

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

Die Wirkung einer Kalkung auf die Pflanzenverfügbarkeit von Bodenphosphat und gedüngtem Monokalziumphosphat in zwei tropischen Böden

VON TAYE BEKELE und W. HÖFNER

Zusammenfassung

In Gewächshausversuchen (Versuchsdauer 37 Tage) mit Mais wurde der Einfluß einer Kalkdüngung auf die Freisetzung von verfügbarem P aus gedüngtem Monokalziumphosphat (MCP) und Bodenphosphat auf zwei schwach sauren Böden Äthiopiens (Rotplastosol, aus Adet und Bako, $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ 4,4) und einem Vergleichsboden aus Deutschland (Pseudogley-Braunerde aus Pettenbrunn, $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ 4,0) untersucht.

Die Kalkung führte zu signifikant niedrigeren P-Aufnahmen auf dem Boden Pettenbrunn, nicht aber auf den Böden Adet und Bako. Auf dem Boden Pettenbrunn hatte die Wechselwirkung zwischen P- und Kalkdüngung einen positiven Effekt auf den Ertrag und einen negativen Effekt auf die P-Aufnahme. Dagegen war auf den Böden Adet und Bako die Wechselwirkung auf Erträge und P-Aufnahme negativ. Der ertragsmindernde Einfluß der Kalkung war auf dem Boden Adet stärker als auf dem Boden Bako. In den beiden Böden Adet und Bako wurde eine positive Kalkwirkung auf den Gehalt an pflanzenverfügbarem Bodenphosphat beobachtet, im Gegensatz zu Pettenbrunn, wo die Wirkung negativ war.

Zusätzliche Zn- und Mg-Gaben in Verbindung mit der Kalk- und P-Düngung waren ohne Einfluß auf den Trockenmasseertrag, was zeigt, daß die beobachteten Ertragsabnahmen bei Kalkung nicht durch Mg- oder Zn-Mangel bedingt waren.

Die Kalkdüngung veränderte die Gehalte des Bodens an den verschiedenen P-Formen. In allen Böden stieg der Anteil der anorganischen P-Formen außer Ca-P deutlich an. In den Böden Bako und Adet führte die Kalkung zusammen mit P-Düngung zu keinen Veränderungen der P-Fractionen. Dagegen nahmen im Pettenbrunner Boden die wasserlösliche Fe-P- und Al-P-Fraktion zu.

Eine Kalk-Nachwirkung auf den Trockenmasseertrag und die P-Aufnahme von Mais ließ sich auf keinem der drei Böden erkennen.

Schlüsselworte: Mais, Kalkung, P-Aufnahme, tropische Böden.

The effects of lime on the availability of phosphate from soil and applied mono-calcium phosphate on two tropical soils

Summary

The effects of liming in improving the availability of phosphate from soil and applied mono-calcium phosphate was investigated on two acid soils of Ethiopia (Nitosol from Bako and Adet, $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ 4.4) in comparison to an acid soil from Germany (Gleyed Gray Brown Luvisol from Pettenbrunn, $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ 4.0). Maize served as a test crop.

The application of lime to Pettenbrunn soil significantly decreased the plant P-uptake. Whereas its application to Adet and Bako soil gave no significant response. In Pettenbrunn soil, P \times lime interaction was positive for dry matter yield and negative for P-uptake, whereas it was negative for both P-uptake and dry matter yield in Adet as well as in Bako soil. The yield depressing effect of lime was more obvious and significant in Adet than in Bako soil. The response of the available-P content of the soil to lime was positive in Adet and Bako soil, but not in Pettenbrunn soil.

Additional application of Mg or Zn to both lime and lime + P treated soils had no effect on the dry matter yield, implying that the observed yield depression was not caused by lime induced Mg or Zn deficiencies.

The addition of lime had altered the contents of the different P fractions. In all the soils, all the inorganic P-forms, except Ca-P, increased substantially. In Bako and Adet soils, lime when accompanied with phosphate applications had no effect on any of the P fractions. Whereas in Pettenbrunn soil it increased the content of water soluble Fe-P and Al-P fractions.

