

Heft I:

***"Wo ist die Grunddüngung mit
Phosphor, Kalium & Magnesium
noch wirtschaftlich?"***

W. Köster und R. Nieder

1. Auflage 2004

Zusammenfassung

Die deutsche Landwirtschaft hat seit mindestens fünf Jahrzehnten größere Mengen an Phosphor und Kalium zugeführt, als mit Ernteprodukten abgefahren wurden. Die kumulativen Überschüsse von 1950 bis 2000 betragen für die Alten Bundesländer (ABL) ca. 1400 kg P ha⁻¹ und 2500 kg K ha⁻¹ und für die Neuen Bundesländer (NBL) 800 kg P ha⁻¹ und 2400 kg K ha⁻¹. Die Überschüsse wurden ausgenommen für K auf leichten Sandböden weitgehend in den Ackerkrumen bzw. Grünlandnarben angereichert. Spätestens seit Ende der 1950er Jahre hätten P- und K-Zufuhren in Höhe der Abfahren für die Versorgung der Kulturen ausgereicht. Die von 1950 bis 2001 darüber hinaus zugeführten Mengen an P und K werden bei einer Verzinsung mit 5% auf >100 Mrd. € geschätzt.

Die im Boden übermäßig angereicherten P- und K-Mengen sind grundsätzlich pflanzenverfügbar. Aus ökonomischer wie ökologischer Sicht sollten sie gezielt abgereichert werden. Hierzu werden aus vorliegenden Versuchen und unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte Richtlinien für die Bewertung von Bodenuntersuchungsergebnissen und Düngung abgeleitet. Diese liegen erheblich unter den derzeitigen Werten der Officialberatung.

Die negativen Auswirkungen überhöhter P-, K- und Mg-Angebote aus Düngung und Bodengehalten auf Pflanzen werden aufgeführt und ökologische Folgen überhöhter Boden-P- und K-Gehalte diskutiert.

Einleitung

Die Düngepraxis in der Landwirtschaft Deutschlands wird seit den 1950er Jahren zunehmend wegen zu hoher, für den Betriebserfolg schädlicher Düngeraufwendungen und der dadurch bewirkten Auswirkungen auf die Umwelt kritisiert. Ausgehend von dieser Kritik hat die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt der Landwirtschaftskammer Hannover in Hameln für die alten Bundesländer (ABL) Bilanzen aus Ein- und Austrägen in der Landwirtschaft für den Zeitraum von 1950 bis 1986 erstellt (Köster et al., 1988), später auf die neuen Bundesländer (NBL) ausgedehnt (Harenz et al., 1992) und bis 2000 weitergeführt. Die Bilanzen für P und K weisen hohe kumulative Überschüsse auf. Der folgende Beitrag soll zur Klärung der Fragen nach dem Verbleib der P- und K-Überschüsse, insbesondere nach der Speicherung und der Verfügbarkeit im Bodenvorrat beitragen. Ferner werden Möglichkeiten der Abreicherung zu hoher Gehalte an verfügbarem P und K erörtert. Schließlich werden die ökonomischen Folgen der Überdüngung abgeschätzt.

Berechnung der Nährstoff-Bilanzen in der Landwirtschaft

Die für die Berechnung der P- und K-Bilanzen erforderlichen Daten wurden für die ABL den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes (Anonym 1; s. Köster et al., 1988) entnommen. Für die NBL wurden die Daten von einem wissenschaftlichen Institut (Anonym 2; Harenz et al., 1992) zur Verfügung gestellt. Für die Nährstoffabfuhr wurden die Erträge und die jeweiligen Nährstoffgehalte der den Betrieb verlassenen Marktfrüchte (Getreide, Ölfrüchte, Kartoffeln und Zuckerrüben) zu Grunde gelegt. Für Grünlandaufwuchs, Feldfutter und Ernterückstände wurde ein Verbleib in den Betrieben angenommen.

Bei der Mineraldüngerzufuhr wurde von einer Ausbringung der zugeführten Nährstoffmengen im jeweiligen Wirtschaftsjahr ausgegangen. Bei den Nährstoffzufuhren über Kraftfutter wurde leistungsgerechte Fütterung zugrunde gelegt. Es wurde unterstellt, dass Futter für Hühner

und Schweine sowie Kraftfutter für Rinder und Pferde ausschließlich über den Handel bezogen wurden.

Die Nährstoffabfuhr mit tierischen Produkten (Fleisch, Milch, Eier) wurden vom Futterbedarf abgezogen. Die übrigen landwirtschaftlichen Früchte und Sonderkulturen sowie Zufuhren aus organischen Handelsdüngern, industriellen und kommunalen Abfällen blieben unberücksichtigt, da sie nur unwesentlich am Gesamtumsatz beteiligt sind. Sie können jedoch regional bedeutsam sein.

Für die übrigen Nährstoffe konnten keine Bilanzen erstellt werden, da sie zum Teil produktionsbedingte Nebenbestandteile von Einzel- und Mehrnährstoffdüngern sind bzw. diesen gezielt zugesetzt werden. Für Anteile und Nährstoffgehalte der betreffenden Düngemittel am Gesamtumsatz fehlen sichere Unterlagen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Berechnung sind für P in Tabelle 1 und für K in Tabelle 2 für die ABL und die NBL aufgeführt. Sie stellen Mittelwerte dar, die in Abhängigkeit von der Intensität des Ackerbaues und der Viehbesatzdichte regional aber auch von Betrieb zu Betrieb erheblich streuen können.

Die P- und K-Abfuhr stiegen während des gesamten Untersuchungszeitraumes entsprechend der zunehmenden Erträge kontinuierlich an. Dies ist bei Kalium zunächst weniger ausgeprägt, da der Kartoffelanbau mit den höchsten Nährstoffabfuhr von 1950 bis 1980 kontinuierlich zu Gunsten anderer Früchte eingeschränkt wurde. Die sprunghafte Zunahme speziell der P-Abfuhr in den NBL nach der Wende ist bedingt durch den Zusammenbruch der Viehhaltung und die Ausweitung des Marktfruchtanbaues mit hohen Anteilen an Getreide und Raps.

Tabelle 1 P-Abfuhr mit Ackerfrüchten, P-Zufuhr mit Mineraldüngern und Kraftfutter, P-Bilanzüberschuss pro Zeiteinheit und kumulativer P-Bilanzüberschuss 1950-2000 in den Alten und Neuen Bundesländern

Zeitraum	Abfuhr	Zufuhr		Bilanzüberschuss	Kumulativer Überschuss
		Mineraldünger	Kraftfutter		

kg P ha⁻¹ a⁻¹

Alte Bundesländer

1950-54	3	13	3	13	65
1955-59	4	17	4	7	150
1960-64	4	21	5	22	260
1965-69	4	25	6	27	395
1970-74	5	29	7	31	550
1975-79	6	28	8	30	705
1980-84	7	28	9	30	855
1985-89	8	25	9	26	985
1990-94	7	17	9	19	1075
1995-99	10	12	9	11	1130
2000	10	12	9	11	1141
2001	11	10	10	9	1150
2002				10	
2003				10	

*Neue Bundesländer**

1950-54	4	7	3	6	30
1955-59	4	12	4	12	90
1960-64	4	16	4	16	170
1965-69	5	24	5	24	290
1970-74	5	30	6	31	445
1975-79	6	30	7	31	600
1980-84	6	25	8	27	734
1985-88	7	23	7	23	830
1991	11	5	1	-5	
1994	10	5	4	4	-1
1995-99	12	7		4	-1
2000	12	8		4	0
2001	12	7		3	-2
2002		5			
2003		5			

*Für die Neuen Bundesländer liegen die Daten von 1989, 1990 und 1992 bis 1993 nicht bzw. unvollständig vor.

Umrechnungsfaktoren: 1kg P = 2,29 kg P₂O₅; 1kg P₂O₅ = 0,44 kg P.

Tabelle 2 K-Abfuhr mit Ackerfrüchten, K-Zufuhren mit Mineraldüngern und Kraftfutter, K-Bilanzüberschuss pro Zeiteinheit und kumulativer K-Bilanzüberschuss 1950-2000 in den Alten und Neuen Bundesländern

Zeitraum	Abfuhr	Zufuhren		Bilanzüberschuss	Kumulativer Überschuss
		Mineraldünger	Kraftfutter		

kg P ha⁻¹ a⁻¹

Alte Bundesländer

1950-54	13	41	2	30	150
1955-59	14	53	3	42	360
1960-64	14	61	4	51	615
1965-69	14	66	6	58	905
1970-74	14	71	8	65	1230
1975-79	14	74	8	68	1570
1980-84	15	74	9	68	1910
1985-89	16	63	9	56	2190
1990-94	18	38	9	29	2335
1995-99	19	37	9	27	2470
2000	22	32	9	19	2489
2001	21	29	10	10	2507
2002				28	
2003				27	

*Neue Bundesländer**

1950-54	16	49	3	36	180
1955-59	16	60	3	47	415
1960-64	15	68	4	57	700
1965-69	16	78	5	67	1035
1970-74	16	82	6	72	1395
1975-79	16	76	7	66	1725
1980-84	17	69	8	59	2020
1985-88	20	76	8	64	2275
1991	18	5	2	-11	
1994	16	18	3	5	
1995-99	18	19	4	5	
2000	19	20	4	5	
2001	22	21	4	3	
2002				18	
2003				16	

*Für die Neuen Bundesländer liegen die Daten von 1989, 1990 und 1992 bis 1993 nicht bzw. unvollständig vor.

