

(Aus dem Institut für Düngungsforschung Leipzig)

## **Untersuchungen zur Effektivität der mineralischen Phosphor-Düngung im Kartoffelbau**

Von CHR. RÖHRICHT

### **Zusammenfassung**

Die moderne Landwirtschaft schließt eine effektive und umweltfreundliche Anwendung der Düngemittel ein. Diesbezügliche Untersuchungen zum Einsatz der mineralischen P-Düngung (Triplesuperphosphat, Superphosphat) im Kartoffelbau wurden auf der Grundlage von praxisnahen Versuchen in Streulage (1987 bis 1989) durchgeführt. Sie zeigen, daß die Applikation dieser Düngemittel im Frühjahr vor der Pflanzung der Kartoffel wesentlich effektiver ist als die vorrangig praktizierte Düngung im Herbst des Vorjahres. Im Vergleich zur Herbstvariante (40 kg P/ha) sichern im Frühjahr applizierte P-Gaben (20, 40, 60 kg P/ha) einen wesentlich höheren Ertrag und Erzeugungswert je Kilogramm Düngerphosphor (Tab. 2). Dem erhöhten P-Bedarf der Kartoffel während der Jugendentwicklung kann so besser entsprochen werden. Unter den geprüften Standortbedingungen (leichte bis mittlere Böden) mit einem hohen P-Gehalt (DL-Methode) zeichnen sich Grenzen im P-Einsatz ab. Aus der Sicht einer wirtschaftlich begründeten Ertragssteigerung (Höhe des Deckungsbeitrages, Nutzen der P-Düngung) aber auch Zunahme des Stärkegehaltes und -ertrages ist ein mittlerer P-Aufwand am günstigsten (Tab. 2 und 4). Bei einem Aufwand von 60 kg P/ha verringern sich Ertrag, Stärkeausbeute und Wirtschaftlichkeit.

Auf den P-Gehalt der Knolle ist der Einfluß der P-Düngung vergleichsweise gering. Leichte Vorteile sind nur gegenüber der ungedüngten Variante und zugunsten der Frühjahrsdüngung zu beobachten (Tab. 3). Die mit der Frühjahrsdüngung erreichte jährliche Ausnutzungsrate der P-Düngung übertrifft deutlich den Wert bei Herbstdüngung (Tab. 3).

Durch die höhere Verwertung des eingesetzten P-Düngers wird das ökologische Risiko verringert. Besonders günstig ist in dieser Hinsicht die Variante mit reduziertem P-Aufwand (20 kg P/ha) zu bewerten, zumal sie auch bezüglich der Höhe des Ertrages und Deckungsbeitrages der Herbstdüngungsvariante (40 kg P/ha) überlegen ist. Eine jahresweise Analyse deutet auch an, daß die P-Düngung dazu beiträgt, Ertragsausfälle in witterungsgünstigen Jahren (Trockenheit 1988 und 1989) zu vermindern.

Schlüsselworte: P-Gabe, Zeitpunkt, Ertrag, Nutzen, P-Ausnutzung.

## **Investigations of the effectivity of mineral phosphorus-fertilizer use in the potato production**

### **Summary**

The objective of the practice-orientated spreading experiments was to analyse the influence of the amount and the date (spring or autumn) of mineral P-fertilizer application on yield and selected quality characteristics of potatoes.

Also on soils with a good P-supply the observed three-year experimental results showed a positive response of potatoes to an annual P-application. Increased yield and a higher content of starch and starch yield could be determined.

Compared to autumn fertilizer application the spring application of P-fertilizer before potato planting was of significant advantage in relation to the economic efficiency of potato production.

According to the production value benefit and the utilization factor, the P-fertilizer could be used more effectively. From the examined P-rates the mean P-rate offered the best effects.

Key-words: P-rate, date, yield, benefit, P-utilization.