No significant response of dry matter yield and P-uptake of maize was obtained to residual lime in all the three soils.

Key-words: maize, liming, P-uptake, tropical soils.

1. Einleitung

In den Agrarländern der Tropen und Subtropen ist die Phosphatdüngung wegen steigender Kosten der P-Dünger wirtschaftlich kaum noch vertretbar. Um bei möglichst niedrigen Kosten hohe Erträge zu erzielen, ist deshalb eine effizientere Ausnutzung des Dünger- und Bodenphosphats erforderlich.

In diesem Zusammenhang ist seit langem bekannt, daß eine Kalkung die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphat auf sauren Böden verbessert (Juo und Uzu 1977, SANCHEZ und UEHERA 1980). Durch die Kalkung kann der pH-Wert des Bodens auf ein gewünschtes, optimales Niveau eingestellt und damit die Al-Toxizität und/oder die P-Adsorption verringert werden. Außerdem fördert die Kalkung den Abbau der organischen Substanz, was zur Freisetzung von organisch gebundenem P und damit zu einer Abgabe von P in die Bodenlösung führt. Da in der Literatur sowohl von Verbesserungen als auch von Abnahmen der P-Verfügbarkeit als Folge einer Kalkung berichtet wird (AWAN 1964, MURRMANN und PEECH 1969, KAMPRATH 1973), sollte in der vorliegenden Arbeit die Wirkung einer Kalkung auf zwei tropischen Böden untersucht und einige Einflußfaktoren überprüft werden.

2. Material und Methoden

Die Gefäßversuche wurden mit rotbraunen Böden, Rotplastosol (Nitosol) aus der Krume (0 bis 30 cm) landwirtschaftlich bedeutender Standorte (Bako und Adet) 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 untersuchten Böden

Standort	pH		C %	P (ppm) Olsen	H	Al	Fe	KAK*	Fe	Al	Textur
	H ₂ O	KCl									
Bako	5,2	4,3	2,6	4,0	0,2	Spur	Spur	9,0	6,8	0,6	Ton
Adet	5,3	4,6	2,1	9,0	0,1	Spur	Spur	17,6	6,7	0,5	Ton
Pettenbrunn	4,9	4,0	—	13 (CAL)	—	—	—	16,2	0,9	—	Schluff- Lehm

* KAK = Kationenumtauschkapazität; H, Al, Fe = Austauschbare Kationen

In jedes Gefäß wurde 350 g reiner Grobsand eingefüllt. Danach wurden 350 g Boden, die vor dem Einfüllen in die Gefäße mit Ca(OH)₂ auf pH-Wert 6,5 und 7,0 aufgekalkt und mit der N- und P-Düngung gründlich vermischt worden waren, auf den Sand aufgefüllt. Die Ermittlung der zwei Kalkmengen Ca(OH)₂, die zur Erhöhung des Boden-pH-Werts auf 6,5 bzw. 7,0 verwendet wurden, erfolgte durch viertägige Inkubation mit verschiedenen Mengen an Ca(OH)₂. Nach der Aussaat wurden die Gefäße im Gewächshaus randomisiert aufgestellt und täglich auf 60 % der maximalen Wasserkapazität des Bodens gegossen.

Die N-Düngung betrug 100 mg N/Gef., wovon die Hälfte vor der Saat und die andere Hälfte nach dem Auflaufen der Pflanzen gegeben wurden. Jedes Gefäß erhielt 20 ml Hoagland A-Z-Lösung zur Mikronährstoffversorgung, 56 mg K als K₂SO₄ und 35 mg Mg als MgSO₄.