Umrechnungsfaktoren: 1 kg K = 1,20 kg K₂O; 1 kg K₂O = 0,83 kg K.

Die P- und K-Zufuhren über Mineraldünger stiegen in den ABL bis Mitte der 1970er Jahre an, um danach bis 2003 auf den Ausgangswert (1950-54) zurückzugehen. Die P- und K-Zufuhren über Kraftfutter nahmen ebenfalls bis Anfang der 1970er Jahre zu, um seitdem auf etwa gleicher Höhe zu verbleiben. Die P- und K-Überschüsse erreichten in den 1970er Jahren mit dem Vier- bis Fünffachen der Abfuhr die Höchstwerte. Sie liegen zurzeit geringfügig über dem Entzug.

Für die NBL ist die Entwicklung bis zur Wende etwa gleichsinnig verlaufen. Nach der Wende ist die Versorgung mit Mineraldüngern und Kraftfutter zusammengebrochen. Die P- und K-Zufuhren lagen zunächst unter den P- und K-Abfuhr. Sie stiegen bis zum Ende des Berichtszeitraumes an, so dass die P-Bilanzen zur Zeit weitgehend ausgeglichen sind.

Verbleib der P- und K-Überschüsse

Über die P- und K-Bindung geben die Ergebnisse der Bodenuntersuchung Auskunft. Die Entwicklung lässt sich jedoch nur bis in die 1970er Jahre verfolgen, da die Änderungen in der Methodik (verschiedene Extraktionsverfahren und Änderungen in der Einteilung der Gehaltsklassen) sowie die seit den 1970er Jahren durchgeführte Krumentiefung (*Nieder und Richter, 1986*) keinen Vergleich jüngerer mit älteren, vor 1970 ermittelten Daten zulassen. Tabelle 3 zeigt beispielhaft die durchschnittlichen jährlichen Anreicherungen an DL-löslichem P und K von 1958 bis 1972 für das Einzugsgebiet der Zuckerfabrik Schöppenstedt (südniedersächsisches Lössgebiet) sowie für die Einzugsgebiete des Zuckerrübenverbandes Bremervörde und der Stader Saatzucht (Stader Geest) mit jährlichem Aufkommen von je 3000 Proben (*Köster et al. 1988*).

Tabelle 3: Mittlere jährliche Zunahme der Gehalte an laktatlöslichem Phosphor und Kalium (DL-Methode) im Einzugsgebiet der Zuckerfabrik Schöppenstedt (südniedersächsisches Lössgebiet) und der Stader Geest (sandige Böden im Niedersächsischen Altmoränengebiet) von 1958 bis 1972

Nährstoff	Zuckerfabrik Schöppenstedt		Stader Geest	
	Akkumulati- on mg/100 g	Bilanzüber- schuß kg/ha	Akkumulation mg/100 g	Bilanz- überschuß kg/ha
Phosphor	0,44	24,00	0,22	29,00
Kalium	0,40	57,00	0,00	65,00

Die P-Gehalte stiegen auf den Lössstandorten der Zuckerfabrik Schöppenstedt bei durchschnittlichen Überschüssen von ca. 24 kg P ha⁻¹ jährlich um 0,44 mg 100 g⁻¹ und auf Sandböden (Bodenwertzahl <35) der Stader Geest bei Überschüssen von 29 kg P ha⁻¹ nur um 0,22 mg P 100g⁻¹ Boden. Die Unterschiede beruhen darauf, dass Überschüsse an Düngerphosphaten auf Lössböden mit pH-Werten um 6,5 vorwiegend als Ca-Phosphate gebunden und auf Sandböden mit pH-Werten um 5,5 an Al- und Fe-Oxiden sorbiert werden. Da Laktatmethoden bevorzugt Ca-Phosphate erfassen, wird die P-Versorgung von Sandböden unterbewertet.

Kalium wird vornehmlich von Tonmineralen gebunden. Bei den in Mitteleuropa vorherrschenden Illiten und Vermiculiten wird nur ein Teil an den Mineraloberflächen austauschbar gebunden und von der Bodenuntersuchung erfasst. Der überwiegende Anteil wird in Zwischenschichten der Tonminerale in „nicht austauschbarer“ oder „fixierter“ Form gebunden. Diese Fraktion wird nicht direkt von der Bodenuntersuchung erfasst, bleibt aber grundsätzlich pflanzenverfügbar. Da aber zwischen den oben genannten Fraktionen Austauschgleichgewichte bestehen, wird der Vorrat an nicht austauschbarem Kalium über die Bodenuntersuchung indirekt miterfasst. Bei einer Pflugtiefe von rund 25 cm in den 1950er und 1960er Jahren (Nieder und Richter, 1986) wurden ca. 140 kg K ha⁻¹ benötigt, um 1 mg 100 g⁻¹ Boden anzureichern. Daraus ergibt sich für das Einzugsgebiet der Zuckerfabrik Schöppenstedt, dass ca. 70 % der K-Überschüsse in nicht austauschbarer Form gebunden wurden.

Lediglich bei sehr niedrigen K-Gehalten (Klasse A) kann Düngerkalium so fest in Zwischenschichten eingelagert sein, dass die Lösungsraten nicht ausreichen, um den Bedarf von Pflanzen – speziell von Ackerfrüchten - zeitgerecht zu decken. Hier sind einmalige Meliorationsgaben von $1000 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ (auf schweren Tonböden bis 5000 kg) erforderlich.

Auf den Sandböden der Stader Geest waren trotz jährlicher Überschüsse von ca. 65 kg K ha^{-1} keine K-Anreicherungen nachweisbar. Das beruht darauf, dass die Bindung an die organische Bodensubstanz gering ist und die Bindungskapazität der Tonminerale aufgrund geringer Tongehalte (<5%) begrenzt ist. Bereits in den 1950er Jahren war hier das Anreicherungspotential erschöpft, so dass weitere Überschüsse in den Unterboden verlagert bzw. aus der Wurzelzone ausgewaschen wurden.

Einfluss der P- und K-Anreicherung auf die Ertragsentwicklung

Pflanzen decken ihren Mineralstoffbedarf auch bei hohen Zufuhren von Mineraldüngern zu 80 bis >90% aus den Bodenvorräten. Sind diese Vorräte zu niedrig, werden die standortbezogenen Höchstträge nicht erzielt und Anreicherungen notwendig. Die Höhe der verfügbaren Gehalte lässt sich durch Bodenuntersuchungen ermitteln. In der Düngeberatungspraxis wird zwischen den Versorgungsklassen A (sehr niedriger Gehalt), B (niedriger Gehalt), C (optimaler Gehalt) sowie D und E (hohe bzw. zu hohe Gehalte) unterschieden. Böden der Versorgungsklassen A und B bedürfen einer Anreicherung, damit die volle Ertragsleistung erbracht werden kann. Es wird für Makronährstoffe eine Düngung in Höhe des 2- bzw. 1,5-fachen Entzuges empfohlen. Die Gehaltsklasse C ist durch Ergänzung in Höhe des Entzuges zu erhalten. D und E können durch Verringerung oder Unterlassen der Düngung abgereichert werden.

Bereits in den 1950er Jahren wurde darauf hingewiesen, dass die oben genannten Versorgungsklassen zu hoch angesetzt wurden, die darauf aufgebauten Düngeempfehlungen ebenfalls zu hoch sind und Pflanzen bereits in der Klasse B (ehemals II) nicht mehr auf P- und K-Düngung ansprechen (*Köhnlein, 1967*). Eine Kommission aus Wissenschaft und

Beratung hat Anfang der 1960er Jahre nach Auswertung vorliegender Feldversuche verbindliche Vorschläge erarbeitet. Diese lagen zwar deutlich unter den bis dahin üblichen Werten, waren aber mehr auf Ausschöpfung der letzten Ertragsreserven als auf Wirtschaftlichkeit ausgerichtet (*Schachtschabel, 1963*). Bei Annahme dieser Grenzwerte hätte für die P- und K-Düngung spätestens seit 1960 eine Ergänzung in Höhe der Abfuhr ausgereicht.

