

Aus dem Institut für Pflanzenernährung der Justus Liebig-Universität Gießen,
Direktor: Prof. Dr. Dr. h. c. H. L i n s e r

Vergleichende Untersuchungen über die Wirksamkeit verschiedener Phosphatdüngemittel auf humiden tropischen Böden Westafrikas*)

Comparative examinations on the effect of different phosphate
fertilizers in humid tropical soils of Western Africa

Von G. O. O b i g b e s a n **) und H. K ü h n ***)

1. Einleitung

Wissenschaft und ökonomische Planung in Westafrika haben der Frage der optimal wirksamen Phosphatform in diesen Gebieten keine genügende Beachtung gewidmet. Das liegt z. T. daran, daß noch keine ausreichenden Informationen zu dieser Frage vorliegen, z. T. daran, daß die wenigen Düngemittelhersteller dem Markt nur ein einziges Produkt zur Verfügung stellen. Es gibt jedoch eine Reihe von Untersuchungen über die Wirksamkeit der Phosphatdüngung auf tropischen Böden, auch nigerianischen (*Chang*, 1961; *Enwezer & Moore*, 1966; *Unamba-Oparah*, 1968; *Obigbesan*, 1970).

Die Verfügbarkeit der Düngerphosphorsäure für die Pflanze hängt von Umsetzungen im Boden ab, die von der Zusammensetzung, der Reaktion und dem Kulturzustand des Bodens bedingt werden. In welcher Form die anorganischen Phosphatverbindungen im Boden vorliegen, hängt weitgehend vom pH des Bodens ab (*Chang & Jackson*, 1958). In neutralen und schwach alkalischen Böden herrschen Calciumphosphate vor, während in sauren

*) Auszug aus der Dissertation des Erstautors.

**) *Anschrift*: Dr. G. O. Obigbesan, Department of Agronomy, University of Ibadan, Nigeria.

***) *Anschrift*: Prof. Dr. H. Kühn, 63 Gießen, Braugasse 7.

Böden Aluminium- und Eisenphosphate überwiegen. Allgemein wird im Jahre der Ausbringung nur ein relativ kleiner Teil der Düngerphosphorsäure von den Pflanzen verwertet.

Um eine zu starke Fixierung der Düngerphosphorsäure zu verhindern, wird in den Tropen die Phosphatdüngung häufig in Form der Banddüngung ausgebracht. *Younge* und *Plucknett* (1966) schlagen vor, die Festlegungskapazität der Böden durch sehr hohe Phosphatgaben abzusättigen. Die hohen Kosten für eine solche Maßnahme werden jedoch von der Mehrzahl der Landwirte in tropischen Gebieten nicht aufgebracht werden können.

Eine andere Möglichkeit, die festlegenden Eigenschaften des Bodens zu verringern, ist die Zufuhr von Silikaten zusätzlich zur Phosphatdüngung. Hierdurch kann die Reaktion des Düngerphosphats mit dem Boden verhindert oder mindestens doch abgeschwächt werden. Besonders aussichtsreich erscheint die Verwendung von Silikophosphaten vom Typ des Rhenaniaphosphats zu sein. Die P-Fixierung im Boden kann durch lösliche Kieselsäure verhindert oder eingeschränkt werden (*Achromeiko*, 1934; *Knickmann*, 1962). Darüber hinaus kann fixiertes Phosphat durch Kieselsäure in Lösung gebracht und pflanzenverfügbar gemacht werden (*Ganssmann*, 1962). In verschiedenen Gebieten der Tropen sind günstige Wirkungen der Düngung mit Silikophosphaten beobachtet worden, so von *Zeller* (1930) auf den vulkanischen Böden Kameruns, von *Jones* (1959) auf lateritischen Böden Kenias, von *Faßbender* und *Müller* (1967) auf Latosolen in Südamerika und von *Gupta* (1971) in Indien. Aus Ghana berichtet *Ofori* (1968), daß im Oda-Gebiet Thomasphosphat auf mehr sauren Böden (pH 5,9) überlegen war, auf mehr neutralen Böden (pH 6,4) dagegen nicht voll befriedigte. *Werner* (1969) fand eine überlegene Wirksamkeit von Rhenaniaphosphat auf tropischen Böden mit pH-Werten unter 4.