Als erste und zweite Versuchspflanze wurde Mais (*Zea mays* L., cv. Bastion) angebaut. Der Versuch wurde mit drei Varianten (vierfache Wiederholung) nach folgendem Plan durchgeführt:

Kontrolle . . . ohne Kalk, ohne P
 Kalk₁ auf pH 6 aufgekalkt mit Ca(OH)₂
 Kalk₂ auf pH 7 aufgekalkt mit Ca(OH)₂
 P₁ 25 mg P/Gef. als Ca(H₂PO₄)₂
 P₂ 50 mg P/Gef. als Ca(H₂PO₄)₂
 Kalk₁ + P₁ . . . auf pH 6 aufgekalkt + 25 mg P/Gef.
 Kalk₂ + P₂ . . . auf pH 7 aufgekalkt + 50 mg P/Gef.
 Kalk₂ + P₁ . . . auf pH 7 aufgekalkt + 25 mg P/Gef.
 Kalk₁ + P₂ . . . auf pH 6 aufgekalkt + 50 mg P/Gef.

Zur Erfassung der Nachwirkung wurden die nach der Ernte im Boden verbliebenen Wurzeln von Boden und Sand getrennt, in kleine Stücke zerschnitten und anschließend wieder mit dem Boden vermischt in die Gefäße zusammen mit dem gleichen Sand eingefüllt. Danach wurden die Böden zur Anregung der mikrobiellen Aktivität angefeuchtet und etwa einen Monat bei 17 bis 20 °C inkubiert. Als zweite Versuchspflanze wurde auf dem selben Boden Mais (*Zea mays* L. cv. Bastion) angebaut. Vor der Aussaat des Mais erhielt jedes Gefäß 100 mg N/Gef. in Form von NH₄NO₃ und 20 ml/Gef. einer Hoagland-Lösung (A-Z).

Ein zusätzliches Experiment wurde zur Erfassung eines möglichen Einflusses von Mg oder Zn auf die Düngung mit Kalk oder Phosphat durchgeführt. Hierzu wurden drei Mg-Stufen (96, 240, 360 µg Mg/g Boden) und zwei Zn-Stufen (0,7 und 9 µg Zn/g Boden) in einer Kombination mit vier Wiederholungen in jedem Versuchsboden getestet. Die Böden waren mit 70 µg P/g Boden gedüngt und auf pH 7 aufgekalkt. Nach Zugabe aller Dünger wurde wie in den anderen Versuchen Mais ausgesät.

Bei Versuchsende (jeweils nach 37 Tagen) wurde das oberirdische Pflanzenmaterial geerntet, 48 Stunden bei 70 °C getrocknet, gewogen und gemahlen. 2,5 g Proben des gemahlten Materials wurden in Kjeldahl-Kolben mit einer Mischung aus HNO₃:HClO₄=9:1 (v/v) naßverascht und nach Auffüllen auf 250 ml nach der Vanadat-Molybdat-Methode der Phosphorgehalt bestimmt (GERICKE und KURMIES 1952).

Zur Extraktion des verfügbaren P im Boden wurde die Olsen-Methode (OLSEN et al. 1954) verwendet. Die P-Fraktionierung wurde nach SCHARAFAT (1970) durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1 Trockenmasseertrag und P-Aufnahme

Die Ergebnisse des ersten Versuchsabschnittes finden sich in Tabelle 2, 3 und 4. Man kann daraus erkennen, daß bei alleiniger P-Düngung die Erträge und P-Aufnahmen stets die signifikant höchsten Werte in allen Böden erreichten. Die Kalkdüngung allein führte auf dem Boden Pettenbrunn zu einer signifikanten Abnahme im P-Gehalt und teilweise im Ertrag. Auf den Böden Adet und Bako erhöhte sie die Trockenmasseerträge nicht signifikant. Der Anstieg des P-Gehalts infolge der Kalkung war auf dem Boden Adet nicht signifikant, wohl aber auf dem Boden Bako.

