

(Aus dem Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen)

Der Einfluß verschiedener N-Dünger auf die Pflanzenverfügbarkeit von Rohphosphat und Monokalziumphosphat

VON TAYE BEKELE und W. HÖFNER

Zusammenfassung

In Gefäßversuchen mit Gerste und Mais im Gewächshaus wurde der Einfluß von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ und Blutmehl auf die Freisetzung von P aus Marokko-Rohphosphat (RP) und Monokalzium-Phosphat (MCP) auf drei schwach sauren Böden (Holetta, Jima [Äthiopien] und Pettenbrunn [Deutschland]) untersucht. Bei Düngung mit schwerlöslichem Phosphat (RP) führte die Zugabe von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ zu den höchsten Trockenmasseerträgen und P-Aufnahmen. Bei Düngung mit löslichem Phosphat (MCP) trat dieser Effekt nicht auf, obwohl $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - und $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ -Düngung den pH-Wert der Böden wie im Falle der Düngung mit RP senkten.

Bei Düngung von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ zusammen mit RP oder MCP wurde eine deutliche, bei Harnstoff- und Blutmehlgaben eine etwas schwächere pH-Absenkung erzielt. Im Gegensatz hierzu stieg der pH-Wert der Böden nach Zugabe von $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ zusammen mit den verschiedenen P-Düngern an.

Das im Boden verbliebene Rest-Phosphat inklusive der Gerstenwurzeln hatte auf Erträge und P-Aufnahme von Mais als Nachfrucht keinen Einfluß, mit Ausnahme auf dem Boden Pettenbrunn, der im Vergleich mit den Böden Jima und Holetta weniger P-fixierende Komponenten (Fe- und Al-Oxide) enthält.

Die P-Fraktionierung bei Versuchsende zeigte, daß das von den Pflanzen nicht aufgenommene Phosphat zum größten Teil in weniger lösliche Formen übergegangen war. Dabei nahmen die Anteile an schwerlöslichen Fe-Al-Phosphaten stärker zu als die von Ca-Phosphat.

The effects of various N-sources on the availability of phosphate from rock phosphate and mono-calcium phosphate

Summary

The effects of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and blood meal on the amount of available P released to barley (*Hordeum vulgare* L.) and maize (*Zea mays* L.) from Morocco rock phosphate (RP) and monocalcium phosphate (MCP), applied to slightly acid soils from Holetta, Jima (Ethiopia) and Pettenbrunn (Germany) were studied under greenhouse conditions. When the sparsely soluble P-source (RP) was used, application of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ gave the highest dry matter yield and

P-uptake. When the soluble P-source (MCP) was used, no significant effect of N-form on P-uptake or dry matter yield of plants was observed, although $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ applications decreased the pH of the soils as when applied with RP. The increased P-uptake due to $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ application appears to have resulted both from soil acidification and increased plant growth.

When N was applied as $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ together with either RP or MCP remarkable pH decreases on all the soils were observed. Although not so pronounced as $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ and blood meal when applied with either P-sources had also a pH decreasing effect on all the three soils. Unlike to the other N-sources, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ increased the pH of each of the soils when applied with either P-sources.

The residual P including root residues had no effect on the dry matter yield and P-uptake of maize (second crop), except on Pettenbrunn soil, which contained less P-fixing components (Fe- and Al-oxides) as compared with that of Holetta or Jima.

Fractionation of phosphorus carried out at the end of the experiment showed that the major part of the applied phosphorus, that was not taken up by the plant, was transformed to a larger extent to difficultly soluble Fe- and Al-P and to a smaller extent to Ca-P forms.

