



**Verband Deutscher Landwirtschaftlicher  
Untersuchungs- und Forschungsanstalten**

**Ergebnisse langjähriger, ortsfester  
Kalidüngungsversuche  
auf  
Acker- und Grünland**

zusammengestellt vom Arbeitskreis „Düngeberatung und Nährstoffhaushalt“  
beim Verband der Landwirtschaftskammern

**VDLUFA-Schriftenreihe 47/1998  
VDLUFA-Verlag Darmstadt**

ISBN 3-922712-67-3

© 1998 by VDLUFA-Verlag, D-62493 Darmstadt  
Alle Rechte vorbehalten.

Herausgeber: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher  
Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Darmstadt

Verlag: VDLUFA-Verlag, Bismarckstraße 41 A,  
D-64293 Darmstadt, Tel. 06151-26485, Fax 293370  
e-mail: [VDLUFA@t-online.de](mailto:VDLUFA@t-online.de)

## Wirkung steigender K-Düngung auf Ertragsleistung und Veränderung der DL-löslichen K-Bodengehalte

E. Albert,<sup>1</sup>

### 1. Einleitung

Neben Stickstoff ist Kalium der Nährstoff, der in erheblichen Mengen von den Fruchtarten aufgenommen wird. Die in den letzten Jahren stattgefundenen gravierenden Veränderungen in der Landwirtschaft Ostdeutschlands wie

- der verstärkte Anbau von Getreide zu Lasten der K-intensiven Fruchtarten Kartoffeln, Rüben und Ackerfutter und
- die zunehmende Stroh- und Rübenblattdüngung

haben den Kalium-Bedarf sinken lassen. Andererseits bewirkte der drastische Abbau der Viehbestände auf annähernd 0,6 GV/ha in Sachsen eine deutliche Reduktion der Nährstoffrückflüsse aus organischen Düngern.

Die neuen ökonomischen Bedingungen seit der "Wende" haben in den östlichen Bundesländern dazu geführt, daß auf dem Sektor der Mineraldüngung besonders bei der Applikation von Phosphor, Kali und Kalk gespart wurde. Wegen der jahrzehntelangen vergleichsweise hohen K-Düngung und der daraus resultierenden überwiegend hohen bis sehr hohen Bodenversorgung kann eine gezielte, aber zeitlich begrenzte Abschöpfung der verfügbaren Bodenreserven durchaus befürwortet werden. Allerdings sollten die K-Vorräte nicht so stark in Anspruch genommen werden, daß die Ertragsbildung und -stabilität ernsthaft darunter leiden. Vor diesem Hintergrund ist auch zu bedenken, daß das erneute Anheben der K-Gehalte in den anzustrebenden Bereich bei den künftig zu erwartenden Erzeugerpreisen vielen Landwirten finanziell schwer fallen dürfte.

Die skizzierten Veränderungen zeigen bereits erste Auswirkungen im Hinblick auf die verfügbaren K-Gehalte sächsischer Böden. So belegen Untersuchungen von Suntheim und Buße (1995), daß der Anteil hochversorgter Böden in den letzten Jahren abnahm, während der Anteil mit niedriger und sehr niedriger K-Versorgung ansteigt. Obwohl diese Entwicklung von den Autoren noch nicht als besorgniserregend beurteilt wird, sollte dennoch die bedarfsgerechte K-Düngung als eine die Bodenfruchtbarkeit sichernde Maßnahme wieder stärker in das Bewußtsein der Landwirte rücken. Eine objektive Beratung auf der Basis langjähriger Versuche kann hierfür eine wichtige Grundlage liefern.

Von Interesse sind daher K-Steigerungsversuche zur Auffindung von optimalen K-Gaben und K<sub>DL</sub>-Gehalte auf vergleichsweise hochversorgten Böden, wie sie für viele ostdeutsche Standorte typisch waren und teilweise noch sind. Derartige Versuche können des weiteren auf folgende Fragen Antworten liefern:

- Wie lange sind die verfügbaren K-Reserven abschöpfbar?
- Mit welcher K-Nachlieferung ist zu rechnen?
- Wie hoch sollte die K-Düngung sein, damit der Boden nicht an laktablöslichem K verarmt?
- Welcher K<sub>DL</sub>-Versorgungsbereich ist zur Sicherung wirtschaftlicher Erträge anzustreben?

---

<sup>1</sup> Erhard Albert

Sächsische Landesanstalt f. Landwirtschaft, FB Bodenkultur u. Pflanzenbau  
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig

Mit der nachstehenden Versuchsauswertung soll hierzu ein Beitrag geleistet werden.

## 2. Material und Methoden

Anhand eines Dauerversuches (Laufzeit 7 Jahre) auf einem Verwitterungsboden aus Diabas (Tab. 1) wird die Wirkung steigender K-Düngung auf Ertragsleistung und Veränderung der K<sub>DJL</sub>-Gehalte untersucht. Die K-Stufen waren folgende:

Hackfrüchte:	0	50	100	150	200	} kg K/ha
Getreide:	0	33	66	100	133	

Die Ausgangsgehalte des Bodens (0 - 20 cm) an laktatlöslichem K lagen mit 16 mg K/100 g Boden entsprechend der sächsischen Einstufung im unteren Bereich der Versorgungsstufe D (14 - 22 mg K/100 g Boden).

Zum Anbau kamen im Versuchszeitraum die Fruchtarten Kartoffeln, Futterrüben, Hafer, Grünmais, Winterweizen, Winterroggen und Kartoffeln. Sämtliche Ernteprodukte wurden vom Feld abgefahren und auf ihre Inhaltsstoffe untersucht. Die K-Düngung erfolgte jährlich vor der Aussaat bzw. Bestellung. Der Versuch wurde als Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt.

Im vorliegenden Beitrag erfolgen die Angaben der K-Düngermengen bzw. K-Gehalte generell in der Elementform. Für die Umrechnung in die Oxidform ist der Faktor 1,20 anzusetzen.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Die K-Entzüge der angebauten Fruchtarten stiegen - wenn auch geringfügig - bis zur höchsten K-Stufe an (Tab. 2). Allerdings deckte selbst der höchste K-Aufwand die K-Pflanzenentzüge nicht ab. Trotz der hohen K<sub>DJL</sub>-Ausgangsgehalte von 16 mg/100 g Boden reagierten die Fruchtarten mit erheblichen, hoch wirtschaftlichen Mehrerträgen (8 dt GE/ha bzw. 137,50 DM/ha) auf die K-Düngung bis zu einem mittleren K-Aufwand in der Fruchtfolge von 85 kg/ha. Entsprechend dem Kurvenverlauf der Ertragsfunktion wird der maximale Ertrag bei einer K-Düngung von 114 kg/ha und der optimale (Annahme: 1 kg K = 0,50 DM; 1 dt GE = 25 DM) bei einer von 97 kg K/ha erreicht (Abb. 1). Höchste Fruchtfolgeerträge erforderten - regressionsanalytisch abgeleitet - eine K-Aufnahme von 222 kg/ha (Abb. 2). Im Hinblick auf die K-Wirkung bestanden erwartungsgemäß zwischen den Fruchtarten erhebliche Unterschiede (Tab. 3). Während bei Getreide steigende K-Gaben bis in Höhe von 66 kg/ha gesicherte, jedoch relativ geringe Mehrerträge (2,8 dt GE/ha bzw. 17 DM/ha) bewirkten, sind die Ertragszuwächse von über 13 dt GE/ha bei Hackfrüchten mit 150 kg K/ha und bei Mais mit 100 kg K/ha bemerkenswert hoch. Daraus resultieren finanzielle Mehrerträge von immerhin 235 bzw. 272,50 DM/ha. Wie die Abbildung 3 erkennen läßt, nehmen die K-düngungsbedingten Mehrerträge mit steigenden K<sub>DJL</sub>-Gehalten sowohl bei Getreide als auch bei Hackfrüchten und Mais in der Tendenz ab. Während bei Getreide die Mehrerträge auf einem niedrigen Niveau liegen und ab ca. 10 mg K/100 g Boden nicht mehr wirtschaftlich sind, werden bei Hackfrüchten und Mais wesentlich höhere, jedoch stark streuende Ertragszuwächse mitunter bis zu 18 mg K/100 g Boden beobachtet. Diese wider Erwarten starken Ertragseffekte selbst bei hoher Bodenversorgung dürften mit den Standortbedingungen zusammenhängen. Bei dem zwar sorptionsstarken, allerdings flachgründigen Verwitterungsboden sind die Fruchtarten in erster Linie auf den K-Pool der Ackerkrume angewiesen. Der Beitrag des Unterbodens an der Bedarfsdeckung dürfte hier vergleichsweise gering sein. In diesem

Zusammenhang sei an die Untersuchungen von Grimme et al. (1981) und Rex und Harrach (1983) erinnert, in denen eindrucksvoll auf die beträchtliche Beteiligung des Unterbodens an der K-Versorgung der Fruchtarten hingewiesen wurde.

Die differenzierte K-Düngung führte im Laufe der Versuchsjahre zu einer raschen und deutlichen Abstufung der  $K_{DL}$ -Gehalte (Abb. 4). Bei unterlassener K-Düngung und jährlichen K-Entzügen von 185 kg/ha sanken die  $K_{DL}$ -Werte pro Jahr um immerhin 1,5 mg/100 g Boden auf einen Endwert von 5,2 mg/100 g Boden ab, der eine nicht ausreichende K-Versorgung charakterisiert (Tab. 4). Dieser schnelle Abfall der  $K_{DL}$ -Werte bei Verzicht auf die K-Düngung dürfte - wie bereits diskutiert - mit der Spezifik des Standortes und den hohen K-Entzügen der Fruchtfolge zusammenhängen. Bei den hohen K-Stufen von 128 bzw. 171 kg/ha hingegen, die aber noch deutlich unter den K-Entzügen lagen, stiegen die  $K_{DL}$ -Werte an. Die Korrelation der K-Bilanz zur jährlichen  $K_{DL}$ -Veränderung veranschaulicht, daß sich bei einem Bilanzwert von - 121 kg K/ha ein Gleichgewicht einstellt (Abb. 5), d. h. 121 kg K/ha werden jährlich aus dem Bodenvorrat bei konstantem  $K_{DL}$ -Gehalt während des Versuchszeitraumes nachgeliefert. Zunehmende K-Bilanzdefizite bewirken einen Abfall der  $K_{DL}$ -Gehalte, während bei kleiner werdenden Defiziten die laktablöslichen Gehalte ansteigen. Allerdings ist diese Zunahme nicht linear, sondern degressiv steigend. Daraus folgt, daß offenbar aus der Nachlieferung stammende K-Mengen immer weniger wirksam zur  $K_{DL}$ -Gehalterhöhung beitragen. Eine Erklärung für diese Erscheinung ist sicherlich in der K-Auswaschung in tiefere Bodenschichten zu suchen.

Die insgesamt als bemerkenswert hoch einzuschätzende K-Nachlieferung wird in der Größenordnung durch andere Dauerversuche auf diesem Standort bestätigt (Albert 1980 und 1984). In Auswertung zahlreicher Versuche ermittelten Kerschberger und Richter (1992) für mittlere und schwere Böden jedoch nur eine durchschnittliche K-Nachlieferung von ca. 20 kg/ha und Jahr. In Einzelfällen allerdings stiegen bei ausgeglichener K-Bilanz die  $K_{DL}$ -Werte jährlich bis nahezu 2 mg/100 g Boden an, was auf eine beachtliche K-Nachlieferung hindeutet. Auch Orlovius (1994) beobachtete auf einigen Standorten bei einer K-Düngung nach Nettoentzug eine K-Gehalterhöhung.

Ergebnisse von 5 Dauerversuchen auf Standorten mit unterschiedlicher Bodenentstehung in Sachsen und Thüringen lassen den Schluß zu, daß die jeweilige geologische Herkunft entscheidend das K-Nachlieferungspotential und folglich das Optimum der K-Düngung beeinflusst (Albert, 1980 und 1984). Kerschberger und Richter (1992 und 1993) wiesen in umfangreichen Dauerversuchen nach, daß der Zusammenhang zwischen K-Bilanz und Veränderung der DL-löslichen K-Gehalte erheblich von der geologischen Herkunft bestimmt wird. Besonders auf leichten, diluvialen Böden reichte eine Entzugsdüngung nicht zum Erhalt der  $K_{DL}$ -Gehalte aus. Auf mittleren und schweren Böden, vor allem aus Löß und Buntsandstein, bewirkte eine entzugsorientierte K-Düngung mitunter beträchtliche Zunahmen der  $K_{DL}$ -Werte. Hierbei spielt offensichtlich der Tonmineralgehalt der Böden, insbesondere der für die K-Nachlieferung wichtige Illitgehalt, eine bedeutsame Rolle (vgl. Richter 1974 und 1975). Untersuchungen von Richter, W. (1975) zum Mineralbestand der Schutt- und Tonfraktion des Versuchsbodens ergaben Gehalte an Illiten von 20 % und an Hemiexpanditen von 40 %. Letztere setzen sich zu einem beträchtlichen Anteil aus quellfähigen und damit für die K-Nachlieferung bedeutsamen Illiten zusammen. Diese Befunde können als ein Indiz für das hohe K-Nachlieferungsvermögen gewertet werden.

Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Ertragsbildung von den laktablöslichen K-Gehalten wurden von jedem Prüfglied die mittleren Gehalte innerhalb des Versuchszeitraumes bestimmt und in Beziehung zum GE-Ertrag gesetzt. Bei einer derartigen Vorgehensweise erhält

man das Ertragsmaximum bei 14,6 mg K/100 g Boden und das Ertragsoptimum bei 13,2 mg K/100 g Boden (Abb. 6).

Wird schließlich die K-Düngung zu den  $K_{DL}$ -Gehalten zu Versuchsende korreliert, kann aus der Beziehung der benötigte K-Aufwand zur Aufrechterhaltung des  $K_{DL}$ -Ausgangsniveaus abgeleitet werden (Abb. 7). Im konkreten Fall beträgt der K-Aufwand zur Reproduktion der  $K_{DL}$ -Ausgangswerte 121 kg K/ha. Da dieser Wert über dem ökonomischen Optimum liegt, wäre eine auf den Erhalt des hohen  $K_{DL}$ -Ausgangsniveaus orientierte K-Düngerbemessung wirtschaftlich nicht sinnvoll. Die Ableitung der Regressionsfunktion (Abb. 7) nach den für optimale (13,2 mg K) bzw. maximale (14,6 mg K) Erträge benötigten  $K_{DL}$ -Gehalten ergibt vielmehr geringere K-Aufwandmengen von 86 bzw. 103 kg/ha. Die so ermittelten optimalen  $K_{DL}$ -Gehalte und Düngermengen gelten streng genommen nur für den Versuchsstandort. Ob bei den heute üblichen getreidereichen Fruchtfolgen mit geringeren  $K_{DL}$ -Gehalten optimale Erträge zu realisieren sind, lassen die geringen K-düngungsbedingten Mehrerträge von Getreide in diesem Versuch vermuten. Ergebnisse von Wulff et al. (1992) stützen diese Annahme.

Die Richtigkeit der allgemein praktizierten Empfehlung, bevorzugt K-intensive Fruchtarten mit Kalium "frisch" zu versorgen, wird erneut bestätigt.

#### 4. **Schlußfolgerungen**

Die Ergebnisse des Dauerversuches lassen den Schluß zu, daß auf Diabas-Verwitterungsböden mit einem beträchtlichen K-Nachlieferungsvermögen und hohen DL-löslichen K-Ausgangsgehalten die K-Düngung über einen längeren Zeitraum deutlich unter den Pflanzenentzügen liegen kann. Unter den speziellen Standortbedingungen erwies sich eine K-Düngermenge in Höhe von 40 - 45 % der Entzüge (85 - 100 kg K/ha jährlich) als optimal. Mit diesem K-Aufwand wurde der für optimale Erträge erforderliche  $K_{DL}$ -Bodengehalt aufrecht erhalten. Eine Entzugsdüngung hingegen hätte sehr wahrscheinlich die  $K_{DL}$ -Gehalte weiter ansteigen lassen, ohne daß entsprechende Mehrerträge erzeugt worden wären. Hinzu kommt das Risiko der K-Auswaschung, das auf flachgründigen Böden durchaus nicht zu vernachlässigen ist.

Den Ergebnissen zufolge sollten auf flachgründigen Verwitterungsböden mit hackfruchtintensiver Fruchtfolge im oberen Bereich der Versorgungsstufe C (ca. 12 - 14 mg/100 g Boden) liegende  $K_{DL}$ -Bodengehalte angestrebt werden.

Bei der K-Bemessung spielt neben der Bodenart, der Entzugshöhe und der aktuellen Bodenversorgung die jeweilige geologische Herkunft im Hinblick auf das sehr unterschiedliche Nachlieferungsvermögen eine außerordentlich wichtige Rolle. Daher wird empfohlen, das Ausgangsmaterial der Bodenentstehung künftig bei der K-Düngung stärker zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang sei auf die von Richter (1988) und Richter und Kerschberger (1992) vorgeschlagene Untersuchungsmethode zur Bestimmung des "schwer austauschbaren K" (Zwischenschicht-K) und seine Berücksichtigung bei der K-Düngung hingewiesen. Zwar werden über die Ergebnisse der Bodenuntersuchung größere Unterschiede im standortabhängigen Nachlieferungs- bzw. Fixierungsverhalten indirekt wiedergespiegelt, aber häufig sind die Zeitabstände der Bodenanalysen für wirtschaftlich sinnvolle Korrekturen der K-Düngung zu groß. Auch aus diesem Grunde erscheint es als zweckmäßig, die Bodenuntersuchung möglichst in kurzen Intervallen (3 - 5 Jahre) durchzuführen, um frühzeitig auf die jeweilige Situation reagieren zu können. Die ausgeprägte düngungsabhängige Differenzierung der  $K_{DL}$ -Gehalte nach nur 7 Versuchsjahren unterstreicht die obige Forderung.

### Zusammenfassung

In einem 7jährigen Dauerversuch auf einem Diabas-Verwitterungsboden mit hoher K<sub>DL</sub>-Ausgangsversorgung führte eine K-Düngung in Höhe von 40 - 45 % der Entzüge (85 - 100 kg/ha) zu wirtschaftlichen Mehrerträgen und zur Aufrechterhaltung der optimalen Bodengehalte. Höhere K-Gaben ließen zwar die K<sub>DL</sub>-Werte weiter ansteigen, die Erträge jedoch nicht. Vor allem Hackfrüchte (Kartoffeln, Futterrüben) und Mais zeigten deutliche und hoch wirtschaftliche K-bedingte Ertragserhöhungen. Regressionsanalytisch wurden für den Standort eine jährliche K-Nachlieferung von 121 kg/ha und ein optimaler K<sub>DL</sub>-Gehaltsbereich von 12 - 14 mg/100 g Boden errechnet.

Tab. 1: Standortcharakteristik der Versuchsstation Schönbrunn

Bodenart	Berglehm-Braunstaugley	
Ausgangsmaterial	Diabas	
Bodenart	sandiger Lehm	
Ackerzahl	30	
Feinanteil < 6µm in %	34,2	
Tongehalt < 2 µm in %	14,4	
Jahrestemperatur in °C (langjähriges Mittel)	7,2	
Jahresniederschlag in mm (langjähriges Mittel)	670	
PDL mg/100 g Boden	} vor Versuchsanlage	3,5
K <sub>DL</sub> mg/100 g Boden		16
pH-Wert		5,1

Tab. 2: Wirkung steigender K-Düngung auf K-Aufnahme und GE-Ertrag im Mittel der Versuchsjahre (1967 - 1973)

K-Düngung (Mittel der Jahre) kg/ha	K-Aufnahme		GE-Ertrag	
	kg/ha	rel.	dt/ha	rel.
0	185,4	100	62,2	100
43	200,3	108	68,7	110
85	233,7	126	70,2	113
128	231,0	125	69,2	111
171	240,6	130	69,2	111
GD 5 %	36,6	20	4,3	7

Tab. 3: Mittlere Mehrerträge (gegenüber K = 0) der angebauten Fruchtarten innerhalb des Versuchszeitraumes in Abhängigkeit von der K-Düngung

K-Düngung in kg/ha		Mehrerträge in dt GE/ha gegenüber K = 0			
Getreide	Hackfrüchte, Grünmais	Getreide	Hackfrüchte	Grünmais	Mittel der Fruchtarten
33	50	1,7	7,6	8,2	6,5
66	100	2,8	11,5	13,7	8,0
100	150	1,3	13,2	5,9	7,0
133	200	0,3	12,9	9,3	7,0
GD 5 %		2,1	5,7	11,8	4,3

Tab. 4: K<sub>DL</sub>-Gehalte (mg/100 g Boden) vor Anlage und zu Versuchsende, jährliche Veränderung der K<sub>DL</sub>-Gehalte sowie mittlere jährliche K-Bilanz (kg/ha) in Abhängigkeit von der K-Düngung

	K-Düngung (kg/ha) im Mittel der Fruchtfolge				
	0	43	85	128	171
K <sub>DL</sub> -Gehalt (mg/100 g Boden)					
• vor Anlage	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
• Versuchsende	5,2	10,0	12,2	18,2	20,4
jährliche Zu- bzw. Abnahme de K <sub>DL</sub> -Gehalte	- 1,54	- 0,86	- 0,54	+ 0,31	+ 0,63
mittlere jährliche K-Bilanz (kg/ha)	- 185,4	- 157,6	- 148,3	- 102,9	- 69,8

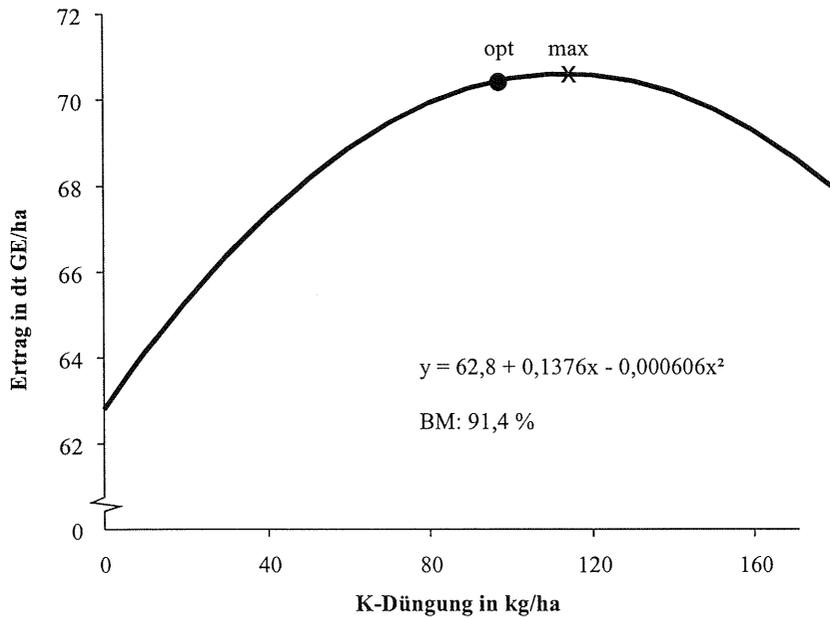


Abb. 1: Einfluß der K-Düngung [kg/ha] auf den Ertrag [dt GE/ha] im Mittel der Versuchsjahre