Auf dem Boden Pettenbrunn führte die Wechselwirkung von P und Kalk zu höheren Trockenmasseerträgen und zu niedrigeren P-Aufnahmen besonders in

Tabelle 2

Wirkung einer Phosphat- und Kalkdüngung in verschiedenen Stufen auf Trockenmasseertrag und P-Aufnahme von Mais und den Gehalt an verfügbarem P im Boden Pettenbrunn, Deutschland

Kalk Düngung mg Ca(OH) ₂ /Gef.	P Düngung mg P/Gef.	T.-Masse- erträge g/Gef.	P Aufnahme* mg/Gef.	AI**	P Olsen ppm	
0	0	5,60	6,70	—	33,1	
	25	6,51	9,10	0,10	46,5	
	50	6,88	11,71	0,10	54,0	
	Mittel (Kalk)	6,33	9,27	0,10	44,5	
300	0	5,02	6,03	—	15,6	
	25	6,68	9,33	0,13	26,6	
	50	7,14	11,40	0,11	43,9	
	Mittel (Kalk)	6,28	8,92	0,12	28,7	
1020	0	5,47	5,62	—	26,3	
	25	6,70	8,71	0,08	37,3	
	50	7,36	10,33	0,07	62,1	
	Mittel (Kalk)	6,51	8,22	0,07	41,9	
Mittel (P)	0	5,36	6,12	—	25,0	
	25	6,63	9,05	0,10	36,8	
	50	7,13	11,15	0,09	53,3	
GD 5%	Trockenmasseerträge			P-Aufnahme		
	Kalk	P	Kalk × P	Kalk	P	Kalk × P
	0,19	0,19	0,33	0,26	0,26	0,45

* errechnet aus P-Konzentrationen und Trockenmasseerträgen

** AI = P-Ausnutzungs-Index

Tabelle 3

Wirkung einer Phosphat- und Kalkdüngung in verschiedenen Stufen auf Trockenmasseertrag und P-Aufnahme von Mais und den Gehalt an verfügbarem P im sauren, rotbraunen Boden Bako, Äthiopien

Kalk Düngung mg Ca(OH) ₂ /Gef.	P Düngung mg P/Gef.	T.-Masse- erträge g/Gef.	P Aufnahme* mg/Gef.	AI**	P Olsen ppm	
0	0	3,72	3,71	—	8,3	
	25	4,87	5,40	0,07	22,6	
	50	5,54	6,62	0,06	55,2	
	Mittel (Kalk)	4,71	5,24	0,07	28,7	
352	0	3,81	4,21	—	15,3	
	25	4,94	5,90	0,07	16,8	
	50	5,52	7,22	0,06	88,5	
	Mittel (Kalk)	4,76	5,77	0,07	40,2	
1173	0	3,56	3,94	—	16,3	
	25	4,36	5,24	0,05	26,3	
	50	4,78	5,70	0,04	40,3	
	Mittel (Kalk)	4,23	4,96	0,05	27,6	
Mittel (P)	0	3,70	3,95	—	13,3	
	25	4,72	5,51	0,06	21,3	
	50	5,28	6,51	0,05	61,3	
	Trockenmasseerträge			P-Aufnahme		
	Kalk	P	Kalk × P	Kalk	P	Kalk × P
GD 5%	0,22	0,22	0,38	0,25	0,25	0,44

* errechnet aus P-Konzentrationen und Trockenmasseerträgen

** AI = P-Ausnutzungs-Index

den hoch mit P gedüngten Varianten. Die Zugabe von Kalk zu den niedrigsten und höchsten P-Stufen führte auf diesem Boden zu einem Anstieg der Trockenmasseerträge von 5 bzw. 21 %. In den Böden Adet und Bako wurden die Trockenmassen und die P-Gehalte von Mais durch die Wechselwirkung von Kalk und Phosphat negativ beeinflusst. Der ertragsvermindernde Effekt der Kalkung trat dabei auf dem Boden Bako signifikant und deutlicher auf als auf dem Boden Adet. Gleichzeitige Düngung mit hohen Kalk- und P-Mengen führte im Boden Bako zu einer 8,6%igen Abnahme sowohl im P-Gehalt als auch im Trockenmasseertrag (Tab. 3).

Auf allen drei Böden stieg der Gehalt an verfügbarem P durch die P-Düngung deutlich an, wogegen die Kalkung in dieser Beziehung auf den Böden Adet und Bako schwach positiv und auf dem Boden Pettenbrunn negativ wirkte.