### **1. Einleitung**

Eine ausreichende P-Ernährung der Kartoffelpflanze fördert die Bildung von Trockenmasse und Stärke in den Knollen. Ebenso wird die Qualität der Stärke (Viskosität) verbessert. Weitere Vorteilswirkungen von gut mit Phosphor versorgten Pflanzen sind ihre geringere Anfälligkeit gegenüber Phytophthora, die früher einsetzende Knollenentwicklung, der beschleunigte Abreifeprozess und die Ausbildung eines festen Schalengewebes der Knollen (KUDELJA und WIRSING 1976, DAMBROTH 1977, EDELBAUER 1980, KÖLSCH und STÖPPLER 1990). Die hier beschriebene positive Wirkung der mineralischen P-Düngung auf Ertrag und Qualität ist allerdings nicht sicher gewährleistet. Durch den im Boden mitunter sehr rasch ablaufenden Prozess der Alterung nimmt die Pflanzenverfügbarkeit des gedüngten Phosphats ab (TIMMERMANN 1981, SUNTHEIM 1990, PAGEL et al. 1990). Weiterhin kann ein schwach entwickeltes Wurzelsystem, Bodenverdichtung, niedrige Bodentemperatur, Austrocknung der durchwurzelten Bodenschicht eine ausreichende P-Aufnahme während des Pflanzenwachstums einschränken (NEUBERT 1987). Über eine Steuerung der Höhe und des Zeitpunktes der P-Gabe sowie Wahl des Düngemittels und Applikationsverfahrens bestehen Möglichkeiten, den Prozess der Alterung des Düngephosphates zu vermindern und seine Effektivität zu erhöhen.

Davon ausgehend, wird auf der Grundlage von praxisnahen Versuchen in Streulage der Einfluß steigender P-Gaben auf den Kartoffelertrag und qualitätsbestimmende Inhaltsstoffe der Knolle untersucht. Die Versuche erlauben auch einen Variantenvergleich zwischen der P-Ausbringung im Herbst als dem überwiegend praktizierten Verfahren und einer Düngung im Frühjahr vor der Pflanzung der Kartoffeln. Vorgesehen ist eine ertragliche und ökonomische Wertung der unterschiedlichen P-Düngungsvarianten.

### **2. Material und Methoden**

Bei dem zur Verfügung stehenden Material handelt es sich um einjährige P-Steigerungsversuche. Sie werden nach den methodischen Grundsätzen des Streulageversuches (SPECHT und SCHULZE 1963) an mehreren Orten unter

Praxisbedingungen durchgeführt. Die Versuche umfassen folgende Prüfglieder:

Prüffaktor	Stufen des Prüffaktors				
	1	2	3	4	5
Applikationszeitpunkt	—	Herbst des Vorjahres	Frühjahr vor der Pflanzung	Frühjahr vor der Pflanzung	Frühjahr vor der Pflanzung
Höhe der P-Gabe (kg P/ha)	0	40	20	40	60

Für die Auswertung stehen Ergebnisse von sieben Versuchsorten zur Verfügung. Die Ertragsermittlung auf den Prüfgliedern erfolgt unter Ausschaltung der Randstreifen von einer repräsentativen exakt ausgemessenen Erntefläche. Zum Zeitpunkt der Ernte wird von jedem Prüfglied eine Probe des Erntegutes (20 kg Knollen) entnommen. Sie dient der Analyse des Trockensubstanz- und P-Gehaltes in den Knollen. Tabelle 1 charakterisiert die Standortbedingungen der einzelnen Versuche. Danach weisen die Versuchsschläge bezüglich der Bodenart und -qualität (Bodenwertzahl) eine gute Übereinstimmung auf. Für die Beurteilung der P-Wirkung ist bedeutsam, daß die vor Anlage der Versuche gemessenen P-Gehalte im Boden nach den P-Grenzwerten für Ackerland (KERSCHBERGER et al. 1986) überwiegend als hoch einzustufen sind. Die K-Gehalte der Versuchsflächen repräsentieren einen mittleren bis guten Versorgungszustand. Ebenso liegt der pH-Wert des Bodens in einem Bereich, der für die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe günstig zu bewerten ist. Auch die acker- und pflanzenbaulichen Versuchsdaten weisen eine relativ einheitliche Struktur auf. Aufgrund dieser insgesamt relativ homogenen Versuchsbedingungen werden nach den Auswertungs-

Tabelle 1  
Charakteristik der allgemeinen Versuchsbedingungen — einjährige P-Steigerungsversuche in Streulage 1987 bis 1989

Versuchsdaten	Maßeinheit	Versuchsorte						
		1	2	3	4	5	6	7
Bodenart	—	S	S	IS	S	Sl	S	IS
Bodenwertzahl	—	20	21	38	21	34	24	33
pH-Wert des Bodens <sup>1)</sup>	—	5,9	4,5	5,6	5,9	5,9	5,3	6,5
P-Gehalt des Bodens <sup>1)</sup>	mg P/100 g Boden	11,1	8,7	7,7	13,5	5,1	8,6	10,0
K-Gehalt des Bodens <sup>1)</sup>	mg K/100 g Boden	13,0	8,0	11,0	9,0	11,0	8,0	15,0
mineralische N-Düngung	kg N/ha	95	80	113	85	105	120	98
organische Düngung (Stallmist)	dt/ha	250	350	350	300	350	350	350
Vorfrucht	—	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Feldgras	Winterroggen	Gras-samen
Wachstumszeit	Tage	147	165	99	141	132	162	167
Sorte	—	Koretta	Karpina	Astilla	Koretta	Karat	Adretta	Karpina