Die Schwefelkomponente des Superphosphats ist zweifellos ein wichtiger Bestandteil dieses Düngemittels, speziell bei einigen Pflanzen wie z. B. der Erdnuß. Aber auch das Thomasphosphat enthält mit etwa 47% CaO, 5% Fe, 2% Mg und 3% Mn für die Ernährung der Pflanze wichtige Elemente außer dem Phosphat.

Insgesamt ist es erstaunlich, daß auf tropischen Böden das Superphosphat trotz seines hohen Gehaltes an wasserlöslicher Phosphorsäure (bis zu 90%) der am meisten verwendete P-Dünger ist. Die vorliegende Arbeit berichtet über vergleichende Untersuchungen hinsichtlich der Eignung verschiedener Phosphatdünger auf westafrikanischen Böden.

2. Material und Methoden

Die Versuchsböden, die der 0—15-cm-Schicht entnommen wurden, streuen breit hinsichtlich Herkunft, Textur und pH-Wert. Ihre Standorte, ihre physikalischen und chemischen Kennwerte werden in Tabelle 1 mitgeteilt. Zur Untersuchung wurden sie an der Luft getrocknet und auf 2 mm abgesiebt.

Table 1. Standorte und analytische Daten der Versuchsböden

Probe-Nr.	Standort	Schluff + Ton %	Boden- art	pH in H ₂ O KCl	Org. geb. Kohlen- stoff %	Austausch- kapazität MÄ/100 g Boden	P-Sorp- tion %	Bray's-Wert mg P ₂ O ₅ /100 g Boden
1.	Liberia (Monrovia)	26	Sand. Lehm	5.1/4.1	1.5	8.5	69	3.4
2.	Nigeria (Umuabi)	12	Sand	5.2/4.1	0.8	4.0	37	5.5
3.	Nigeria (Vom)	77	Ton	5.6/4.6	1.2	35.0	95	1.9
4.	Kongo (Flandria)	27	Sand. Lehm	5.7/4.5	1.0	10.0	47	8.9
5.	Nigeria (Mbwasi)	15	Sand	5.7/4.6	1.1	5.8	39	6.1
6.	Ghana (Kade)	41	Lehm	5.9/5.2	1.8	28.8	33	4.1
7.	Nigeria (Benin)	37	Sand	6.0/5.3	1.3	7.0	15	6.9
8.	Ghana (Kumasi)	38	Sand	6.4/5.5	1.9	15.8	35	3.2
9.	Ghana (Kade)	49	Schluff	6.9/6.2	2.5	19.3	31	6.4

Die pH-Messung erfolgte in Wasser und n KCl (1 : 2,5). Die Schlämmanalyse wurde mit der Pipett-Methode ausgeführt, unter Verwendung von Calgon als Dispergierungsmittel. Zur Bestimmung der P-Sorption wurde, nach Einstellung eines Gleichgewichtes zwischen dem Boden und einer 100 ppm P enthaltenden Lösung, deren P-Gehalt ermittelt. Verfügbares Phosphat wurde nach verschiedenen Methoden bestimmt (Einzelheiten bei *Obigbesan*, 1972), u. a. nach der P_1 -Methode von *Bray* und *Kurtz* bei einem Verhältnis 1 : 50 und 30 Minuten Schütteldauer.