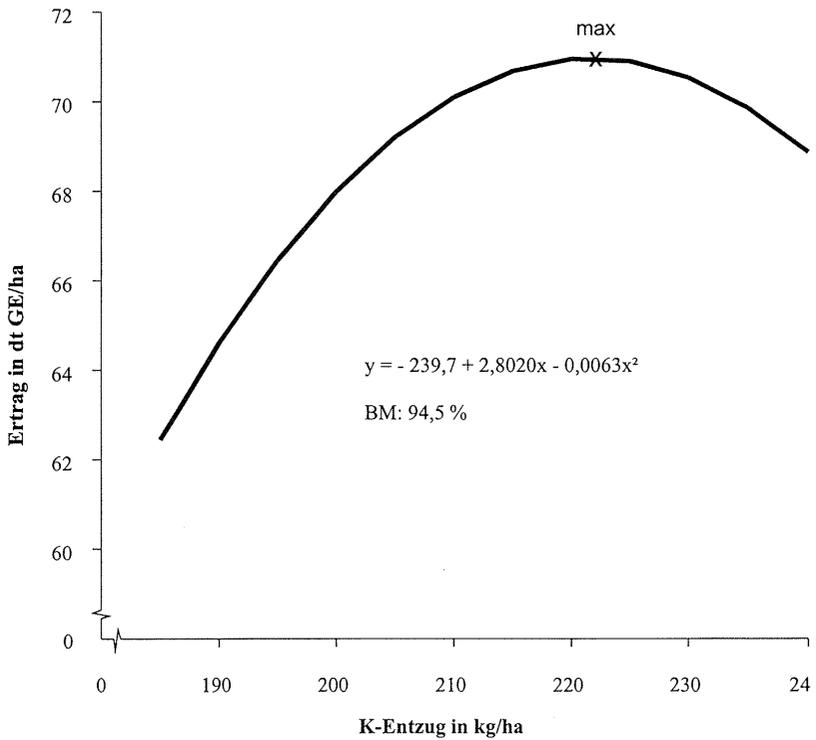


Abb. 2: Beziehung zwischen dem K-Entzug [kg/ha] und dem Ertrag [dt GE/ha] im Mittel der Versuchsjahre

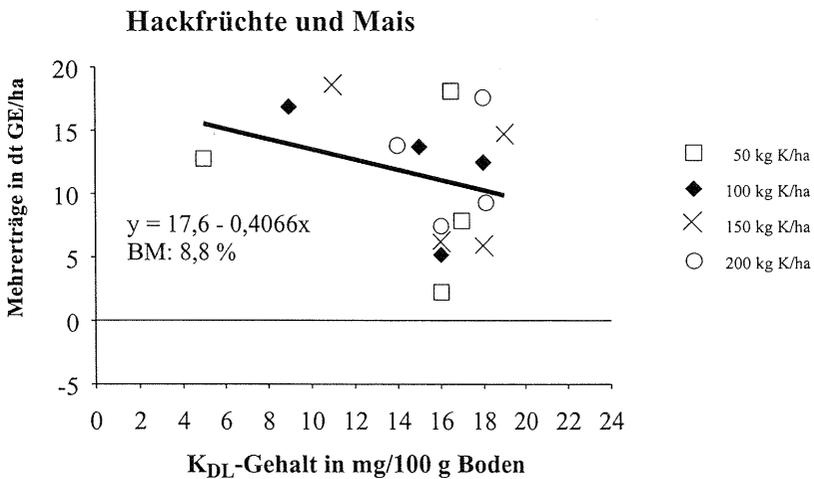
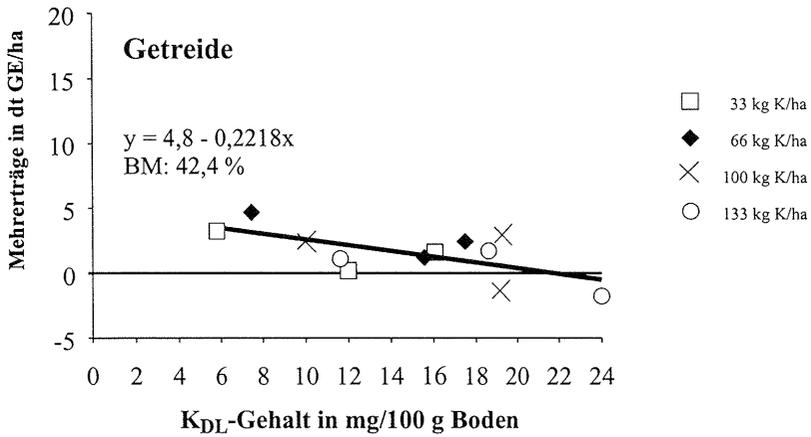


Abb. 3: Mehrerträge [dt GE/ha] durch K-Düngung gegenüber dem ungedüngten Prüfglied in Abhängigkeit von den  $K_{DL}$ -Bodengehalten [mg/100 g Boden] (bezogen auf den Untersuchungswert des jeweiligen Vorjahres)

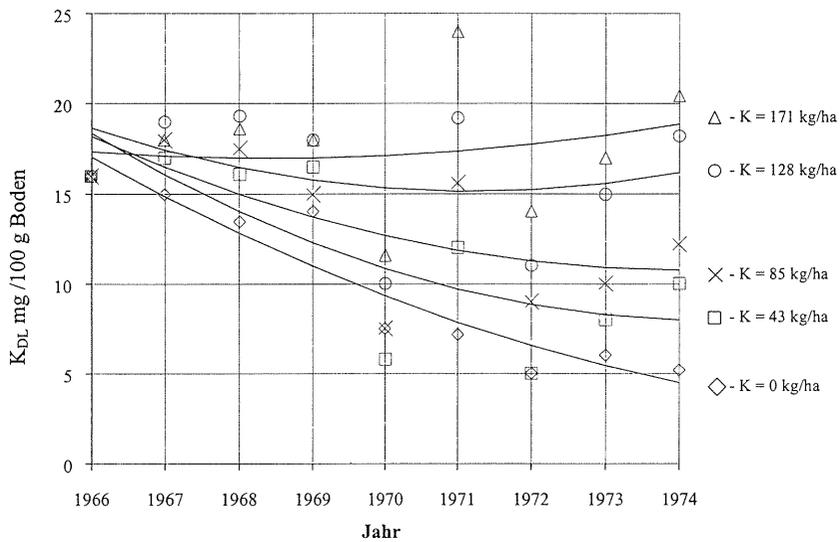


Abb. 4: Verlauf und Trend der K<sub>DL</sub>-Gehalte während des Versuchszeitraumes in Abhängigkeit von der K-Düngung

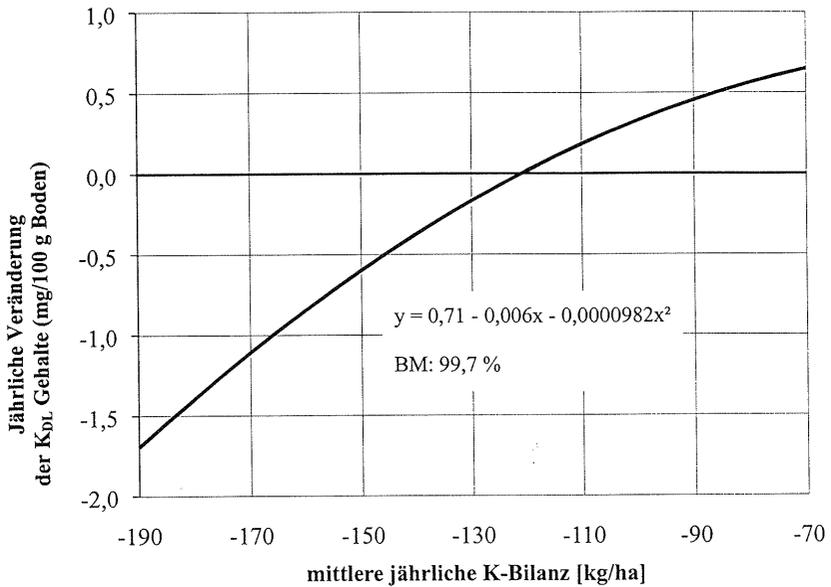


Abb. 5: Beziehung zwischen der mittleren jährlichen K-Bilanz [kg/ha] und der jährlichen Veränderung der KDL-Gehalte [mg/100 g Boden] während des Versuchszeitraumes

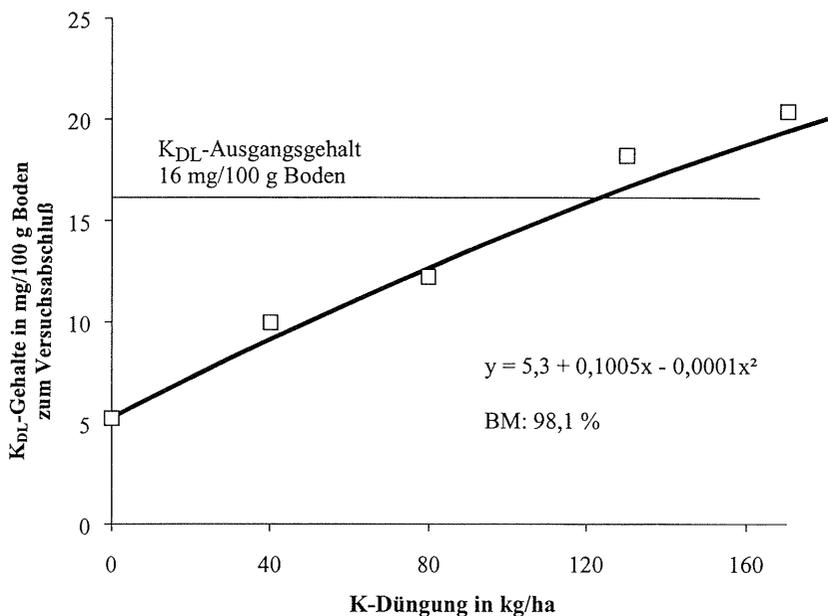


Abb. 6: Beziehung zwischen der mittleren K-Düngung [kg/ha] während des Versuchszeitraumes und den K<sub>DL</sub>-Gehalten [mg/100 g Boden] zum Versuchsabschluss

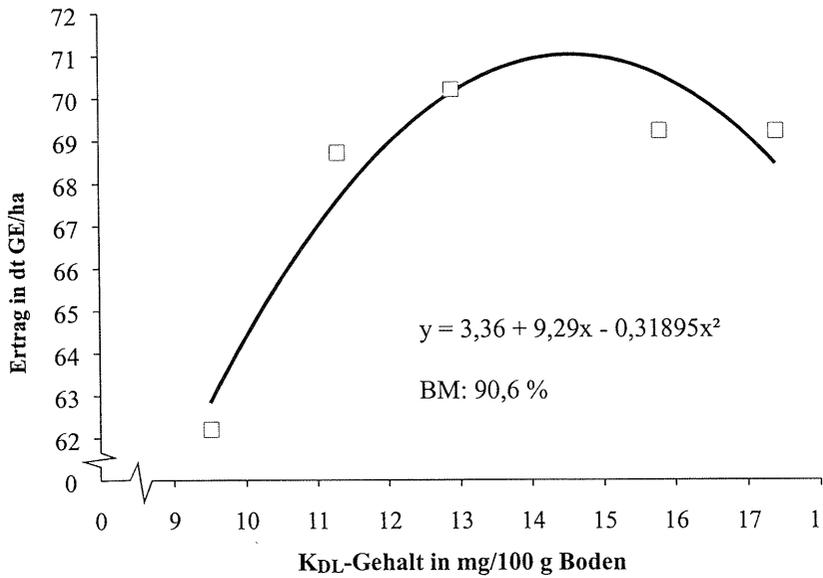


Abb. 7: Abhängigkeit der mittleren Erträge [dt GE/ha] von den durchschnittlichen KDL-Gehalten [mg/100 g Boden] während des Versuchszeitraumes

**Literatur**

- Albert, E.: Wirkung langjährig differenzierter N-, P- und K-Düngung auf Nährstoffentzug, -bilanz und -ausnutzung sowie Nährstoffgehalt des Bodens. Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkd., Berlin 24 (1980) 2, S. 99 - 106
- Albert, E.: Langjährig differenzierte NPK-Düngung in ihrer Wirkung auf die P- und K-Bilanz sowie auf den Nährstoffgehalt des Bodens. Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkd., Berlin 28 (1984) 1, S. 51 - 58
- Grimme, H.; Strebe, O.; Renger, M.; Fleige, H.: Die potentielle K-Anlieferung an die Pflanzenwurzeln durch Diffusion. Mitteil. d. Dtsch. Bodenkd. Gesellsch. 32 (1981) S. 367 - 374
- Kerschberger, M.; Richter, D.: Einfluß der K-Düngung nach Pflanzenentzug auf den DL-löslichen K-Gehalt des Bodens (Extraktionsmethode nach Egner und Riehm) in Dauerversuchen auf Ackerland. Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkd. 36 (1992) S. 177 - 184
- Kerschberger, M.; Richter, D.: Kalium-Düngeremengen zur Anhebung des doppellaktatlöslichen K-Gehaltes in Ackerböden. Agribiol. Res. 46 (1993) 4, S. 309 - 320
- Orlovius, K.: Reaktion der Kalium-Gehalte im Boden bei einer K-Düngung nach Nettoentzug. VDLUFA-Schriftenreihen 38, Kongreßband (1994) S. 265 - 268
- Rex, M.; Harrach, T.: Die Bedeutung der Unterbodenbeschaffenheit für die Ertragsbildung von Getreide. Feldversuche auf verschiedenen Bodentypen mit variiertes Nährstoffversorgung. Landw. Forschung (1983) SH 40, S. 384 - 394
- Richter, D.: Aufnahme von Kalium aus Tonmineralien und Gesteinsmehlen durch Haferpflanzen. Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkd., Berlin 18 (1974) 4, S. 271 - 279
- Richter, D.: Probleme der Charakterisierung des pflanzenverfügbaren Kaliums in Ackerböden. Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkd., Berlin 19 (1975) 7, S. 475 - 485
- Richter, D.: Schwer austauschbares und fixierbares Kalium in den Böden der DDR. Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin (1988) 267, S. 95 - 100
- Richter, D.; Kerschberger, M.: Charakterisierung von pflanzenverfügbaren K-Gehalten in Böden durch eine 2-Stufen-Untersuchungsmethode. VDLUFA-Schriftenreihe 35, Kongreßband (1992) S. 757 - 760
- Richter, W.: Mineralogisch-petrographische Bestimmung von P-Umsetzungsprodukten im Boden. Diss. Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR
- Suntheim, L.; Buße, J.: Sind die sächsischen Böden noch ausreichend versorgt? Neue Landwirtschaft 5 (1995) S. 42 - 44
- Wulff, F.; Schulz, V.; Jungk, A.: Kann die Kalium-Düngung auf Sandböden reduziert werden? VDLUFA-Schriftenreihe 35, Kongreßband (1992) S. 127 - 130

## **Ergebnisse langjähriger statischer Kaliumdüngungsversuche auf ackerbaulich genutzten Flächen im Gebiet der Landwirtschaftskammer Hannover**

*Dr. Gerhard Baumgärtel, Landwirtschaftskammer Hannover*

Die Düngungsempfehlungen auf der Grundlage der Bodenuntersuchung werden aus Feldversuchsergebnissen abgeleitet. Die Treffsicherheit der empfohlenen Kaliumdüngermengen wurde in den zurückliegenden Jahren, wie bei den Nährstoffen Stickstoff und Phosphor, überprüft. Dabei standen folgende Fragen im Vordergrund:

1. In welchem Maße können die vorhandenen, teilweise hohen K-Vorräte genutzt werden und wie verändern sich bei Unterlassung der Kaliumdüngung Erträge und Qualitäten?
2. Wo liegt der untere Grenzwert der Klasse C?
3. In welchem Maße verändern sich die K-Gehalte der Böden bei Unterlassung bzw. bei einer unter dem Entzug liegenden K-Düngung?

### **Versuchsbeschreibung**

Von 10 ackerbaulich genutzten Versuchsfeldern der Landwirtschaftskammer Hannover liegen Ergebnisse aus statischen K-Dauerdüngungsversuchen vor. Fünf dieser Versuche sind bereits abgeschlossen. Eine kurze Standortbeschreibung enthält Tabelle 1.

Die Kleinparzellenversuche mit vierfacher Wiederholung (Parzellenfläche ca. 70 qm) begannen überwiegend 1985/86 und laufen in den landwirtschaftlichen Betrieben mit den üblichen Fruchtfolgen. Dabei wurden folgende Früchte erfaßt:

Winterraps, Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen,  
Sommerbraugerste, Hafer, Kartoffeln und Zuckerrüben.

Auf allen Versuchsstandorten - außer in Poppenburg - wurden die Ernterückstände, ausgenommen Kartoffelkraut und Rapsstroh, vom Feld abgefahren. Durch diese Maßnahme sollte eine schnellere Differenzierung in den K-Gehalten des Bodens erreicht werden.

Auf den Standorten 1, 2, 3, 4, 6, 7 und 9 wurden im Vergleich zur ungedüngten Variante K-Düngergaben, die im langjährigen Mittel in Höhe des 0,5-, 1-, 1,5- und 2-fachen Pflanzenentzuges lagen, ausgebracht. Auf den Standorten 5, 8 und 10 liegen zusätzlich Varianten mit K-Düngermengen, die dem 3- und 4-fachen K-Entzug entsprechen. Die Kaliumdüngung erfolgte i. d. Regel mit 50-er bzw. 60-er Kali; bei Kartoffeln mit Kaliumsulfat. Für die Umrechnung der Oxidform ( $K_2O$ ) in die Elementform (K) ist der Faktor 0,83 anzusetzen.

### **Erträge bei unterschiedlichen K-Düngergaben**

In Tabelle 2 sind für alle Standorte die Erträge in Getreideeinheiten bzw. als Relativerträge bei unterschiedlicher K-Düngung im Mittel der Versuchsjahre aufgeführt.

Die Erträge ohne K-Düngung variierten von Standort zu Standort zwischen 58 und 110 dt Getreideeinheiten pro Hektar. Nur auf den Versuchsstandorten „Celle“ und „Höckelheim“ wurden durch Kaliumdüngung bei Kartoffeln bzw. Zuckerrüben Mehrerträge erzielt. Bei Getreide konnten dagegen durch die ausgebrachte Kaliumdüngung in keinem Fall die Erträge angehoben werden. Die Unterschiede im Vergleich zur nicht mit Kalium gedüngten Teilfläche waren in jedem Jahr auf den unvermeidbaren Versuchsfehler zurückzuführen. Dies trifft für die restlichen acht Flächen bei allen Früchten zu.

Somit konnten in 61 von 64 Einzelversuchen durch K-Düngung in Höhe des 0,5- bis 4-fachen Entzuges die Erträge nicht erhöht werden, obwohl durch die K-Düngung die K-Gehalte von Getreide und Raps zum Schoßbeginn, von Rübenblättern zum Reihenschluß und von Kartoffelblättern zur Blüte anstiegen waren. Demnach waren die Pflanzenbestände bereits in der nicht mit Kalium gedüngten Variante optimal mit Kalium aus dem Boden versorgt.

Die Ergebnisse der Standorte „Celle“ und „Höckelheim“ enthalten die Abbildungen 1 und 2. Mit steigenden Kaliumdüngermengen nahmen auf dem Sandboden in Celle 1989 bei Kartoffeln die Knollenerträge kontinuierlich zu. Eine Düngung in Höhe des 1,5-fachen Entzuges, entsprechend 300 kg  $K_2O/ha$ , reichte zur Erzielung optimaler Erträge aus. Diese Mehrerträge sind statistisch gesichert und ökonomisch. Mit zunehmender Aushagerung der K-Bodenvorräte treten jedoch selbst 1995 nach zehnjähriger Unterlassung der K-Düngung bei Getreide, d.h. in diesem Fall Winterroggen, keine Mindererträge auf. Die Kornerträge in den  $K_0$ -Parzellen lagen immer auf einem hohen Niveau (52 dt bei Sommerbraugerste bis 83 dt bei Winterweizen).

Die gleiche Aussage, abgesehen von der Ertragsdepression bei Winterweizen durch Gelbverzwergungsvirus 1989, kann für den Lößstandort in Höckelheim getroffen werden. Die Erträge in der  $K_0$ -Parzelle variierten von 70 bis 106 dt/ha. Mehrerträge durch K-Düngung traten bei Getreide nicht auf. Die Zuckerrüben reagierten 1988 und 1991 auf die Kaliumdüngung mit statistisch nicht gesicherten Mehrerträgen. Im Vergleich zur ungedüngten Parzelle lagen die bereinigten Zuckererträge um 15 bis 20 % höher. 1988 stiegen die Erträge mit steigenden Kaliummengen an, 1991 dagegen waren die Unterschiede zwischen den mit Kalium gedüngten Varianten gering. In diesem Versuch, in dem die Ernterückstände immer vom Feld abgefahren wurden, scheinen 1988 K-Düngermengen in Höhe des einfachen Entzuges ( $=380$  kg  $K_2O/ha$ ) und 1991 des halben Entzuges ( $=190$  kg  $K_2O/ha$ ) ausreichend gewesen zu sein.

### **K-Düngewirkung bei unterschiedlichen K-Gehalten des Bodens**

Die Resultate aller Einzelstandorte sind in Abbildung 3 zusammengefaßt. Setzt man die mittleren Relativerträge aller mit K gedüngten Teilstücke aus allen Versuchen in Beziehung zu den  $CaCl_2$ -löslichen K-Gehalten der Böden in den nicht mit Kalium gedüngten Parzellen, so erkennt man, daß ab etwa 6 mg K/100 ml Boden keine Ertragssteigerungen durch Kaliumdüngung zu verzeichnen sind. Im Bereich unterhalb 6 mg K traten deutliche Ertragssteigerungen bei Kartoffeln in Celle sowie bei Zuckerrüben in Höckelheim auf. Insgesamt überwiegen in diesem Gehaltsbereich die Mehrerträge infolge der K-Düngung. Diese Ergebnisse bestätigen die bisherigen Empfehlungen der Landwirtschaftskammer Hannover, wonach die Gehaltsklasse C bei 6 mg K/100 ml Boden beginnt.

Auch in den Versuchen von KUHLMANN (1983) im Lößgebiet Südniedersachsens traten bei Getreide durch K-Düngung, selbst bei einem Gehalt von 2 mg K/100 ml Boden ( $CaCl_2$ -Methode), keine Mehrerträge auf.

Auf Sandböden nördlich von Hannover (SCHULZ, 1994; WULFF, 1996) wird dieses Ergebnis bestätigt. Dagegen reagierten Kartoffeln und Zuckerrüben auf den Standorten mit Sandböden bei Werten von 2 bis 3 mg K-CaCl<sub>2</sub>/100 ml Boden mit Mehrerträgen von 28 bzw. 10 % im Vergleich zur ungedüngten Parzelle. Eine Anhebung der K-Gehalte auf 6 mg zur Erzielung optimaler Kartoffel- und Rübenenerträge war in den Versuchen von WULFF (1996) nicht notwendig. Bei Kartoffeln reichte z.B. ein Gehalt von 3 mg K (CaCl<sub>2</sub>)/100 ml Boden für den Höchstertrag aus, wenn eine einmalige K-Düngung in Höhe von 300 kg K<sub>2</sub>O/ha gegeben wurde.

Die eigenen Versuche, in denen der Frage nachgegangen wird, ob auf Sandböden ein bestimmtes K-Niveau eingestellt werden muß oder einmalig hohe K-Düngergaben zur Hackfrucht ausreichen, sind noch nicht abgeschlossen.