<sup>1)</sup> Messung vor Versuchsanlage Bodenschicht 0 bis 20 cm  
pH-Wert N/10 KCl-Aufschluß  
P- und K-Gehalt Doppellaktatmethode

prinzipien von Streulageversuchen die Versuchsorte als Wiederholungen behandelt. Die varianzanalytische Verrechnung wird mit Hilfe der Rangvarianzanalyse (MÜLLER 1960) vorgenommen.

### 3. Ergebnisse

Anhand der Versuchsergebnisse zeichnet sich ab, daß auch unter der Voraussetzung eines hohen P-Gehaltes im Boden der Ertrag der Kartoffel durch eine gezielte mineralische P-Düngergabe weiter gesteigert werden kann (Tab. 2). Das bestätigen Untersuchungen von GERICKE und BÄRMANN (1963) sowie GRASS (1983), die auf gut und sehr gut mit Phosphor versorgten Böden (9 bis 18 mg P/100 g Boden) einen P-düngungsabhängigen Ertragszuwachs von 7 bis 14 % bei Kartoffeln feststellen.

Tabelle 2

*Ertrag und Stärkegehalt der Kartoffel in Abhängigkeit von der Höhe und Zeitpunkt der mineralischen P-Düngung auf Böden mit gutem P-Versorgungszustand (Praxisversuche in Streulage 1987 bis 1989, n=7)*

Düngungsvarianten kg P/ha	Zeitpunkt	Ertrag Frischmasse dt/ha	Rang- zahlen $\bar{x}$	Mehrertrag		Erzeugungswert kg Knollen/1 kg P	Stärke- gehalt %	Stärke- ertrag dt/ha
				dt/ha	%			
0	—	249,3	4,0	—	—	—	15,41	38,42
40	Herbst	260,7	3,6	11,4	4,37	28,50	15,76	41,08
20	Frühjahr	277,6	2,8	28,3	10,19	141,50	15,69	43,55
40	Frühjahr	304,1	1,6	54,8	18,02	137,00	15,98	48,59
60	Frühjahr	299,1	2,4	49,8	16,64	83,00	15,63	46,75
GD 0,10			1,09					

KÖSTER (1987) betont, daß eine P-Düngung der Kartoffel zu Vegetationsbeginn auf Böden der P-Versorgungsklassen C (mittel) bis E (sehr hoch) noch wirtschaftlich ist. Verfügt der Boden allerdings über ein sehr hohes pflanzenverfügbares P-Potential in der Ackerkrume (> 18 mg P/100 g Boden), sinkt die Effektivität der mineralischen P-Düngung (3 % Mehrertrag) deutlich ab (GRASS 1983). KERSCHBERGER (1988) stellt bereits bei einem P-Vorrat von 9 bis 12 mg P/100 g Boden einen starken Rückgang in der Ertragswirkung der P-Düngung bei Kartoffeln fest.

Im Durchschnitt einer großen Anzahl von P-Steigerungsversuchen zu Kartoffeln beträgt der durch steigende P-Gaben (13 bis 72 kg P/ha) erzielte Mehrertrag 6 bis 14 % (LÜDDECKE und KNÜPPEL 1960, PERRENOUD 1983).

Die in Tabelle 1 zusammengestellten Versuche machen deutlich, daß die Effektivität der P-Düngung nicht nur von der Höhe, sondern auch vom Applikationszeitpunkt beeinflusst wird.

Im Vergleich zum Prüfglied „ohne P-Düngung“ erreicht die Herbstdüngungsvariante (40 kg P/ha) einen Mehrertrag von 4,4 %. Wird die P-Gabe im Frühjahr — in den Versuchen etwa 20 Tage vor dem Pflanztermin — ausgebracht, steigt der Mehrertrag von 4,4 % auf 18,1 % an.

Dadurch wird eine wesentlich größere Effizienz je Kilogramm Phosphor erreicht. Während sie in der Herbstvariante etwa dem von KUNDLER et al. (1970) angegebenen durchschnittlichen Erzeugungswert für mittlere P-Gaben entspricht, steigt die Effektivität bei Frühjahrsapplikation überproportional auf ein sehr hohes Niveau an.