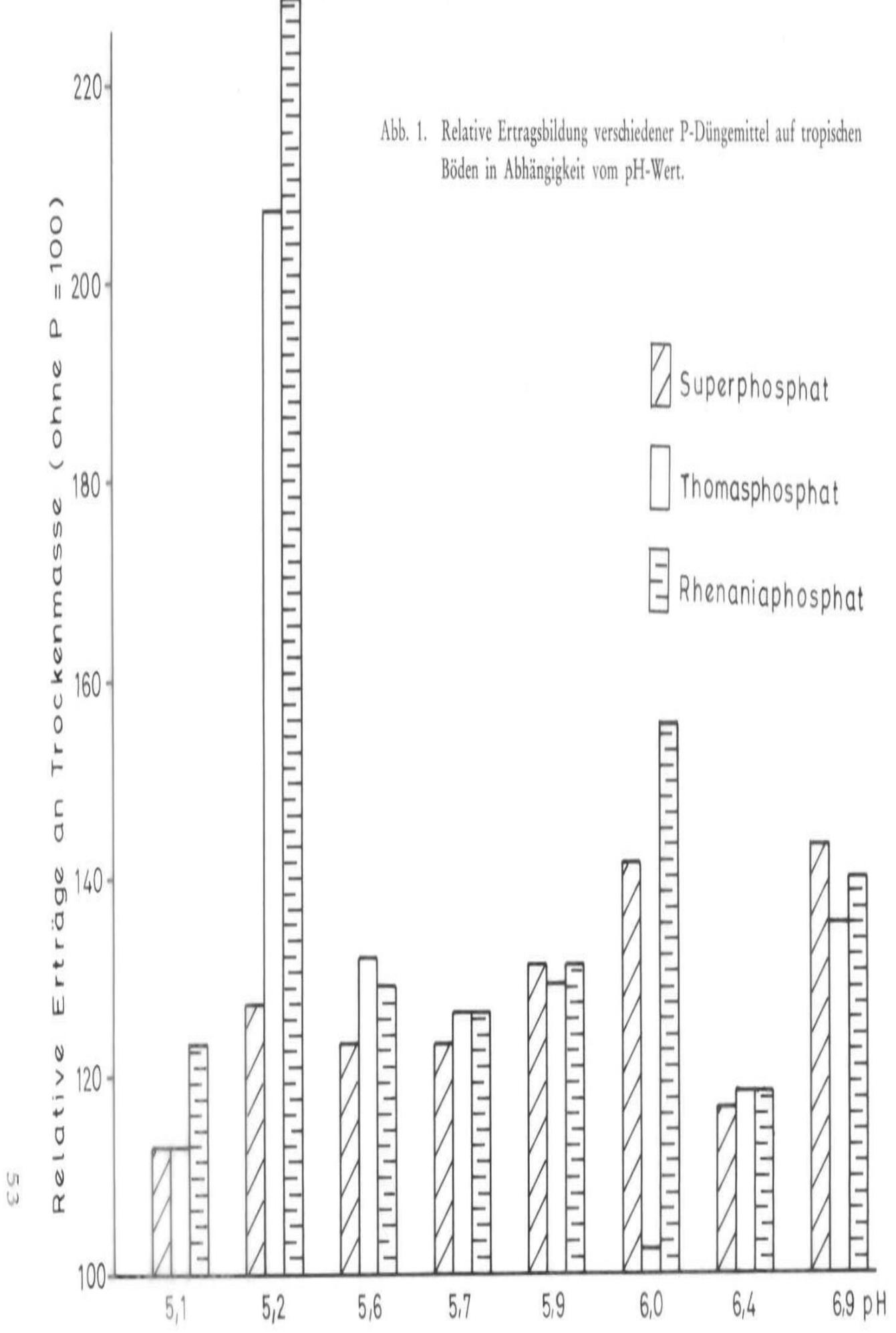
Vegetationsversuch: Die Pflanzenversuche wurden mit einer modifizierten Neubauer-Methode, wie sie von *Ehrendorfer* (1957) beschrieben wurde, durchgeführt. Sie verwendet Salat (*Lactuca* sp.) als Testpflanze. Es werden hierbei auf einer Mischung von 100 g Boden mit 300 g Quarzsand, in Schalen von 12 cm Durchmesser und 7 cm Höhe, 75 Salatpflanzen aus vorgekeimten Samen herangezogen. In 3 Stufen (0 — 13,3 — 26,7 mg P_2O_5 /100 g Boden, entsprechend 0, 200 und 400 kg/ha P_2O_5) wurden Superphosphat (etwa mit der Zusammensetzung $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot CaSO_4$), Rhenaniaphosphat oder Sodaphosphat ($CaNaPO_4 \cdot CaSiO_3$) und Thomasphosphat oder „basic slag“ (etwa $Ca_3P_2O_8 \cdot CaO \cdot SiO_2$) miteinander verglichen. Die Düngemittel wurden mit dem Boden vermischt. Nachdem 7 Tage lang bei 60% der max. Wasserkapazität eine Umsetzung der Düngemittel mit dem Boden stattgefunden hatte, erfolgte die Einpflanzung der vorgekeimten Salatsamen (methodische Einzelheiten bei *Obigbesan*, 1970).