1. Einleitung

Zahlreiche P-Düngungsversuche haben gezeigt, daß Rohphosphate auf stark sauren bis neutralen Böden mit niedrigem P-Gehalt eine preiswerte Alternative, verglichen mit wasserlöslichem Phosphat, sind. Aber oft lagen die Erträge der mit Rohphosphaten gedüngten Varianten unter denen, die mit wasserlöslichem P gedüngt wurden (HAMMOND et al. 1986). Die steigenden Preise von wasserlöslichen P-Düngerformen führten besonders in den Agrarländern der Tropen und Subtropen zu Bemühungen, die Wirkung der verschiedenen P-Dünger zu verbessern. Untersuchungen zu dieser Frage haben gezeigt, daß durch die Zugabe von N-Dünger die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphats und damit der Ertrag stark beeinflußt wird, besonders als Folge von pH-Veränderungen in der Rhizosphäre. Die Form des N-Düngers, z. B. ob Nitrat oder Ammonium, ist dabei von entscheidender Bedeutung (ARTHORP et al. 1987, THOMSON et al. 1993).

Es gibt widersprüchliche Angaben über die Beeinflussung der P-Aufnahme aus Rohphosphat durch die Wurzelentwicklung einerseits und die chemisch bedingte Ansäuerung des Bodens andererseits. Nach PRJANISCHNIKOW (1934) wirkt Ammoniumsulfat als ein physiologisch saurer Dünger dadurch, daß die Pflanzen mehr vom basischen als vom sauren Anteil aufnehmen. Dadurch lassen die Wurzeln einen sauren Rest im Boden zurück, der RP verfügbar macht. Umgekehrt liegen nach ihm die Verhältnisse bei Nitratdüngern. Andere Autoren sehen nicht die selektive Aufnahme bestimmter Düngeranteile, sondern rein chemische oder mikrobielle Prozesse bei der N-Düngung als Ursache der pH-Veränderungen des Bodens (PIERRE 1928). Heute nimmt man an, daß die Form, in der Stickstoff in die Pflanzen gelangt, einen bedeutenden Einfluß auf den pH-Wert der Rhizosphäre besitzt (RAIJ und VAN DIEST 1979, BEKELE et al. 1983).

In den tropischen und subtropischen Ländern wurde Stickstoff vor allem in Form von Harnstoff gedüngt, weil er einen hohen N-Gehalt besitzt und deshalb die niedrigsten Transportkosten je kg N verursacht (ATANASIU und WESTPHAL 1976). Neben den ökonomischen Gesichtspunkten wurde aber der Einfluß des Harnstoffs auf die P-Verfügbarkeit weniger beachtet. Zur Klärung dieser Fragen und zur Ermittlung der günstigsten Stickstoffform für die Kombination mit Roh-

phosphat wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurde auch Blutmehl, ein billiges Abfallprodukt, als Alternative für die relativ teuren, importierten N-Düngerformen mit einbezogen.

2. Material und Methoden

Die Gefäßversuche wurden mit zwei rotbraunen Böden (Nitosol), aus der Krume (0–30 cm) landwirtschaftlich bedeutender Standorte (Holetta und Jima) des äthiopischen Hochlands und eines sauren Bodens aus Bayern (Pseudogley-Braunerde-Pettenbrunn, BRD) durchgeführt. Einige Angaben zu den Eigenschaften der Böden finden sich in Tabelle 1.

Tabelle 1
Chemische Kenndaten der verwendeten Böden

Standort	pH KCl	C %	P (ppm) Olsen	* KAK	Fe Dithionit-lösl. %	Al	Textur
„Holetta“ (Äthiopien)	4,9	1,88	9,3	14,9	4,7	0,7	Ton
„Jima“ (Äthiopien)	4,7	1,90	7,0	16,2	7,5	0,4	Ton
„Pettenbrunn“ (Deutschland, Bayern)	4,0	—	12,0	16,2	0,9	—	Schluff- Lehm

* KAK = Kationenumtauschkapazität, maeq./100 g Boden.

Gefäßversuch vierfach wiederholt; pro Gefäß wurden unten 350 g reiner Grobsand, darüber 350 g Boden, vermischt mit N- und P-Düngung, eingefüllt. Wasserzufuhr: 60 % max. Wasserkapazität. Versuchsdauer: 39 Tage mit Gerste (*Hordeum vulgare* L. cv. Karina).