Diese Empfehlungen wurden aus folgenden Gründen nicht befolgt (siehe Tabellen 1 und 2):

- 1) Bei den seinerzeit günstigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bestand kein Anlass zur Senkung der Produktionskosten.
- 2) Ökologische Bedenken wurden zu dieser Zeit noch nicht diskutiert. Es wurde im Gegenteil empfohlen, unter der günstigen finanziellen Situation so viel wie möglich zu düngen, um Vorräte für zukünftige, schlechtere Zeiten anzulegen.
- 3) Die in den 1960er Jahren vermehrt zu beobachtenden Ertragssteigerungen wurden mit der Höhe der Düngung in Zusammenhang gebracht. Steigende Düngung und zunehmende Boden-P- und K-Gehalte galten als Voraussetzungen für Ertragssteigerungen (*Fink, 1979, S. 31*).

Wie die Abbildungen 1a) und 1b) zeigen, verliefen die Entwicklungen der Winterweizen- und Zuckerrübenenerträge und die Aufwendungen an Phosphor und Kalium bis in die 1970er Jahre gleichsinnig. Sodann setzte bis in die Gegenwart eine gegenläufige Entwicklung ein. Die für den betrachteten Zeitraum angenommene Beziehung zwischen der Ertragsentwicklung und der Steigerung der P- und K-Aufwandmengen trifft daher nicht zu.

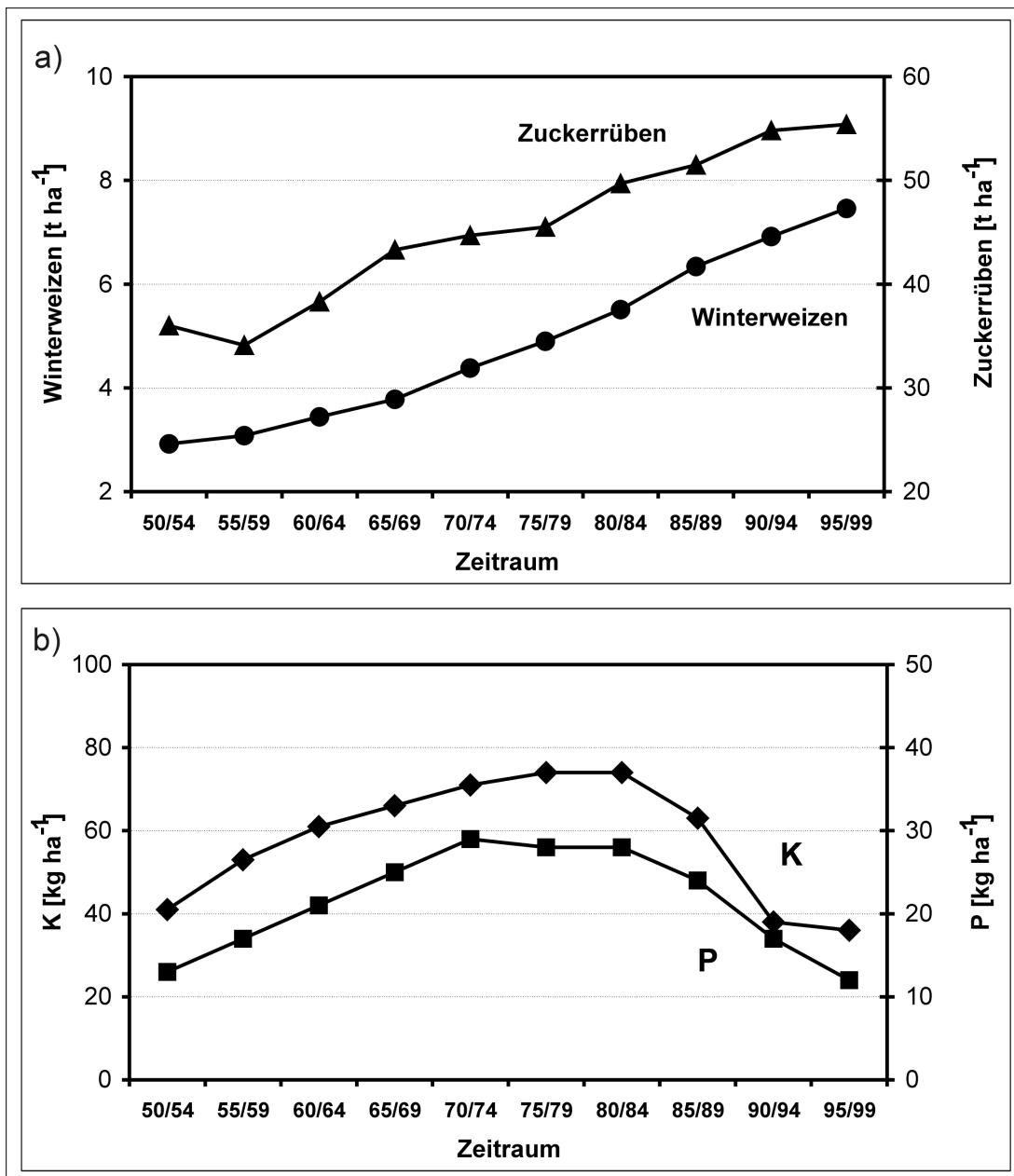


Abbildung 1: Erträge von Zuckerrüben und Winterweizen (a) und Zufuhr von Phosphor und Kalium (b) von 1950 bis 1999 in den Alten Bundesländern

Ertragserhebungen verschiedener Organisationen und Auswertungen von Versuchen haben fast übereinstimmend ergeben, dass zwischen Bodengehalten der Klasse B bis E und Erträgen keine Beziehungen bestehen. So werden bereits in Klasse B Erträge erzielt, die in den Klas-

sen C bis E nicht weiter ansteigen. Kartoffeln können auf steigende K-Bodengehalte sogar negativ reagieren (siehe unter Kalium).

Düngerichtlinien und –empfehlungen von Officialberatung und Düngemittelindustrie sind auch heute noch stärker auf die Ausschöpfung vermeintlicher Ertragsreserven als auf Wirtschaftlichkeit ausgerichtet. Das eigentliche Ziel der Düngung sollte jedoch die nachhaltige Sicherung der Wirtschaftlichkeit der Erzeugung von landwirtschaftlichen Kulturen sein, was eine Optimierung der Mineralstoffernährung voraussetzt.

Folgerichtig muss die Düngung nicht nur die Kosten der Mineraldünger zuzüglich der Nebenkosten wie Ausbringung und Verzinsung decken, sondern darüber hinaus noch einen Mehrertrag erbringen. Wie in der gewerblichen Wirtschaft muss auch bei Düngeempfehlungen von der Wirtschaftlichkeit ausgegangen werden, die sich aus der Differenz zwischen

1. den Gesamtkosten der Maßnahme und
2. den zu erwartenden Mehrerträgen ergibt.

Zu 1: Tabelle 4 zeigt die zur Kostendeckung erforderlichen Mehrerträge von Weizen, Futtergetreide, Raps und Zuckerrüben für Phosphor, Kalium und Magnesium bei Aufwendungen vom 1,5-, 1,0- und 0,5-fachen Entzug entsprechend den Empfehlungen in den Klassen B, C und D nach Bodenuntersuchungsergebnissen. Folgende Preise wurden zu Grunde gelegt:

Früchte:

- zuzüglich Mehrwertsteuer zur Zeit der Ernte in € dt⁻¹ : Weizen 10 €; Futtergetreide 9 €, Raps 20 €, Zuckerrüben 1,5 € (Für Rüben wurde der C-Rübenpreis eingesetzt da die geringen erzielbaren Mehrerträge kaum eine Änderung der Anbauflächen bewirken und als C-Rüben anfallen werden.).

Düngemittel:

- zuzüglich MwSt in € kg⁻¹: Phosphor (P₂O₅) 0,40 €; Kalium (K₂O) 0,25 €; Magnesium (MgO) 0,40 €.

- In der Annahme, dass jeweils zwei Nährstoffe ausgebracht werden, wurden für die Ausbringung 7,5 € ha⁻¹ angesetzt.

Alle Aufwendungen wurden für ein Jahr mit 5% verzinst.

Tabelle 4: Erforderliche Mehrerträge zur Deckung der Düngekosten in % des Ertrages.

