
	Strohextrakt	76.1	134.8	197.0
14	Kontrolle	80.7	127.4	194.2
	KH ₂ PO ₄ -Vergleichslösung	84.1	133.0	191.4
	Strohextrakt	70.5	137.6	194.2

∅ Fehlerschwankung = \pm 2 ppm

Tabelle 7: P-Festlegung im P-gedüngten Boden nach Bebrütung mit Maiswurzelextrakt. Ansatz: 100 % d. v. WK – 22°C – Toluolzusatz. P-Zufuhr mit Maiswurzelextrakt \cong 1057 ppm. P-Gabe in Serie „+P“ \cong 430 ppm P als KH₂PO₄

Table 7: Fixation of P in the P-treated soil after incubation with maize root extract. Exp. cond.: 100 % of total water capacity – 22°C – addition of toluene. P added with extract \cong 1057 ppm. P added in series „+P“ \cong 430 ppm as KH₂PO₄

Bebr. dauer (Tage)	Bebrütungszusatz	–P	+P	Δ P	P _{festgelegt}
		P _{extrahiert} (ppm)		(ppm)	(%)
1	Kontrolle	18.3	268.1	249.8	42
	Maiswurzelextrakt	859.7	1 144.0	284.3	34
14	Kontrolle	18.0	246.7	228.7	47
	Maiswurzelextrakt	720.0	864.7	144.7	66

∅ Fehlerschwankung = \pm 5 ppm

Tabelle 8: P-Fractionen im P-gedüngten Boden nach Bebrütung mit Maiswurzelextrakt. Ansatz: 100 % d. v. WK - 22°C - Toluolzusatz. P-Zufuhr mit Maiswurzelextrakt \triangleq 1057 ppm. P-Gabe in Serie „+P“ \triangleq 430 ppm P als KH_2PO_4

Table 8: P-fractions in the P-treated soil after incubation with maize root extract. Exp. cond.: 100 % of total water capacity - 22°C - addition of toluene. P added with extract \triangleq 1057 ppm. P added in series "+P" \triangleq 430 ppm as KH_2PO_4

Bebr. dauer (Tage)	Bebrütungs-zusatz	P-Fractionen	-P P _{extrahiert} (ppm)	+P	Δ P (ppm)	P _{wiedergef.} (%)
1	Kontrolle	0.01 n-NaOH	94.3	350.3	256.0	60
		0.1 n-NaOH	134.5	266.9	132.4	31
		0.5 n-H ₂ SO ₄	210.0	251.5	41.5	10
	Maiswurzel-extrakt	0.01 n-NaOH	622.5	898.1*	275.6	64
		0.1 n-NaOH	562.8	610.6	47.8	11
		0.5 n-H ₂ SO ₄	402.6	457.0	54.4	13
14	Kontrolle	0.01 n-NaOH	86.8	360.1	273.3	64
		0.1 n-NaOH	136.6	264.8	128.2	30
		0.5 n-H ₂ SO ₄	203.9	240.0	36.1	8
	Maiswurzel-extrakt	0.01 n-NaOH	586.0*	900.2	314.2	73
		0.1 n-NaOH	584.6	664.0*	79.4	18
		0.5 n-H ₂ SO ₄	462.4	436.8*	-25.6	-6

∅ Fehlerschwankung = \pm 5-6 ppm

* Fehlerschwankung = ca. \pm 30 ppm

Dies deutet darauf hin, daß durch Zusatz des Wurzelextraktes zunächst die Bildung von „schwerer löslichen“ Fe- und Al-Phosphaten gehemmt wurde; mit Dauer der Bebrütung muß es daneben aber auch zur Lösung von Ca-Phosphaten gekommen sein.

Diskussion

Der Zusatz von *Extrakt aus unverrottetem Stroh* (Stroh : Boden = 1:10) zur Bebrütung von Böden mit unterschiedlichem P-Gehalt hatte zwar keine über die P-Zufuhr durch den Strohextrakt hinausgehende Wirkung auf die H₂O- und CAL-P-Fraktion innerhalb von 14 Tagen, der Rückgang der „leichtlöslichen“ Fe- und Al-Phosphatfraktion (-15 bis -40 ppm) und die Zunahme der „schwerer löslichen“ Fe- und Al-Phosphate (+15 bis +20 ppm) zeigte aber eine geringe, durch H₂O- und CAL-Extraktion nicht erfaßbare Umwandlung auch des Bodenphosphats in schwerer extrahierbare Formen an.