Düngung: 100 mg N/Gef. ($\frac{1}{2}$ als Grunddüngung vor der Saat, $\frac{1}{2}$ zum Auflaufen der Pflanzen) als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, Blutmehl (12,4 % Ges. N); 20 mg P/Gef. als $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (MCP, 24,6 % Ges. P), Marokko-Rohphosphat (RP, 13 % Ges. P, 8,2 % P ameisensäurelöslich). Mikronährstoffe pro Gef.: 1,3 μg Cu, 1,9 μg Mg, 1,2 μg Co, 10,8 μg B, 54,9 μg Fe und 13,1 μg Zn.

Zur Erfassung der Nachwirkung wurden die nach der Ernte im Boden verbliebenen Wurzeln von Boden und Sand getrennt, in kleine Stücke zerschnitten, danach wieder mit dem Boden vermischt und in die Gefäße eingefüllt. Anschließend wurden die Gefäße angefeuchtet und einen Monat lang bei 17–20° C inkubiert. Dann erhielt jedes Gefäß 100 mg N in Form von NH_4NO_3 und die gleiche Menge Mikronährstoffe wie beim 1. Ansatz. Danach wurde Mais (*Zea mays* L. cv. Bastion) als 2. Versuchspflanze ausgesät und nach 39 Tagen Versuchsdauer geerntet.

P-Bestimmung: Im Pflanzenmaterial nach der Vanadat-Molybdat-Methode (GERICKE und KURMIES 1952), verfügbares P im Boden nach OLSEN et al. (1954); Fraktionierung des Bodenphosphats nach SCHARAFAT (1970).

3. Ergebnisse

Trockensubstanzertrag

Bei Düngung mit RP wurden auf dem Boden Holetta 55, 43, 38 bzw. 35 % Ertragssteigerung gegenüber der Kontrolle bei Düngung mit $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, Blutmehl, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ bzw. $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ erzielt. In ähnlicher Reihenfolge wirkten die N-Dünger auf dem Boden Jima. Beim Pettenbrunner Boden führte dagegen $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ zu den geringsten Ertragssteigerungen (Tab. 2).

Tabelle 2

Einfluß der N- und P-Düngerformen auf Trockenmassebildung (T. M.), P-Aufnahme, P-Ausnutzungs-Index (AI) und Boden-pH-Wert bei Gerste

P Düngung 20 mg/Gef.	N Düngung 100 mg/Gef.	Holetta				Jima				Pettenbrunn			
		T.M. g/ Gef.P	*P mg/ Gef.	pH H ₂ O	**AI	T.M. g/ Gef.P	P mg/ Gef.	pH H ₂ O	AI	T.M. g/ Gef.P	P mg/ Gef.	pH H ₂ O	AI
ohne P	CO(NH ₂) ₂	3,00	3,9	6,1	—	3,31	3,6	6,2	—	3,63	4,7	6,0	—
RP	(NH ₄) ₂ SO ₄	4,64	8,8	5,4	0,20	4,21	5,9	5,4	0,09	3,93	6,7	4,7	0,08
	CO(NH ₂) ₂	4,06	6,9	6,3	0,12	3,95	5,1	6,1	0,06	3,91	5,9	5,9	0,05
	Ca(NO ₃) ₂	4,13	6,6	6,3	0,11	3,41	4,1	6,4	0,02	3,84	5,4	6,1	0,03
	Blutmehl	4,28	8,1	6,2	0,17	4,02	5,6	6,1	0,08	4,55	8,2	5,7	0,14
	Mittel (MRP)		4,28	7,6	6,1	0,15	3,90	5,2	6,0	0,06	4,06	6,5	5,6
MCP	(NH ₄) ₂ SO ₄	4,46	8,9	5,4	0,20	4,85	8,2	5,3	0,18	4,84	9,2	4,5	0,18
	CO(NH ₂) ₂	4,26	7,7	5,9	0,15	4,23	7,2	6,1	0,14	4,61	9,7	5,7	0,20
	Ca(NO ₃) ₂	4,60	8,7	6,2	0,19	3,91	6,3	6,4	0,11	4,46	9,4	6,1	0,19
	Blutmehl	4,65	9,3	6,0	0,22	4,34	7,8	6,1	0,17	4,95	10,9	5,8	0,21
	Mittel (MCP)		4,49	8,6	5,9	0,19	4,33	7,4	6,0	0,14	4,72	9,8	5,5
GD 5 %:	RP-Var.:	0,54	1,0			0,35	0,4			0,53	0,9		
	MCP-Var.:	0,31	0,6			0,30	0,5			ns	1,3		