In Versuchen auf Lößböden stellte KUHLMANN (1983) unabhängig vom K-Gehalt des Bodens, auch bei Werten entsprechend den Klassen D und E, bei Zuckerrüben in den überwiegenden Fällen Mehrerträge durch K-Düngung fest.

Die Bestimmung der CAL-löslichen Kaliumgehalte der Böden erfolgte nur in einem Teil der Versuche. Abbildung 4 zeigt die Beziehung zwischen den CAL-Werten in der Ko-Parzelle und den mittleren Relativerträgen aller mit Kalium gedüngten Teilstücken. Die Mehrerträge durch Kaliumdüngung bei Kartoffeln und Zuckerrüben traten im Bereich unterhalb 10 mg K<sub>2</sub>O/100g Boden auf. Oberhalb dieses Wertes zeigt die K-Düngung keine Wirkung.

Die Notwendigkeit unterschiedlicher Bereiche für die K-Gehaltklasse C in Abhängigkeit von den Tongehalten der Böden kann aufgrund des vorliegenden Datenmaterials mit nur wenigen Versuchen, in denen eine K-Düngewirkung auftrat, nicht geprüft werden.

### **Veränderung der K-Gehalte der Böden**

Für das Versuchsfeld Höckelheim zeigt sich in der Abbildung 5 ein erwartungsgemäßer Verlauf für die Veränderung der CaCl<sub>2</sub>-löslichen Kaliumgehalte des Bodens. Bei einer Düngermenge, die etwa dem 4-fachen Entzug durch die Pflanzenbestände entspricht, nimmt der K-Gehalt von 9 auf etwa 30 mg K/100 ml Boden sehr deutlich zu. Bei einer K-Düngung, die der Abfuhr vom Feld entspricht (= ausgeglichene K-Bilanz), bleibt der Gehalt auf dem Ausgangsniveau. Entspricht das Düngungsniveau etwa dem halben Entzug, so nimmt der Wert geringfügig ab. Nach 9-jähriger Unterlassung der K-Düngung sinkt der Wert von 9 auf 5 mg K/100 ml ab.

Einen ähnlichen Verlauf in Abhängigkeit von der Kaliumdüngung zeigen die K- CaCl<sub>2</sub>-Gehalte des Bodens auf dem Lößstandort „Königslutter“ und in „Borwede“ mit einem sandigen Lehm Boden.

Auf dem Lößstandort „Poppenburg“ verliefen die Veränderungen der K-Gehalte weniger gleichmäßig. Trotz unveränderter Düngung wechseln Phasen mit mehrjähriger regelmäßiger Veränderung mit Phasen gleichbleibender K-Vorräte im Boden ab.

Auf dem Marschboden in „Otterndorf“ ändern sich nach 4 Jahren die K-CaCl<sub>2</sub>-Gehalte des Bodens bei K-Düngermengen von bis zum 2-fachen Entzug kaum, nämlich nur um maximal 2 mg K/100 ml Boden.

Auch auf den Sandböden differenzierten sich die Kalium-Gehalte in Abhängigkeit von der ausgebrachten Kaliumdüngung. In den langjährigen Versuchen in „Celle“ und „Groß-Malchau“ wurde in den Varianten ohne K-Düngung ein K-CaCl<sub>2</sub>-Gehalt von 2 bis 3 mg/100

ml Boden nicht unterschritten, obwohl mit dem Erntegut weiter Kalium vom Feld abgefahren wurde.

Betrachtet man die Entwicklung der K-CaCl<sub>2</sub>-Gehalte im Laufe der Jahre, so reichte in „Groß-Malchau“ und „Celle“ im Gegensatz zu „Holtorsloh“ und „Garstedt“ eine Düngung in Höhe des K-Entzuges aus, um die K-Gehalte des Bodens annähernd aufrechtzuerhalten. Bei Kaliumdüngermengen, die über die Abfuhr vom Feld hinausgingen, stiegen die Kaliumwerte des Bodens wie auf den schweren Böden deutlich an. In „Holtorsloh“ und „Garstedt“ wäre in Anbetracht der Entwicklung der K-CaCl<sub>2</sub>-Gehalte in 3 bzw. 4 Jahren eine über dem K-Entzug liegende Düngermenge notwendig, um die K-Gehalte der Böden auf dem Ausgangsniveau zu halten. Dies entspricht den Ergebnissen von SCHULZ (1994), wonach auf Sandböden mit 5 % Ton und weniger zur Aufrechterhaltung des K-CaCl<sub>2</sub>-Gehaltes eine um jährlich durchschnittlich 64 kg K<sub>2</sub>O/ha über dem Entzug liegende K-Düngung notwendig ist.

Die von Standort zu Standort sehr unterschiedliche Entwicklung der K-Vorräte im Boden kommt in Tabelle 3 zum Ausdruck. Sie enthält die K-CAL- und K-CaCl<sub>2</sub>-Gehalte der Ackerkrumen nach der letzten Versuchsernte bei unterschiedlicher K-Düngung im Vergleich zur Ausgangssituation. Demnach entsprechen die K-Gehalte des letzten Versuchsjahres nicht auf jedem Versuchsfeld dem Trend der Bodenuntersuchungsergebnisse im Verlauf der Jahre, der in den vorhergehenden Ausführungen erläutert wurde.

Die unterschiedliche Entwicklung der K-Vorräte auf den Versuchsfeldern bei den Entzügen angepaßten K-Düngermengen ist einerseits durch die unterschiedliche K-Pufferung der Standorte, sowie K-Auswaschung auf den sandigen Böden und andererseits durch eine möglicherweise ungenaue Einschätzung der K-Entzüge auf den jeweiligen Versuchsfeldern zu erklären. Für die Berechnung der Entzüge sind Faustzahlen für die K-Konzentration im Erntegut und nicht die tatsächlich gemessenen Werte herangezogen wurden. Geringfügige Abweichungen sind daher denkbar.

### **Fazit**

Die Ergebnisse zeigen, daß die Erträge und Qualitäten von Getreide, Kartoffeln und Zuckerrüben auf den Versuchsfeldern mit K-Gehalten im Boden der Klassen C bis E nicht auf K-Düngung reagieren. Diese Aussage trifft sowohl für Standorte mit leichten als auch mit schweren Böden zu.

Eine Nutzung dieser durch frühere K-Düngergaben angereicherten K-Mengen im Boden war auf allen Versuchsflächen ohne Ertragsverluste möglich. Der Abbau der K-Vorräte muß durch die Bodenuntersuchung überwacht werden. Dies ist insbesondere deshalb notwendig, da die Veränderungen der K-Gehalte durch K-Düngung je nach Standort sehr unterschiedlich sind.

Unterhalb von 10 - 12 mg K-CAL bzw. 6 mg K-CaCl<sub>2</sub> sind Mehrerträge durch Düngung zu erwarten bzw. zumindest sehr wahrscheinlich, da es auch in diesem Bereich Flächen gibt, auf denen keine Düngewirkung zu verzeichnen ist.

### **Literatur**

Kuhlmann, H.: „Beurteilung der Kaliumversorgung von Lößböden durch Düngungsversuche, Boden- und Pflanzenanalysen“, Dissertation Universität Hannover, 1983

- Schulz, V.: „Pflanzenverfügbarkeit von Kalium in norddeutschen Sandböden als Grundlage umweltschonender Kalium-Düngung von Ackerkulturen“, Dissertation Universität Göttingen, 1994
- Wulff, F.: „Umweltschonende Kalium- und Phosphatdüngung - Feldversuche, Bodenanalysen und Modellrechnungen zur Bestimmung des Düngebedarfs von Ackerkulturen auf Sandböden“, Dissertation Universität Göttingen, 1996

Tabelle 1: K-Dauerversuche - Standortbeschreibung

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Otterndorf -a-	Otterndorf -b-	Celle	Borwede	Gr. Malchau	Holtorfsloh	Garstedt	Poppen- burg	Königs- lutter	Höckel- heim
Höhe über NN	2	2	55	40	60	38	11	95	100	145
m.J.Temp. (°C)	8.5	8.5	8.8	8.7	8.4	8.0	8.2	8.7	8.4	8.5
J.Niederschlag (mm)	806	806	718	712	612	655	667	669	620	657
Bodentyp	Seemarsch	Seemarsch	Pseudogley- Braunerde	Braunerde	Braunerde	Pseudogley- Braunerde	Braunerde	Parabraun- erde	Parbraun- erde	erod. Para- braunerde
geol. Herkunft			Diluvium	Diluvium	Diluvium	Diluvium	Diluvium	Löß	Löß	Löß
Bodenart	IT	IT	alS	IU	IS	alS	S	L	uL	uL
AZ	70	70	39	51	35	38	25	85	75	75
<sup>1</sup> pH-Wert	6.2	6.9	6.1	5.5	5.6	5.9	5.2	7.1	6.9	6.7
<sup>1,2</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g B.)	7	16	14	28	11	24	19	25	17	19
<sup>1,2</sup> K <sub>2</sub> O (mg/100g B.)	7	7	6	10	6	8	13	21	17	9
<sup>3</sup> Laufzeit	1986-90	seit 1992	seit 1986	1986-91	seit 1986	seit 1992	1986-89	seit 1986	1987-94	1985-93

<sup>1</sup> zu Versuchsbeginn<sup>2</sup> CAL-Methode<sup>3</sup> Stand Ende 1995

Tabelle 2: Wirkung der K-Düngung auf den Ertrag im Mittel aller Versuchsjahre

Düngung (n-facher Entzug)	Otterndorf	Otterndorf	Celle	Borwede	Holtorfslöh	Gr.Malchau	Garstedt	Königs- lutter	Höckel- heim	*Poppen- burg
	a	b	Ertrag in dt Getreideeinheiten / ha							
0	67.2	100.0	69.3	88.2	76.6	74.2	58.1	109.6	104.0	102.1
0.5	65.8	100.0	72.6	89.8	76.0	74.8	58.0	112.0	105.4	-
1	67.7	101.1	72.8	87.8	77.0	74.3	58.6	111.3	106.5	102.3
1.5	66.3	99.2	72.3	87.1	77.9	-	58.0	110.2	-	-
2	66.3	100.3	72.2	88.2	76.7	-	58.7	112.4	-	103.0
3	-	-	-	-	-	75.8	-	-	-	102.6
4	-	-	-	-	-	-	-	-	107.7	-
<b>Relativerträge, ohne K = 100% (Korn, Knolle, ber. Zucker)</b>										
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
0.5	97.5	100.1	105.4	101.7	99.7	103.0	100.5	101.8	101.1	-
1	100.4	101.2	105.8	99.4	101.1	100.0	101.8	102.4	102.4	99.9
1.5	98.3	99.5	105.9	99.2	102.4	-	100.0	100.7	-	-
2	98.4	100.5	105.3	99.4	101.4	-	102.2	102.2	-	100.4
3	-	-	-	-	-	102.1	-	-	-	99.9
4	-	-	-	-	-	-	-	-	102.5	-
Ernten (n)	5	4	10	6	4	10	4	8	9	10
*Ernterückstände verblieben										

Tabelle 3: Veränderung der K-Gehalte der Böden durch unterschiedliche Düngung

Standort	Versuchsdauer	zu Versuchsbeginn	letzte Messung nach der Ernte	K nach CaCl <sub>2</sub> -Methode (mg K / 100 ml)						
				K-Düngung facher Entzug						
				0	0.5	1	1.5	2	3	4
Otterndorf	1986-90	5	1989	5	4	5	6	7		
Celle	seit 1986	4	1995	3	3	6	9	11		
Borwede	1986-91	9	1991	5	9	11	14	16		
Holtorfslöh	seit 1992	12	1995	9	9	13	13	14		
Gr. Malchau	seit 1986	8	1995	2	3	5			19	
Garstedt	1986-89	12	1988	4	5	9	11	17		
Poppenburg	seit 1986	14	1995	8		10		11	15	
Königslutter	1987-94	10	1994	6	8	15	21	26		
Höckelheim	1985-93	9	1993	7	6	7				24

Standort	Versuchsdauer	zu Versuchsbeginn	letzte Messung nach der Ernte	K nach CAL-Methode (mg K <sub>2</sub> O/100g)						
				K-Düngung facher Entzug						
				0	0.5	1	1.5	2	3	4
Otterndorf	1986-90	7	1989	9	8	9	10	11		
Celle	seit 1986	6	1989	4	4	5	6	8		
Borwede	1986-91	10	1991	6	11	16	17	20		
Holtorfslöh	seit 1992	8	1993	8	10	12	14	17		
Gr. Malchau	seit 1986	12	1994	4	7	10			19	
Garstedt	1986-89	13	1988	5	6	12	13	19		
Poppenburg	seit 1986	21	1993	13		13		16	17	
Königslutter	1987-94	17	1993	10	14	19	27	31		
Höckelheim	1985-93	9	1992	14	10	18				19

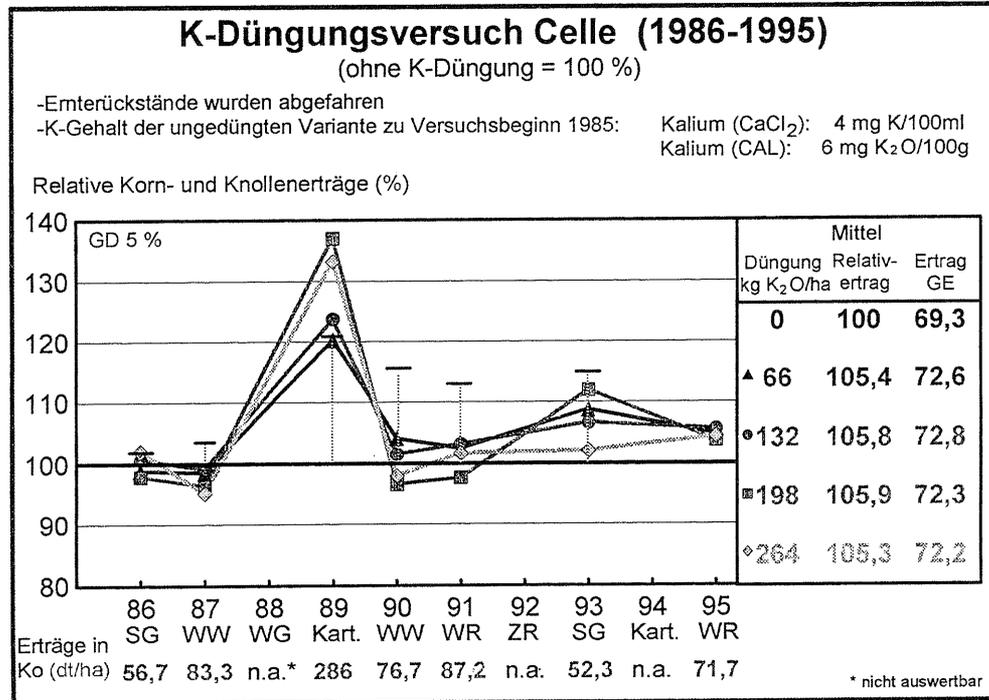


Abbildung 1: Erträge bei unterschiedlichen K-Düngermengen - Standort Celle

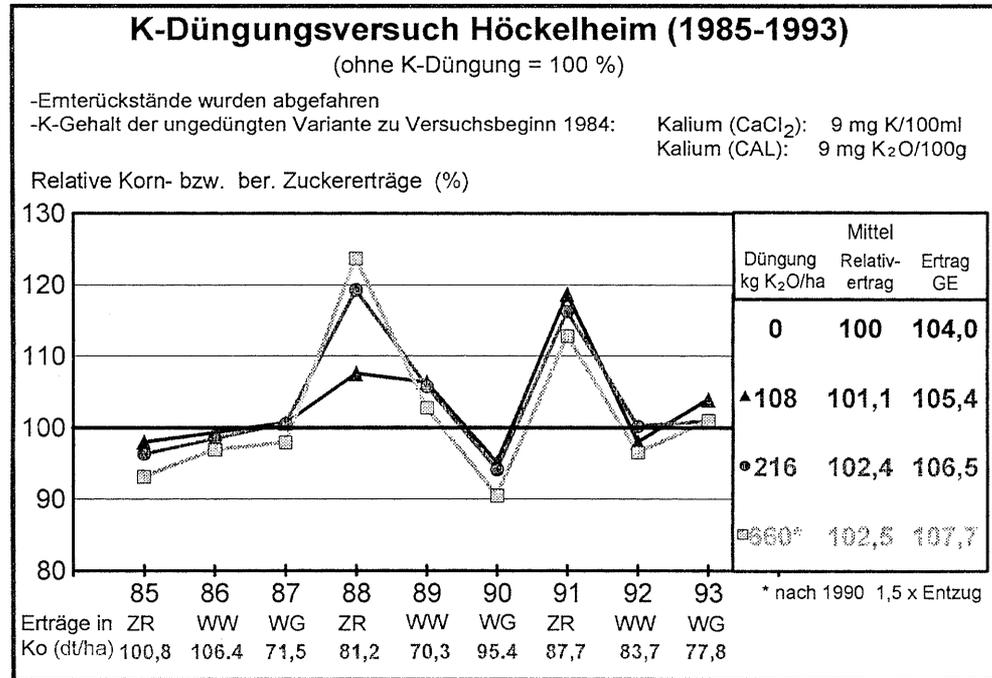


Abbildung 2: Erträge bei unterschiedlichen K-Düngermengen - Standort Höckelheim

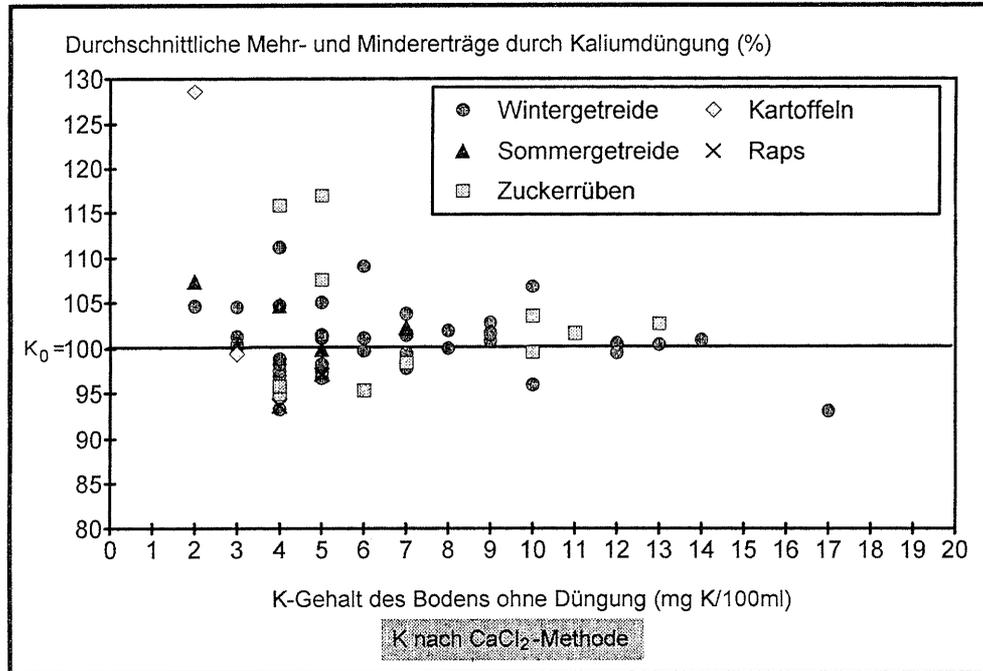


Abbildung 3: Relativerträge durch K-Düngung im Vergleich zur ungedüngten Variante auf Böden mit unterschiedlichen K-Gehalten

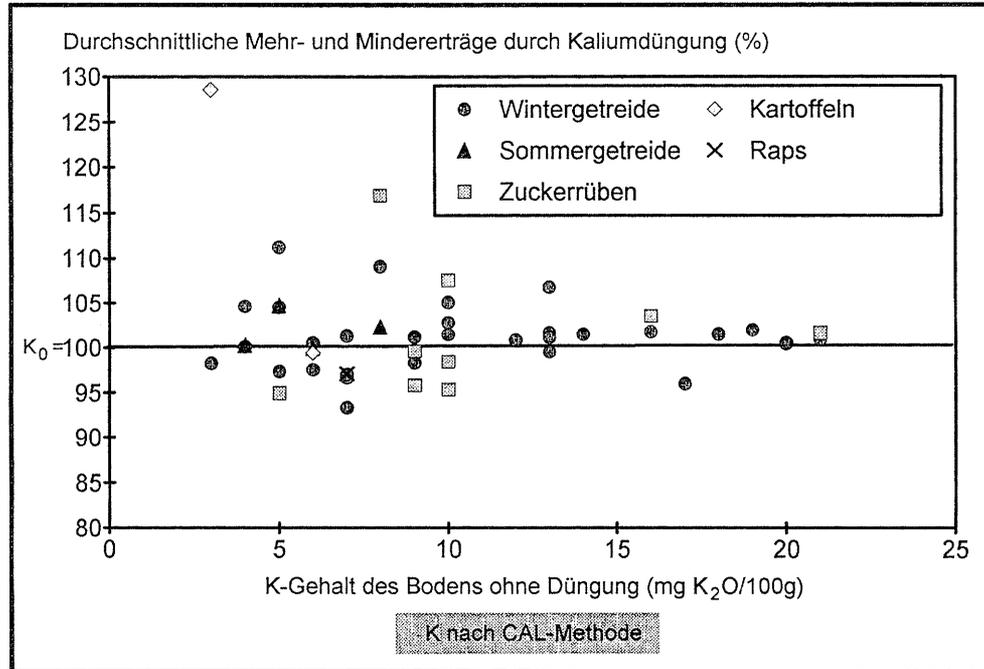


Abbildung 4: Relativerträge durch K-Düngung im Vergleich zur ungedüngten Variante auf Böden mit unterschiedlichen K-Gehalten

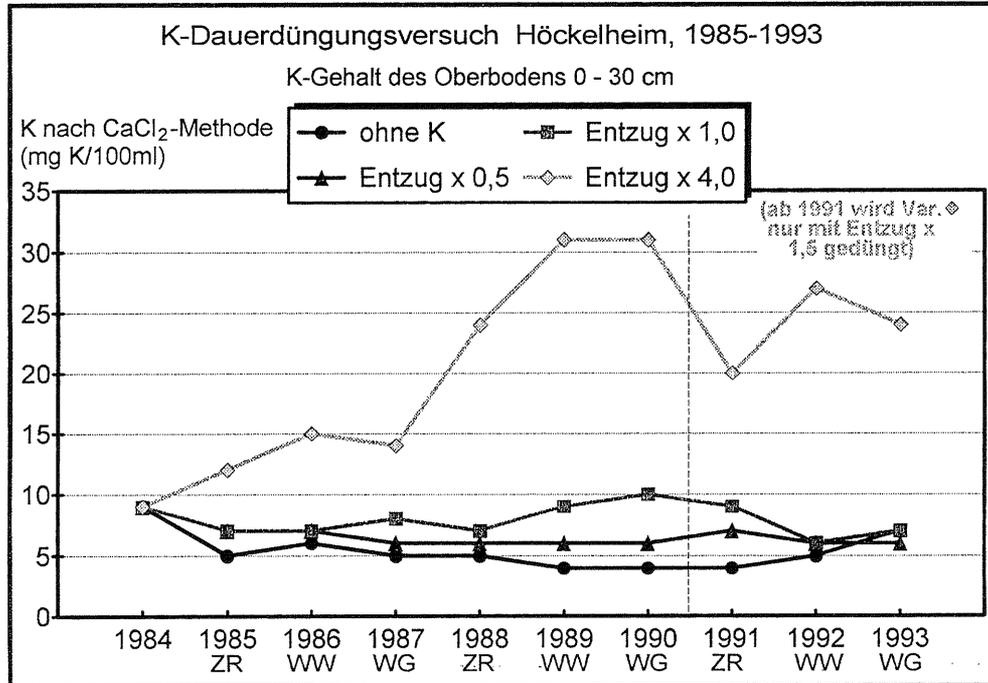


Abbildung 5: Veränderung der K-Gehalte im Boden bei unterschiedlicher Düngung - Standort Höckelheim (CaCl<sub>2</sub>-Methode)



## Kaliumbedarfsprüfungen auf Acker- und Grünland

*Dr. Detlev v. Fischer und Birgit Apel, Landwirtschaftskammer Rheinland, Bonn*

Kalium übt ausschlaggebende Funktionen beim pflanzlichen Stoffwechsel und der Aktivierung von Enzymen aus, sichert Wachstum, Frucht- und Ertragsbildung, fördert die Zucker-, Stärke- und Zellulosebildung, verbessert die Gehalte an Ölen, Fetten, Fasern und Vitaminen, festigt die Zellwände, erniedrigt den Krankheits- und Schädlingsbefall, begünstigt die Wasserführung der Bestände, senkt den Gefrierpunkt und vermindert dadurch die Auswinterungsneigung der Kulturen. Kalium steigert zudem die Haltbarkeit und die Verarbeitungseignung der Ernteprodukte, hebt die Pflanzgutqualität von Kartoffelknollen und bevorzugt in gräserreichen Grünlandnarben die Ertragsanteile von Futterkräutern und Leguminosen am Gesamtaufwuchs.