Nach 21 Tagen wurden die ganzen Pflanzen (Wurzeln und Blätter) geerntet, durch sorgfältiges Waschen von anhaftenden Bodenpartikeln befreit und 24 Stunden lang bei 78° C in vorgewogenen Porzellantiegeln getrocknet; durch erneutes Wiegen nach dem Abkühlen wurde der Ertrag an Trockenmasse je Tiegel bzw. Gefäß ermittelt. Danach wurde bei 450—500° C verascht, die Asche mit verd. HNO_3 aufgenommen und in der Aschenlösung mittels der Vanadatmethode der P-Gehalt ermittelt.

3. Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 1 ist die relative Wirksamkeit der drei Phosphatdünger in Hinblick auf die Ertragsbildung auf diesen westafrikanischen Böden dargestellt. Auf den sauren Böden (pH 5,1—5,7) brachte das Rhenaniaphosphat den höchsten Ertragszuwachs gegenüber der Kontrolle; er betrug 23—128% (im Durchschnitt 47% bzw. 141 mg/Gef.). Nicht ganz so hoch war der Mehrertrag bei Thomasphosphat mit 13—107% (im Durchschnitt 43% bzw. 127 mg/Gef.). Den geringsten Mehrertrag gegenüber der Kontrolle erbrachte das Superphosphat mit nur 13—27% (im Durchschnitt 20% bzw. 61 mg/Gef.). Der größte Unterschied zwischen den einzelnen P-Düngemitteln bestand bei pH 5,2 mit relativen Ertragswerten für Super-, Thomas- und Rhenaniaphosphat von 127, 207 bzw. 228%, bezogen auf die Kontrolle =

Abb. 1. Relative Ertragsbildung verschiedener P-Düngemittel auf tropischen Böden in Abhängigkeit vom pH-Wert.



100. Die bessere Wirkung der Silikophosphate auf Böden mit niedrigem pH-Wert wird damit deutlich.

Auf den schwach sauren bis neutralen Böden (pH 5,9—6,9) betrug der mittlere Ertragszuwachs bei Superphosphat 33%, bei Thomasphosphat 21% und bei Rhenaniaphosphat 36%. Die günstige Wirkung des Rhenaniaphosphats auf den Ertrag bestand also sowohl bei saurer als auch bei neutraler Bodenreaktion. Superphosphat hingegen war wohl bei neutraler Bodenreaktion günstig zu beurteilen, während die Ertragswirkung auf sauren Böden nicht befriedigte. Hervorzuheben ist, daß bei pH 6,4 die Ertragswirkung der drei P-Dünger etwa die gleiche war.

Aus Abbildung 2 werden die Beziehungen zwischen pH des Bodens und P-Aufnahme durch die Testpflanze deutlich. Ganz allgemein bestanden große Unterschiede in der P-Aufnahme. Die Ausnützung der Düngerphosphorsäure schwankte zwischen 3,1% auf den sauren und 32% auf den schwach sauren bis neutralen Böden. Die durchschnittliche Ausnützung bewegte sich auf den sauren Böden zwischen 9,5 und 12,3% und auf den Böden mit höheren pH-Werten (über 5,9) zwischen 14,2 und 18,4%.

Im niedrigen pH-Bereich ergaben sich die niedrigsten Ausnützungswerte bei Superphosphat, die höchsten bei Rhenaniaphosphat. Im Mittel aller sauren Böden war die Ausnützung der Düngerphosphorsäure bei Thomasphosphat um 21,4%, bei Rhenaniaphosphat um 31,0% höher als bei Superphosphat.