* Nährstoff-Aufnahme errechnet aus Nährstoff-Konzentration und Trockenmasse-Erträgen;

** AI = P-Ausnutzungs-Index; ns = nicht signifikant.

Tabelle 3

Nachwirkung verschiedener P-Dünger und begleitender N-Dünger auf Trockenmasseerträge und P-Aufnahme von Mais

P Dünger	N Düngung 100mg/Gef.	Holetta		Jima		Pettenbrunn	
		T.M. Erträge g/Gef.	P Aufnahme mgP/Gef.	T.M. Erträge g/Gef.	P Aufnahme mgP/Gef.	T.M. Erträge g/Gef.	P Aufnahme mgP/Gef.
ohne P	CO(NH ₂) ₂	4,89	5,9	4,22	5,1	4,02	6,0
RP	(NH ₄) ₂ SO ₄	4,95	6,4	4,30	5,2	3,57	7,2
	CO(NH ₂) ₂	4,95	5,9	4,50	5,4	4,55	7,7
	Ca(NO ₃) ₂	4,96	6,0	4,35	5,2	4,02	6,4
	Blutmehl	5,07	6,1	4,55	6,8	4,42	7,5
	Mittel (MRP)		4,98	6,1	4,43	5,7	4,14
MCP	(NH ₄) ₂ SO ₄	4,78	5,7	4,31	7,8	3,52	7,1
	CO(NH ₂) ₂	5,03	6,0	4,66	5,6	3,95	7,9
	Ca(NO ₃) ₂	5,02	6,0	4,18	5,4	4,22	7,2
	Blutmehl	5,01	6,0	4,66	5,6	4,22	8,0
	Mittel (MCP)		4,96	5,9	4,45	6,1	3,98
GD 5 %:	RP- und MCP-Varianten:	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = nicht signifikant

Bei Düngung mit MCP traten durch die N-Düngerformen keine Unterschiede im Trockenmasseertrag auf, mit Ausnahme des Bodens Jima im Falle von

$\text{NH}_4(\text{SO}_4)_2$ -Düngung. Die Nachwirkung von MCP und RP auf die Trockenmasseerträge von Mais war auf allen Böden und in allen N-Düngerkombinationen nicht signifikant unterschiedlich zur Kontrolle (Tab. 3).

P-Aufnahme

Die P-Aufnahme von Gerste aus RP wurde durch die N-Formen signifikant gesteigert, auf den Böden Holetta z. B. mit $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ um 125 %, mit Blutmehl um 108 %, mit $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ um 77 % und mit $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ um 69 % gegenüber der Kontrolle. In den mit MCP gedüngten Varianten gab es auf diesem Boden keine signifikanten Unterschiede, mit Ausnahme bei $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ gegenüber den anderen N-Varianten. Die höchste P-Aufnahme wurde bei MCP in der Blutmehl-, die niedrigste in der $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ -Variante erzielt. Auf dem Boden Pettenbrunn wurde im Versuch mit RP die P-Aufnahme durch Blutmehl um 74 %, durch $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ um 43 % und durch Harnstoff um 26 % gegenüber der Kontrolle gesteigert. Zusammengefaßt kann festgestellt werden, daß die Düngung mit $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und Blutmehl die P-Verfügbarkeit von RP, in einigen Fällen auch von MCP, stärker als alle anderen N-Formen verbessert hat. Das Rest-P hatte keinen Einfluß auf die P-Aufnahme von Mais, außer auf dem Boden Pettenbrunn (Tab. 3).