VAN DER PAAUW (1960) stellt bei Kartoffeln eine zwei- bis dreifach höhere Ertragswirkung einer frisch gedüngten P-Gabe (wasserlösliches P-Düngemittel) fest. Bei Weidelgras beobachten REMO und STEFFENS (1985), daß direkt zur Saat

verabreichtes Superphosphat besser auf den Ertrag und die P-Aufnahme wirkt als sechs Monate vor der Saat gedüngtes Phosphat. Aber auch die im Frühjahr angewendete reduzierte P-Gabe (20 kg P/ha) realisiert einen um 6 % höheren Ertrag als die doppelt so hoch bemessene P-Gabe im Herbst. Dieses Ergebnis unterstreicht sowohl aus ökonomischer Sicht (Kosteneinsparung) als auch ökologischen Gründen (Reduzierung des Abtrags von Phosphor durch Bodenerosion und Oberflächenabfluß [HARENZ 1989]) die Vorteile einer Frühjahrsdüngung. Von Bedeutung ist auch, daß die Kartoffel während der Jugendentwicklung einen erhöhten P-Bedarf hat. Eine zeitlich auf diesen Bedarfsschwerpunkt besser abgestimmte Düngung kann die Trockenmassebildung der Pflanze relevant fördern. Hinzu kommt, daß Dichte und Ausdehnung des Wurzelsystems im Jugendstadium der Kartoffel vergleichsweise gering sind (Vos und GROENWOLD 1986, MUNK 1990).

Durch eine stärkere Konzentration an pflanzenaufnehmbarem Phosphor in der die Wurzeln unmittelbar umgebenden Bodenzone kann dem erhöhten Pflanzenbedarf an Phosphor somit besser entsprochen werden. Bei der Wertung des starken ertragsfördernden Effektes der im Frühjahr durchgeführten P-Düngung sind Ergebnisse aus der Fachliteratur zu beachten, wonach schwefelsaures Ammoniak, das auch in den ausgewerteten Versuchen als N-Dünger Anwendung findet, die Wirksamkeit einer P-Düngung beachtlich verbessert (KÜRTEIN und BURGHARDT 1959).

In Bodenzonen mit erhöhter P- und N- (vor allem Ammonium) Konzentration weisen SCHILLING et al. 1982 sowie SCHILLING et al. 1985 ein vergrößertes Wurzelsystem nach, das die Nährstoffe besser nutzt. Hinzu kommt die physiologische Fähigkeit der Wurzeln, in Gegenwart von Ammoniumionen mehr Phosphat absorbieren zu können (BÖHM 1974). Es ist anzunehmen, daß in den Versuchen derartige Interaktionen vorliegen und vermutlich die Ertragswirkung der im Frühjahr applizierten P-Gabe verstärken. Allerdings wird an den erzielten Versuchsergebnissen auch deutlich, daß bei gutem P-Versorgungsgrad des Bodens der durch die P-Düngung im Frühjahr bewirkte Ertragszuwachs begrenzt ist. Die geprüfte hohe P-Gabe führt zu Ertragseinbußen. GIBOUX et al. (1984) stellen in Abhängigkeit vom steigenden P-Aufwand ebenfalls ein Ertragsmaximum bei Kartoffeln fest.

Danach ist für Böden, die über einen mittleren bis hohen P-Vorrat verfügen, der maximale P-Aufwand geringer (50 kg P/ha) zu bemessen als auf P-armen Standorten (94 kg P/ha).

Eine jahresweise Analyse der Versuche liefert den Hinweis, daß die mineralische P-Düngung (Frühjahrsapplikation) auch bei Trockenheit während der Jugendentwicklung der Kartoffel (geringe Niederschläge von Mai bis Juni 1988 und 1989) eine gute Ertragswirkung erreicht. Im Vergleich zu den Ergebnissen des Jahres 1987, das sich durch eine für das Wachstum und die Nährstoffaufnahme der Kartoffel günstige Niederschlagstätigkeit auszeichnet, sind keine wesentlichen Unterschiede zu beobachten. Nach JUNG und DRESSSEL (1981) vermag frisch appliziertes Düngerphosphat eine schwache Anfangswirkung des Bodenphosphors im Frühjahr auszugleichen.

Somit scheint der P-Düngung im Kartoffelbau eine gewisse — das Ertragsrisiko witterungsungünstiger Jahre mindernde — Wirkung zuzukommen. Der geringe Stichprobenumfang erfordert jedoch eine weitere Prüfung.