Frucht	Ertrag dt/ha	erforderlicher Mehrerträge in % des Ertrages		
		1,5E*	1,0 E*	0,5E*
Phosphor				
W-Weizen	90	6,23	4,43	2,62
Futtergetreide	80	7,09	5,07	3,05
Raps	40	7,18	5,09	3,01
Zuckerrüben	600	5,35	3,84	2,33
Kalium				
W-Weizen	90	3,38	2,53	1,67
Futtergetreide	80	3,87	2,92	1,97
Raps	40	3,05	2,34	1,63
Zuckerrüben	600	7,62	5,35	3,08
Magnesium				
W-Weizen	90	2,51	1,95	1,38
Futtergetreide	80	2,90	2,28	1,65
Raps	40	2,61	2,05	1,48
Zuckerrüben	600	4,42	3,22	2,02

*1,5E, 1,0E, 0,5 = 1,5- 1,0- 0,5-fache des Entzuges

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, sind für eine Ersatzdüngung, d.h. die Ergänzung der entzogenen Mengen an Phosphor, Kalium und Magnesium in Klasse C für Getreide-Raps-Fruchtfolgen annähernd 10% Mehrerträge zur Kostendeckung erforderlich. Soll darüber hinaus noch ein Gewinn erzielt werden, sind noch höhere Mehrerträge notwendig.

Zu 2: Aussagen über erzielbare Mehrerträge lassen sich nur aus Feldversuchen ableiten. Theoretische Überlegungen allein führen nicht zum Ziel!

Phosphor

Abbildung 2 zeigt die Beziehungen zwischen aus zahlreichen P-Versuchen ermitteltem Ertragszuwachs und Bodengehalten sowie die Klasseneinteilung nach Richtlinien der Bodenuntersuchung in Nieder-

sachsen. Es handelt sich um Versuche, die von Mitte der 1950er bis Mitte der 1990er Jahre durchgeführt wurden und überwiegend aus den ABL stammen. Die NBL sind lediglich durch Versuche vor dem Mauerbau (1961) vertreten. Kurve I gibt die Ertragssteigerungen von 380 einjährigen, mehrjährigen und langjährigen Versuchen mit ca. 1.200 Erntejahren wieder, die vor 1980 abgeschlossen und nach der DL-Methode untersucht wurden (Köster und Schachtschabel, 1983, Brüne und Heyn, 1984). Die durchschnittlichen P-Gaben betragen ca. 45 kg ha^{-1} , was dem Drei- bis Vierfachen der P-Entzüge entsprach. Die Kurve fällt bis $3,5 \text{ mg DL-löslichem P}$ stark ab und geht oberhalb von 6 mg P in einen fast waagerechten Verlauf über. DL-lösliche P-Gehalte, bei denen sichere und kostendeckende Mehrerträge zu erwarten sind und das volle Ertragsniveau evtl. nicht erreicht wird, sind mit $<3 \text{ mg P}$ anzusetzen.

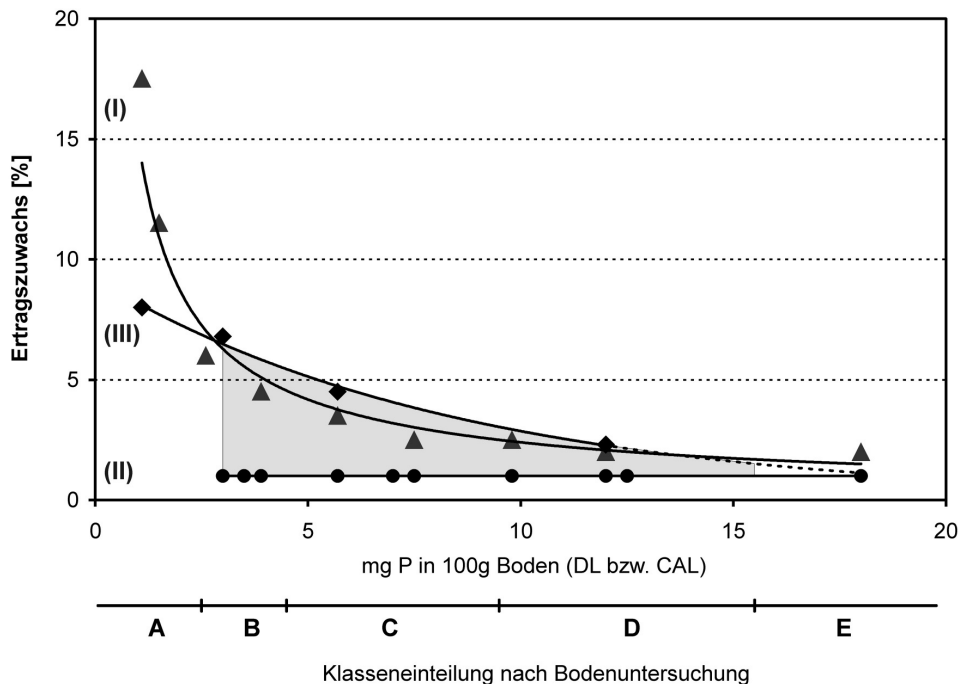


Abbildung 2: Beziehung zwischen Mehrerträgen (I und II) sowie den zur Düngerkostendeckung erforderlichen Mehrerträgen (III) in Abhängigkeit von den Gehalten an verfügbaren Phosphor in Böden bzw. von Versorgungsklassen nach Bodenuntersuchung (I: Versuche bis 1980; II: Versuche nach 1980; III: erforderliche Mehrerträge für die Kostendeckung)

Kurve II gibt die Ergebnisse von 90 Versuchen mit 570 Ernten und P-Gaben in Höhe der einfachen und doppelten Entzüge wieder, die nach 1980 veröffentlicht und nach der CAL-Methode¹ untersucht wurden. Die durchschnittlichen Ertragssteigerungen betragen im erfassten Bereich ca. 1%. Ein Bereich mit deutlich höheren Ertragswirkungen wurde nicht ausgewiesen. Nach *VDLUFA Schriftenreihe* 42/1996 (Mokry, 1996; Schaumberg und Heyn, 1996; Spielhaus, 1996; Hege und Offenberger, 1996; Baumgärtel, 1996; von Fischer, 1996) und Wehrmann et al. (1988) liegt ein solcher Bereich bei Gehalten $<3 \text{ mg P } 100 \text{ g}^{-1}$ Boden.

Kurve III zeigt die Mehrerträge für Winterweizen, die nach den Richtlinien der LUFA Nord-West² (Niedersachsen) zur Kostendeckung erforderlich sind (Siehe Tabelle 4).

Die Differenz zwischen den Kurven II und III zeigt, dass selbst bei Versorgung in Klasse B (leichter Mangel) die zur Kostendeckung erforderlichen Mehrerträge nicht erzielt werden. Im Durchschnitt werden in den Klassen B, C und D 6,2, 4,3 und 2,6% des Ertrages benötigt, um das Defizit zu decken. Bei diesen Angaben wurden Mehrerträge von 1% berücksichtigt.

Langzeitversuche, die zum Abbau hoher Bodengehalte angelegt wurden, ergaben, dass n in Zuckerrübenfruchtfolgen auf 3,5-4,5 mg P(CAL) 100^{-1} g Boden und bei Getreidefruchtfolgen sogar ein noch weitergehendes Abreicher ohne Ertragseinbußen möglich ist (Hege und Offenberger, 1996; Jungk et al. 1993; Römer und Claassen, 1998).

Zuckerrüben sprachen in einem Langzeitversuch der LWK Hannover erst im 24. und 27. Jahr auf eine P-Düngung von 26 kg P ha^{-1} ($60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) (entspricht etwa dem Entzug von Z-Rüben) an. Bei Getreide zeigte sich bis zum 27. Erntejahr keine Wirkung (Baumgärtel, 2003). Insgesamt wurden bis zum 24. Jahr ca. 650 kg P ha^{-1} mit den Ernteprodukten abgefahren und der P-Gehalt von 11 auf $4 \text{ mg P } 100 \text{ g}^{-1}$ Boden (von Klasse D nach B) abgereichert. Das entspricht bei dem derzeitigen

¹ Die CAL-Methode ist eine modifizierte DL-Methode, die in den meisten Bundesländern angewendet wird. Sie extrahiert ca. 20% weniger Phosphor als die DL-Methode. Bei Kalium bestehen keine Unterschiede zwischen den Methoden.

² LUFA Nord-West: Zusammenschluss der LUFAS Hameln und Oldenburg.

Preisniveau und einer Verzinsung von 5% einem Aufwand von 1.350 € ha⁻¹ gegenüber der ungedüngten Variante.