Die Trockenmasseerträge der Varianten mit Mg- und Zn-Gaben zum aufgekalkten Boden unterschieden sich auf allen drei Versuchsböden nicht signifikant von dem der Kontrolle. Auf ihre Wiedergabe wird deshalb verzichtet.

Eine Fraktionierung des Bodenphosphates (Tab. 5) läßt erkennen, daß die Kalkung allein alle P-Fractionen außer Ca-P gesteigert hat. Das Ca-P blieb relativ konstant. Auf den Böden Bako und Adet führte die Kalkung in Verbindung mit einer P-Düngung zu keiner Veränderung im Gehalt der anorganischen P-Fractionen des Bodens. Dagegen führte die gleiche Behandlung auf dem Boden Pettenbrunn zu höheren Gehalten an Fe- und Al-P (Tab. 5).

Tabelle 4

Wirkung einer Phosphat- und Kalkdüngung in verschiedenen Stufen auf Trockenmasseertrag und P-Aufnahme von Mais und den Gehalt an verfügbarem P im sauren, rotbraunen Boden Adet, Äthiopien

Kalk Düngung mg Ca(OH) ₂ /Gef.	P Düngung mg P/Gef.	T.-Masse- erträge g/Gef.	P *Aufnahme mg/Gef.	**AI	P Olsen ppm	
0	0	4,00	4,00	—	9,6	
	25	4,73	5,72	0,07	12,8	
	50	5,32	6,44	0,05	52,1	
	Mittel (Kalk)	4,68	5,39	0,06	24,8	
352	0	4,00	4,43	—	8,3	
	25	4,40	4,82	0,02	17,1	
	50	4,94	6,40	0,04	27,4	
	Mittel (Kalk)	4,45	5,22	0,03	17,6	
1173	0	3,90	4,70	—	13,1	
	25	4,54	5,41	0,03	19,0	
	50	4,89	5,90	0,02	27,7	
	Mittel (Kalk)	4,44	5,34	0,03	19,9	
Mittel (P)	0	3,97	4,38	—	10,3	
	25	4,56	5,32	0,04	16,3	
	50	5,05	6,25	0,04	35,7	
GD 5%	Trockenmasseerträge			P-Aufnahme		
	Kalk	P	Kalk × P	Kalk	P	Kalk × P
	NS	0,29	0,49	NS	0,34	0,59

* errechnet aus P-Konzentrationen und Trockenmasseerträgen

** AI = P-Ausnutzungs-Index

Tabelle 5

P-Gehalt (mg P/kg Boden) der P-Fractionen in den Böden Adet, Bako und Pettenbrunn, gedüngt mit Kalk bzw. Kalk + Phosphat (Probenahme nach Ende des Gefäßversuches mit Mais)

Fraktion	Adet			Bako			Pettenbrunn		
	Orig. Boden	nur Kalk	P+ Kalk	Orig. Boden	nur Kalk	P+ Kalk	Orig. Boden	nur Kalk	P+ Kalk
Wasserlöslich	0,6	1,0	1,4	0,3	0,6	1,1	0,6	1,0	5,5
Leichtlöslich (Fe, Al)-P	35,2	68,1	38,5	32,3	71,6	31,1	70,0	63,9	105,3
Schwerlöslich (Fe, Al)-P	153,3	169,5	159,0	83,0	123,3	86,7	71,4	88,6	105,9
Ca-P	14,0	15,3	14,5	15,3	15,3	10,4	59,5	55,7	56,2

3.2 Nachwirkung

Der Nachwirkungseffekt von Kalkung und P-Düngung auf die Trockenmasseerträge und den P-Gehalt von Mais im zweiten Versuchsabschnitt auf den Böden Adet, Bako und Pettenbrunn ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6

Nachwirkung verschieden hoher Düngergaben an Kalk und Phosphat auf Trockenmasseertrag (g/Gef.) und P-Aufnahme (mg P/Gef.) von Mais