Ebenfalls übt die mineralische P-Düngung einen positiven Einfluß auf den Stärkegehalt der Kartoffel aus (Tab. 2). In der Tendenz werden mit der P-Düngung höhere Stärkegehalte als im Prüfglied „ohne P“ festgestellt. Die Steigerungsraten variieren je nach Höhe und Zeitpunkt der P-Gabe zwischen 0,22 bis

0,57 %. Der höchste Zuwachs an Stärke wird durch die Düngergaben von 40 kg P/ha im Frühjahr beobachtet. Die erhöhte P-Gabe (60 kg P/ha) verringert den Stärkegehalt.

KÜRTEEN und BURGHARDT (1959) beziffern die positive Wirkung der P-Düngung auf die Einlagerung von Stärke in die Kartoffelknolle mit ca. 1 %. Im Ergebnis der Zunahme des Stärkegehaltes und des Ertrages fördert die P-Düngung die Stärkeproduktion je Flächeneinheit. Hier schneiden wiederum die Varianten mit Frühjahrsdüngung am günstigsten ab. Bei gleichem P-Aufwand steigt der Stärkeertrag gegenüber der Herbstausbringung um 18,3 %. Gleichfalls überlegen ist die reduzierte Frühjahrsgabe mit einer 6 % höheren Ausbeute.

Der P-Gehalt in der Trockensubstanz der Knolle ist nach Angaben von SCHICK und KLINKOWSKI (1961) sowie LINNÉR (1984) starken Schwankungen (0,11 bis 0,30 %) unterworfen, die vor allem durch Sorte, Standort und Jahr verursacht werden. Vergleichsweise geringer ist der Einfluß der mineralischen P-Düngung.

Übereinstimmend mit Untersuchungen von EFFMERT (1967) und SKALA (1987) lassen die Versuche nur gegenüber der ungedüngten Parzelle einen stärkeren Anstieg des P-Gehaltes durch die P-Düngung erkennen (Tab. 3). Hinsichtlich des Düngungszeitpunktes deutet sich ein leichter Vorteil zugunsten der Frühjahrs-gabe an. In Abhängigkeit von der Höhe der P-Gabe verändert sich der P-Gehalt kaum, so daß eine über die wirtschaftlich vertretbare Ertragssteigerung hinausgehende P-Gabe auch aus der Sicht der Qualitätsverbesserung des Ernteproduktes nicht lohnend ist.

Tabelle 3

*Wirkung steigender mineralischer P-Gaben auf den P-Gehalt und P-Entzug der Kartoffelknolle unter den Bedingungen eines guten P-Versorgungszustandes des Bodens (Praxisversuche in Streulage 1987 bis 1989, n=5)*

Düngungs- variante kg P/ha	Zeitpunkt	Ertrag Trockenmasse dt/ha	Rang- zahlen $\bar{x}$	P-Gehalt Knolle % i. TS	P-Entzug (Knolle) kg P/ha	P-Ausnutzungs- <sup>1)</sup> rate %
0	—	52,98	4,2	0,202	10,70	—
40	Herbst	56,66	4,0	0,214	12,10	3,50
20	Frühjahr	62,16	2,4	0,216	13,43	13,65
40	Frühjahr	68,26	2,0	0,216	14,74	10,10
60	Frühjahr	66,79	2,4	0,224	14,96	7,10
GD 0,10			1,32			

<sup>1)</sup> nach Differenzmethode

Für die wirtschaftliche und ökologische Bewertung der P-Düngung ist bedeutsam, daß der im Anwendungsjahr allgemein niedrige Ausnutzungsgrad des Phosphordüngers (siehe Tab. 3, Herbstdüngungsvariante) deutlich verbessert wird, wenn die Düngung im Frühjahr erfolgt. Wie die höheren P-Entzüge belegen, wird dann ein größerer Anteil des gedüngten Phosphors durch die Pflanzen verwertet. Nach diesen Ergebnissen werden auf den P-reichen Böden niedrige P-Gaben besonders gut verwertet.

Die 20 kg P/ha-Variante erreicht mit 14 % die höchste Ausnutzungsrate. Hieraus ergeben sich Ansatzpunkte für eine betont umweltschonende, kostensparende P-Düngungsstrategie im Kartoffelbau, z. B. unter Anwendung von P-hältigen Mehrnährstoffdüngern.