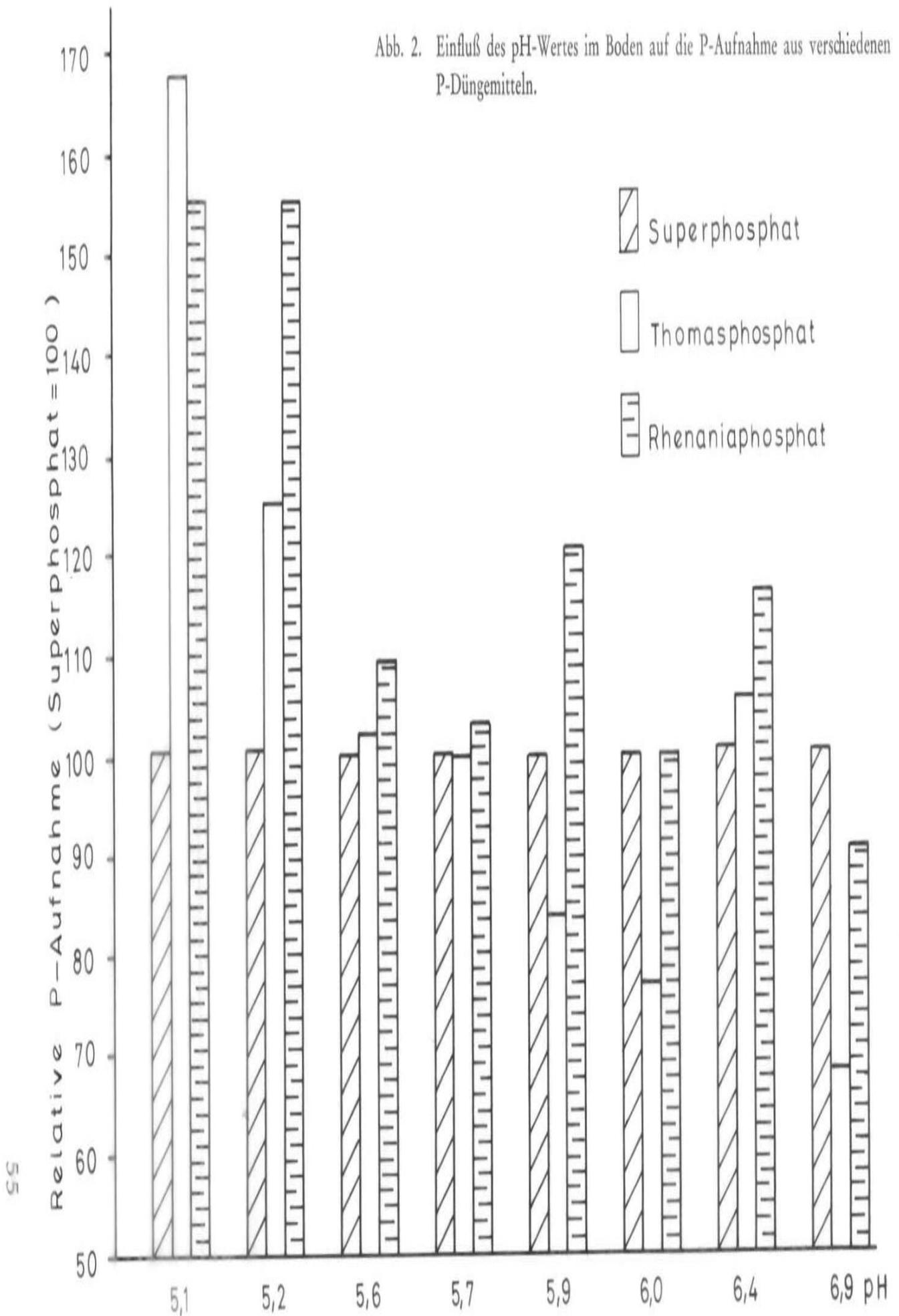
Bei Böden mit mittleren pH-Werten verschiebt sich dieses Bild deutlich zugunsten des Superphosphats. Nicht allein war die absolute P-Aufnahme höher, sondern auch die Ausnützung der Düngerphosphorsäure des Superphosphats war entweder gleich oder im Vergleich mit den beiden anderen P-Düngern überlegen.

Insgesamt ergaben sich auf diesen schwach sauren bis neutralen Böden für Superphosphat, Thomasphosphat und Rhenaniaphosphat relative Aufnahme- werte von 100 : 83 : 107. Diese Verhältniszahlen stehen in guter Übereinstimmung mit den relativen Ertragswerten, die auf den sauren Böden für Kontrollen : Super : Thomas : Rhenania 100 : 120 : 143 : 147 betrug, im mittleren pH-Bereich dagegen 100 : 133 : 121 : 136.

Diese Befunde bestätigen frühere Arbeiten, nach denen die Silikophosphate auf Grund der engen Verbindung von Phosphat mit Kalk und Kieselsäure gegen eine schnelle Festlegung geschützt sind und deshalb auf sauren Böden mit hohen Niederschlägen als am besten geeignet erscheinen. Beim Aufbau einer Eisen- und Stahlindustrie in tropischen Ländern würden die dabei anfallenden Schlackenprodukte ein speziell für die Verhältnisse dieser Länder wertvolles Düngemittel darstellen.