Kalk mg Ca(OH) ₂ / Gef.	P Düngung mg P/Gef.	Adet		Bako		Pettenbrunn	
		T.-Masse- erträge	P-Auf- nahme	T.-Masse- erträge	P-Auf- nahme	T.-Masse- erträge	P-Auf- nahme
0	0	3,74	4,85	3,46	5,19	3,30	5,94
	25	4,00	5,61	3,45	5,18	3,57	6,79
	50	3,81	5,33	3,61	6,50	3,95	8,29
	Mittel (Kalk)	3,85	5,26	3,51	5,62	3,61	7,01
352	0	4,03	4,83	3,56	5,35	3,50	5,95
	25	4,00	5,20	3,82	5,73	3,65	6,93
	50	4,23	5,93	3,89	8,18	4,02	8,05
	Mittel (Kalk)	4,09	5,32	3,76	6,42	3,72	6,98
1173	0	3,81	4,95	3,73	5,23	3,60	5,76
	25	4,05	5,26	3,81	5,72	4,32	7,77
	50	4,03	5,64	3,93	5,90	4,30	8,17
	Mittel (Kalk)	3,96	5,28	3,82	5,62	4,07	7,23
Mittel (P)	0	3,86	4,88	3,58	5,26	3,47	5,88
	25	4,01	5,36	3,69	5,54	3,85	7,16
	50	4,02	5,63	3,81	6,86	4,09	8,17
GD 5%		0,36	0,49	0,27	0,43	0,53	0,98

Die P-Düngung allein hatte auf den Böden Adet und Bako einen signifikanten Nachwirkungseffekt auf den P-Gehalt von Mais, dagegen war der Einfluß auf die Trockenmasse nicht gesichert. Auf dem Boden Bako stiegen die P-Gehalte der Pflanzen bis zur höchsten P-Düngungsstufe an, auf dem Boden Adet nur bis zur P-Stufe 25 mg P/Gefäß. Auf dem Boden Pettenbrunn war sowohl beim P-Gehalt als auch beim Trockenmasseertrag ein Nachwirkungseffekt der P-Düngung zu beobachten. Allerdings reagierten die P-Gehalte sehr viel deutlicher als die Trockenmasseproduktion. Keine Nachwirkung wurden auf allen drei Böden bei der Kalkung beobachtet.

Auf allen drei Böden war bei der Nachwirkung auf den P-Gehalt und den Trockenmasseertrag teilweise eine positive Wechselwirkung zwischen Kalkung und Phosphatdüngung zu beobachten. Dieser Effekt trat auf dem Boden Pettenbrunn deutlicher als auf den anderen beiden Böden auf.

4. Diskussion

KAMPRATH (1970) empfiehlt, die Kalkdüngermengen für stark verwitterte saure Böden von pH-Werten um 5 und niedriger so zu bemessen, daß sie das austauschbare Aluminium neutralisieren können. Da in den vorliegenden Versuchen die Böden nur Spuren an austauschbarem Al aufwiesen und ihr pH-Wert über 5 lag (Tab. 1), wurden die Kalkungen so bemessen, daß der pH-Wert des Bodens auf 6,5 bis 7,0 anstieg. Die Vorstellung war, daß die Kalkung die Menge an verfügbarem Phosphat steigert, wodurch die notwendige P-Düngergabe reduziert werden kann. Entgegen diesen Erwartungen führte die Kalkung in diesen Versuchen auf den Böden Adet und Bako zu einem Abfall im Trockenmasseertrag und im P-Gehalt der oberirdischen Pflanzenteile. Ähnliche Abnahmen im Trockenmasseertrag als Folge einer Kalkung wurden auch im Feldversuch beobachtet. Eine Kalkung zu N/P₂O₅-Düngergaben von 46/46 und 92/92 kg/ha auf

einem ähnlichen rotbraunen Boden in Holetta (Äthiopien) führte zu Ertragsreduzierungen von 9 bzw. 3 % (I.A.R. 1975). Andererseits erzielte DESTA BEYENE (1987) 3 dt/ha Ertragssteigerungen bei Gerste im Feldversuch nach Zugabe von 3 t/ha Kalk zu einem sauren rotbraunen Boden in Bedi (Äthiopien).