Als Maßstab für die Rentabilität der P-Düngung wird der Deckungsbeitrag herangezogen. Er wird für die unterschiedlich gedüngten Versuchsvarianten

berechnet. Dies erfolgt auf der Grundlage eines unterstellten aktuellen Marktpreises von 17 DM/dt Kartoffeln und kalkulierter variabler Kosten des Produktionsverfahrens. Die Kalkulation der variablen Kosten beruht auf Richtwerten, die der Datensammlung für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft (FUNK et al. 1989) entnommen wurden.

Für die variablen Kosten wurden ferner die in den Versuchen getätigten Aufwendungen an Mineraldüngerstickstoff, organischer Düngung und Kalidüngung sowie die durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen zugrunde gelegt.

Der so berechnete Deckungsbeitrag zeigt eine deutliche Beziehung zur Höhe der mineralischen P-Düngung (Tab. 4). Durch die P-Düngung wird das Kosten-Erlösverhältnis günstiger gestaltet. Mit dem erreichten Zuwachs des Deckungsbeitrages steht ein größeres Volumen für die Gewinnrealisierung und Abdeckung der fixen Kosten zur Verfügung. Gemessen an diesem Kriterium ist eine P-Düngung im Frühjahr am wirtschaftlichsten.

Tabelle 4

*Entwicklung des Deckungsbeitrages und der Effektivität der mineralischen P-Düngung in Abhängigkeit vom Zeitpunkt und der Höhe der Düngergabe im Kartoffelbau (Praxisversuche in Streulage 1987 bis 1989, n=7)*

Leistungen		Variante	40 kg P/ha	20 kg P/ha	40 kg P/ha	60 kg P/ha
		ohne P-Düngung	(Herbst)	(Frühjahr)	(Frühjahr)	(Frühjahr)
Knollenertrag	dt/ha	249,3	260,7	277,6	304,1	299,1
Erzeugerpreis	DM/ha	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Marktleistung	DM/ha	4238,1	4431,9	4719,2	5169,7	5084,7
Variable Kosten insg.	DM/ha	3751,9	3883,9	3921,7	4064,5	4082,7
Deckungsbeitrag	DM/ha	486,2	547,9	797,4	1105,2	1001,9

Mit 40 kg P/ha wird dabei der höchste Deckungsbeitrag, gefolgt von der 60 kg P/ha-Variante, erzielt. Ein starker Rückgang des Deckungsbeitrages tritt bei unterlassener P-Düngung bzw. bei Herbstdüngung auf. Am Verhältnis der düngungsabhängigen Spezialkosten (Düngemittelpreis einschließlich Mehrerntekosten) und Mehrerlöse ist nachzuweisen, daß die P-Düngung im Kartoffelbau eine rentable Maßnahme ist. Auch aus dieser Sicht schneiden die Frühjahrsdüngungsvarianten am günstigsten ab. Der höchste düngungsspezifische Gewinn wird wiederum mit einem Aufwand von 40 kg P/ha erzielt. Aber auch die auf 20 kg P/ha reduzierte P-Gabe erreicht einen hohen düngungsspezifischen Nutzen.

#### 4. Diskussion

Auf der Grundlage der vorliegenden Versuchsergebnisse ist einzuschätzen, daß die mineralische P-Düngung im Kartoffelbau eine ertrags- und qualitätssteigernde Maßnahme darstellt.

Diese positive Wirkung wurde auf Böden erzielt, die bereits über einen guten P-Versorgungszustand verfügen. Im Vergleich zu der praxisüblichen Ausbringung der P-Düngung im Herbst sichert eine Düngung im Frühjahr vor der Bestellung eine wesentlich höhere Effektivität. Die in den Versuchen praktizierte N-Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak dürfte dabei einen fördernden Einfluß auf die Verfügbarkeit und Ertragswirkung des im Frühjahr gedüngten Phosphors ausgeübt haben.

Eine solche auf den Schwerpunkt des P-Bedarfes der Kartoffel (Jugendentwicklung) zeitlich besser abgestimmte Düngungsstrategie trägt auch dazu bei, die mit der Herbstapplikation verbundenen möglichen ökologischen Gefahren eines Abtrages von gedüngtem Phosphor durch Bodenerosion und Oberflächenabfluß einzuschränken. Außerdem wird dadurch die Ausnutzungsrate des gedüngten Phosphors im Anwendungsjahr verbessert.

Geringe P-Gaben erweisen sich dabei als besonders vorteilhaft. Sie sind in einem verstärkt auf Umweltschonung und Kostenminimierung ausgerichteten Kartoffelanbau zu empfehlen und können in Form von Mehrnährstoffdüngern ausgebracht werden. Letztlich gilt dies auch für die Stallmistdüngung als längerfristig wirkende Nährstoffquelle. Hier ist über eine entsprechende Fruchtfolgegestaltung eine gute Nährstoffverwertung und geringes Umweltrisiko zu sichern.