In diesem Versuch wurden bei Zuckerrüben mit 26 und 52 kg P ha⁻¹ (60 und 120 kg P₂O₅ ha⁻¹) im Durchschnitt 8% Mehrerträge erzielt.. Dabei ist für die 26 kg ha⁻¹-Variante nach Abzug der Düngekosten (Tab.4) ein Gewinn bei C-Rüben (1,5€ dt⁻¹) von 4% auszuweisen. Da aber zur Erhaltung des Bodenvorrates auch die Entzüge von zwei Getreideernten (8 kg P₂O₅ 100dt⁻¹) einbezogen werden müssen, ist bei Bezahlung nach C-Rüben für die gesamte Fruchtfolge keine Kostendeckung gegeben. Ein Gewinn ist nur zu erwarten, wenn die Rüben auf die A- und B-Quoten entfallen (4,50 bzw. 3,50 € dt⁻¹). Bei einer Düngung entsprechend den Empfehlungen der LWK Hannover für Klasse B würde allenfalls bei A- und B-Rüben eine Kostendeckung erreicht. **Auf dem Versuchsstandort hätte ein Aussetzen der P-Düngung während des gesamten Beobachtungszeitraumes, in welchem die Bodenvorräte von Klasse D nach B abgebaut wurden, den höchsten wirtschaftlichen Gewinn gebracht!**

Gleiche Schlussfolgerungen sind aus drei Langzeitversuchen der LWK auf Sandböden in Nordhannover zu ziehen (*Baumgärtel 2004*).

Aus diesen Versuchen ergibt sich für die CAL-Methode (unter Berücksichtigung eines methodisch bedingten Sicherheitszuschlages) in Übereinstimmung mit *Köster und Schachtschabel (1983)* sowie *Wehrmann et al. (1988)* ein Bereich von 3-5 mg P 100 g⁻¹ Boden für die Klasse C, in dem eine Düngung in Höhe der Abfuhr zu empfehlen ist, um einem Absinken in den Mangelbereich vorzubeugen. Bei höheren Gehalten ist ein Abreichern durch Unterlassen der Düngung ohne Gefährdung der Wirtschaftlichkeit möglich. Eine Ausnahme bilden Kartoffelfruchtfolgen, die nach niederländischen Versuchen erst bei Gehalten >6,5 mg P 100 g⁻¹ Boden ihre volle Ertragsleistung erreichen und auch bei sehr hohen Gehalten auf eine P-Düngung mit wirtschaftlichen Mehrerträgen reagieren (*Henkens, 1976*). Letzteres wird durch Versuche der LWK-Hannover bestätigt (*Köster, 1993*).

Phosphor kann bei überhöhtem Angebot Mangel an Calcium und Spurenelementen fördern oder induzieren (*Bergmann, 1983, S. 101*).

Schäden durch überhöhte P-Angebote sind bei Gehalten >33 (CAL) mg P 100 g⁻¹ Boden (Klasse F) nicht auszuschließen (Baumgärtel und Severin, 1998).

Kalium

Für Sandböden (Bodenwertzahl <35) liegt der Bereich, in dem durch K-Düngung sichere Mehrerträge zu erwarten sind (Klassen A und B) bei <4 mg K 100 g⁻¹ Boden und bei Lössböden <6 mg K 100 g⁻¹ Boden (Schachtschabel, 1985, Wehrmann et al., 1988, Wulff et al. 1998, VDLUFA 42/1998: Baumgärtel, 1998; von Fischer und Apel, 1998; Hege und Offenberger, 1998; Mokry, 1998; Schaumberg und Heyn, 1998). Für die Klasse C werden für Sandböden 4-6 mg und für Lössböden 6 – 10 mg K 100 g⁻¹ vorgeschlagen.

Nach Ergebnissen niedersächsischer Versuchsansteller (Wehrmann et al., 1988; Schachtschabel, 1985) sprechen Zuckerrüben unabhängig von Bodengehalten auf eine K-Düngung an. Abbildung 3 zeigt die Wirkung von 200 kg K ha⁻¹ auf den Ertrag von Zuckerrüben aus 65 Versuchen, die zwischen 1961 bis 1983 auf südniedersächsischen Lössstandorten durchgeführt wurden. Im Durchschnitt wurden Mehrerträge von 17,5 dt ha⁻¹ (ca. 3,5%) erzielt. Aus den Versuchen wurde seinerzeit abgeleitet, dass K-Gaben in Höhe des 1,5-fachen Entzuges unabhängig von Bodengehalten die höchste Wirtschaftlichkeit bringen. Diese ist bei der derzeitigen Preisrelation nur gegeben, wenn die Rüben als A-Rüben (4,5 € dt⁻¹) anfallen. In der Regel fallen sie jedoch als C-Rüben (1,5 € dt⁻¹, Tab. 4) an, wo eine Kostendeckung nicht gegeben ist. Bei B-Rüben (3,5 € dt⁻¹) ist bestenfalls eine Kostendeckung zu erzielen.

Nach jüngeren Versuchen (Baumgärtel, 2000, Köster 1992) scheinen Kartoffeln in den Klassen C und D auf K-Gaben in Höhe des 1,5-fachen Entzuges wirtschaftlich zu sein.

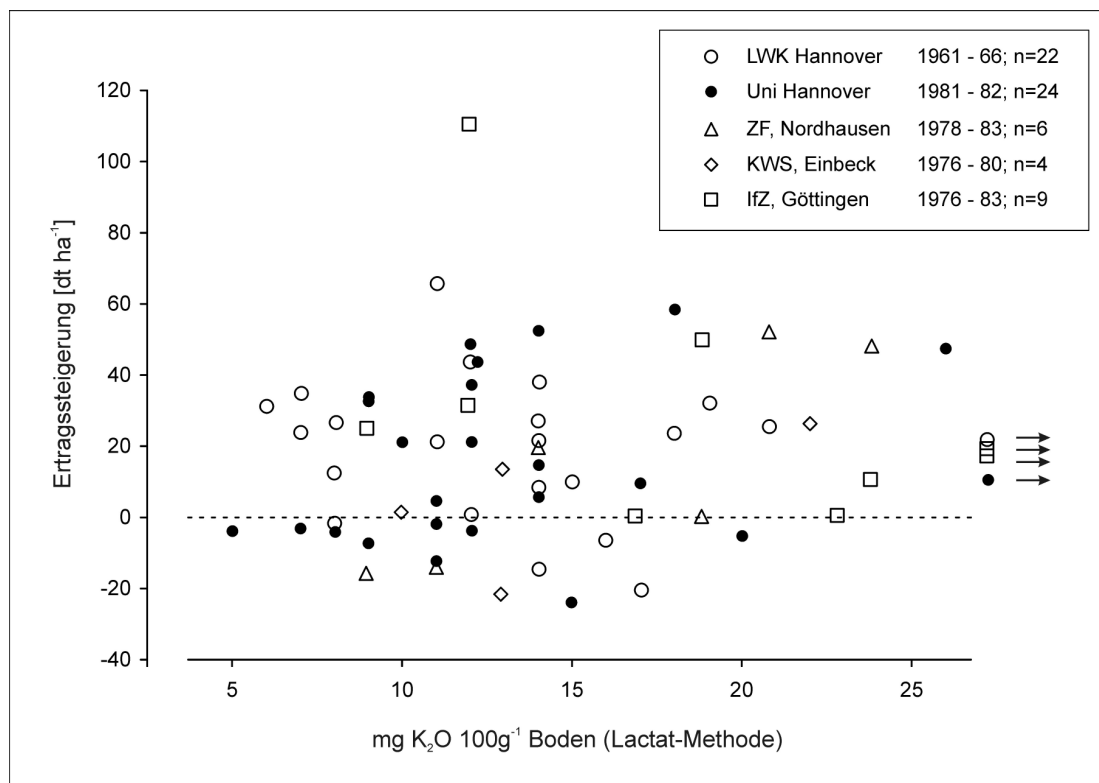


Abbildung 3: Ertragssteigerung bei Zuckerrüben durch eine Düngung von 200 kg K ha^{-1} in Abhängigkeit vom K-Gehalt des Bodens.

Auswirkungen von Kalium auf Ertrag und Qualität gehen weniger von der aktuellen Düngung sondern vielmehr vom bodenbürtigen K aus und sind bereits bei relativ niedrigen Bodengehalten quantifizierbar. Zwei-jährige Ertragshebungen bei Kartoffeln von je 100 Sandstandorten ergaben im Bereich von <5 bis $13 \text{ mg K } 100\text{g}^{-1}$ Boden signifikante Abhängigkeiten (Köster, 1992). Die K-Gehalte in Knollen stiegen von $2,16$ auf $2,69\%$ an. Dabei nahmen die Stärkegehalte um 13% , die Knollenerträge um 7% , die Stärkeerträge um 19% und die Roherträge (€ ha^{-1}) um 22% ab (Köster, 1992). Kalium hat sich hier negativ auf die Biomasseproduktion ausgewirkt!