pH-Werte der Böden

Die N-Form hatte einen deutlichen Effekt auf den pH-Wert der verwendeten Böden. Die Zugabe von N als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ zu RP- oder MCP-Varianten senkte den pH-Wert gegenüber der Kontrolle bei Holetta um 0,7, bei Jima um 0,9 und bei Pettenbrunn um 1,4 Einheiten. Bei Düngung von Harnstoff und Blutmehl in Verbindung mit RP oder MCP wurde eine schwächere pH-Absenkung erzielt. Anders als die übrigen N-Formen erhöhte $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ den pH-Wert jeder der drei Böden um 0,2 Einheiten bei Zugabe zu beiden P-Düngern.

4. Diskussion

Die aus unseren Ergebnissen erkennbare deutliche Steigerung der P-Aufnahme aus Rohphosphat als Folge eines sauer wirkenden N-Düngemittels wurde auch von mehreren anderen Autoren festgestellt (VOLK 1944, TERMAN et al. 1969). Erst kürzlich konnten APTHORP et al. (1987) zeigen, daß durch sauer wirkende N-Dünger eine beachtliche Freisetzung von P aus Rohphosphat in den Boden erfolgte, die bei Ammonsulfat bis 42 % (mit pH-Wert-Absenkungen um 1,1 Einheiten) und bei Harnstoff bis 27 % (mit pH-Wert-Absenkungen um 0,5 Einheiten) des zugesetzten P erreichte.

Es konnte nachgewiesen werden, daß der durch N-Dünger erzielte Einfluß auf die Verfügbarkeit des Rohphosphats mit einer Veränderung des Boden-pH-Wertes einhergeht. JONES (1948) vermutet, daß die gesteigerte Effizienz des Rohphosphats durch gleichzeitige Düngung mit $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ sowohl auf einer Ansäuerung als auch auf einer Stimulation des Wachstums infolge der verbesserten N-Ernährung beruht. CHIEN (1979) führte den günstigen Einfluß einer Düngung mit N und P auf die durch eine allgemeine Wachstumsförderung verbesserte P-Aufnahme der Pflanzen aus Rohphosphat und weniger auf eine Verbesserung der Löslichkeit des Rohphosphats zurück. Inkubationsversuche von APTHORP et al. (1987) belegen, daß eine gesteigerte Löslichkeit von Bodenphosphat oder von Rohphosphat erst dann auftritt, wenn die durch Oxidation des Stickstoffs oder Schwefels verursachte Azidifizierung den pH-Wert des Bodens unter 5,5 absenkte.

Durch zwei Beobachtungen innerhalb der eigenen Untersuchungen wird die These der Wirksamkeit von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ auf die P-Aufnahme über beide Wege