Aus den Versuchen geht hervor, daß die positive Wirkung der Frühjahrsdüngung auch unter witterungsungünstigen Wachstumsbedingungen (Trockenheit während der Jugendentwicklung) relativ sicher ist. Im Ergebnis der ökonomischen Analyse (Deckungsbeitrag) werden eindeutige Vorteile einer fruchtartenbezogenen Düngung im Frühjahr herausgestellt.

Aus der Sicht der rentablen Ertragssteigerung und Ausbildung wichtiger Qualitätsmerkmale ist eine mittlere P-Gabe am günstigsten zu beurteilen. Diese Variante nimmt im Ertrag signifikant Rangplatz 1 ein. Auf Böden mit einem guten P-Versorgungsgrad sind höhere P-Gaben weder aus der Sicht des Ertrages noch Qualitätsverbesserung zu vertreten. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung einer pflanzenspezifischen P-Bedarfsuntersuchung als Grundlage für eine ökonomisch-ökologische ausgewogene und qualitätsfördernde P-Düngeranwendung im Landbau.

#### Literatur

- BÖHM, W., 1974: Phosphatdüngung und Wurzelwachstum. Die Phosphorsäure 30, Folge 2, 141—152.
- DAMBROTH, M., 1977: Düngung nach Verwendungszweck: Qualitätskartoffeln durch richtige Nährstoffdosierung. Kartoffelwirtschaft 30, 7.
- EDELBAUER, A., 1980: Einfluß steigender Phosphat- und Magnesiumgaben auf die Substanzbildung und den Mineralstoffgehalt der Kartoffelpflanze (*Solanum tuberosum*) in Nährlösungskultur. Die Bodenkultur 31, 127—139.
- EFFMERT, B., 1967: Über den Einfluß der Düngung auf den Phosphorsäuregehalt der Kartoffelstärke. Albrecht-Thaer-Archiv 8, 745—753.
- FUNK, M., W. HACK, F. SIEGEL und H. STAUDE, 1989: Datensammlung für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. Landwirtschaftsverlag GmbH Münster-Hiltrup, S. 37.
- GERICKE, S. und C. BÄRMANN, 1963: Die Wirkung der Phosphatdüngung zu Kartoffeln. Die Phosphorsäure 23, 59—76.
- GIROUX, M., A. DUBE and G. M. BARNETT, 1984: Effet de la fertilisation phosphatée sur la pomme de terre en relation avec l'analyse du sol et la source de phosphore utilisée. Canadian Journal of Soil Science 3, 369—381.
- GRASS, K., 1983: Ertragerhebung und Düngerberatung. Phosphatdüngung aus heutiger Sicht, Kolloquium „Phosphatdüngung“ am 3./4. Februar 1983 in Frankfurt/Main / Hrsg. Arbeitskreis Phosphat der deutschen Düngerindustrie, Hamburg, 63—78.
- HARENZ, H., 1989: Phosphoreinsatz und Phosphorverluste im Bereich Landwirtschaft — Ernährung — Haushalt der DDR aus ökonomischer und ökologischer Sicht. Aus der Arbeit von Plenum und Klassen der Akademie der Wissenschaften der DDR, Chemie und Umwelt 3, 25—43.
- JUNG, J. und J. DRESSEL, 1981: Zur Wirkung von langjährig angereichertem Bodenphosphat im Vergleich zu frisch zugeführtem Düngerphosphat im Modell. Z. Acker- u. Pflanzenbau 150, 382—389.
- KERSCHBERGER, M., D. RICHTER und B. WITTER, 1986: Neue Versorgungsstufen für die P-, K-, Mg-Gehalte und den pH-Wert des Bodens auf Acker- und Grünland. Feldwirtschaft 27, 366—368.