Überhöhte K-Aufnahmen aus Bodenvorrat und Düngung können zu Ertrags- und Qualitätsminderungen führen. So erhöhen steigende K-Aufnahmen den Wassergehalt in Pflanzen bei Verminderung der Trockensubstanzgehalte und Inhaltsstoffe wie Stärke und Zucker. Ob, wie vermutet wird, ein höherer Wassergehalt darüber hinaus die Anfälligkeit für Schädlinge fördert, bedarf noch der Klärung. Steigende K-Aufnahme

führt weiterhin zu verminderter Aufnahme von Magnesium und Calcium. Das häufige Auftreten von Mg-Mangelsymptomen, die sich bei geringer Ausprägung nicht auf den Ertrag auswirken, ist zumeist die Folge überhöhter K-Aufnahme. Qualitätsmängel an Obst und Gemüse, die auf Ca-Mangel beruhen, werden mit überhöhten K-Angeboten aus Düngung und Bodenvorrat in Verbindung gebracht. (*Bergmann, 1983, S. 122; Köster, 1992*). Durch hohe K-Aufnahmen bedingte Verminderungen der Mg- und Ca-Gehalte in Wirtschaftsfutter, können in der Rindviehhaltung zu Beeinträchtigung von Gesundheit und verminderter Leistung führen

Da negative Auswirkungen von Kalium auf Ertrag und Qualität bereits bei relativ niedrigen Bodengehalten auftreten können, ist die Ausweisung einer Klasse F zurzeit nicht zu empfehlen.

Die vorgeschlagenen Bereiche von P und K für die Klasse C liegen unter denen der derzeitigen deutschen Auswertungs- und Düngerichtlinien. Sie entsprechen weitgehend der Klasse B, die nicht hinreichend definiert ist und durch Düngung über den Abfuhrer angehoben werden soll. Es besteht jedoch gute Übereinstimmungen mit vergleichbaren Auswertungssystemen von Großbritannien, den Niederlanden (z.B. *Köster, 1993; van Dijk, 1999*) sowie den USA. (*Kinsey, 1986*).

Magnesium

Für Magnesium wurden von Schachtschabel für Klasse C (ehemals II) von Sandböden 2,6 bis 5,0 mg Mg 100 g⁻¹ Boden aus Erhebungen über das Auftreten von Magnesiummangelsymptomen an Kartoffeln vorgeschlagen und in der Annahme, dass die Gehalte für tonreiche Böden höher liegen müssen, für Lössböden 3,6 bis 7,0 mg (*Schachtschabel 1956*). Letzteres konnte durch Erhebungen an Kartoffeln und Z-Rüben nicht bestätigt werden.

Magnesiumversuche im Gebiet der LWK-Hannover sprachen auf Sand wie auf Lössböden in den vorgeschlagenen Bereichen nicht auf Mg-Düngung an. Mehrfach bewirkte die Mg-Düngung lediglich eine Behebung der Mangelsymptome. In Versuchen des Institutes für Pflanzen-

ernährung der Universität Hannover zeigte die Mg-Düngung keine Wirkung in Zuckerrübenfruchtfolgen (Wehrmann et. al. 1988). In der Literatur wird von Mg-Wirkungen an Hackfrüchten bei Gehalten unter 5 mg berichtet (*Scheffer-Schachtschabel 1982*).

Überhöhte Mg-Gehalte im Boden führen zur Verringerung der Ca-Aufnahme und werden in Verbindung mit ebenfalls überhöhter K-Aufnahme zu den oben beschriebenen Qualitätsminderungen bei Obst und Gemüse in Zusammenhang gebracht. Extrem hohe Mg-Bodengehalte durch Anwendung Mg-reicher Sekundärrohstoffe führten durch absoluten Ca-Mangel zu Keimhemmungen und Absterben des Aufwuchses. (*Köster 1980*).

Umweltverträglichkeit der P- und K- Anreicherungen

Überschüssig gedüngter Phosphor wird in Ackerkrumen oder Grünlandnarben zum großen Teil in mittel- und langfristig pflanzenverfügbaren Formen gebunden. Eine P-Verlagerung erfolgt durch die Tätigkeit der Bodenfauna in fester Form sowie in gelöster Form durch Sickerwasser. Auf Tonböden, die bei Austrocknung Schrumpfungsrisse bilden, können bei einsetzendem Niederschlag P und K in fester Form mit Krumenmaterial in tiefere Bodenzonen eingespült werden. Die P-Verlagerung durch Sickerwasser ist abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens sowie der P-Konzentration in der Bodenlösung; sie steigt mit zunehmenden P-Gehalten und abnehmendem pH im Boden an. In leichten Böden (Sandböden) sind infolge vergleichsweise niedriger pH-Werte und hoher Dränraten P-Verlagerungen stärker ausgeprägt als in mittelschweren (Schluff- und Lehmböden) und schwereren (Tonböden) Böden. Die P-Verlagerung führt zu entsprechenden P-Anreicherungen im durchwurzelbaren Unterboden (30-90 cm). Diese Vorräte stehen weiterhin den Pflanzen potentiell zur Verfügung.

Bei tiefgründigen Standorten und weitem Grundwasser-Flurabstand sind P-Durchbrüche ins Grundwasser weitgehend auszuschließen. Auf grundwassernahen Standorten (Gleye, Marschen) und Hochmoorböden mit geringem Anteil an anorganischen Sorbenten treten Durchbrüche bis ins Grundwasser auf und führen über Grund- und Dränwässer zu verstärkten

Einträgen in Oberflächengewässer (*Nieder, 2000*). Nach Berechnungen des Umweltbundesamtes (zit. bei *Auerswald, 1996*) erfolgten 1995 in Deutschland 2 bis 3% der gesamten P-Einträge in Oberflächengewässer (57.500 t P) über Grund- und Dränwässer. Die größte Belastung aus der Landwirtschaft erfolgte jedoch über partikulär gebundenes P durch Erosion, das zur Zeit mit ca. 36% (20.700 t P, entspr. 1,25 kg P ha⁻¹) zur Gewässerbelastung beiträgt (*Auerswald, 1996*).

Um die P- und K-Anreicherungen zu begrenzen, wurden in der Düngeverordnung Obergrenzen (Klasse E) festgelegt. Diese stellen keine pflanzenbauliche sondern im Sinne der Verordnung eine ordnungsrechtliche Obergrenze dar. Bei einem Überschreiten kann eine die Abfuhr übertreffende Zufuhr mit Wirtschaftsdüngern als Ordnungswidrigkeit geahndet werden. Als pflanzenbauliche Obergrenze, bei deren Überschreiten Pflanzenschäden nicht auszuschließen sind, wird die Klasse F (extrem hoch) ausgewiesen (*Baumgärtel et al., 1998*).

Kalium wird im durchwurzelbaren Bereich mittelschwerer (Schluff, Lehm) und schwerer (Ton) Böden in austauschbarer Form und als nicht austauschbares K gebunden. Beide Fraktionen tragen zur Versorgung der Pflanzen bei. Auf diesen Böden treten nennenswerte Austräge ins Grundwasser in der Regel nicht auf.

Anders zu beurteilen sind tonarme Sandböden, deren Bindungskapazität für Kalium oft schon bei 3-4 mg K 100 g⁻¹ Boden erschöpft ist. Hier wird über die Abfuhr hinaus appliziertes K ausgetragen und im Unterboden an Tonminerale gebunden. Wenn hier der Ton ebenfalls K-gesättigt ist, wird Kalium auch ins Grundwasser ausgewaschen. Untersuchungen von Beregnungswässern an 100 Standorten in Ostniedersachsen ergaben in 18% der Fälle Überschreitungen des K-Richtwertes von 12 mg K l⁻¹ Wasser für Trinkwasser (*Köster et al., 1988*).

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In der Landwirtschaft Deutschlands wurden den Böden seit Mitte des 20. Jahrhunderts deutlich höhere Mengen an Phosphor und Kalium zugeführt als mit den Ernteprodukten abgefahren. Spätestens seit Ende der 1950er Jahre hätte eine Ergänzung der mit dem Erntegut abgefahrenen Anteile für eine volle Versorgung ausgereicht. Insbesondere die nach den 1960er Jahren noch weiter angestiegenen P- und K-Überschüsse

wirkten sich nicht nur ökonomisch sondern auch ökologisch schädlich aus. „Rechnet man eine jährlichen Verzinsung von 5% zusätzlich zu den Kosten für die Mineraldünger mit ein, so summieren sich die Kosten der P-Überschüsse seit 1960 auf rund 45 Mrd. €, welche die Landwirte in Deutschland aufgebracht haben, ohne dass daraus Einkommensvorteile durch Mehrerträge erwachsen sind“ (Zitat Auerwald, 1996). Berücksichtigt man den K-Überhang mit $\frac{2}{3}$ dieses Betrages, so ergibt die Kalkulation bei einer Hochrechnung bis 2004 überflüssige Aufwendungen für P und K in Höhe von >100 Mrd. €. Die Überschüsse sind mit Einschränkung für Kalium auf Sandböden und abgesehen von P- und K-Exporten durch Oberflächenabfluss in Krume und Unterboden angereichert worden. Das in Unterböden akkumulierte P und K bleibt potentiell pflanzenverfügbar.