Eine pflanzengerechte  $K_2O$ -Düngung setzt Orientierung über die  $K_2O$ -Versorgung der Böden (Narben), Ermittlung des tatsächlichen  $K_2O$ -Bedarfes, Planung mittels Vorschlag, Abschätzung der mit Wirtschaftsdüngern, Rest- oder Abfallstoffen aufgebrauchten  $K_2O$ -Mengen sowie gezielten Einkauf noch notwendiger mineralischer Kaliumergänzungsdünger voraus.

Für die auf Bodenuntersuchungen basierenden und zuvor in Feldversuchen geeichten Düngungsempfehlungen werden Acker-/Grünlandböden in Gehaltsklassen zusammengefaßt, wobei niedrig versorgte Flächen (A) im Durchschnitt eine um 66 % erhöhte, mittel versorgte (B) eine um 33 % erhöhte und optimal versorgte (C) eine Erhaltungsdüngung, hoch versorgte (D) eine um 50 % reduzierte und sehr hoch versorgte Schläge/Koppeln (E) vorübergehend bis zum Absinken in die nächst niedrigere Gehaltsklasse keine  $K_2O$ -Düngung erhalten. Die für eine lohnende Pflanzenproduktion in der Gehaltsklasse C (optimal) anzustrebende Erhaltungsdüngung heißt einerseits Ersatz des durch Pflanzen entzogenen und des durch Niederschläge ausgewaschenen Kaliums, andererseits aber auch Erhalt der, in Abhängigkeit von der Boden- und Kulturart, im optimalen Bereich für erforderlich gehaltenen, pflanzenverfügbaren  $K_2O$ -Versorgung des Oberbodens in mg je 100 g Erde.

Die wohl extremste Spannweite des  $K_2O$ -Entzuges von der Fläche dürfte derzeit zwischen dem Zuwachs von 500 kg/ha Tierkörper bei Beweidung mit einem Abtransport von 1 kg/ha  $K_2O$  und dem Aufwuchs von 200 dt/ha TM bei Welschem Weidelgras mit einer Abfuhr von 680 kg/ha  $K_2O$  liegen. Bei 700 mm Jahresniederschlag nimmt die  $K_2O$ -Auswaschung unter Winterung von den sandigen (36 kg) über die lehmigen (20 kg) hin zu den tonhaltigen Böden (5 kg/ha) deutlich ab, wobei die Auswaschungsverluste bei geringeren Niederschlägen stark zurückgehen und bei höheren deutlich ansteigen. Zudem sind unter Beachtung von Vegetationszeit, Bodenbedeckung und Durch-wurzelung die Versickerungsverluste an  $K_2O$ , in Beziehung zu Winterung (= 100), beim Anbau von Sommerung um 10 bis 20 % größer, bei Feldfutter und Zwischenfrucht um 10 bis 30 % kleiner sowie unter Grünland um 45 % niedriger.

Für die Umrechnung in die Elementform ist der Faktor 0,83 anzusetzen. .

### Düngungsversuche auf Ackerland

Entscheidende Voraussetzungen für eine praxisnahe Düngeberatung sind dezentrale, mehrjährige Nährstoffbedarfsprüfungen, deren Ergebnisse letztlich zu den jeweils regional gültigen Düngungsempfehlungen nach Bodenuntersuchung führen. In Nordrhein sind zu diesem Fra-

genkreis in den vergangenen 18 Jahren drei Versuchsreihen auf Acker mit zusammen acht Versuchen bewirtschaftet worden und zwar

- zwischen 1978 und 1986 vier Versuche mit  $K_2O$ -Gaben von 0, 100, 300 kg/ha jährlich in Höhenlagen von 24 bis 150 m über NN auf sL- und uL-Böden mit Ackerzahlen von 62 bis 79 Punkten,
- zwischen 1978 und 1995 ein Versuch mit  $K_2O$ -Staffeln von 0, 100, 200, 300 kg/ha jährlich in einer Höhenlage von 52 m über NN auf sL-Boden mit einer Ackerzahl von 65 Punkten und
- zwischen 1987 und 1995 drei Versuche mit  $K_2O$ -Mengen von 0, 60, 180, 240 kg/ha in Höhenlagen von 29 bis 130 m über NN auf lS- und uL-Böden mit Ackerzahlen von 53 bis 80 Punkten (Übersicht 1).  
Wie diese jeweils mehrjährig über die Fruchtfolge hinweg, zur Ableitung von Düngungsempfehlungen an der gleichen Stelle statisch angelegten Kaliumbedarfsprüfungen zeigen,
- nahmen in vier Versuchen mit steigenden  $K_2O$ -Gaben von 0 bis 300 kg/ha, gegenüber ungedüngt, die Gehalte im Boden von 16,9 auf 23,2 mg um bis zu 6,3 mg  $K_2O$  je 100 g Erde, die Getreideeinheitenerträge (91,8 dt/ha GE = 100) um bis zu 3 %, die Weizenkornerträge um bis zu 1 %, die Gerstenkornerträge um bis zu 1 % sowie die Rübenknollen- und Reinzuckererträge um jeweils bis zu 6 % zu (Übersicht 2 und 3).
- vermochten in einem Versuch  $K_2O$ -Gaben von 0 bis 300 kg/ha, im Vergleich zu ungedüngt, die Gehalte in der Krume von 12,4 auf 21,9 mg um bis zu 9,5 mg  $K_2O$  je 100 g Erde, die Getreideeinheitenerträge (107,6 dt/ha GE = 100) um bis zu 5 %, die Weizenkornerträge um bis zu 3 % sowie die Rüben- und Zuckererträge um bis zu 6 % beziehungsweise 4 % jeweils zu verbessern, während die Gerstenkornerträge nahezu unbeeinflusst blieben (Übersicht 4).
- brachten in drei Versuche gestaffelte  $K_2O$ -Gaben von 0 bis 240 kg/ha, gegenüber ungedüngt, jeweils Anhebungen bei den  $K_2O$ -Werten im Oberboden von 14,0 auf 19,7 mg um bis zu 5,7 mg je 100 g Erde, bei den Getreideeinheitenerträgen (100,2 dt/ha GE = 100) von bis zu 2 %, bei den Weizenkornerträgen von bis zu 1 % sowie bei den Rüben- und Zuckererträgen von bis zu 3 % hervor, während die Gerstenkornerträge auf die  $K_2O$ -Düngung eher negativ reagierten (Übersicht 5 und 6).

Allerdings erwiesen sich die in den Versuchen mittels Kaliumdüngung produzierten Mehrerträge an GE bei den derzeitigen Preisen für pflanzliche Erzeugnisse, nach Abzug des  $K_2O$ -Aufwandes und der Aufbringungskosten, als noch nicht ausreichend hoch genug und führten, je nach Versuchsreihe und plzierter  $K_2O$ -Menge, zu jährlichen Mindererträgen zwischen 25 und 146 DM/ha. Lediglich beim 18-jährigen Versuch in Köln-Wahn vermochten 200 kg/ha  $K_2O$ , bei einer  $K_2O$ -Versorgung der Krume von 17,4 mg je 100 g Erde, gegenüber ungedüngt, eine statistisch gesicherte Ertragsanhebung von 5,7 dt/ha GE hervorzubringen, die nach Abzug für den  $K_2O$ -Aufwand einen nicht gesicherten Mehrertrag von 3 DM/ha ergab (Übersicht 2, 4 und 5).

Bei den drei zwischen 1987 und 1995 neunjährig bewirtschafteten Kaliumversuchen wurden zusätzlich von jeder der fünf Düngungsstufen (0, 60, 120, 180, 240 kg/ha) auch die  $K_2O$ -Gehalte im Erntegut mit untersucht. Dabei nahmen in den Weizenkörnern mit steigenden  $K_2O$ -Gaben die  $K_2O$ -Gehalte in der TM von 0,52 auf 0,55 %, in den Gerstenkörnern von 0,65

auf 0,67 % und in den Zuckerrüben von 1,14 auf 1,32 % zu, woraus sich für Weizen mit 86 % TM ein mittlerer Entzug von 0,46 kg K<sub>2</sub>O je dt Korn, für Gerste mit 86 % TS ein mittlerer Entzug von 0,57 kg K<sub>2</sub>O je dt Korn und für Zuckerrüben mit 23 % TM ein mittlerer Entzug von 0,28 kg K<sub>2</sub>O je dt Knollen etwa errechnet (Übersicht 5).

Im Verlauf der mehrjährigen Versuchsbewirtschaftung gelang es auf den verschiedenen Standorten, im Vergleich zu ungedüngt, mit jährlichen K<sub>2</sub>O-Düngergaben pro ha von 60 kg die K<sub>2</sub>O-Gehalte in mg je 100 g Boden um 0,4 mg, mit 100 kg um 2,3 mg, mit 120 kg um 2,3 mg, mit 180 kg um 3,8 mg, mit 200 kg um 4,3 mg, mit 240 kg um 5,7 mg und mit 300 kg/ha K<sub>2</sub>O um 7,3 mg K<sub>2</sub>O anzuheben. Gleichzeitig vermochten die jährlich gestaffelt aufgebrauchten K<sub>2</sub>O-Mengen die Getreideeinheitenerträge pro ha, gegenüber ungedüngt, durch 60 kg um 0,8 dt, durch 100 kg um 1,1 dt, durch 120 kg um 2,4 dt, durch 180 kg um 0,2 dt, durch 200 kg um 2,8 dt, durch 240 kg um 0,7 dt und durch 300 kg K<sub>2</sub>O um 3,9 dt GE zu verbessern. Demnach bewirkten jeweils 1 mg K<sub>2</sub>O je 100 g Boden einen Mehrertrag an GE pro ha, im Vergleich zu ungedüngt, bei K<sub>2</sub>O-Düngergaben von 60 kg je mg K<sub>2</sub>O 2,00 dt GE, von 100 kg je mg 0,48 dt, von 120 kg je mg 1,04 dt, von 180 kg je mg 0,05 dt, von 200 kg je mg 0,65 dt, von 240 kg je mg 0,12 dt und bei solchen von 300 kg K<sub>2</sub>O je mg K<sub>2</sub>O 0,53 dt GE.

Insgesamt nahmen zwar mit steigenden K<sub>2</sub>O-Gaben die Gehalte in kg je dt Erntegut bei den Ackerkulturen leicht zu, dennoch blieben die K<sub>2</sub>O-Entzüge pro ha, infolge der geringeren Ertragsanhebungen durch die K<sub>2</sub>O-Düngung vergleichsweise niedrig, was im Mittel der mit K<sub>2</sub>O versorgten Flächen, gegenüber ungedüngt, nur eine K<sub>2</sub>O-Ausnutzung von 1,5 % ergibt. Unter Berücksichtigung der mit dem Aufwuchs von den Flächen abtransportierten K<sub>2</sub>O-Mengen waren, im Durchschnitt der gedüngten Versuchsvarianten, zur Anhebung der K<sub>2</sub>O-Gehalte um 1 mg je 100 g Boden (in 0 - 30 cm Tiefe) etwa K<sub>2</sub>O-Gaben von 405 kg/ha erforderlich.

Auch wenn die Deutung der mittels K<sub>2</sub>O-Düngung bei unterschiedlicher K<sub>2</sub>O-Bodenversorgung im Einzelfall, im Vergleich zu ungedüngt, produzierte Mehrerträge zunächst recht schwierig erscheint (Übersicht 7), so bestätigen doch die zusammenfassenden Darstellungen andererseits (Übersicht 2 bis 6), daß zwischen der K<sub>2</sub>O-Versorgung des Bodens nach der CAL-Methode und den abgestuft verabreichten K<sub>2</sub>O-Düngemengen sowie den erzeugten Pflanzenerträgen dennoch ein gewisser Bezug besteht, was bei der Bemessung der K<sub>2</sub>O-Düngung, in Abhängigkeit von der Boden- und Fruchtart, zu beachten wäre.

### **Düngungsversuche auf Grünland**

Gegenüber dem Acker unterscheidet sich die Grünlanddüngung durch eine geringere Durchwurzelbarkeit der Bodenkrume, durch einen intensiveren Nährstoffumsatz im Oberboden sowie durch eine vermehrte Nährstoffrücklieferung aus Kraftfutter. Zur Eichung von Düngungsempfehlungen nach Bodenuntersuchung werden in Nordrhein seit 1989 zwei Versuche mit K<sub>2</sub>O-Gaben von 0, 120, 240, 360 kg/ha jährlich in Höhenlagen zwischen 264 und 540 m über NN auf sL-Böden mit Grünlandzahlen von 43 Punkten bewirtschaftet (Übersicht 8).

Wie die bislang siebenjährig an gleicher Stelle statisch angelegten Kaliumbedarfsprüfungen zeigen, nahmen mit steigenden K<sub>2</sub>O-Gaben von 0 bis 360 kg/ha, im Vergleich zu ungedüngt, die K<sub>2</sub>O-Gehalte im Boden von 7,1 auf 10,5 mg je 100 g Erde zu und zwar durch 120 kg um 0,6 mg, durch 240 kg um 1,4 mg sowie durch 360 kg K<sub>2</sub>O um 3,4 mg K<sub>2</sub>O. Gleichzeitig vermochten die gestaffelt aufgebrauchten K<sub>2</sub>O-Mengen die jeweils aus 4 bis 5 Einzelschnitten be-

stehende Jahresfuttertrockenmasse pro ha, gegenüber ungedüngt (96,0 dt/ha TM = 100), durch 120 kg  $K_2O$  um 13 %, durch 240 kg um 16 % und durch 360 kg  $K_2O$  um 21 % Futter-TM zu verbessern. Somit bewirkten jeweils 1 mg  $K_2O$  je 100 g Boden einen Mehrertrag an Futter-TM pro ha, im Vergleich zu ungedüngt, bei  $K_2O$ -Düngergaben von 120 kg je mg  $K_2O$  21 dt TM, von 240 kg je mg  $K_2O$  11 dt TM und bei solchen von 360 kg  $K_2O$  je mg  $K_2O$  6 dt TM (Übersicht 9 und 10).

Die K-Gehalte in der Erntegut-TM stiegen durch die  $K_2O$ -Zufuhr, gegenüber ungedüngt mit 1,63 kg K je dt TM, durch 120 kg/ha  $K_2O$  auf 1,95 kg K je dt TM, durch 240 kg auf 2,30 kg K je dt TM und durch 360 kg/ha  $K_2O$  auf 2,57 kg K je dt TM an, wobei zu beachten wäre, daß aus Gründen der Tiergesundheit der K-Gehalt des Grünlandaufwuchses bei alleiniger Verfütterung 2,4 % in der TM nicht übersteigen sollte. Entsprechend der Jahresmenge und den K-Gehalten im Erntegut betragen die  $K_2O$ -Entzüge auf den nicht mit  $K_2O$  gedüngten Teilflächen 194,0 kg/ha und erhöhten sich durch Gaben von 120 kg/ha  $K_2O$  um 68,7 kg/ha  $K_2O$ , von 240 kg um 122,9 kg und durch solche von 360 kg/ha  $K_2O$  um 171,1 kg/ha  $K_2O$ , was im Mittel der drei mit  $K_2O$  versorgten Varianten eine  $K_2O$ -Verwertung von 50,4 % ergibt. Unter Beachtung der mit dem Aufwuchs von den Koppeln abgeführten  $K_2O$ -Mengen, waren, im Mittel der gedüngten Versuchsglieder, zur Anhebung der  $K_2O$ -Gehalte um 1 mg je 100 g Boden (in 0 - 10 cm Tiefe) etwa  $K_2O$ -Gaben von 465 kg/ha notwendig.

Die mittels gestaffelter  $K_2O$ -Düngung hervorgerufenen größeren Jahresfutturmengen hinterließen nach Abzug für den  $K_2O$ -Aufwand, einschließlich der Ausbringungskosten, bei Gaben von 120 kg Mehrerträge von 97 DM, bei 240 kg von 67 DM und bei  $K_2O$ -Mengen von 360 kg/ha Mehrerlöse von 72 DM/ha. Insgesamt verdeutlichen die Versuchsergebnisse, daß zwischen der  $K_2O$ -Versorgung der Grünlandnarben nach CAL-Methode und den abgestuft platzierten  $K_2O$ -Düngermengen sowie den erzielten Jahresfutturmengen ein offensichtlich recht brauchbarer Bezug besteht (Übersicht 11). (Für die Umrechnung in die Elementform ist der Faktor 0,83 anzusetzen.)

### Zusammenfassend bleibt festzustellen

Für eine wirtschaftliche Pflanzenproduktion genügt auf Acker- und Grünland in der anzustrebenden Gehaltsklasse C (optimal) eine Erhaltungsdüngung über Wirtschafts- und Handelsdünger. Erhaltungsdüngung mit  $K_2O$  heißt einerseits  $K_2O$ -Düngung nach Pflanzenentzug, einschließlich Ersatz der durch Niederschläge ausgewaschenen  $K_2O$ -Mengen, andererseits aber auch Erhalt der, in Abhängigkeit von der Bodenart, in der Gehaltsklasse C für erforderlich gehaltenen, pflanzenverfügbaren  $K_2O$ -Versorgung in mg je 100 g Boden. Aufgrund langjähriger Feldversuche kann mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, daß für die Ertragsbildung der Kulturen, die Qualität der Ernteprodukte und den Erhalt der natürlichen Bodenfruchtbarkeit in der optimal anzustrebenden Gehaltsklasse C

- auf feinerdearmen S-Böden 6 - 12 mg  $K_2O$  bzw. 5 - 10 mg K im Mittel 9 mg  $K_2O$  bzw. 7,5 mg K je g Erde,
- auf feinerdehaltigen IS-, sU-, ssL-, IU-, sL- und uL-Böden 10 bis 18 mg  $K_2O$  bzw. 8,3 - 14,9 mg K, im Mittel 14 mg  $K_2O$  bzw. 11,6 mg K je 100 g Erde sowie
- auf feinerdereichen utL-, tL- und T-Böden 14 bis 24 mg  $K_2O$  bzw. 11,6 bis 19,9 mg K, im Mittel 19 mg  $K_2O$  bzw. 15,8 mg K je 100 g Erde

im Normalfall genügen.

**Hohe Kaliumdüngungseffekte setzen allerdings voraus**

- Erhalt von Bodengare und -struktur durch ausreichenden pH-Wert, genügend organische Substanz, angepasste Bodenbearbeitung, schonendes Flächenbefahren.
  - Bestellung standortgerechter Pflanzenarten und -sorten, Förderung dichter Grünlandnarben, Gesunderhaltung der Bestände.
  - Abstimmung von Anbautechnik, Sorte, Pflanzenschutz, Nutzungsart und -häufigkeit auf die  $K_2O$ -Düngeintensität.
- ordnungsgemäße Dosierung und Platzierung aller  $K_2O$ -haltigen Düngemittel auf den Schlägen/Koppeln durch Geräte mit exakter Längs- und Querverteilung.

Übersicht 1: Standortbeschreibung der K-Bedarfsprüfungen auf Ackerland

Versuchsserie	1				2	3			
	1978 - 1986	1978 - 1986	1978 - 1986	1978 - 1986	1978 - 1995	1987 - 1995	1987 - 1995	1987 - 1995	
Kreis	Kleve	Köln	Neuss	Rhein-Sieg	Köln	Düren	Kleve	Neuss	
Ort	Nieukerk	Wahn	Beckrath	Nieder- drees	Wahn	Langwei- ler	Nieukerk	Beckrath	
Höhenlage (m)	24	52	80	150	52	130	29	80	
Temperatur (° C)	9,8	10,2	9,8	9,6	10,2	9,7	9,8	9,8	
Niederschlag (mm)	750	680	760	640	680	670	750	760	
Bodentyp	Para- braunerde	Para- braunerde	Para- braunerde	Para- braunerde	Para- braunerde	Aufschüt- tung	Pseudogley -Braunerde	Para- braunerde	
Geologische Herkunft	Terrassen- ablagerung	Hochflut- lehm	Löß	Löß	Hochflut- lehm	Löß	Terrassen- ablagerung	Löß	
Bodenart	sL	sL	uL	uL	sL	uL	lS	uL	
Ackerzahl	62	65	79	68	65	78	53	80	
pH-Wert	6,8	6,9	6,6	6,9	6,8	7,5	6,4	6,4	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg) <sup>1)</sup>	14 (C)	17 (C)	18 (C)	26 (D)	15 (C)	13 (C)	21 (D)	24 (D)	
K <sub>2</sub> O (mg) <sup>1)</sup>	0-30 cm	13 (C)	13 (C)	15 (C)	29 (D)	12 (C)	9 (B)	14 (C)	17 (C)
	30-60 cm	9 (B)	8 (B)	7 (B)	9 (B)	8 (B)	8 (B)	11 (C)	13 (C)
	60-90 cm	5 (B)	6 (B)	3 (A)	3 (A)	6 (B)	6 (B)	5 (B)	5 (B)

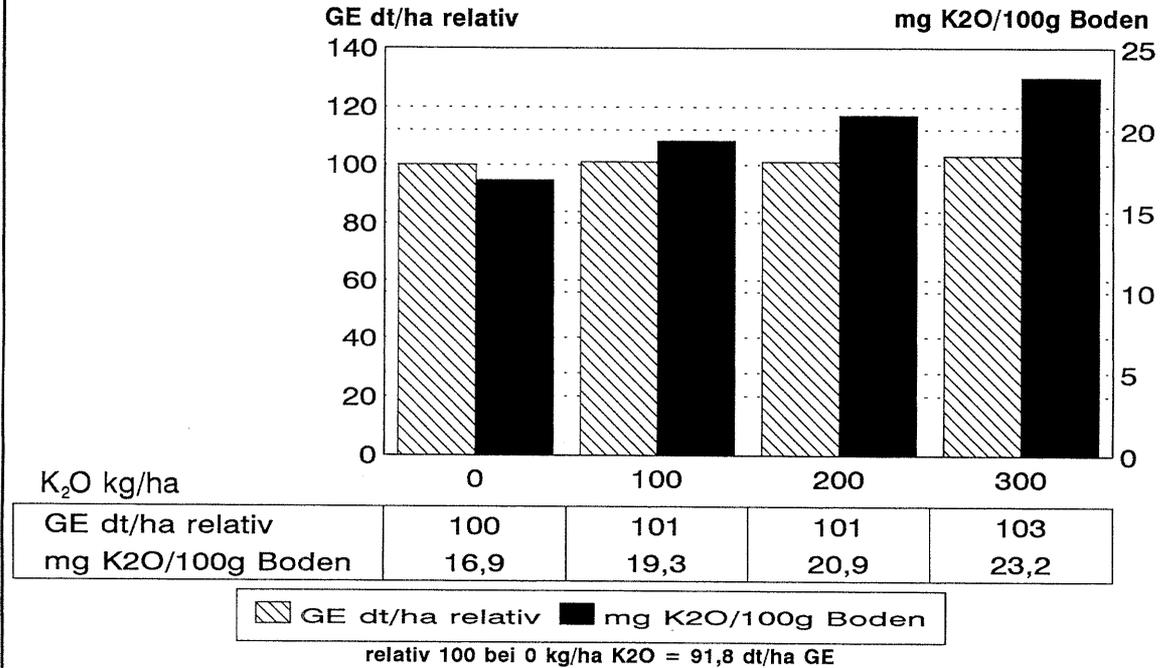
1) Die P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- und K<sub>2</sub>O-Gehalte in mg je 100 g Boden wurden mittels der CAL-(Calcium Acetat-Laktat-) Methode analysiert.