- KERSCHBERGER, M., 1988: Mehrerträge durch P-Düngung auf Ackerland in Abhängigkeit von P-Gehalt im Boden (DL-Methode) und Aussagen zur statistischen Sicherheit der Ergebnisse. Stickstoff und Phosphor im System Boden — Dünger — Pflanze, Tagungsbericht Sektion Pflanzenproduktion der Humboldt-Universität, 232—237.
- KÖLSCH, E. und H. STÖPPLER, 1990: Kartoffeln im ökologischen Landbau. Landwirtschaftsverlag GmbH Münster-Hiltrup, S. 26.
- KÖSTER, W., 1987: Sind P und K noch wirtschaftlich? Hannoversche Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung, Sonderdruck Nr. 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 22, 29, 32.
- KUDELJA, P.-G. und F. WIRSING, 1976: Zur optimalen Düngung von Speise-Pflanzkartoffeln. Feldwirtschaft 17, 307—309.
- KÜRTE, P. W. und H. BURGHARDT, 1959: Die Bedeutung der Nährstoffe Phosphorsäure und Kali für die Wirkung der Stickstoffdüngung im Kartoffelbau. Die Phosphorsäure 19, 1—15.
- KUNDLER, P., H. ANSORGE, W. MATZEL u. a., 1970: Mineraldüngung, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, S. 212.
- LINNER, H., 1984: The influence of soil moisture on evapotranspiration, growth, nutrient uptake, yield and quality of the potato (*solanum tuberosum* L.) Sveriges Landbruks universitet (Rapport/Institutionen för markvetenskap, Ardelningen för Landbrukets hydroteknik) Uppsala. Rapport 142.
- LÜDDECKE, F. und D. KNÜPPEL, 1960: Kartoffelbau. Deutscher Landwirtschaftsverlag, S. 191.
- MÜLLER, K.-H., 1960: Zur Rangvarianzanalyse bei der Auswertung einfacher Versuche oder Versuchsserien. Zeitschrift für landwirtsch. Versuchs- und Untersuchungswesen 6, 90—104.
- MUNK, H., 1990: Wie müssen Bodenuntersuchungsmethoden auf Phosphat geeicht werden? Kali-Briefe 20, 143—159.
- NEUBERT, P., 1987: Neue Prinziplösungen zur N-, P- und Mikronährstoffernährung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Forschungsbericht Institut für Pflanzenernährung Jena.
- VAN DER PAAUW, F., 1960: Die optimale Versorgung von Boden und Pflanze mit Phosphor. Landwirtschaftliche Forschung 14. Sonderheft, 55—60.
- PAGEL, H., H. KRECKLOW und R. SCHENK, 1990: Einfluß der P-Platzierung im Kartoffelanbau auf P-Verteilung und P-Dynamik im Boden. Tagungsbericht Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR 289, 337—345.
- PERRENOUD, S., 1983: Potato: Fertilisers for Yield and Quality — Bern — Worblaufen: Intern. Potash Inst., p. 84.
- REMO, J. M. und D. STEFFENS, 1985: Einfluß von Düngungszeitpunkt und Phosphat-Form auf Alterung und Verfügbarkeit von Phosphat. VOLUFA-Schriftenreihe 16, Kongreßband, 171—176.
- SCHICK, R. und M. KLINKOWSKI, 1961: Die Kartoffel — Ein Handbuch. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, S. 260.
- SCHILLING, G., H. ANSORGE und W. BORCHMANN, 1982: Pflanzenernährung und Düngung Teil 1: Pflanzenernährung, 1. Auflage, Deutscher Landwirtschaftsverlag, S. 163.
- SCHILLING, G., W. RÖMER und J. AUGUSTIN, 1985: Abhängigkeit des Wurzelwachstums von einigen exogenen und endogenen Faktoren sowie Konsequenzen für die Phosphater-nährung der Pflanzen Tag.-Ber. Akad. Landw. Wiss. Berlin 231, 179—193.
- SKALA, J., 1987: Vliv stanovište rečniku a hnojení na koncentraci živin v sušine hliz brambor. Rostlinná Výroba 10, 1071—1084.
- SPECHT, G. und J. SCHULZE, 1963: Untersuchungen über die Anlage und Durchführung von Großflächenstreueversuchen. Zeitschrift f. landw. Versuchs- und Untersuchungswesen 9, H. 4/5, 405—426.
- SUNTHEIM, L., 1990: Untersuchungen zur P-Dynamik im Boden und Schlußfolgerungen für eine bedarfsgerechte P-Ernährung ausgewählter Nutzpflanzen. Dissertation, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin.
- TIMMERMANN, F., 1981: Wir müssen bei der Phosphatdüngung umdenken! Top Agrar 8, 30—32.
- VOS, J. und J. GROENWOLD, 1986: Plantgrowth of potato on a marine-clay soil. Plant and soil 94, 17—33.

(Manuskript eingelangt am 2. Juli 1991, angenommen am 11. Oktober 1991)

Anschrift des Verfassers:

Dr. sc. Christian RÖHRICHT, Institut für Düngungsforschung Leipzig, Gustav-Kühn-Str. 8,  
D-O-7022 Leipzig