Die Ursache der beobachteten Ertragsabnahmen nach einer Kalkung ist aus den vorliegenden Daten nicht eindeutig zu ermitteln. Allerdings läßt die Zunahme der leicht- und schwerlöslichen Fe- und Al-P-Fraktionen in den Böden Adet und Bako (Tab. 5) vermuten, daß eine P-Mobilisierung durch Kalkung stattgefunden hat, aber es scheint, daß dieses mobilisierte Phosphat größtenteils wegen seiner festen Bindung an Fe- und Al-Oxide nicht zur Ertragssteigerung genutzt wurde.

Im Falle der gleichzeitigen Zugabe von Kalk und Phosphat wurde auf den Böden Adet und Bako das gedüngte Phosphat durch Adsorption an Fe- und Al-Oxidformen aus der Lösung entfernt und in den nicht labilen Pool überführt. Diese Vermutung wird durch die Ergebnisse der Tabelle 5 gestützt. Aus diesen Daten und denen der Tabellen 3 und 4 geht hervor, daß die P-Düngung auf den Böden Bako und Adet mit hohen Gehalten an Fe- und Al-Oxiden weder den Gehalt an anorganischer P-Fraktion beeinflusste noch zur Steigerung der Trockenmasseerträge genutzt wurde. Dagegen führte die Kalkung zusammen mit P-Düngung auf dem Boden Pettenbrunn, der nur geringe Mengen an Fe- und Al-Oxiden enthält, zum Anstieg des wasserlöslichen und der leicht- und schwerlöslichen Fe- und Al-P-Fraktionen und außerdem zum Anstieg des Trockenmasseertrags. Die geringen P-Ausnutzungswerte (AI) in den Tabellen 2 bis 4 sind ein Zeichen für die hohe P-Fixierungskapazität der Böden.

HAYNES (1982) führte die Abnahme oder auch das Gleichbleiben der Verfügbarkeit von gedüngtem Phosphat als Folge einer Kalkung stark verwitterter und saurer Böden auf die Entstehung neuer, hoch aktiver und P-sorbierender Oberflächen zurück, wie sie z. B. Al-Ionen liefern, die als unlösliche, polymere Hydroxyl-Al-Kationen ausgefällt werden. SIMARD et al. (1988) beobachteten, daß P-Zugaben zu einer Abnahme der Al-Konzentration in der Bodenlösung eines Podsoles führten und schlossen daraus, daß die Ausfällung schwachlöslicher Al-Phosphate einen Mechanismus darstellt, durch den gedüngtes P aus der Lösung entfernt wird. Allerdings treffen die beiden genannten Mechanismen für die in den eigenen Versuchen verwendeten Böden nicht zu, da sie weder sehr sauer sind noch große Mengen an austauschbarem Al^{+++} enthalten. Die bei hohen pH-Werten zu beobachtende Bildung von Kaliumphosphat wurde ebenfalls als ein Grund für die verminderte P-Aufnahme nach Kalkung angesehen (Fox et al. 1964, HAYNES 1982).

Ähnliche Beobachtungen einer Ertragsabnahme als Folge einer Kalkung wurden auf die Verringerung der pflanzenverfügbaren Menge an Mg oder Zn zurückgeführt (CHRISTENSON et al. 1973, SUMNER et al. 1978, FARINA et al. 1980, GROVE et al. 1981, GROVE und SUMNER 1985). Obwohl in den eigenen Untersuchungen keine Bestimmung des Mg- und Zn-Gehalts der Pflanzen erfolgte, läßt der unveränderte Trockenmasseertrag nach zusätzlicher Mg- und Zn-Düngung vermuten, daß die beobachteten negativen Effekte einer Kalkung auf den Ertrag nicht durch Mg- oder Zn-Mangel bedingt sind.