bestätigt, womit zugleich auch die Ansichten von JONES (1948) und APTHORP et al. (1987) gestützt werden. Erstens führten mit MCP oder RP alle N-Düngerformen unabhängig von ihrer pH-steigernden oder pH-senkenden Wirkung zu signifikanten Zunahmen der P-Aufnahme und des Trockenmasseertrags. Da die Löslichkeit des Rohphosphats mit steigendem pH-Wert eines Bodens abnimmt (OLSEN et al. 1954) scheint die verbesserte Verfügbarkeit des Rohphosphats nach N-Düngung in Form des $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ eine Folge gesteigerter Wurzelaktivität und nicht der pH-abhängigen, chemisch bedingten Löslichkeit des Rohphosphats zu sein. Dagegen trat bei $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ eine weitere Zunahme der Löslichkeit des Rohphosphats infolge der Ansäuerung des Bodens (und vermutlich der zusätzlich geförderten Wurzelaktivität) auf. Das spiegelt sich in dem stärker ausgeprägten Effekt der $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - gegenüber einer $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -Düngung auf die P-Aufnahme und den Trockenmasseertrag wider. Zweitens wurden bei Verwendung des gut löslichen P-Düngers MCP keine gesicherten Einflüsse der N-Form auf P-Aufnahme und Trockenmasseertrag beobachtet, obwohl die Zugabe von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und Harnstoff den pH-Wert des Bodens gleichermaßen absenkte. Hier ist primär die Wasserlöslichkeit des MCP entscheidend, wodurch dieser P-Dünger über einen weiten Bereich der Bodenreaktion verfügbar und deshalb von den Veränderungen der Azidität unabhängig ist. Neben einer engen Beziehung zwischen sinkendem Boden-pH und steigender P-Aufnahme und Trockenmasseproduktion war bei $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, das die Pflanzenerträge am meisten steigerte, auch eine im Vergleich zu anderen N-Formen, z. B. Harnstoff, größere Ansäuerung der Rhizosphäre zu beobachten. Diese Ergebnisse stimmen mit den Beobachtungen anderer Autoren überein (APTHORP et al. 1987, VOLK 1944).

Außer den chemischen Reaktionen (Hydrolyse und Nitrifikation) verändert auch der Aufnahmevorgang selbst den pH-Wert der Rhizosphäre und spielt damit eine Rolle im Lösungsverhalten der Rohphosphate (KIRKBY und MENGEL 1967, KIRKBY 1968, AGUILAR und VAN DIEST 1981).

Das im Boden verbleibende Rest-Phosphat hatte auf Erträge und P-Aufnahme von Mais keinen Einfluß, mit Ausnahme auf dem Boden Pettenbrunn, der im Vergleich mit den Böden Jima und Holetta weniger P-fixierende Komponenten (Fe- und Al-Oxide) enthält. Die niedrigen Werte für die P-Ausnutzung sowohl in den MCR- als auch in den RP-Varianten zeigen, daß ein großer Anteil des gedüngten Phosphats nicht von der Pflanze aufgenommen wird, sondern im Boden verbleibt. Außer dieser geringen Wirksamkeit der zur ersten Vegetation gegebenen P-Düngung war auch nur ein geringer Nachwirkungseffekt

Tabelle 4

P-Fractionen (mg P/kg Boden) im Boden Holetta, gedüngt mit verschiedenen N- und P-Düngern (Probenahme am Ende des Gefäßversuchs mit Gerste)

Behandlungen	wasserlösliches P	leichtlösliches (Fe, Al)-P	schwerlösliches (Fe, Al)-P	Kalzium-P
Ungedüngter Boden	0,49	91,70	245,70	73,50
RP + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,35	100,86	301,54	89,00
RP + $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	0,35	95,96	299,44	95,96
RP + Blutmehl	0,35	90,04	299,07	90,74
MCP + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,52	97,37	301,54	95,98
MCP + $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	0,35	98,05	305,72	80,27
MCP + Blutmehl	0,35	90,39	312,00	88,12

fekt der Düngung auf P-Aufnahme und Trockenmasseertrag der Zweitfrucht zu beobachten. Beide Beobachtungen machen deutlich, daß der Boden gedüngtes P absorbiert und in eine schwer pflanzenverfügbare Form umwandelt. Diese Interpretation wird durch die nach der ersten Ernte durchgeführten Fraktionierungsuntersuchungen im Boden Holetta bestätigt (Tab. 4), nach denen die Umwandlung des von den Pflanzen nicht aufgenommenen Phosphats hauptsächlich in schwerer lösliche Fe- und Al-P-Verbindungen, in geringerem Umfang auch in Ca-P-Formen, erfolgt ist. Andere, die P-Verfügbarkeit bestimmende Faktoren, z. B. Durchwurzelung des Bodens, wurden im vorliegenden Versuch nicht untersucht.