Übersicht 2: Kaliumbedarfsprüfung auf Ackerland  
 4 Versuche (Kleve, Köln, Neuss, Rhein-Sieg), 9-jähriges Mittel 1978 - 1986,  
 Bodenart sL, uL, Ackerzahl 62 - 79

K <sub>2</sub> O- Düngung jährlich 1) kg/ha	mg K <sub>2</sub> O je 100 g Boden im Mittel von 36 Versuchs- beerntun- gen 2)	Erträge pro ha relativ im Mittel von							36 Ver- suchs- ernten in GE 3)	Mehr- oder Minderertrag durch K <sub>2</sub> O nach Abzug für K <sub>2</sub> O- Aufwand DM/ha 4)
		12 Ver- suchen zu Winter- weizen	11 Ver- suchen zu Winter- gerste	11 Versuchen zu Zuckerrüben		36 Ver- suchs- ernten in GE				
				Knol- len	Roh- zuk ker	Rein- zuk- ker	Zucker- aus- beute			
0	16,9	100	100	100	100	100	86,2	100	0	
100	19,3	101	100	101	103	101	84,9	101	- 62	
200	20,9	100	100	103	105	105	85,6	101	- 102	
300	23,2	100	101	106	109	106	83,6	103	- 120	
ohne K <sub>2</sub> O in dt/ha		71,8	64,2	591,9	102,0	87,9		91,8		
GD 5 ‰		4	3	4				2,1 <sup>5)</sup>	47,5	

- 1) Düngertyp: 50er Kali.
- 2) Bei ohne K<sub>2</sub>O-Düngung in 0 - 30 cm Tiefe 16,9 mg, in 30 - 60 cm Tiefe 8,3 mg, in 60 - 90 cm Tiefe 4,3 mg K<sub>2</sub>O je 100 g Boden.
- 3) 1 dt Körner mit 86 ‰ TS = 1 dt GE (Getreideeinheiten); 1 dt Zuckerrüben = 0,25 dt GE; 1 dt Kartoffeln = 0,2 dt GE.
- 4) Basis: 25 DM/dt GE; 0,60 DM/kg K<sub>2</sub>O; 20 DM/ha Aufbringungskosten.
- 5) GD 5 ‰ = kleinste gesicherte Ertragsdifferenz = 1,9 dt/ha GE = relativ 2,1.

### Übersicht 3: Ergebnis der K-Bedarfsprüfungen auf Ackerland 4 Versuche, 36 Ernten (KLE, K, NE, SU) 1978-1986



## Übersicht 4: Kaliumbedarfsprüfung auf Ackerland

1 Versuch (Köln), 18-jähriges Mittel 1978 - 1995, Bodenart sL, Ackerzahl 65

K <sub>2</sub> O-Düngung jährlich 1) kg/ha	mg K <sub>2</sub> O je 100 g Boden im Mittel von 17 Versuchsbeurteilungen 2)	Erträge pro ha relativ im Mittel von				Mehr- oder Minderertrag durch K <sub>2</sub> O nach Abzug für K <sub>2</sub> O-Aufwand DM/ha 4)	
		5 Versuche zu Winterweizen	3 Versuche zu Wintergerste	6 Versuche zu Zuckerrüben Knollen	17 Versuchserten in GE Reinzucker 3)		
0	12,4	100	100	100	100	0	
100	14,6	103	95	103	102	- 25	
200	17,4	103	97	106	104	+ 3	
300	21,9	103	97	104	102	- 57	
ohne K <sub>2</sub> O in dt/ha		81,4	76,6	597,7	97,0	107,6	
GD 5 %						4,4 5)	117,5

1) Düngertyp: 50er Kali, 60er Kali.

2) Bei ohne K<sub>2</sub>O-Düngung in 0 - 30 cm Tiefe 12,4 mg, in 30 - 60 cm Tiefe 8,2 mg, in 60 - 90 cm Tiefe 5,5 mg K<sub>2</sub>O je 100 g Boden.

3) 1 dt Körner mit 86 % TS = 1 dt GE (Getreideeinheit); 1 dt Zuckerrüben = 0,25 dt GE; 1 dt Kartoffeln = 0,2 dt GE.

4) Basis: 25 DM/dt GE; 0,60 DM/kg K<sub>2</sub>O; 20 DM/ha Aufbringungskosten.

5) GD 5 % = kleinste gesicherte Ertragsdifferenz = 4,7 dt/ha GE = relativ 4,4.

Übersicht 5: Kaliumbedarfsprüfung Ackerland  
 3 Versuche (Düren, Kleve, Neuss), 9-jähriges Mittel 1987 - 1995,  
 Bodenart 1S, uL, Ackerzahl 53-80

K <sub>2</sub> O-Düngung jährlich 1) kg/ha	mg K <sub>2</sub> O je 100 g Boden im Mittel von 26 Versuchsbeurteilungen 2)	Erträge pro ha im Mittel von				Mehr- oder Minderertrag durch K <sub>2</sub> O nach Abzug für den K <sub>2</sub> O-Aufwand 4) DM/ha	K <sub>2</sub> O Gehalt in kg je dt Erntegut				
		10 Versuchen zu Winterweizen	3 Versuchen zu Wintergerste	7 Versuchen zu Zuckerrüben Knol- Reinken zucker	26 Versuchs-ernten in GE 3)		10 Versuchen von Weizenkörnern bei 86% TS	3 Versuchen von Gerstenkörnern bei 86% TS	7 Versuchen von Zuckerrüben bei 23% TS	26 Versuchen von GE bei 100% TS	
0	14,0	100	100	100	100	100	0	0,45	0,56	0,26	0,91
60	14,4	101	98	101	100	101	- 36	0,45	0,56	0,27	0,89
120	16,3	101	97	103	103	102	- 32	0,45	0,56	0,29	0,93
180	17,8	100	95	101	100	100	- 123	0,46	0,57	0,29	0,94
240	19,7	101	96	101	99	101	- 146	0,47	0,58	0,30	0,97
ohne K <sub>2</sub> O in dt/ha		81,7	66,8	614,7	86,4	100,2					
GD 5%						3,4 5)	85				

1) Düngertyp: 50er Kali, 60er Kali.

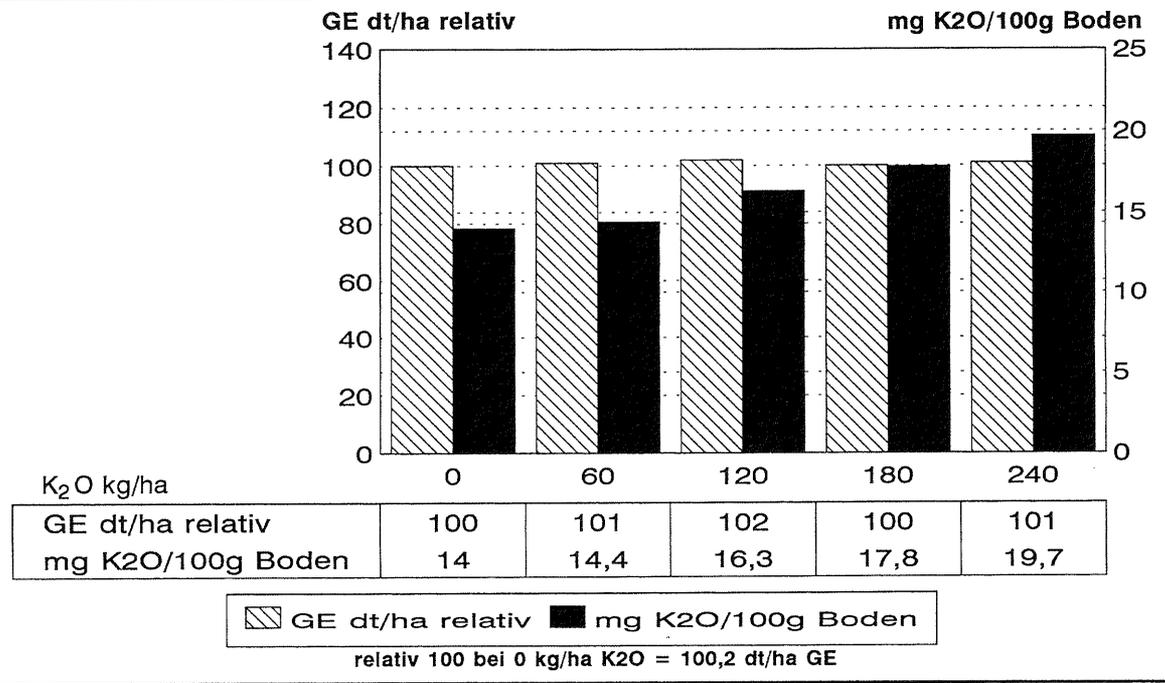
2) Bei ohne K<sub>2</sub>O-Düngung in 0-30 cm Tiefe 14,0 mg, in 30-60 cm Tiefe 10,6 mg, in 60-90 cm Tiefe 5,3 mg K<sub>2</sub>O je 100 g Boden.

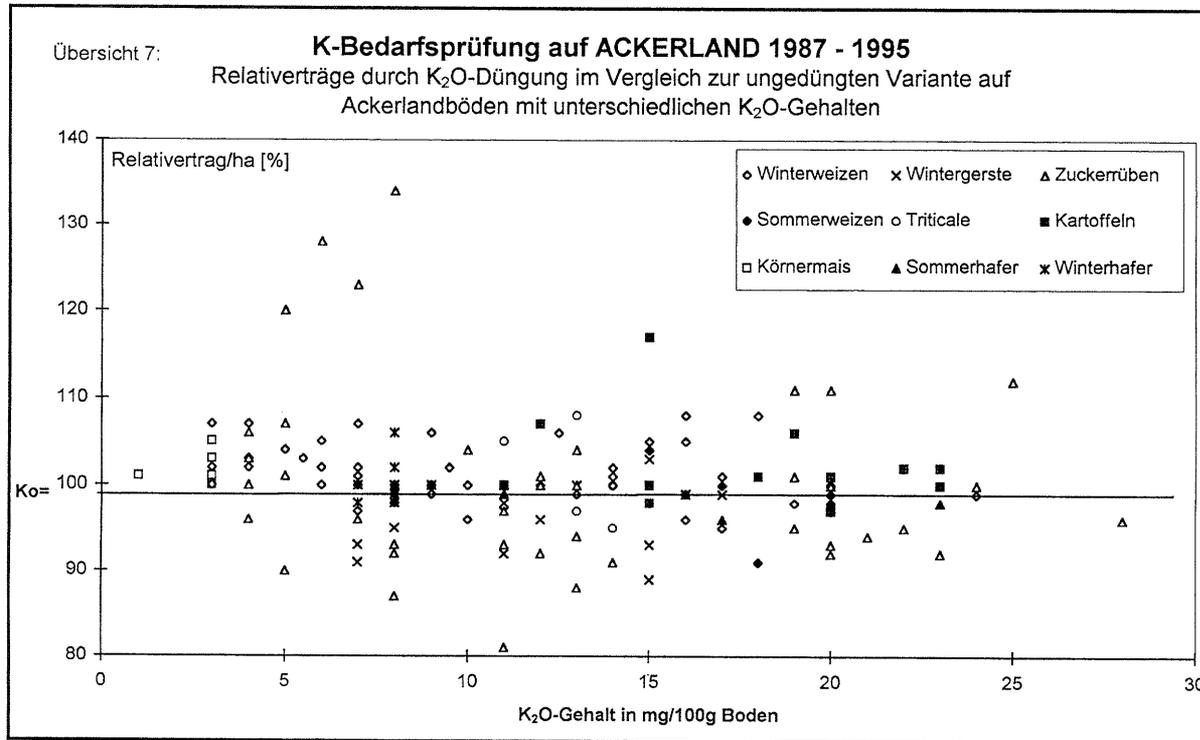
3) 1 dt Körnel mit 86% TS = 1 dt GE (Getreideeinheiten); 1 dt Zuckerrüben = 0,25 dt GE; 1 dt Kartoffeln = 0,2 dt GE.

4) Basis: 25 DM/dt GE; 0,60 DM/kg K<sub>2</sub>O; 20 DM/ha Aufbringungskosten.

5) GD 5% = kleinste gesicherte Ertragsdifferenz = 3,4 dt/ha GE = relativ 3,4.

### Übersicht 6: Ergebnis der K-Bedarfsprüfungen auf Ackerland 3 Versuche, 26 Ernten (DN, KLE, NE) 1987-1995





Übersicht 8: Standortbeschreibung der K-Bedarfsprüfungen  
auf Grünland

Versuchszeit	1989 - 1995	1990 - 1995
Kreis	Euskirchen	Rheinisch-Bergischer
Ort	Dahlem	Lorkehöhe
Höhenlage (m)	540	264
Temperatur (°C)	7,4	7,7
Niederschlag (mm)	880	1.120
Bodentyp	Braunerde	Braunerde
Geologische Herkunft	Devonische Massenkalkverwitterung	Grauwacke-/Schieferverwitterung
Bodenart	sL	sL
Grünlandzahl	43	43
pH-Wert	5,8	5,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg) <sup>1)</sup>	10 (C)	12 (C)
K <sub>2</sub> O (mg) 0-10 cm <sup>1)</sup>	12 (C)	5 (B)
10-30 cm	6 (B)	6 (B)

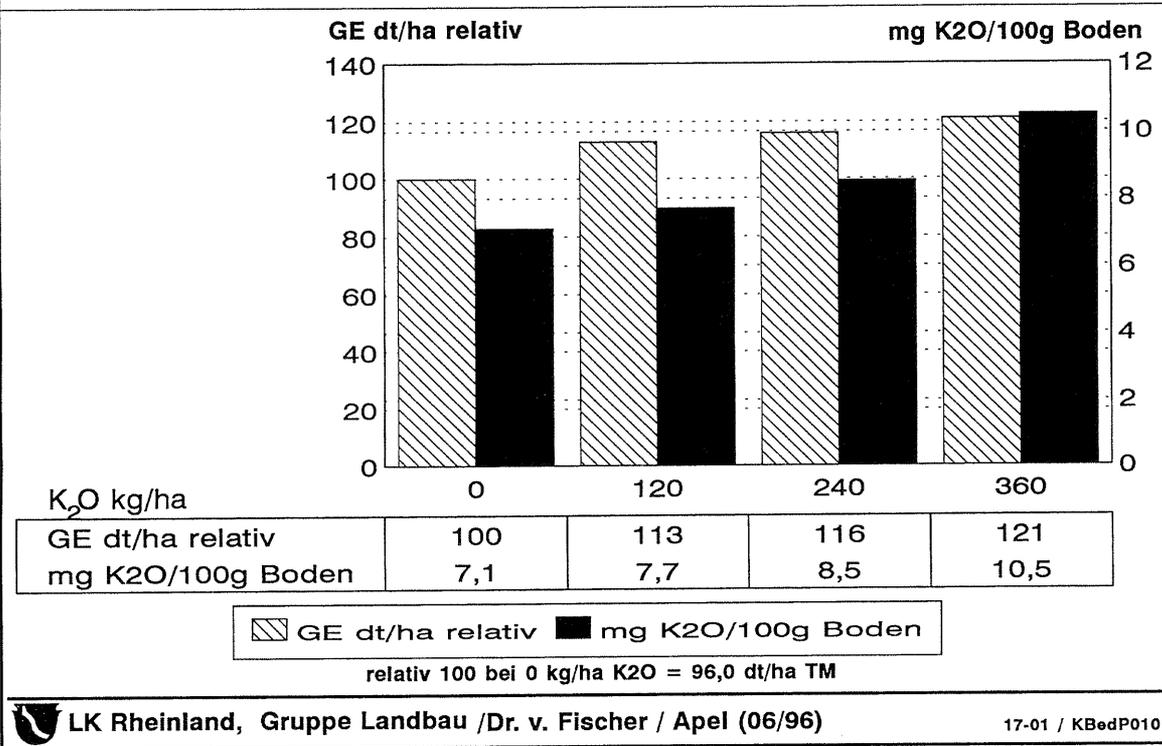
1) Die P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- und K<sub>2</sub>O-Gehalte in mg je 100 g Boden wurden mittels der CAL<sup>-</sup> (Calcium-Acetat-Laktat-) Methode analysiert.

Übersicht 9: Kaliumbedarfsprüfungen auf Grünland  
 2 Versuche (Euskirchen, Rheinisch-Bergischer),  
 7-jähriges Mittel 1989 - 1995, Bodenart sL,  
 Grünlandzahl 43

K <sub>2</sub> O-Düngung jährlich 1) kg/ha	mg K <sub>2</sub> O je 100 g Boden im Mittel von 13 Jahresversuchsbeerntungen 2)	Futter-TM im Mittel von 13 Jahresmengen pro ha relativ	Mehr- oder Minderertrag durch K <sub>2</sub> O nach Abzug für den K <sub>2</sub> O-Aufwand 3)	K-Gehalt in kg je dt Futter-TM von 13 Jahresmengen	K <sub>2</sub> O-Entzug mit der Futter-TM im Mittel von 13 Jahresmengen in kg/ha
0	7,1	100	0	1,63	194,0
120	7,7	113	+ 97	1,95	262,7
240	8,5	116	+ 67	2,30	316,9
360	10,5	121	+ 72	2,57	365,1
ohne K <sub>2</sub> O in dt/ha		96,0			
GD 5 %		5,4 4)	78		

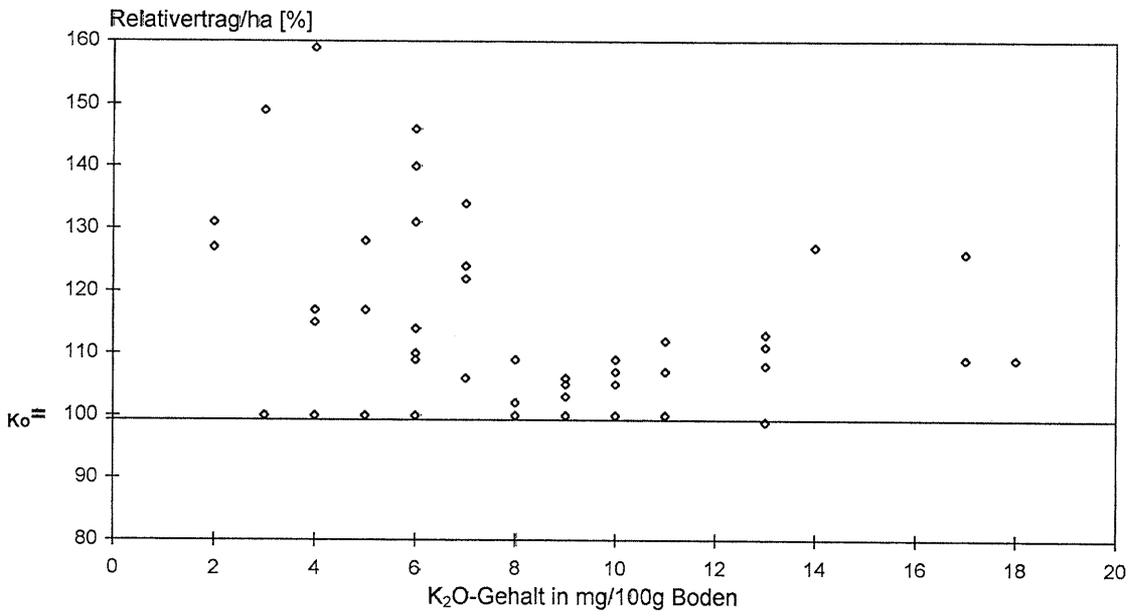
- 1) Düngertyp: 50er Kali, 60er Kali.
- 2) Bei ohne K<sub>2</sub>O-Düngung in 0 - 10 cm Tiefe 7,1 mg, in 10 - 30 cm Tiefe 6,0 mg K<sub>2</sub>O je 100 g Boden.
- 3) Basis: 15 DM/dt TM (= etwa 0,25 DM/KStE); 0,60 DM/kg K<sub>2</sub>O; 20 DM/ha Aufbringungskosten.
- 4) GD 5 % = kleinste gesicherte Ertragsdifferenz = 5,2 dt/ha TM = relativ 5,4.

### Übersicht 10: Ergebnis der K-Bedarfsprüfungen auf Grünland 2 Versuche, 13 Ernten (EU, GL) 1989-1995



Übersicht 11:

**K-Bedarfsprüfung auf GRÜNLAND 1989 - 1995**  
 Relativträge durch K-Düngung im Vergleich zur ungedüngten Variante auf  
 Grünlandböden mit unterschiedlichen K<sub>2</sub>O-Gehalten



Apel/Claus

K-GI-rel.XLS

LK Rheinland

## **Ableitung der optimalen K-Düngergaben und K-Bodengehalte aus Versuchen auf Sandböden in Niedersachsen**

*Dr. Klaus Früchtenicht<sup>2</sup>*

### **1 Einleitung**

Die Erarbeitung eines flächendeckenden Grenzwert- und Empfehlungsschemas setzt eine Eichung an Versuchsergebnissen voraus, die für das betreute Gebiet eine repräsentative Stichprobe darstellen hinsichtlich Nährstoffgehalt und anderen Bodeneigenschaften, Witterungsverlauf, Pflanzenart und Bewirtschaftungsmethoden. Gemessen an diesem Erfordernis schafft die hier vorgenommene Bündelung von Versuchsergebnissen zwar noch keine vollkommene, aber eine breitere Basis als das bei vorangegangenen Auswertungen (FRÜCHTENICHT 1990, SCHULZ 1994) der Fall war. Ziel der Arbeit ist es, Antworten auf folgende Fragen zu finden:

1. Welchen Einfluß hat die K-Düngung auf den K-Gehalt im Boden?
2. Welchen Einfluß hat der K-Gehalt im Boden auf die optimale K-Gabe im Folgejahr?
3. Wie hoch liegt die Erhaltungsdüngergabe und der dazugehörige K-Gehalt im Boden (Gehaltsklasse C)?