Dies läßt sich zum einen erklären durch eine Sorption oder Bindung des Phosphats an organische Substanzen, die mit dem Strohextrakt zugeführt werden. Solche organischen P-Verbindungen, etwa in der Art von Phosphohumokomplexen, können theoretisch im

0.1 n NaOH-Extrakt gelöst und dort durch die methodisch bedingte Ansäuerung vor der P-Bestimmung gespalten werden. *Gaur* (1970) beschreibt das Auftreten solcher Phosphohumokomplexe bei neutralen bis basischen pH-Werten und niedriger Humatkonzentration. Zum anderen ist auch eine verstärkte mikrobielle P-Festlegung nach Extraktzusatz nicht auszuschließen. Für solche mikrobiell gebildeten primären organischen P-Verbindungen gilt prinzipiell dasselbe wie für die postulierten Phosphohumokomplexe: sie werden vermutlich im 0.1 n NaOH-Extrakt gelöst und bei der Ansäuerung hydrolysiert; sie können aber auch im (sauren) CAL-Extrakt unter Abspaltung und damit Erfassung des Phosphations hydrolysiert werden.

Die erstgenannte Hypothese ist unseres Erachtens wahrscheinlicher, da wir nach Toluolzusatz zumindest am ersten Bebrütungstag eine mikrobielle Aktivität ausschließen können, sich die beschriebenen Vorgänge aber auch zu diesem frühen Zeitpunkt zeigen. Möglicherweise wieder einsetzende mikrobielle Umsetzungen im späteren Verlauf der vierzehntägigen Bebrütung zeigten keine deutlich darüber hinausgehenden Einflüsse.

Die Ergebnisse nach Zusatz eines *Extraktes aus verrottetem Stroh* unterschieden sich vom bisher Gesagten hauptsächlich durch geringere H_2O - (-1 bis -7 ppm) und höhere CAL-P-Werte (+1 bis +7 ppm). Es erfolgt demnach eine deutlichere Umwandlung von leichtlöslichem Phosphat in schwerer lösliche Formen; d. h., auch hier binden vermutlich Huminsäuren des Extraktes das Boden-Phosphat. Da diese Komplexverbindungen sich in Wasser nur teilweise lösen, beim sauren pH-Wert des CAL-Extraktes aber nicht stabil sind, lassen sich die unterschiedlichen Ergebnisse von unverrottetem und verrottetem Stroh aufgrund der Gehalte an Huminsäuren erklären. Wengleich dies der Lehrmeinung von einem positiven „Humateffekt“ widerspricht, sprechen dafür Beobachtungen von *Swenson* (1949), *Sinha* (1971) und *Elgala* (1976) über die sehr unterschiedliche Wirkung von Huminsäuren bzw. die Stabilität von Phosphohumokomplexen.

Im Vergleich dazu ergaben sich, wenn auch in einer geänderten, nicht direkt vergleichbaren Versuchsanordnung, für den *Extrakt aus Maiswurzeln* (Wurzel : Boden = 1:3) positivere Auswirkungen auf die Phosphatmobilität. Die Bebrütung verringerte kurzfristig (1 Tag) die Immobilisierung von zugesetztem Düngerphosphat um 8%; gleichfalls wurde weniger Düngerphosphat in „schwerer lösliches“ Fe- und Al-Phosphat überführt. Das beruhte möglicherweise auf einer Verringerung der P-Sorption des Bodens durch zugeführte wasserlösliche organische Substanzen des Extraktes. Im weiteren Verlauf der Bebrütung (nach 14 Tagen) kam es dann wahrscheinlich mit nachlassender Toluolwirkung zum Abbau dieser Verbindungen – denkbar sind Ca-P-lösende Umsetzungsprodukte – sowie vermutlich zu einer Zunahme der mikrobiellen P-Fixierung. In Übereinstimmung damit wurde von *Koepke* (1969) die Abnahme von Chelatoren im Verlauf des Maiswurzelabbaus beschrieben.