Danksagung

Prof. Dr. A. AMBERGER und Dr. R. GUTSER, Institut für Pflanzenernährung Weihenstephan, sei für alle Diskussionen gedankt. Dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) dankt der Erstautor für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit in Form eines Graduiertenstipendiums.

Literatur

- AGUILAR, S. A. and A. VAN DIEST, 1981: Rockphosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. *Plant and Soil* 61, 27—42.
- APTHORP, J. N., M. J. HEDLEY and R. W. TILLMAN, 1987: The effects of nitrogen fertilizer form on the plant availability of phosphate from soil, phosphate rock and monocalcium phosphate. *Fertilizer Research* 12, 269—284.
- ATANASIU, N. und A. WESTPHAL, 1976: Mineraldüngerwirkung auf tropischen und subtropischen Standorten. Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung. Tropeninstitut Gießen, Reihe 1, Band 2, 39—15.
- BEKELE, T., B. J. CINO, P. A. I. EHLERT, A. A. VAN DER MASS and A. VAN DIEST, 1983: An evaluation of plantborne factors promoting the solubilization of alkline rock phosphates. *Plant and Soil* 75, 361—378.
- CHIEN, S. H., 1979: Dissolution of phosphate rock in acid soils as influenced by nitrogen and potassium fertilizers. *Soil Sci.* 127, 371—376.
- GERICKE, S. und B. O. KURMES, 1952: Die kolorimetrische Phosphorsäure-Bestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. *Z. Pflanzenern. Düng. u. Bodenk.* 69, 235—247.
- HAMMOND, L. L., S. H. CHIEN and A. U. MOKWUNYE, 1986: Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Adv. Agron.* 40, 89—140.
- JONES, U. S., 1948: Availability of phosphorus in rock phosphate as influenced by potassium and nitrogen salts, lime and organic matter. *Agron. Jour.* 40, 765—770.
- KIRKBY, E. A. and K. MENGEL, 1967: Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition., *Plant Physiol.* 42, 6—14.
- KIRKBY, E. A., 1968: Influence of ammonium and nitrate nutrition on the cation-anion balance and nitrogen and carbohydrate metabolism of white mustard plants grown in dilute nutrient solutions. *Soil Sci.* 105, 133—141.
- OLSEN, S. R., C. V. COLE, F. S. WATANABE and L. A. DEAN, 1954: Estimation of available phosphorus by extraction with sodium bicarbonate. *US Dept. Agric. Circ.* 939, 19 p.
- PRJANISCHNIKOW, N., 1934: Über das Aufschließen der Rohphosphate durch Wurzelausscheidungen der Lupine. *Die Phosphorsäure* 4, 1—23.
- PIERRE, W. H., 1928: Nitrogenous fertilizers and soil acidity: I. Effect of various nitrogenous fertilizers on soil reaction. *J. Amer. Soc. Agron.* 20, 254—269.
- RAJ, B. VAN and A. VAN DIEST, 1979: Utilization of phosphate from different sources by six plant species. *Plant and Soil* 51, 577—589.
- SCHARAFAT, I. V., 1970: Vorschlag einer verbesserten Methode zur Fraktionierung der Bodenphosphate. *Die Phosphorsäure* 28, 272—286.
- TERMAN, G. L., V. J. KILMER and S. E. ALLEN, 1969: Reactivity of phosphate rocks with acids, in relation to effectiveness for crops. *Phosphorus in Agriculture* 54, 1—9.
- THOMSON, C. J., H. MARSCHNER and RÖMHELD, 1993: Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean. *J. Plant Nutri.* 16, 493—506.

VOLK, G. W. 1944: Availability of rock and other phosphate fertilizers as influenced by lime and form of nitrogen fertilizer. *Agron J.* 36, 46–56.

(Manuskript eingelangt am 16. Dezember 1992, angenommen am 5. Mai 1993)

Anschrift der Verfasser:

Dr. TAYE BEKELE und Prof. Dr. Dr. h. c. Werner HÖFNER, Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen, Südanlage 6, D-6300 Gießen