### **2 Material und Methoden**

Die von der Landwirtschaftskammer Weser-Ems (LUFU und Landbauabteilung) und dem Institut für Agrikulturchemie der Universität Göttingen durchgeführten Versuche lagen auf 30 Standorten (Tab. 1). Die Versuchsdauer betrug 1 bis 15 Jahre. Angaben zu Laufzeit, Düngung und Getreideanteil bei den einzelnen Versuchen gehen aus Tabelle 2 hervor. Die Häufigkeit der beteiligten Pflanzenarten und andere nach Arten gemittelte Parameter sind in Tabelle 3 enthalten. Ausgewertet wurden 161 Ernten von 1970 bis 1994. Als Düngerform wurde zu Kartoffeln Sulfat, sonst Chlorid gewählt. Der K-Entzug und der K-Rückfluß mit Ernterückständen (Stroh und Kraut) wurden in der Regel nicht gemessen, sondern nach Faustzahlen geschätzt.

Die Versuchsanlage erfolgte in der Regel als Blockanlage mit 4 Blöcken und 4 Versuchsgliedern. Bei 11 Ernten lag eine zweifaktorielle Versuchsdurchführung zugrunde. Hier umfaßte der Versuchsplan neben Faktor a) "gestaffelte mineralische K-Gaben" außerdem noch den Faktor b) "ohne/mit Gülle". Die K-Menge aus der Gülle wird bei der Auswertung gesondert berücksichtigt. Die Varianten mit Gülle zählen als zweite "Ernte" mit einer eigenen ökonomisch optimalen K-Gabe. Die Berechnung der Ertragskurven, der ökonomisch optimalen Gaben und der Höchstertragsgaben erfolgte gemäß der dritten Annäherung an das Ertragsgesetz nach v. BOGUSLAWSKI U. SCHNEIDER (1963) unter Benutzung des Programms "Bogu" von HORST U. HEYN, (1988).

---

<sup>2</sup> Dr. K. Früchtenicht  
LUFU der Landwirtschaftskammer Weser-Ems  
Jägerstr. 23-27, 26121 Oldenburg

Bei den statistischen Auswertungen nach dem bereits früher (FRÜCHTENICHT, 1990 u. 1993) beschriebenen Gang wurde das Programmpaket SPSS/PC+ benutzt. Tabelle 4 zeigt für die wichtigsten Parameter den Mittelwert und die Variationsbreite.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Welchen Einfluß hat die K-Düngung auf den K-Gehalt im Boden?

Zur Untersuchung dieser Frage wurden die Daten aller 613 Versuchsglieder mit  $K_2O$ -Gaben unter 400 kg/ha herangezogen. Als Zielgröße diente die Veränderung des  $K_2O$  (DL)-Gehaltes im Lauf eines Jahres, womit hier die Zeitspanne zwischen zwei Bodenuntersuchungsterminen (gewöhnlich im Herbst) gemeint ist. Folgende Einflußgrößen wurden in den multiplen Regressionsanalysen, Methode "stepwise" einbezogen: der Ausgangs-  $K_2O$ -Gehalt des Bodens im Herbst des Vorjahres, der Ton- und der Humusgehalt, die mineralische und organische  $K_2O$ -Düngung, die  $K_2O$ -Zufuhr mit Ernterückständen der Vorfrucht, der  $K_2O$ -Entzug und die Winterniederschläge (November bis April).

Nach Ausschluß von insgesamt 16 ausreißerverdächtigen Fällen mit extrem großen Residuen ergab sich auf der Basis von 597 Versuchsgliedern die nachfolgend wiedergegebene Regressionsgleichung:

$$DKDL = 1,48 + 0,0134 KD_{\min} + 0,0125 KD_{\text{org}} - 0,385 KDLV \quad (1)$$

$$B_a \text{ (adjustiertes Bestimmtheitsmaß)} = 0,23; \quad S_{\text{Rest}} = 2,6;$$

$$P = <0,0001$$

Es bedeuten:

KDLV  $K_2O$ (DL)-Gehalt am Beginn des betrachteten Jahres (Herbst) [mg/100 g]

KDL  $K_2O$ (DL)-Gehalt am Ende des betrachteten Jahres (Herbst) [mg/100 g]

DKDL KDL - KDLV

$KD_{\min}$   $K_2O$ -Düngung mineralisch [kg/ha]

$KD_{\text{org}}$   $K_2O$ -Düngung organisch [kg/ha]

Da die Regressionskoeffizienten für  $KD_{\min}$  und  $KD_{\text{org}}$  praktisch gleich sind, wurden  $Kd_{\min}$  und  $Kd_{\text{org}}$  zu einer Variablen zusammengefaßt, was zur nachfolgenden vereinfachten Regressionsgleichung führt.

$$DKDL = 1,50 + 0,0130 KD_{(\min + \text{org})} - 0,386 KDLV \quad (2)$$

$$B_a = 0,23; \quad S_{\text{Rest}} = 2,6; \quad P = <0,0001$$

Nach Gleichung (2) steigt der  $K_2O$ -Gehalt je 100 kg/ha Dünger- $K_2O$  um 1,3 mg/100 g an. Anders ausgedrückt: Um den  $K_2O$ (DL)-Gehalt um 1 mg/100 g anzuheben, sind 77 kg/ha  $K_2O$  erforderlich. Rechnerisch entspricht 1 mg/100 g einer Menge von 40 kg/ha, wenn man die Masse der Ackerkrume mit 4 Mill kg/ha ansetzt. Daraus folgt, daß fast die Hälfte des gedüngten  $K_2O$  in eine nicht DL-lösliche Form übergeht, in den Unterboden verlagert oder zusätzlich entzogen wird. Der  $K_2O$ -Gehalt nimmt um so mehr ab, je höher der Ausgangs- $K_2O$ -Gehalt ist. Je mg/100 g Ausgang- $K_2O$ -Gehalt beträgt die Abnahme 0,386 mg/100 g. Als Hauptsache für diese Abnahme kommt die Auswaschung in Betracht.

Daß Ton- und Humusgehalt keinen signifikanten Einfluß haben, ist wegen ihrer geringen Variationsbreite plausibel. Entgegen der Logik wurden der K-Entzug und der K-Rückfluß mit Ernterückständen nicht mit in die Regressionsgleichung aufgenommen; denn die entsprechenden Irrtumswahrscheinlichkeiten ( $p$ ) betragen 14 bzw. 71 %. Die Regressionskoeffizienten wären mit  $-0,0015$  bzw.  $0,0002$  vernachlässigbar klein gewesen. Ein Grund für das geringe statistische Gewicht des Entzuges ist wahrscheinlich, daß er in der Regel nur berechnet und nicht gemessen wurde. Ein weiterer wahrscheinlich schwerwiegender Grund liegt darin, daß der Entzug nicht so systematisch wie die Düngungsstaffeln abgestuft werden kann. Da er unsystematisch von Jahr zu Jahr variiert, wird sein Einfluß von anderen jährlich variierenden Faktoren überlagert. Der berechnete  $K_2O$ -Rückfluß mit Ernterückständen ging nicht in die Regressionsgleichung ein, obwohl er von 0 bis 149 kg/ha variierte. Die Ursachen sind die gleichen wie die im Zusammenhang mit dem Entzug erörterten. Zusätzlich wirkt sich noch der folgende Sachverhalt störend aus: Bis zur Entnahme der Bodenproben, die zuweilen erst mehrere Wochen nach der Ernte erfolgt, kann ein unterschiedlicher Anteil des Kaliums aus den Ernterückständen in den Boden ausgewaschen worden sein. Dieser Anteil geht bereits in das Bodenuntersuchungsergebnis ein und kann in der Folgezeit nicht nochmals zur Anhebung des Bodengehaltes beitragen. Somit ist nachvollziehbar, daß für den K-Rückfluß aus den Ernterückständen kein signifikanter Einfluß auf die Veränderung des  $K_2O$ -Gehaltes zwischen zwei Probenahmezeitpunkten nachgewiesen werden konnte.

Eine mit  $p = 7\%$  fast signifikante Einflußgröße ist die Niederschlagssumme von November bis April. Der Regressionskoeffizient hätte  $-0,003$  betragen, das entspricht einer Abnahme des  $K_2O(DL)$ -Gehaltes um  $0,3 \text{ mg}/100 \text{ g}$  je  $100 \text{ mm}$  Winterniederschlag.

Obwohl die erörterten nicht signifikanten Variablen nicht explizit in Gleichung (2) enthalten sind, bilden sie dennoch den Hintergrund, vor dem die Gleichung gültig ist. Bei wesentlich anderen Daten für K-Entzug, K aus Ernterückständen und Niederschlag ist nicht auszuschließen, daß sich andere Gleichungen ergeben. Mit Hilfe von Gleichung (2) läßt sich in jährlichen Schritten die Entwicklung des  $K_2O$ -Gehaltes im Boden simulieren. Nach 10 Jahren wird ein von der Düngergabe abhängiges Plateau erreicht (Abb. 1). Den Düngungsstaffeln 0, 100 und  $200 \text{ kg/ha}$  und 1 Jahr ordnen sich Plateaus von 3,9, 7,3 und  $10,6 \text{ mg}/100 \text{ g}$   $K_2O$  zu.

### 3.2 Welchen Einfluß haben der K-Gehalt im Boden und andere Faktoren auf die ökonomisch optimale K-Gabe?

Wer Landwirten praktisch umsetzbare Düngungsempfehlungen geben will, muß sich auch als Pflanzenernährer auf die wirtschaftlichen Rahmendaten einlassen. Zur Ermittlung der Preisrelation, die für die ökonomisch optimale K-Gabe maßgeblich ist, wurde davon ausgegangen, daß der Marktpreis bzw. die innerbetriebliche Verwertung der Getreideeinheiten zur Zeit meistens in der Bandbreite von 23 bis  $30 \text{ DM}/100 \text{ kg}$  liegt. Handelsdünger- $K_2O$  ist bei günstigem Einkauf zu etwa  $55 \text{ DM}/100 \text{ kg}$  erhältlich. Auf dieser Basis ergibt sich im günstigsten Fall die Preisrelation  $30 : 54 = 1 : 1,8$ . In weniger günstigen Fällen ist die Preisrelation  $1 : 2,5$  (z. B.  $23 : 57,5$  oder  $30 : 75$ ) zutreffender.

Tabelle 5 faßt für verschiedene Regressionsansätze die statistischen Kennziffern und Regressionskoeffizienten zusammen. Am ausführlichsten wurde der Einfluß verschiedener Variablen auf die optimale  $K_2O$ -Gabe bei Preisrelation  $1 : 1,8$  ( $K_{\text{opt}}, 1,8$ ) untersucht. Im Ansatz 1 mit allen

Pflanzenarten gelangten der  $K_2O$ -Gehalt im Boden (KDL), die  $K_2O$ -Zufuhr mit organischer Düngung ( $K_{orgd}$ ), der Niederschlag Mai - Juli und die Dummyvariablen "Gerste", "Mais und Hackfrüchte" und "andere" (Raps, Leguminosen, Feldgras) als signifikante Einflußgrößen in die Regressionsgleichung. Das adjustierte Bestimmtheitsmaß ( $B_a$ ) erhöhte sich bei der schrittweisen Hinzunahme der Einflußgrößen wie folgt: KDL 0,07, + "Mais und Hackfrüchte" 0,17, + "andere Arten" 0,22, + Niederschlag Mai - Juli 0,24, +  $K_{orgd}$  0,26, + "Gerste" 0,27. Hier zeigt sich, daß die an 4. bis 6. Stelle einbezogenen Variablen das Bestimmtheitsmaß nur noch wenig verbessern konnten. In den Ansätzen 2 (nur Getreide), 3 (nur Roggen und Hafer) und 4 (nur Gerste) erwies sich nur der  $K_2O$ -Gehalt im Boden, nicht aber  $K_2O$  aus organischer Düngung und der Niederschlag Mai - Juli als signifikant. Gerste hat einen im Mittel um rd. 30 kg/ha  $K_2O$  höheren Düngbedarf als Roggen und Hafer. Bei den Blattfrüchten ergaben sich, wohl aufgrund des geringeren Stichprobenumfanges bei größerer Reststreuung, keine signifikanten Unterschiede zwischen den Pflanzenarten (Ansatz 5). Neben dem  $K_2O$ -Gehalt im Boden war nur noch der Niederschlag Mai - Juli von signifikantem Einfluß, und zwar unabhängig von der Pflanzenart.

Bei der Zielgröße  $K_{opt,2,5}$  (optimale  $K_2O$ -Gabe bei Preisrelation 1 : 2,5) verlaufen die Regressionslinien erwartungsgemäß flacher und bei der Zielgröße  $K_{max}$  ( $K_2O$ -Gabe, die zum Maximalertrag führte) steiler als bei der Zielgröße  $K_{opt,1,8}$ . Die Abbildungen 2 und 3 veranschaulichen dies.

Bei allen Regressionsansätzen gelangten die Variablen " $K_2O$ -Entzug" und " $K_2O$ -Rückfluß aus Ernterückständen" der Berechnung zufolge nicht als signifikante Einflußgrößen in die Gleichung. Es ist anzunehmen, daß dafür die gleichen Gründe verantwortlich sind, wie diejenigen, die dazu führen, daß diese beiden Variablen keine oder nur eine geringe Beziehung zur Veränderung des  $K_2O$ -Gehaltes im Boden haben. Der Einfluß der  $K_2O$ -Zufuhr aus organischer Düngung in Ansatz 1 liegt bei  $K_{opt,1,8}$  knapp über, im übrigen knapp unter der Signifikanzschwelle. Zur sicheren Beurteilung dieses Faktors reicht die geringe Zahl von 11 Ernten mit organischer Düngung nicht aus.

### 3.3 Wie hoch liegt die langfristig optimale Gabe (Erhaltungsdüngergabe) und der dazugehörige $K_2O$ -Gehalt im Boden (Gehaltsklasse C)?

Die Abbildungen 2 und 3 lassen die Schnittpunkte der Regressionslinien für die ökonomisch optimalen bzw. Höchstertragsgaben mit der Regressionslinie für den Gleichgewichtsgehalt erkennen. Die Schnittpunktkoordinaten markieren die sich im Lauf der Jahre einpendelnden Düngergaben und Bodengehalte (VERGL. FRÜCHTENICHT, 1990 u. 1993). Bei reinem Getreidebau ergeben sich für  $K_{opt,2,5}/K_{opt,1,8}/K_{max}$   $K_2O$ -Gaben von 47/58/81 kg/ha bei 6 - 7 mg/100 g  $K_2O$  (DL). Bei reinem Blattfruchtbaubau würden sich  $K_2O$ -Gaben von 88/105/135 kg/ha bei 8/9/10 mg/100 g  $K_2O$  (DL) ergeben. In einer Fruchtfolge findet ein periodisches Pendeln der Düngergaben und Bodengehalte statt, wie die Abbildungen 4 und 5 veranschaulichen. Weiterhin wird deutlich, daß das Gleichgewicht schon nach fünf Jahren erreicht ist selbst bei extrem hohen bzw. niedrigen Ausgangsgehalten.

#### 4 Diskussion

Gemessen an den bisher verbreiteten Vorstellungen liegen die hier errechneten Erhaltungsdüngergaben bemerkenswert niedrig. Beim Getreide liegen die Erhaltungsdüngergaben für das ökonomische Optimum ( $K_{opt,2,5}$  und  $K_{opt,1,8}$ ) unter dem berechneten Entzug; und nur die Erhaltungsdüngergabe für den Maximalertrag erreicht den Entzug (Tab. 6). Bei den Blattfrüchten erreichen die Erhaltungsdüngergaben nur 39, 51 bzw. 67 % des Entzuges. Der  $K_2O$ -Anfall aus Ernterückständen soll auf Sandböden nach unseren Empfehlungen zu 50 % auf die Düngung angerechnet werden. Würde man ihn voll anrechnen, bliebe bei Blattfrüchten trotzdem ein Nettoentzug von  $-215 \text{ kg/ha } K_2O$ , der durch die Erhaltungsdüngung bei weitem nicht gedeckt wird. Es ist nahezu sicher, daß bei der Bergung von Stroh und Rübenblatt erheblich weniger  $K_2O$  vom Feld abgefahren wird als den Entzugsrichtwerten entspricht. In der Praxis bleiben oft sehr lange Stoppeln stehen, ein Teil des Strohes oder Krautes bleibt liegen, und ein Teil des K kann aus dem Pflanzengewebe ausgewaschen sein. Demnach ist in Wirklichkeit wahrscheinlich der K-Entzug niedriger und/oder der K-Anfall mit Ernterückständen höher als hier berechnet. Des weiteren kann vermutet werden, daß Fehler bei der Versuchsdurchführung und -auswertung sich überwiegend nivellierend auswirken. So sind die fehlerfrei gedachten Erhaltungsdüngergaben möglicherweise höher als die hier berechneten. Nach unserer Einschätzung ist die Differenz jedoch nicht größer als 15 %. Schließlich bleibt noch zu erwähnen, daß nach KÖHNLEIN (1980) und SCHULZ (1994) auch auf Sandböden eine nennenswerte K-Nachlieferung stattfindet.

Da die Differenz zwischen der hier ermittelten Erhaltungsdüngung und dem berechneten Entzug zur Zeit nicht befriedigend zu erklären ist, besteht weiterer Forschungsbedarf in den nachfolgend umrissenen Bereichen. 1. Die hier versuchte Kalibrierung ist auf der Basis weiterer Feldversuchsergebnisse zu verifizieren. Dabei sind die Methoden der Versuchdurchführung und -auswertung kritisch zu prüfen. 2. Die Faustzahlen über K-Entzug, K-Abfuhr vom Feld und K-Anfall mit Ernterückständen sind zu überprüfen. 3. Die K-Auswaschung und K-Nachlieferung in Abhängigkeit vom K-Gehalt sind zu quantifizieren.

#### 5 Zusammenfassung

Es wurden Feldversuchsergebnisse von 161 Ernten an 30 Sandstandorten ausgewertet. Die jährliche Veränderung des K(DL)-Gehaltes im Boden erwies sich als abhängig vom Ausgangs-K-Gehalt und der K-Düngung. Für weitere Parameter wie K-Entzug, K-Rücklieferung mit Ernterückständen u.a. konnte in der multiplen Regressionsanalyse kein signifikanter Einfluß nachgewiesen werden. Im Lauf von spätestens 10 Jahren stellt sich ein von der K-Düngung abhängiges K-Gehaltsplateau ein, und zwar von  $3,9 / 7,3 / 10,6 \text{ mg/100 g } K_2O(\text{DL})$  bei  $0 / 100 / 200 \text{ kg/ha } K_2O$ . Neben der Höchstertagsgabe wurde die ökonomisch optimale K-Gabe für 2 Preisrelationen, nämlich Getreideeinheit :  $K_2O = 1 : 1,8$  bzw.  $2,5$  errechnet. Die Höchstertags- und Optimalgaben nehmen signifikant mit zunehmendem K-Gehalt im Boden ab. Bei Blattfrüchten liegt das Optimum wesentlich höher als bei Getreide. Des weiteren korrelieren die optimalen K-Gaben bei den Blattfrüchten positiv mit der Niederschlagssumme Mai - Juli. Für den K-Entzug wurde kein signifikanter Einfluß nachgewiesen.

Unter der Voraussetzung, daß die K-Düngergaben stets unter Berücksichtigung des K-Bodengehaltes bemessen werden, stellen sich je nach Fruchtfolge im Boden  $6 - 8 \text{ mg/100 g}$

K<sub>2</sub>O(DL) ein. Bei diesem Gehalt betragen die optimalen Düngergaben für Preisrelation 1:2,5 / 1:1,8 / Höchstertrag bei Getreide 47 / 58 / 81 und bei Blattfrüchten 93 / 117 / 154 kg/ha K<sub>2</sub>O. Dabei sind 200 mm Niederschlag Mai - Juli unterstellt. Da diese als Erhaltungsdüngung anzuspreekenden K-Gaben erheblich unter dem berechneten K-Nettoentzug liegen, ergibt sich ein Forschungsbedarf dahingehend, ob der K-Nettoentzug wirklich so hoch ist wie bisher unterstellt.

## 6 Literatur

- Boguslawski, E. von u. Schneider, B. (1963): Die dritte Annäherung des Ertragsgesetzes. 2. Mitt. Z. Acker- u. Pflanzenbau 116, 113-128
- Früchtenicht, K. (1990): Ergebnisse von Eichversuchen mit Kali auf Sandböden in Weser-Ems. VDLUFA-Schriftenreihe 30, 223-228
- Früchtenicht, K. (1993): Wechselwirkungen zwischen der K-Düngergabe, dem K-Gehalt im Boden und der ökonomisch optimalen K-Gabe bei Löß- und Marschböden. Agribiol. Res. 46, 4, 295-308
- Horst, H. u. Heyn (1988): Ein PC-Programm zur Errechnung von Ertragskurven nach der Dritten Annäherung an das Ertragsgesetz von E. von Boguslawski und B. Schneider. Hektographierte Schrift aus HLVA Kassel
- Köhnlein, J. (1980): Kaliumanlieferung des Ackerbodens von "K<sub>0</sub>-Parzellen" auf kultiviertem Heidepodsol. Z. Acker- u. Pflanzenbau 149, 21-34
- Schulz, V. (1994): Pflanzenverfügbarkeit von Kalium in norddeutschen Sandböden als Grundlage umweltschonender Kalium-Düngung von Ackerkulturen. Dissertation Uni Göttingen.