Die geringe Nachwirkung der P-Düngung ist zum Teil auf die im ersten Versuchsabschnitt erreichte hohe Pflanzendichte zurückzuführen, die vermutlich einen großen Anteil des zu Anfang des Versuchs gedüngten P aufgenommen hat, und außerdem auf die hohe P-Fixierungskapazität der Böden. Die niedrigen Werte der P-Ausnutzung (AI) sind wie bereits erwähnt ein Hinweis auf die hohe P-Fixierungskapazität der Böden.

Danksagung

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

Literatur

- AWAN, A. B., 1964: Effect of lime on availability of phosphate in Zamorano soils. *Sci. Soc. Proc.* 28, 672—673.
- CHRISTENSON, D. R., R. P. WHITE and E. C. DOLL, 1973: Yields and magnesium uptake by plants as affected by soil pH and calcium levels. *Agron. J.* 65, 205—206.
- DESTA BEYENE, 1987: Effects of liming and N and P fertilizers on grain yield of barley Ethiop. *J. Agric. Sci.* 9, 1—12.
- FARINA, M. P. W., M. E. SUMNER, C. O. PLANK and W. S. LETZSH, 1980: Effects of pH on soil magnesium and its absorption by corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 11, 981—992.
- FOX, R. L., S. K. DE DATTA and J. M. WANG, 1964: Phosphorus and aluminium uptake by Latosols in relation to limin. *Trans. 8th Int. Congr. Soil Sci.* 4, 595—603.
- GERICKE, S. und B. O. KURMIES, 1952: Die kolorimetrische Phosphorsäure-Bestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. *Z. Pflanzenern. Düng. u. Bodenk.* 59, 235—247.
- GROVE, J. H. and M. E. SUMNER, 1985: Lime induced magnesium stress in corn: Impact of magnesium and phosphorus availability. *Soil Sci. Am. J.* 49, 1192—1196.
- GROVE, J. H., M. E. SUMNER and J. K. SYERS, 1981: Effect of lime on exchangeable magnesium in variable surface charge soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 497—500.
- HAYNES, R. J., 1982: Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant Soil.* 68, 289—308.
- I. A. R. (Institute of Agricultural Research), 1975: Holetta Guenet Research Station Progress report for the periods 1973/1974. Addis Abeba, Ethiopia.
- JUO, A. S. R. and F. O. UZU, 1977: Liming and nutrient interaction in two Ultisols from Southern Nigeria. *Plant Soil.* 47, 419—430.
- KAMPRATH, E. J., 1970: Exchangeable Al as a criterion for liming leaching mineral soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34, 252—254.
- KAMPRATH, E. J., 1973: Soil acidity and liming, pp. 126—128. In: P. A. SANCHEZ (ed.): "A Review of soils research in Tropical Latin America." North Carolina Agr. Exp. Sta. Techn. Bull. 219.
- MURMANN, R. P. and M. PEECH, 1969: Effect of pH on labile and soluble phosphates in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33, 205—210.
- 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, 19p.
- SANCHEZ, P. A. and G. UEHERA, 1980: Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E., E. C. SAMPLE and E. J. KAMPRATH (ed.): The role of phosphorus in Agriculture. Symposium proceedings, 1—3 June, 1976. ASA/CSSA/SSSA. Madison, Wisconsin, U.S.A., pp. 471—514.
- SCHARAFAT, I. V., 1970: Vorschlag einer verbesserten Methode zur Fraktionierung der Bodenphosphate. *Die Phosphorsäure* 28, 272—286.
- SIMARD, R. R., L. J. EVANS and T. E. BATES, 1988: The effects of additions of CaCO₃ and P on the soil solution chemistry of a Podzolic soil. *Can. J. Soil Sci.* 68, 41—52.
- SUMNER, M. E., M. P. W. FARINA and V. J. HURST, 1978: Magnesium fixation — a possible cause of negative yield responses to lime applications. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 9, 994—1007.

(Manuskript eingelangt am 16. Juli 1992, angenommen am 28. Oktober 1992)

Anschrift der Verfasser:

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