In **viehlos wirtschaftenden Marktfruchtbetrieben** ist bei Phosphor und Kalium in Zuckerrüben-, Raps- und Getreidefruchtfolgen ein Abreichern bis Klasse C (nach System II, Tabelle 5) ohne Gefährdung des Ertrages zu empfehlen. In Klasse C sollte für alle Früchte eine Ersatzdüngung gegeben werden, um einem Absinken in den Mangelbereich vorzubeugen, selbst wenn bei Getreide und Raps keine kostendeckenden Mehrerträge zu erwarten sind. Dies muss jedoch den Betriebsleitern mitgeteilt werden, denn nur sie können entscheiden, ob sie bereit und in der Lage sind, diese „Restrisikoversicherung“ zu tragen.

Auszunehmen sind bei Phosphor Kartoffelfruchtfolgen, da Kartoffeln erst bei Bodengehalten von >6,5 mg P(CAL) (Klasse D System II) ihr volles Ertragsniveau erreichen und auch noch in Klasse E eine P-Düngung wirtschaftlich sein kann. Nach neueren Versuchen trifft dies unter Umständen auch für Kalium bei Kartoffeln zu. Unklar bleibt die Situation bei Mais. Es ist bekannt, dass Mais unabhängig von P-Bodengehalten in vielen Versuchen auf Unterfußdüngung mit MAP und DAP anspricht. Hier ist eine zentrale Auswertung vorliegender Versuchsergebnisse wünschenswert.

Für **Veredlungsbetriebe** ergibt sich eine andere Situation. In Abhängigkeit von Ertragsniveau und Intensität der Viehhaltung sind die P-, K- und Mg-Bilanzen bei einer Viehbesatzdichte <1 bis ~1,5 GV ha⁻¹ ausge-

glichen. Die derzeit durch die Düngeverordnung gestattete P-Ausbringung mit Wirtschaftsdüngern von $1,75 \text{ GV ha}^{-1}$ wird vor allem bei zusätzlicher Anwendung von Mineraldüngern zwangsläufig zu weiteren P- und K-Anreicherungen führen.

In Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen wurden Veredlungsbetriebe im Rahmen des Strukturwandels der 1970er und 1980er Jahre vorwiegend auf Sandböden mit oft hochanstehendem Grundwasser etabliert. Die flächenintensive Tierhaltung wurde insbesondere im Bereich Süddoldenburg konzentriert. Da Sandböden nur eine begrenzte Bindungskapazität für Kalium aufweisen, werden K-Überschüsse zum großen Teil ins Grundwasser ausgewaschen.

Noch weitaus schwerwiegender ist die Situation beim Phosphor. Die Flächen von Veredlungsbetrieben weisen weit überdurchschnittliche P-Gehalte auf. So liegen die mittleren P-Gehalte der Kreise Cloppenburg und Vechta (Zentrum der Veredelungswirtschaft in Süddoldenburg) im Mittel bei $31 \text{ mg DL-löslichem P } 100 \text{ g}^{-1}$ Boden (Klasse E; *Nieder*, 2000). Hier werden Einschränkungen für das Ausbringen von Wirtschaftsdüngern gemäß Düngeverordnung zwingend vorgeschrieben. Ein hoher Anteil von Betrieben weist bereits Anreicherungen gemäß Klasse F mit P-Gehalten $>43 \text{ mg (DL)}$ auf. Hier sind Schädigungen von Pflanzen nicht auszuschließen (*Leinweber et al.* 1993). Bei der zurzeit zulässigen P-Aufbringungsmenge werden sich die Anreicherungen bis in Klasse E fortsetzen und zu P-Anreicherungen im Bereich der Klasse F führen, wenn die gesetzlichen Vorlagen nicht befolgt werden. Damit werden zwangsläufig auch die negativen Auswirkungen auf die Gewässer zunehmen.

In diese Überlegungen muss die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm und anderen Sekundärrohstoffen einbezogen werden. Die in der Klärschlammverordnung zulässige Aufbringungsmenge von $5 \text{ t Trockenmasse ha}^{-1}$ in Abständen von drei Jahren wird mit 1 GV ha^{-1} bewertet. Wenn in Zukunft Wirtschaftsdünger großflächiger ausgebracht werden müssen, fallen Gebiete mit einem durchschnittlichen Viehbesatz $>1 \text{ GV ha}^{-1}$ für die Ausbringung von Klärschlamm und vergleichbarer Sekundärrohstoffe aus. Das sind z.B. in Niedersachsen die Gebiete nördlich der Autobahn Hamburg-Bremen und westlich der Weser.

Die in Krume und Unterboden angereicherten und weiterhin verfügbaren P- und K-Überschüsse stellen totes Kapital dar und sollten aus ökonomischer wie ökologischer Sicht durch Abreicherung gezielt ge-

nutzt werden. Grundlage hierzu bieten die in der vorliegenden Arbeit aus Feldversuchen abgeleiteten und vorgeschlagenen Grenzwerte zur Bewertung von Bodenuntersuchungsergebnissen, die in Tabelle 5. (System II) zusammengestellt wurden. Sie liegen deutlich unter den entsprechenden Werten der deutschen Untersuchungsstationen (System I).

Tabelle 5: Grenzwerte für Phosphor, Kalium und Magnesium von Bodenuntersuchungsergebnissen in mg/100 g P,K und Mg (bzw. P₂O₅ und K₂O) nach Köster-Nieder (System II).

Nährstoff mg/100g Boden	Boden	Klassen				
		A	B	C	D	E
Phosphor						
mg P (P ₂ O ₅)	alle Böden	<2 (<3)	2 (3-6)	3 - 5 (7 - 12)	6 - 9 (13 - 20)	(>20)
Kalium						
mg K (K ₂ O)	Sand	<2 (<2)	2 - 3 (2 - 4)	4 -6 (5 - 7)	7 - 10 (8 - 12)	>10 (>12)
	Löss	<3 (<4)	3 - 5 (4 - 6)	6 - 10 (7 - 12)	11 - 15 (13 - 18)	>15 (>18)
Magne- sium						
mg Mg	alle Böden	<2,6		2,6 - 5,0	>5,0	

Ein Vergleich der Auswertungen von Bodenuntersuchungsergebnissen auf Phosphor, Kalium und Magnesium von Lössschlägen aus Südniedersachsen nach Auswertungssystem der LUFA Nord-West (Niedersachsen), (System I) und dem System Köster-Nieder (System II) zeigt Tabelle 6. Daraus ist ersichtlich, dass die Klassen C für Phosphor und Kalium im System II identisch sind mit Klassen B im System I. Daraus ergibt sich, dass es im System II praktisch keine Böden mit Empfeh-

lungen zur Anreicherung gibt und Standorte mit Empfehlungen zur Abreicherung 54 bzw. 60% ausmachen. Bei Magnesium sind die Differenzen geringer.

Tabelle 6: Auswertungen von 142 Bodenuntersuchungsergebnissen von niedersächsischen Lössstandorten nach Richtlinien der LUFA Nord-West (System I) und Vorschlägen von Köster-Nieder (System II).

System		Lufa Nord-West		Köster-Nieder		Ausrichtung der Düngeempfehlungen
Klasse		mg /100 g Boden	Anteil %	mg 100 g Boden	Anteil %	
Phosphor (CAL)						
A	sehr niedrig	<3	1	<2		Anheben Niedriger Bodengehalte
B	niedrig	3 - 4	30	-2	1	
C	Anzustreben	5 - 9	55	3 - 5	45	Ergänzung des Entzuges
D	hoch	10 - 15	8	6 - 8	38	Abbau überhöhter Bodengehalte
E	sehr hoch	>15	6	>8	16	
Kalium (CAL)						
A	sehr niedrig	-5	4	-2		Anheben Niedriger Bodengehalte
B	niedrig	6 - 10	36	3 - .5	4	
C	Anzustreben	11 - 16	42	6 - 10	36	Ergänzung des Entzuges
D	hoch	17 - 29	15	11 - 15	41	Abbau überhöhter Bodengehalte
E	sehr hoch	>29	3	>15	19	

Noch Tabelle 6:

System		Lufa Nord-West		Köster-Nieder		Ausrichtung der Düngeempfehlungen	
Klasse		mg /100 g Boden	Anteil %	mg 100 g Boden	Anteil %		
Magnesium (CaCl₂)	A	sehr niedrig	-3	6		Anheben niedriger Bodengehalte	
	B	niedrig	-4	7	<2,6	5	
	C	Anzu- streben	5 - 7	32	2,6 - 5,0	9	Ergänzung des Entzuges
	D	hoch	8 - 12	38	>5,0	86	Abbau überhöhter Bodengehalte
	E	sehr hoch	13 -	17			

Danksagung

Die Autoren danken Herrn Dipl.-Geoökol. Hans-Peter Dauck für die Anfertigung der Abbildungen.