Tabelle 1: Die wichtigsten Merkmale der Versuchsstandorte

Versuchs- ansteller	Versuch Nr.	Ort	Bodentyp	Ton %	Humus (C * 1,72) %	pH CaCl <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O (DL) bei Versuchsbe- g mg/100 g
LUFA	1085	Friesoythe	Sandmischkultur	2,0	7,5	4,8	3
LUFA	1264	Friesoythe	Sandmischkultur	2,0	3,8	4,8	6
LUFA	1286	Laer	Gley-Podsol	2,6	2,6	4,8	11
LUFA	1287	Laer	Podsol	2,3	3,8	5,0	18
LUFA	1298	Meppen	Podsol	1,1	2,4	5,5	4
LUFA	1344	Meppen	Podsol	1,3	2,9	5,6	4
LUFA	1362	Windhorst	Podsol	2,0	1,5	4,7	3
LUFA	1377	Westerloy	Podsol	5,8	6,4	5,3	9
LUFA	1378	Westerloy	Podsol	5,8	6,4	5,3	9
LUFA	1380	Halstrup	Gley-Podsol	4,6	6,0	5,1	8
LUFA	1508	Gr. Berßen	Podsol	2,7	5,2	4,3	9
LUFA	1524	Meppen	Podsol	6,8	3,1	4,9	6
LUFA	1536	Marx	Podsol	3,0	n.b.	5,7	6
LUFA	1587	Lorup	Podsol	3,0	4,0	4,9	4
LUFA	1588	Wietmarschen	Podsol	4,2	2,6	5,0	8
LUFA	1613	Rütenbrock	Podsol	4,1	5,7	5,2	7
LUFA	1615	Surwold	Sandmischkultur	3,9	5,3	4,8	17
LUFA	1626	Rütenbrock	Sandmischkultur	n.b.	n.b.	5,5	7
LUFA	1627	Rütenbrock	Sandmischkultur	n.b.	n.b.	5,4	13
LUFA	1628	Lengerich	Braunerde	n.b.	n.b.	6,0	13
LUFA	1629	Lengerich	Podsol	n.b.	n.b.	5,6	8
LUFA	1630	Emsbühren	Podsol	n.b.	n.b.	4,2	6
LWK	33/85	Wehnen	Pods.-Braunerde	3,0	4,8	5,6	10
LWK	33/86	Wehnen	Pods.-Braunerde	3,0	3,4	5,9	14
LWK	33/87	Wehnen	Pods.-Braunerde	3,0	4,5	5,0	4
LWK	33/88	Wehnen	Podsol	3,0	4,5	5,5	17
UNI	1	Düshorn	Pods.-Braunerde	3,0	2,2	5,5	11
UNI	2	Eickeloh	Pods.-Braunerde	4,0	1,9	5,2	10
UNI	3	Hademstorf	Pods.-Braunerde	3,0	4,0	5,5	10
UNI	4	Hodenhagen	Pods.-Braunerde	5,0	5,5	5,2	13

Tabelle 2: Die wichtigsten Angaben zur Versuchsdurchführung

Versuch Nr.	Laufzeit	Jahr	Kaligaben in kg/ha K <sub>2</sub> O	Getreideanteil %
1085	1970 - 84	1	0-100-200-400	93
		2	0-160-160-160	
		3 - 4	0-100-200-300	
		5 - 13	0-100-150-200	
		14	0-100-200-400	
		15	0-100-150-200	
1264	1980 - 93	1 - 14	0- 60-120-180	71
1286	1981 - 82	1 - 2	0-200-400-600	0
1287	1981 - 82	1 - 2	0-200-400-600	0
1298	1981 - 93	1 - 13	0. 80-120-160	77
1344	1983 - 94	1 - 12	0- 80-120-160	67
1362	1983 - 87	1 - 5	0- 80-160-240	40
1377	1983 - 93	1 - 11	0- 80-120-160	55
1378	1983 - 93	1 - 11	0- 80-120-160	55
1380	1984 - 90	2 - 8	0- 60-120-180	29
1508	1989	1	0-120-180-240	0
1524	1989 - 91	1 - 3	0-120-180-210	0
1536	1990 - 91	1 - 2	0-120-180-240	0
1587	1987	1	0- 60-120-180 <sup>2)</sup>	50
		2	0-120-240-360 <sup>2)</sup>	
		3	0- 60-120-180 <sup>2)</sup>	
		4	0-120-240-360 <sup>2)</sup>	
		6 - 7	0- 60-120-180 <sup>1)</sup>	
		1588	1987	
1988 - 89	2 - 3	0- 60-120-180 <sup>1)</sup>		
1990	4	0-100-200-300 <sup>1)</sup>		
1991	5	0- 60-120-180 <sup>1)</sup>		
1992 - 93	6 - 7	0- 60-120-180		
1613	1993 - 94	1 - 2	0- 70-140-210	50
1615	1994	1	0- 70-140-210	0
1626	1994	1	0- 80-160-240	0
1627	1994	1	0- 80-160-240	0
1628	1994	1	0- 80-160-240	0
1629	1994	1	0- 80-160-240	0
1630	1994	1	0- 80-160-240	0
33/85	1985	1	0-120	0
33/86	1986	1	0-150-250	0
33/87	1987	1	0-150-250	0
33/88	1988	1	0-150-250	0
1	1989 - 94	1 - 6	0- 70-140-210	83
2	1989 - 94	1 - 6	0- 70-140-210	75
3	1989 - 92	1 - 4	0- 70-140-210	100
4	1989 - 94	1 - 6	0- 70-140-210	83

2) ohne organische Düngung/mit Stroh/mit Gülle

1) ohne und mit Gülle

Tabelle 3: Die wichtigsten Daten zu den angebauten Pflanzenarten

Art	Anzahl	Höchst- ertrag dt/ha	K <sub>2</sub> O-Entzug			K <sub>2</sub> O-Gabe für			K <sub>2</sub> O-Zufuhr mit Ernterückständen und organischer Düngung kg/ha	K <sub>2</sub> O (DL) im Boden bei K <sub>0</sub> mg/100 g
			Haupt- ernte- gut kg/ha	Neben- ernte- gut kg/ha	Gesamt kg/ha	ökonom. Preisrel. 1 : 2,5 kg/ha	Optimum Preisrel. 1 : 1,8 kg/ha	Höchst- ertrag kg/ha		
W.-Gerste	22	52,8	26	72	98	94	66	123	28	5
S.-Gerste	24	54,6	27	39	66	96	72	127	54	5
W.-Roggen	32	50,9	38	40	78	56	45	120	24	6
Hafer	14	42,8	21	69	90	70	43	95	31	4
Körnermais	14	76,3	34	221	255	146	94	216	48	4
Silomais	3	87,2	55	0	55	173	159	188	4	3
W.-Raps, Korn	2	34,3	18	87	105	131	89	175	31	6
Körnerleguminosen	10	38,7	52	62	114	125	98	148	10	7
Kartoffeln (TM)	31	87,9	228	72	300	119	98	162	20	12
Zuckerrüben (TM)	1	124,2	137	192	329	145	99	159	0	6
Ackergras (TM)	8	71,5	151	0	151	132	119	162	11	4
Summe/Mittel	161	61,5	77	69	146	100	76	142	29	6

Tabelle 4: Mittelwert und Variationsbreite wichtiger Parameter

Parameter	Mittel	Standardabweichung	Minimum	Maximum
K <sub>2</sub> O(DL)-Gehalt [mg/100 g]	5,7	3,4	1	18
Ertrag in Getreideeinheiten [dt/ha]	61,5	24,6	17,4	148,3
K <sub>2</sub> O-Entzug [kg/ha]				
Haupternteget	77	89	5	402
Nebenernteget	69	60	0	353
Gesamt	146	106	28	474
K <sub>2</sub> O-Rückfluß mit Ernterückständen (ER)				
im Mittel von 53 Ernten [kg/ha]	65	27	13	149
ER auf dem Feld geblieben				
im Mittel aller 161 Ernten [kg/ha]	29	34	0	149
K <sub>2</sub> O-Zufuhr mit Gülle [kg/ha] (n = 11)	96	64	15	186
K <sub>2</sub> O-Gabe für				
Optimum bei Preisrel. 1:2,5 [kg/ha]	76	70	0	296
Optimum bei Preisrel. 1:1,8 [kg/ha]	100	84	0	302
Höchstertrag [kg/ha]	142	95	0	405
Niederschlag November - April [mm]	348	63	219	523
Niederschlag Mai - Juli [mm]	208	45	128	284

Tabelle 5: Einfluß verschiedener Paramter auf die optimalen K-Gaben, berechnet nach unterschiedlichen Regressionsansätzen

Zielgrößen: 1 Kopt1,8, 2 Kopt2,5, 3 Kmax,

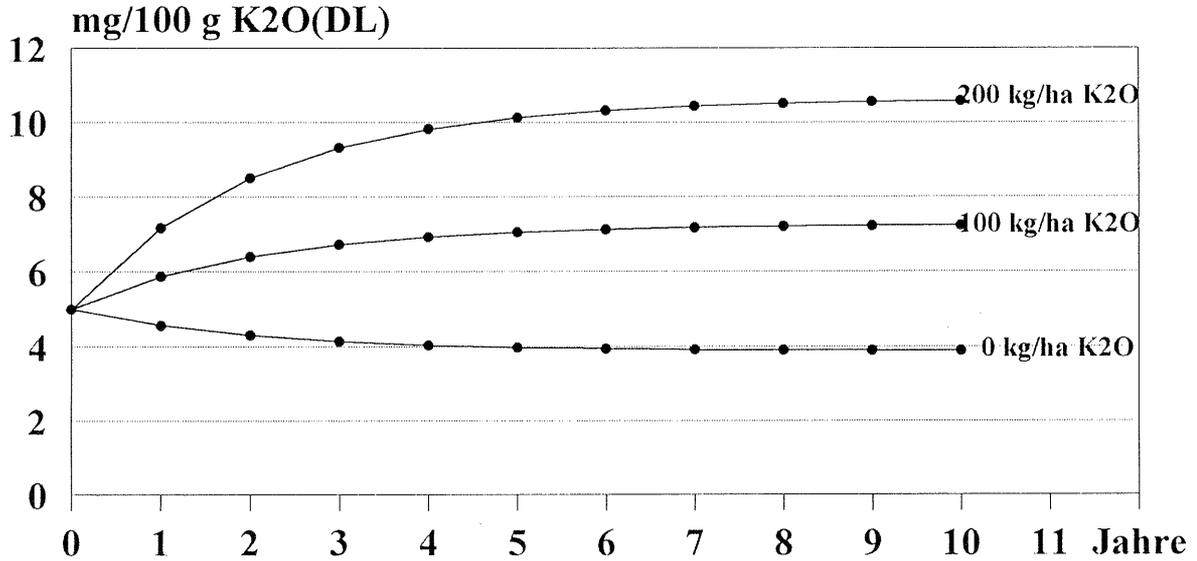
Regressionsansätze: 1 alle Arten, 2 Getreide, 3 Roggen und Hafer, 4 Gerste, 5 Blattfrüchte

Zielgröße	Ansatz	B <sub>a</sub>	S <sub>rest</sub>	n	Konstante	Regressionskoeffizienten					
						KDL	K <sub>orgd</sub>	Niederschlag Mai-Juli mm	Gerste	Mais u. Hackfrüchte	andere Arten
			kg/ha		kg/ha	mg/100g	kg/ha				
Kopt1,8	1	0,27	72	161	45,5	-9,22	-0,471	0,315	32,1	87,2	69,2
	2	0,18	64	92	143,0	-13,2	n.s.	n.s.	n.s.	-	-
	3	0,13	61	46	114,7	-10,4	n.s.	n.s.	-	-	-
	4	0,19	65	46	168,1	-15,4	n.s.	n.s.	-	-	-
	5	0,20	82	69	48,4	-7,95	n.s.	0,623	-	n.s.	-
Kopt2,5	1	0,22	62	161	94,9	-7,60	n.s.	n.s.	n.s.	58,1	53,0
	2	0,17	51	92	108,1	-10,2	n.s.	n.s.	n.s.	-	-
	3	0,16	49	46	92,2	-9,10	n.s.	n.s.	-	-	-
	4	0,15	52	46	120,3	-10,7	n.s.	n.s.	-	-	-
	5	0,17	71	69	51,0	-6,60	n.s.	0,441	-	n.s.	-
Kmax	1	0,19	86	161	170,1	-10,3	n.s.	n.s.	n.s.	79,9	43,3
	2	0,15	82	92	194,5	-15,2	n.s.	n.s.	n.s.	-	-
	3	0,11	91	46	185,3	-13,9	n.s.	n.s.	-	-	-
	4	0,17	73	46	203,7	-16,5	n.s.	n.s.	-	-	-
	5	0,23	84	69	56,9	-8,00	n.s.	0,786	-	n.s.	-

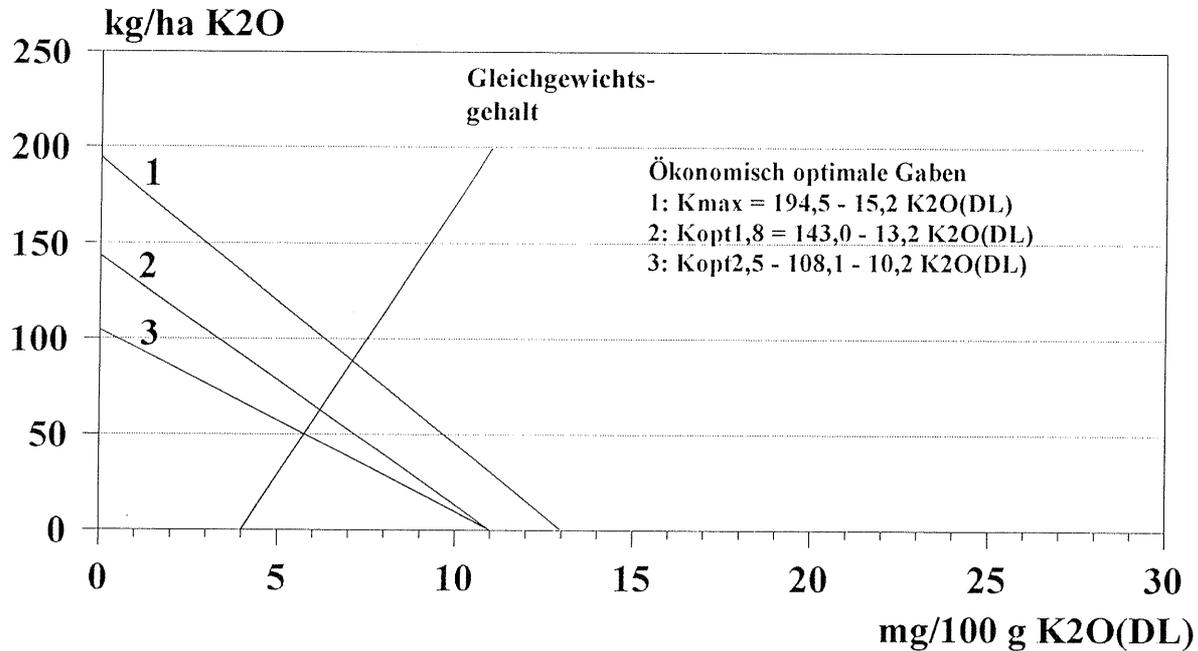
Tabelle 6: Vergleich der berechneten K<sub>2</sub>O-Erhaltungsdüngergaben mit der K<sub>2</sub>O-Bilanz (in kg/ha K<sub>2</sub>O)

	Erhaltungsdüngung			Entzug	Anfall mit Ernterückständen	Netto entzug	K <sub>2</sub> O in Nebenerntegut
	Kopt2,5	Kopt1,8	Kmax				
Getreide	47	58	81	-82	22	-60	52
Blattfrüchte <sup>1)</sup>	93	212	158	-237	22	-215	97

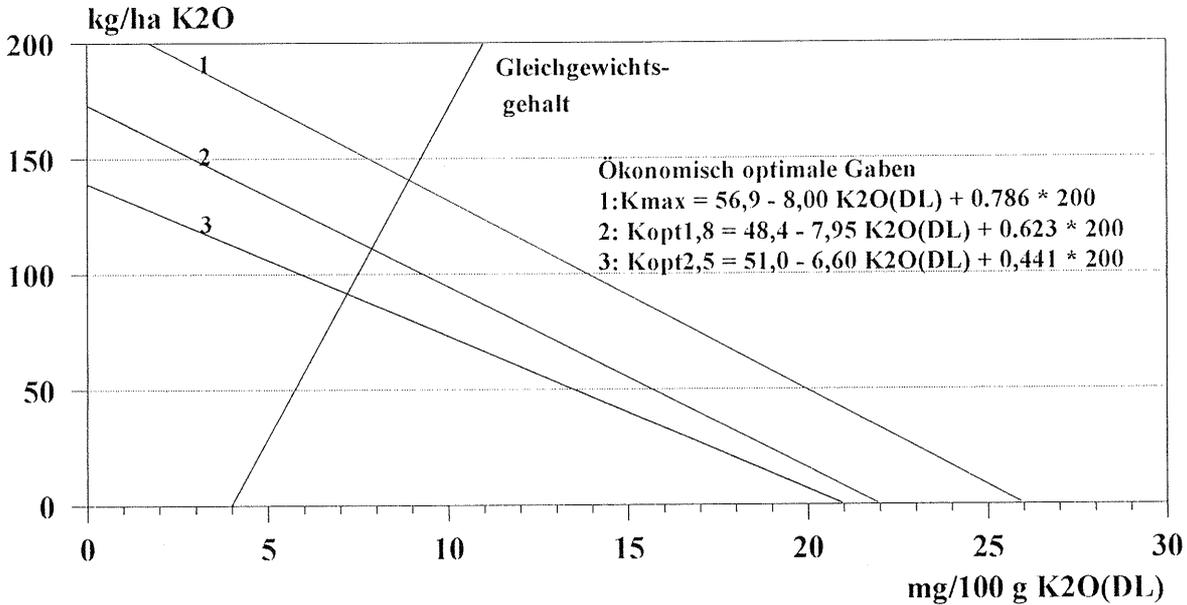
1) bei 7 mg/100 g K<sub>2</sub>O und 200 mm Niederschlag Mai - Juli



**Abb. 1: Berechnete Entwicklung der K-Gehalte  
bei unterschiedlicher jährlicher Düngung**



**Abb. 2: Errechnete ökonomisch optimale K-Gaben für Getreide und K-Gleichgewichtsgehalte in Sandböden**



**Abb. 3: Errechnete ökonomisch optimale K-Gaben für Blattfrüchte und K-Gleichgewichtsgelalte in Sandböden bei 200 mm Niederschlag Nov. - April**

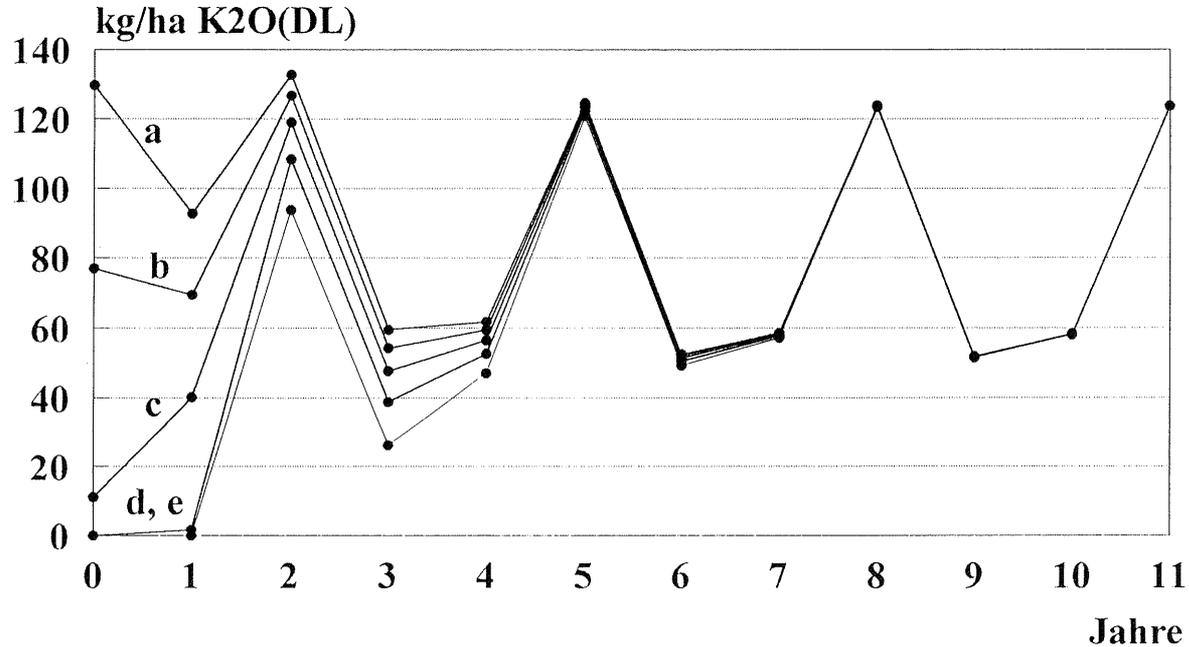
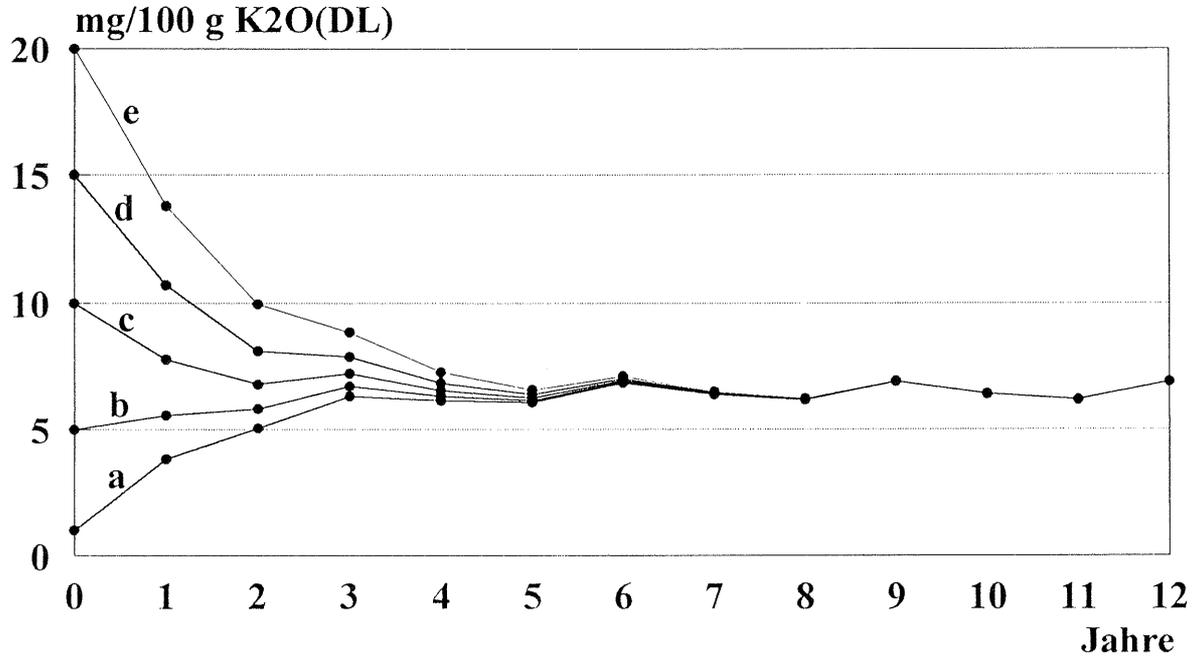


Abb. 4: Entwicklung der ökonomisch optimalen K-Gaben (Preisrelation 1:1,8) bei verschiedenen Anfangsgehalten (a 1, b 5, c 10, d 15, e 20 mg/100 g K<sub>2</sub>O) (Fruchtfolge: Getreide/Getreide/Blattfrucht)



**Abb. 5: Entwicklung der K-Gehalte auf Sandböden bei unterschiedlichen Anfangsgehalten (Fruchtfolge: Getreide/Getreide/Blattfrucht)**

## Ergebnisse von Kalidauerdüngungsversuchen auf Ackerland in Bayern

Hege, U., K. Offenberger, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising

### Einleitung

In Bayern wurden ab 1974 ortsfeste Kaliversuche mit folgender Fragestellung angelegt:

1. Ermittlung des Nährstoffpotentials und des -nachlieferungsvermögens ackerbaulich genutzter Böden in Bayern
2. Auswirkung unterschiedlicher Kalidüngung auf den Ertrag und die Kaligehalte im Boden.

### 1 Versuchsanlage, Versuchsdurchführung

Die Versuche (Parzellenfläche 50 m<sup>2</sup>) mit vierfacher Wiederholung und einer meist dreigliedrigen Fruchtfolge sind ortsfest. Die Bodenarten der Versuchsflächen erstrecken sich auf den gesamten Bereich zwischen tonarmen Sandböden und tonigen Lehm Böden bei einem hohen Anteil schluffiger Lehme. Eine Standortbeschreibung enthält Tab. 1.