Ein von einigen Autoren beobachteter positiver Einfluß organischer Substanzen auf die P-Mobilität, der allgemein der Wirkung von freiwerdenden organischen Chelatoren zugeschrieben wird (*Dalton et al.* 1952, *Gaur* 1970, *Struthers* und *Sieling* 1950), konnte somit für Maiswurzeln nachgewiesen werden. Angesichts der zur Erzielung meßbarer Wirkungen notwendigen hohen Konzentration an organischem Material, die auch aus den meisten Arbeiten mit organischen Chelatoren bekannt sind (z. B. *Kar* 1973), sowie der

schnellen Abbaubarkeit dieser Verbindungen, dürften Vorgänge dieser Art im Freiland jedoch nur sehr kurzfristig und eng begrenzt auf die unmittelbare Umgebung des Düngers bzw. der Wurzeln wirksam werden.

Literatur

- Adhikari, M., Ganguly, T. K.* (1971): The influence of organic matter on soil phosphorus availability. *Agrokemia es Talajtan* **20**, 549–558
- Bajpaj, P. D., Rao, W. V. B. S.* (1971): Phosphorus-solubilizing bacteria II. Extracellular production of organic acids. *Soil Sci. a. Plant Nutr.* **17**, 44–45
- Chang, S. C., Jackson, M. L.* (1957): Fractionation of Soil-P. *Soil Sci.* **84**, 133–144
- Dalton, J. D., Russell, G. C.* (1952): Effects of organic manure on P-uptake. *Soil Sci.* **73**, 173–181
- Deb, D. L., Datta, N. P.* (1967): Effect of associating anions on phosphorus retention in soil. *Plant and Soil* **26**, 303–316
- Elgala, A. M., El Damaty, A. H., Abdel-Latif, J.* (1976): Comparative ability of natural humus material and synthetic chelates in extracting Fe, Mn, Zn and Ca from soils. *Z. Pflanzenernährung, Bodenk.* **3**, 301–307
- Gaur, A. C.* (1970): Studies on the availability of phosphate as influenced by humic acid. *Agrochimica* **14**, 62–65
- Hashimoto, Y.* (1969): Inhibiting effect of humates and nitro-humates on P-fixation in soil. *Soil Sci. a. Plant Nutr.* **16**, 184–185
- John, M. K.* (1970): Colorimetric determination of P in soil and plant materials with ascorbic acid. *Soil Sci.* **109**, 214–217
- Kar, A. K.* (1973): Release of native P by some complexing agents in acidic soils. *Technology* **10**, 79–81
- Koepke, K.* (1969): Investigations on complex-forming substances in decomposing roots. *Albrecht-Thaer-Arch.* **13**, 699–709
- Muir, J. W., Logan, J., Bown, C. J.* (1964): The mobilization of iron by aqueous extracts of plants. *J. Soil Sci.* **15**, 220–225
- Olsen, S. R., Watanabe, F. S.* (1957): A method to determine a phosphorus maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **21**, 144–149
- Paauw, F. v. d., Sissing, H. A.* (1969): Die Lösung der Bodenphosphorsäure bei wässriger Extraktion. *Landwirtsch. Forsch. SH 23/II*, 102–120
- Scharafat, J.* (1969/70): Vorschlag einer verbesserten Methode zur Fraktionierung des Bodenphosphats. *Die Phosphorsäure* **28**, 272
- Schüller, H.* (1969): Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren P im Boden. *Z. Pflanzenernährung, Düng. Bodenk.* **123**, 48–68
- Sinha, M. K.* (1971): Organo-metallic phosphates. *Plant and Soil* **35**, 471–484
- Struthers, P. H., Sieling, D. H.* (1950): Investigations on formation of chelates and solubilization of P by organic anions. *Soil Sci.* **69**, 205–213
- Swenson, R. M., Cole C. V.* (1949): Fixation of phosphate by Fe + Al and replacement by organic and inorganic ions. *Soil Sci.* **67**, 3–22
- Vollert, C. A. W.* (1964): Mobilisierungsvorgänge an Calcium-, Eisen- und Aluminiumphosphaten durch Chelatoren aus dem Wurzelraum von Luzerne und Steinklee. *Diss. Landw. Fak. Göttingen*