Literatur

- Auerswald, K., 1997: Emission von N und P aus der Pflanzen- und Tierproduktion in die Gewässer. Rundgespräche der Kommission Ökologie-Ökonomie 127-135, Verl. Dr. F. Pfeil, München.
- Baumgärtel, G., 1996: Ergebnisse langjähriger statischer Phosphatdüngungsversuche auf ackerbaulich genutzten Flächen. VDLUFA-Schriftenreihe 42, 94-109.
- Baumgärtel, G., 1998: Ergebnisse langjähriger statischer Kaliumdüngungsversuche auf ackerbaulich genutzten Flächen im Gebiet der Landwirtschaftskammer Hannover. VDLUFA-Schriftenreihe 47, 19-31.
- Baumgärtel, G., 2000: Kein Wachstum ohne Kalium. Land und Forst 12, 26-30.
- Baumgärtel, G., 2003: P und K: Lange genug gespart. Land und Forst 32, 21-23.
- Baumgärtel, G., Bodenuntersuchung zeigt Mangel., 2004, Land und Forst, 5. 16-18.
- Baumgärtel, G. und K. Severin, 1998: Welche Mengen sollen gedüngt werden? Land und Forst **30**, 24-26.
- Bergmann, W., 1983: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, Fischer-Verlag, Jena.
- Brüne, H. und J. Heyn, 1984: Die Wirkung verschiedener Phosphat-Düngerformen in mehrjährigen Feldversuchen. DLG-Mitteilungen **2**, 80-83.
- van Dijk, W., 1999: Adviesbasis voor de bemesting van Akkerbouw- en Vollegrondsgroentegewassen. Publicatie Nr. **95**, Lelystad.
- Fink, A., 1979: Dünger und Düngung: Grundlagen, Anleitung zur Düngung d. Kulturpflanzen, Verlag Chemie.
- von Fischer, D., 1996: Phosphatbedarfsprüfungen. VDLUFA-Schriftenreihe **42**, 110-122.
- von Fischer, D. und B. Apel, 1998: Kaliumbedarfsprüfung auf Acker und Grünland. VDLUFA-Schriftenreihe **47**, 33-48.
- Harenz, H., Köster, W. und D. Merkel, 1992: Phosphor-, Kalium- und Stickstoffbilanzender Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland und der ehemaligen DDR von 1950 bis 1986, Agribiological Research **45,4**, 285-293.

- Hege, U. und K. Offenberger, 1996: Ertragswirkung einer P-Düngung in Abhängigkeit von der P-Versorgung des Bodens. VDLUFA-Schriftenreihe **42**, 65-79.
- Hege, U. und K. Offenberger, 1998: Ergebnisse von Kaliumdüngungsversuchen in Bayern. VDLUFA-Schriftenreihe **47**, 65-82.
- Henkens, C., 1976: Persönliche Mitteilung.
- Jungk, A., Claassen, N., Schulz, V. und J. Wendt, 1993: Pflanzenverfügbarkeit der Phosphorvorräte ackerbaulich genutzter Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **156**, 397-406.
- Kinsey, N., 1986: Persönliche Mitteilung.
- Köhnlein, J., 1967: Ertragssteigerung, Nährstoffbilanz und Bodenuntersuchungsergebnisse in statischen Feldversuchen mit steigenden P₂O₅- und K₂O-Gaben. Z. Acker und Pflanzenbau **104**, 229-256.
- Köster, W., 1980: Pflanzenschäden durch hohe Gaben von Abwasser bzw. Klärschlamm. Landwirtschaftliche Forschung, Kongressband 1980 564-569
- Köster, W. und P. Schachtschabel, 1983: Beziehung zwischen dem durch Phosphatdüngung erzielbaren Mehrertrag und dem Phosphatgehalt im Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **146**, 539-542.
- Köster, W., Möhring, D., Severin, K. und H.-D. Ziebell, 1988: Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbilanzen landwirtschaftlich genutzter Böden der Bundesrepublik Deutschland von 1950 bis 1986. Schriftenreihe der Landwirtschaftskammer Hannover, 162 S.
- Köster, W., Severin, K. und F. Suthoff, 1990: Kaliumbelastung von Beregnungswasser, Kongressband 1989, VDLUFA Schriftenreihe **30**, 579-603.
- Köster, W., 1992: Düngungsempfehlungen der Landwirtschaftskammer Hannover. 14. Kartoffeltagung, Granum-Verlag, Detmold.
- Köster, W., 1993: Wie weit kann man die Nährstoffgehalte im Boden absinken lassen? Vortrag RKL-Tagung 1993.
- Leinweber, P., Geyer-Wedell, K. und E. Jordan, 1993: Phosphorversorgung der Böden im agrarischen Intensivgebiet Südoldenburg. Vehtaer Druckerei und Verlag, 67 S.
- Mokry, M., 1996: P-Düngungsversuche - Baden-Württemberg. VDLUFA-Schriftenreihe **42**, 4-10.
- Mokry, M., 1998: K-Düngungsversuche in Baden-Württemberg. VDLUFA-Schriftenreihe **47**, 99-104.

- Nieder, R., 2000: Nährstoffanreicherung in Ackerkrumen vor dem Hintergrund des Boden-, Klima- und Gewässerschutz. *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung* **41**, 1-8.
- Nieder, R. und J. Richter, 1986: C- und N- Festlegung in Böden Südostniedersachsens nach Krumenvertiefung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **149**, 189-201
- Römer, W. und N. Claassen, 1998: Reaktion der Zuckerrübe auf P und K. *Land und Forst* **21**, 10-13.
- Scheffer, F. und Schachtschabel, P.: *Lehrbuch der Bodenkunde*, 11. Auflage S.212.
- Schachtschabel, P.: Der Magnesiumversorgungsgrad nordwestdeutscher Böden und seine Beziehungen zum Auftreten von Mangelsymptomen an Kartoffeln. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk.* **74**, 202-219 1956.
- Schachtschabel, P., 1963: Der anzustrebende pH-Wert, Posphor- und Kaliumgehalt von Ackerböden. *Landwirtschaftliche Forschung* **17**, Sonderheft 60-82.
- Schachtschabel, P., 1985: Beziehungen zwischen den durch K-Düngung erzielbaren Mehrerträgen und dem K-Gehalt der Böden nach Feldversuchen in der Bundesrepublik Deutschland. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **148**, 439-458.
- Schaumberg, G. und J. Heyn, 1996: Prüfung optimaler Phosphatversorgungsbereiche/Hessen. *VDLUFA-Schriftenreihe* **42**, 11-19.
- Schaumberg, G. und J. Heyn, 1998: Ergebnisse hessischer K-Steigerungsversuche. *VDLUFA-Schriftenreihe* **47**, 105-111.
- Spielhaus, G., 1996: Phosphatdüngungsversuche in Westfalen-Lippe. *VDLUFA-Schriftenreihe* **42**, 36-44
- Wehrmann, J., Kuhlmann, H. und G. Baumgärtl, 1988: P-, K- und Mg-Düngeversuche für das Lössgebiet Südniedersachsens auf sicherer Grundlage. *DLG-Mitteilungen* **103**, 337-348, 1988.
- Wulff, F., Schulz, V., Jungk, A. und N. Claassen, 1998: Potassium fertilization on sandy soils in relation to soil test, crop yield and K-leaching. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **161**, 591-599.

Anhang:

In der vorliegenden Arbeit wurde als Grundlage der Düngeempfehlungen der Entzug gewählt. Als Entzug wird hier die Abfuhr der Mineralstoffe durch Erntegut verstanden. Diese lassen sich der Tabelle entnehmen:

Frucht	Erntemenge [dt]	Abfahren [kg]		
		Kg P₂O₅	Kg K₂O	Kg MgO
Zuckerrüben	100	10	24	8
Kartoffeln	100	14	60	6
Raps	10	18	10	5
Getreide (Korn)	10	8	6	3
Stroh	10	2	15	3

Anschriften der Verfasser:

Ltd. LD a.D. Dr. Werner Köster

Reuterkamp 15
D-31840 Hessisch-Oldendorf
Fax: 05158-990882

Prof. Dr. Rolf Nieder

Institut für Geoökologie, Technische Universität Braunschweig
Langer Kamp 19 c
D-38106 Braunschweig
e-mail: r.nieder@tu-bs.de

Verlegt von:

**Bayer Handelsvertretung
York-Th. Bayer
Kaiserin Augusta Str. 78
D-12103 Berlin
Tel. 030 - 75704620
Fax. 030 - 75704621**