Die finanzielle Unterstützung dieser Arbeiten durch ein Stipendium des Landes Hessen wird dankbar hervorgehoben.

Abb. 2. Einfluß des pH-Wertes im Boden auf die P-Aufnahme aus verschiedenen P-Düngemitteln.



Zusammenfassung

Es wurde die relative Wirksamkeit von 3 Phosphatdüngemitteln — Rhenaniaphosphat, Superphosphat und Thomasphosphat — in Hinblick auf Ertrag und P-Aufnahme untersucht. Auf stark sauren und die Phosphorsäure stark festlegenden Böden ergab sich für Superphosphat die geringste Wirkung bei deutlicher Überlegenheit von Thomasphosphat und vor allem von Rhenaniaphosphat. Auf schwach sauren bis neutralen Böden mit niedriger P-Sorption war Superphosphat jedoch gleich wirksam wie die beiden anderen Phosphatdünger. Die kritiklose und herkömmliche Verwendung von Superphosphat auf sämtlichen Böden der tropischen Regengebiete wird in Frage gestellt.

Summary

The relative effectiveness of three phosphate fertilizers, Rhenaniaphosphate, Thomasphosphate and Superphosphate, in terms of crop yield and P-uptake on a number of West African soils was investigated. On the strongly acid and high phosphorus-fixing soils superphosphate gave the lowest utilisation while Thomasphosphate and above all Rhenaniaphosphate were superior. However, on the weakly acid to neutral soils with low P-sorption, superphosphate proved to be equally effective. The indiscriminate and conservative use of superphosphate fertilizer on just any soils especially in the humid tropics is questionable.

Literatur

1. ACHROMEIKO, A. (1934): Einfluß der Kieselsäure auf die Ausnützung der Phosphorsäure verschiedenen Ursprungs durch die Pflanze. — Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde. A 33, 34 Off.
2. CHANG, S. C. and M. L. JACKSON (1958): Soil Phosphorus fraction in some representative soils. — J. Soil Sci. 9, 109—119.
3. CHANG, S. C. and W. K. CHU (1961): The fate of soluble phosphate applied to soils. — J. Soil Sci. 12, 287—293.
4. EHRENDORFER, K. (1957): Die Salat-Methode. — Die Bodenkultur 9, 275 bis 297.
5. FASSBENDER, H. H. W. and L. MÜLLER (1967): Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. — „Turrialba“, Band 17, 371—375.
6. GANSSMANN, W. (1962): Untersuchungen über den Einfluß der Kieselsäure auf die Aufnahme von Phosphorsäure und anderen Nährstoffen. Die Phosphorsäure 22, 223—241.
7. GUPTA, A. P. et al. (1971): Relative direct efficacy of some phosphatic fertilizers. — Indian J. Agric. Sci. 42 (4), 351—356.

8. JONES, G. H. G. (1959): Local supplies of phosphates. The preparation of sodaphosphates and some notes on the nutritional value. — Bull. Agric. Congo Belge 40, 2044—2050.
9. KNICKMANN, E. (1962): Kieselsäure als Düngemittel. — Die Phosphorsäure 22, 213—222.
10. OBIGBESAN, G. O. (1970): Untersuchungen zur Frage der P-Versorgung mittelafrikanischer Böden und der P-Wirkung verschiedener Phosphatdüngemittel. — Dissertation, Gießen, 1970.
11. OBIGBESAN, G. O. (1972): The determination of phosphorus fertilizer requirements of tropical soils. — Der Tropenlandwirt 72, 59—67.
12. OFORI, C. S. (1968): An evaluation of direct, residual and cumulative effects of various phosphatic fertilizers on some tropical soils. — Ghana Inl. Agric. Sci. 1, 133—142.
13. UNAMBA-OPARAH, I. (1968): Beiträge zur Kenntnis des Nährstoffhaushaltes wichtiger Böden der humiden Tropen. — Albrecht-Thaer-Arch. 12, 435—448.
14. WERNER, W. (1969): Die Bedeutung kalk- und silikathaltiger Phosphatdünger für die Düngung von Latosolen. — Der Tropenlandwirt 70, 57—61.
15. YOUNGE, O. R. and D. L. PLUCKNETT (1966): Quenching the high phosphorus fixation of Hawaiian Latosoles. — Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30, 653—655.
16. ZELLER, W. (1930): Langjährige Düngungsversuche in Kamerun. — Der Tropenpflanzer.