Die jährlichen Düngegaben betragen während der in Tab. 1 angegebenen Laufzeit 0, 100, 200, 300 kg K<sub>2</sub>O/ha. Danach wurden in einem zweiten Versuchsabschnitt alle Varianten einheitlich in Höhe der Kaliabfuhr gedüngt. Da die zweite Versuchsperiode noch nicht abgeschlossen ist, wird über die Ergebnisse später berichtet. Die Kalidüngung erfolgte nach der Pflugfurche in Form von Kaliumchlorid als 40er- oder 50er Kali. Alle anderen pflanzenbaulichen Maßnahmen wie N-Düngung, Pflanzenschutz und Bodenbearbeitung waren ortsüblich optimal. Um eine möglichst hohe K-Abfuhr von den Flächen zu erhalten, wurde die gesamte oberirdische Pflanzenmasse abgefahren. Im Rahmen der dreigliedrigen Fruchtfolge (2x Getreide, 1x Blatt- oder Hackfrucht) wurde, soweit möglich, einmal eine Zwischenfrucht zur Gründüngung angebaut.

### 2 Ergebnisse und Diskussion

Für die Umrechnung in die Elementform ist der Faktor 0,83 anzusetzen.

#### Erträge bei unterschiedlicher Kalidüngung

In Tab. 2 sind für alle Standorte die Erträge in Getreideeinheiten (GE) bei unterschiedlicher Kalidüngung im Mittel der Versuchsjahre aufgeführt. Der Ertragsunterschied zwischen der langjährig ungedüngten Variante (K<sub>0</sub>) und der Variante mit dem Maximalertrag liegt zwischen 8,7 GE in Ostermünchen (Jahresniederschläge 1100 mm) bzw. 8,3 GE in Eichelberg (Sand) und 1,0 GE in Wolkshausen (Löß, Trockengebiet).

In den Abbildungen 1 - 5 sind die durch eine Kalidüngung von 200 kg  $K_2O/ha^*a$  ( $K_{200}$ ) erzielten Mehr- oder Mindererträge in Getreideeinheiten gegenüber der Variante ohne Kalidüngung ( $K_0$ ) in Abhängigkeit von der Kaliversorgung in der  $K_0$ -Variante dargestellt. Wiedergegeben ist jedes Einzeljahresergebnis, wobei auch statistisch nicht absicherbare Ertragsunterschiede dargestellt sind.

Von besonderem Interesse ist hierbei, ob sich in Abhängigkeit von der angebauten Fruchtart (Abb. 2, 3) oder der Bodenart in der Krume (Abb. 4, 5) Unterschiede ergeben. Die auf Grund der errechneten Regressionslinien unter Berücksichtigung der Dünge- und Ausbringkosten ermittelten Grenzwerte sind in Tab. 3 aufgeführt. Unter Berücksichtigung der Nährstoffkosten von 0,60 DM/kg  $K_2O$ , der Ausbringkosten von 20.-- DM/ha und der Produktkosten von 25.-- bzw. 30.--DM/GE war unter Einbeziehung aller Einzelergebnisse eine Kalidüngung in Höhe von 100 kg  $K_2O/ha^*a$  gegenüber langjähriger Nulldüngung bei einer Kaliversorgung des Bodens von  $< 8$  bzw.  $< 10$  mg  $K_2O/100$  g Boden ökonomisch sinnvoll. Eine Kalidüngung von 200 kg  $K_2O/ha^*a$  gegenüber  $K_0$  lediglich unter 5 mg bzw. 6 mg  $K_2O/100$  g Boden rentabel. Eine Erhöhung der Kaligabe auf 300 kg  $K_2O/ha^*a$  führte an keinem Standort zu ausreichenden Mehrerträgen (s. Tab. 2).

Bei Mais, Kartoffel und Zuckerrüben war der Ertragsunterschied (Abb. 3) und damit der errechnete Grenzwert (mg  $K_2O/100$  g Boden) wesentlich höher als bei Getreide (Tab. 3). Welchen Einfluß der Produktpreis auf die Berechnung ökonomischer Grenzwerte hat, soll am Beispiel der Hackfrüchte verdeutlicht werden. Wird der Preis je GE von 30.-- auf 50.-- DM angehoben, so ergeben sich bei einer Düngegabe bis 200 kg  $K_2O$  um 3 - 4 mg höhere Grenzwerte. Dies muß bei der Festlegung von Kaligehalten in den einzelnen Gehaltsklassen berücksichtigt werden.

Die Kali-Düngewirkung in Abhängigkeit von der Bodenversorgung war auf den Böden mit der Bodenart sL - t'L geringfügig höher als auf den leichten Böden (S, IS). Für schwere Böden (Bodenart tL - T) kann aufgrund des zu geringen Datenmaterials keine Aussage gemacht werden. Nach vorliegenden Versuchsergebnissen muß eine Differenzierung hinsichtlich Nährstoffversorgung in den einzelnen Gehaltsklassen in Abhängigkeit von der Bodenart wie sie derzeit in der Beratung üblich ist, in Frage gestellt werden.

### **Standortbezogene Auswertung**

Eine standortbezogene Auswertung über die gesamte Versuchsdauer ist in Tab. 4 dargestellt. Das Düngeoptimum wurde mittels Ertragsfunktion nach BOGUSLAWSKI/SCHNEIDER in der PC-Version von HORST und HEYN berechnet. Es wurde ein Produktpreis von 30.-- DM/GE, Düngekosten von 0,60 DM/kg  $K_2O$  und Ausbringkosten von 20.-- DM unterstellt. Die Ergebnisse verdeutlichen, daß im Mittel über die Jahre ökonomisch relevante Ackererträge durch eine

Kalidüngung nur an 4 von 13 Standorten gegeben waren. Dabei lag die optimale Düngemenge lediglich in Eichelberg um ca. 40 kg  $K_2O$ /ha über der Kaliabfuhr.

An 9 Standorten lag das Düngesoptimum bei 0 kg  $K_2O$ . Die Bodenversorgung, errechnet aus den Bodenwerten bei  $K_0$  im Mittel über alle Versuchsjahre, lag dabei bei 9 bis 18 mg  $K_2O$ /100 g Boden.

#### Veränderung der Kaligehalte im Boden durch unterschiedliche Kalidüngung

Die CAL-löslichen Kaligehalte nach Beendigung der ersten Versuchsphase mit differenzierter Düngung sind in Tab. 5 aufgeführt. Die Kaligehalte im Boden lagen im Mittel über alle Standorte während der letzten 3 Versuchsjahre auf der  $K_0$ -Variante bei 9,8 mg und auf der Variante mit 300 kg  $K_2O$ /ha\*a bei 23,2 mg/100 g Boden, wobei große Standortunterschiede gegeben sind. Die Differenzierung der Kaligehalte im Boden war am höchsten in Buchschwabach mit 23 mg, dies entspricht 2,1 mg/Jahr und am geringsten in Thannhöcking mit 6 mg, was 0,55 mg/Jahr entspricht.

Zur Frage wieviel Kali erforderlich war um den Bodengehalt um 1 mg zu verändern, müssen die Kalisalden (Kalidüngung minus Kaliabfuhr) berücksichtigt werden. Die Kaliabfuhr lag im Mittel der Orte in  $K_0$  bei rund 168 kg  $K_2O$ /ha\*a und in  $K_{300}$  bei rund 198 kg  $K_2O$ /ha\*a (Tab. 6). Dies bedeutet, daß in  $K_{300}$  rund 102 kg  $K_2O$ /ha\*a mehr gedüngt als abgefahren wurde. Die Differenz im Kalisaldo von  $K_0$  und  $K_{300}$  liegt folglich bei rund 270 kg  $K_2O$ /ha\*a. Unter Berücksichtigung der Laufzeit der Versuche bedeutet dies, daß der Kaligehalt im Boden sich um 1 mg/100 g Boden verändert hat, wenn die Kalidüngemenge um 235 kg/ha\*a unter oder über der Kaliabfuhr lag.

In Abb. 6 ist die Kaliversorgung der Böden (Mittel der letzten drei Versuchsjahre, Tab. 5) in Abhängigkeit vom Kalisaldo (Mittel über die gesamte Versuchsdauer) im Mittel über alle Orte dargestellt. Daraus ergibt sich, daß bei ausgeglichenem Kalisaldo die Kaliversorgung der Böden, die bei Versuchsbeginn bei 19,1 mg/100 g Boden lag, kaum verändert wurde. Dies bedeutet, daß mit einer Kalidüngemenge in Höhe der Kaliabfuhr keine wesentliche Veränderung der Bodenversorgung festzustellen war.

Beispiele für die Schwankung der Kaligehalte im Boden über die Versuchsdauer werden an ausgewählten Standorten (Wolkshausen, Buchschwabach) in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt. Die Ergebnisse passen gut in das Bild, das sich auch bei der Betrachtung der Veränderung der Phosphatgehalte im Boden ergeben hat (HEGE, OFFENBERGER, 1996).

Im Mittel über die Kalidüngestufen lag in Wolkshausen die Kaliversorgung 1986 um 14 mg  $K_2O$ /100 g Boden niedriger als 1984. In Buchschwabach war der Unterschied zwischen 1990 und 1991 7 mg im Mittel über die Kalidüngestufen. Welche Einflußgrößen diese extreme

Schwankung der Bodenwerte verursachen, soll in einer weitergehenden Auswertung herausgefunden werden.

### 3 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der ortsfesten Kalidauerdüngungsversuche lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Eine Kalidüngung in Höhe von 100 kg  $K_2O$ /ha (83 kg K/ha), dies entspricht in etwa 2/3 der Kaliabfuhr, war im Mittel über Orte, Jahre und Fruchtarten nur bei einer Bodenversorgung von  $< 10$  mg  $K_2O$ /100 g Boden (8,3 mg K/100 g Boden) lohnend. Bei Getreide war praktisch keine Düngewirkung festzustellen. Bei Hackfrüchten lag dieser Grenzbereich unter Zugrundelegung eines Produktpreises von 50.-- DM/GE bei 18 mg  $K_2O$ /100 g Boden (14,9 mg K/100 g Boden).
2. Eine Düngung in Höhe der Kaliabfuhr im Mittel über die Fruchtfolge führte erst bei einer Kaliversorgung von  $< 15$  mg  $K_2O$ /100 g Boden ( $< 12,5$  mg K/100 g Boden) zu ausreichenden Mehrerträgen.
3. Bei den Hackfrüchten Mais, Kartoffel und Zuckerrüben lagen die errechneten Grenzwerte deutlich höher als bei Getreide. Bei optimaler Bodenversorgung (Gehaltsklasse C) sollte die Kalidüngemenge im Rahmen der Fruchtfolge betont zur Hackfrucht gegeben werden.
4. Böden mit Tongehalten von 12 - 25 % (sandiger Lehm bis schwach toniger Lehm) benötigen etwas höhere Kaligehalte im Boden als leichte Böden (Sand, schwach lehmiger Sand).
5. Der Kaligehalt im Boden nahm um 1 mg/100 g Boden ab, wenn ein Defizit im Kalisaldo von rund 250 kg/ha gegeben war. Der Kaligehalt im Boden nahm um 1 mg/100 g Boden zu, wenn ein Überhang im Kalisaldo von rund 195 kg/ha gegeben war. Dies bedeutet, daß im Mittel über die Versuchsorte ca. 195 kg  $K_2O$ /ha (162 kg K/ha) über der Kaliabfuhr gedüngt werden mußten, um den Bodenwert um 1 mg/100 g Boden anzuheben.

### Fazit

Als Folgerung aus diesen Ergebnissen ist eine Korrektur der für notwendig erachteten Versorgung in Gehaltsklasse C erfolgt. In Abhängigkeit von der Bodenart werden auf leichten Böden (S, l'S) 8 - 15, auf mittleren Böden (IS - t'L) 10 - 20 und auf schweren Böden (tL - T) 15 - 25 mg  $K_2O$ /100 g Boden, dies entspricht auf leichten Böden 6,6 - 12,5, auf mittleren Böden 8,3 - 16,6 und auf schweren Böden 12,5 - 20,8 mg K/100 g Boden, für ausreichend gehalten.

Tab. 1: Standortbeschreibung

Ort	Bodentyp Bodenart	Gestein	Höhenlage m	Durchwurzelungstiefe cm	Jahresmittel		Ackerzahl nach Bodenschätzung	pH-Wert und K <sub>2</sub> O-Versorgung (mg/100 g Boden) bei Versuchsbeginn		Laufzeit des Versuches
					Niederschlag mm	Temp .°C		pH-Wert	K <sub>2</sub> O	
Eichelberg	Braunerde S	Tert. Sand	420	100	800	7,5	28	5,4	16	1974-1987
Kreithof	Braunerde IS	Tert. Sand	413	100	750	7,4	50	5,3	21	1974-1987
Kreutenbach	Parabraunerde uL	Löß	475	100	750	7,4	73	5,7	21	1974-1987
Gröben	Pelosol tL	Tert. Ton	505	80	750	7,4	54	6,2	18	1974-1987
Ostermünchen	Pseudogley- Braunerde sL	Geschiebe- lehm	502	80	1100	7,3	56	6,5	12	1983-1992
Altenbuch	erord. Parabr.- Erde uL	Löß	328	90	700	7,8	78	6,1	25	1982-1992
Thannhöcking	Braunerde uL	Lößlehm	430	90	770	7,7	70	6,4	18	1982-1992
Plitting	Braunerde IS	Gneis-Verw.	500	65	780	7,5	34	5,5	18	1982-1991
Marktredwitz	Braunerde sL	Schiefer- Verw.	600	60	696	6,2	33	6,3	28	1983-1992
Buchschwabach	Braunerde uL s	Blasen- sandstein	372	80	643	8,3	45	5,6	24	1982-1992
Wolkshausen	Parabraunerde uL	Löß	293	100	657	9,1	78	7,0	21	1982-1992
Freybergerhof	Braunerde utL	Lößlehm	516	90	800	7,8	69	5,8	18	1982-1992
Helmeringen	Aueboden htL	Hochflut- lehm	423	75	742	8,2	50	6,7	8	1982-1991

Tab. 1: Standortbeschreibung

Tab. 2: Wirkung einer Kalidüngung auf den Ertrag in GE/ha im Mittel über die Versuchsjahre

Ort	Kalidüngung (kg/ha*a)				Ertragsdifferenz zwischen K <sub>0</sub> und der Variante mit dem Maximalertrag
	0	100	200	300	
Eichelberg	55,1	60,5	60,4	63,4	8,3
Kreithof	63,5	65,6	65,6	64,4	2,1
Kreutenbach	61,2	63,8	62,9	64,1	2,9
Gröben	55,8	56,4	57,3	55,1	1,5
Ostermünchen	64,4	71,3	71,8	73,1	8,7
Altenbuch	127,5	126,7	130,2	130,0	2,7
Thannhöcking	120,1	122,3	124,1	124,1	4,0
Plitting	59,6	62,5	62,3	61,6	2,9
Marktredwitz	54,8	56,9	56,1	56,2	2,1
Buchschwabach	90,0	91,9	92,2	93,6	3,6
Wolkshausen	104,5	105,5	104,6	105,2	1,0
Freybergerhof	69,6	72,6	73,3	71,6	3,7
Helmeringen	96,4	96,4	98,4	99,0	2,6

Tab. 3: Errechneter Grenzwert (mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) in Abhängigkeit von der Höhe der Kalidüngung, der Fruchtart, der Bodenart und dem Produktpreis

Variante	mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden		
	Produktpreis 25.-- DM/GE	Produktpreis 30.-- DM/GE	Produktpreis 50.-- DM/GE
<b>K<sub>100</sub> gegenüber K<sub>0</sub></b>			
- alle Ergebnisse	< 8	< 10	-
- Getreide	< 2	< 3	-
- Hackfrüchte	< 14	< 15	< 18
- Bodenart S-IS	< 9	< 11	-
- Bodenart sL - t'L	< 10	< 12	-
- Bodenart tL - T	-	-	-
<b>K<sub>200</sub> gegenüber K<sub>0</sub></b>			
- alle Ergebnisse	< 5	< 6	-
- Getreide	0	0	-
- Hackfrüchte	< 11	< 13	< 17
- Bodenart S-IS	< 3	< 5	-
- Bodenart sL - t'L	< 8	< 9	-
- Bodenart tL - T	-	-	-
<b>K<sub>200</sub> gegenüber K<sub>100</sub></b>			
- alle Ergebnisse	< 4	< 5	-
- Getreide	0	0	-
- Hackfrüchte	< 10	< 12	< 15
- Bodenart S-IS	0	0	-
- Bodenart sL - t'L	< 8	< 9	-
- Bodenart tL - T	-	-	-
<b>K<sub>300</sub> gegenüber K<sub>200</sub></b>			
- alle Ergebnisse	< 3	< 5	-
- Getreide	< 3	< 4	-
- Hackfrüchte	< 4	< 5	< 11
- Bodenart S-IS	< 5	< 7	-
- Bodenart sL - t'L	< 5	< 7	-
- Bodenart tL - T	-	-	-

Umrechnungsfaktor K<sub>2</sub>O in K = 0,83

Tab. 4: Düng optimum in kg/ha und Bodengehalte (mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden) bei Düng optimum (Mittel über die gesamte Versuchsdauer)

Ort	Jahr	Düng optimum kg/ha	mg/100 g Boden bei Düng opti- mum
Eichelberg	1974-1987	175	12
Kreithof	1974-1987	0	9
Kreutenbach	1974-1987	0	12
Gröben	1974-1987	0	14
Ostermünchen (ohne 1986)	1983-1992	103	9
Altenbuch (ohne 1990 u. 1992)	1982-1992	0	15
Thannhöcking	1982-1992	0	12
Plitting	1982-1991	26	11
Marktredwitz	1983-1992	0	18
Buchschwabach	1982-1992	0	15
Wolkshausen	1982-1992	0*	13
Freybergerhof	1982-1992	125	19
Helmeringen	1982-1991	0	10

\* = Ertragskurve nicht möglich; wurde geschätzt  
Umrechnungsfaktor K<sub>2</sub>O in K = 0,83

Tab.5: Kaligehalte im Boden bei Versuchsbeginn und -ende  
(Mittel der letzten 3 Jahre)

Ort	Laufzeit des Versuches	Gehalte am CAL-löslichem K <sub>2</sub> O (mg/100 g Boden)					
		bei Versuchsbeginn	Ver-	bei Versuchsende (Mittel der letzten 3 Jahre) in den Düngevarianten			
				0	100	200	300
						kg K <sub>2</sub> O ha*a	
Eichelberg	1974-1987	16	4	8	14	20	
Kreithof	1974-1987	21	6	9	15	21	
Kreutenbach	1974-1987	21	9	11	18	23	
Gröben	1974-1987	18	12	16	20	26	
Ostermünchen	1983-1992	12	5	6	9	13	
Altenbuch	1982-1992	25	12	14	19	21	
Thannhöcking	1982-1992	18	10	12	13	16	
Plitting	1982-1992	18	9	11	12	19	
Marktredwitz	1983-1992	28	14	19	27	33	
Buchschwabach	1982-1992	24	11	17	27	34	
Wolkshausen	1982-1992	21	9	12	15	22	
Freybergerhof	1982-1992	18	13	20	26	32	
Helmeringen	1982-1991	8	13	14	16	21	
Mittel		19,1	9,8	13,0	17,8	23,2	

Umrechnungsfaktor K<sub>2</sub>O in K = 0,83

Tab. 6: Kaliabfuhr von den Versuchsflächen im Mittel über die Jahre  
(kg K<sub>2</sub>O/ha\*a)

Ort	K <sub>0</sub>	K <sub>100</sub>	K <sub>200</sub>	K <sub>300</sub>
Eichelberg	99,7	126,6	142,9	159,8
Kreithof	121,6	144,3	174,7	193,9
Kreutenbach	121,2	160,1	167,3	173,5
Gröben	100,6	115,0	134,0	129,4
Ostermünchen	187,4	207,2	215,6	220,3
Altenbuch	266,9	276,3	290,5	282,9
Thannhöcking	286,9	303,3	306,4	323,9
Plitting	138,0	146,0	145,5	151,5
Marktredwitz	120,3	122,8	120,7	124,1
Buchschwabach	187,6	194,2	197,9	202,5
Wolkshausen	234,7	243,0	247,2	253,5
Freybergerhof	142,6	150,1	153,5	154,4
Helmeringen	176,9	187,0	195,8	203,2
Mittel:	168,0	182,8	191,7	197,9

Umrechnungsfaktor K<sub>2</sub>O in K = 0,83

Abbildung 1: Ertragsdifferenz in GE von 200 kg K<sub>2</sub>O/ha \* a gegenüber ohne K-Düngung in Abhängigkeit von der Bodenversorgtheit bei K0 (alle Fruchtarten; n=148)

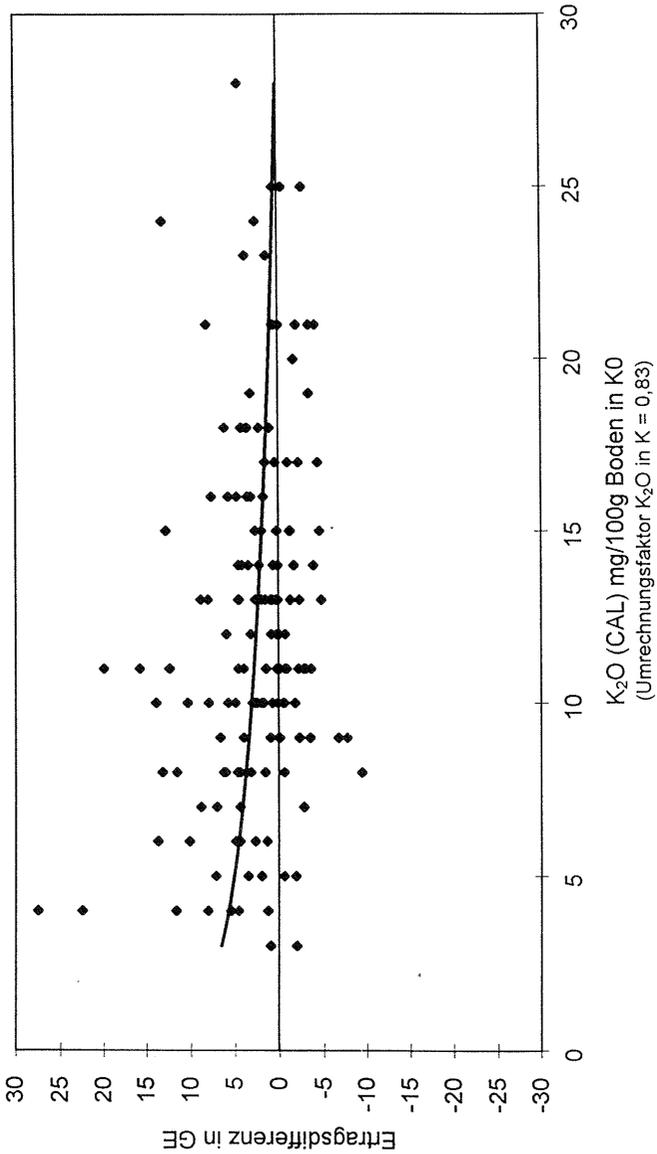


Abbildung 2: Ertragsdifferenz in GE bei Getreide von 200 kg K<sub>2</sub>O/ha \* a  
gegenüber ohne K-Düngung in Abhängigkeit von der  
Bodenversorgung bei K0 (n=98)

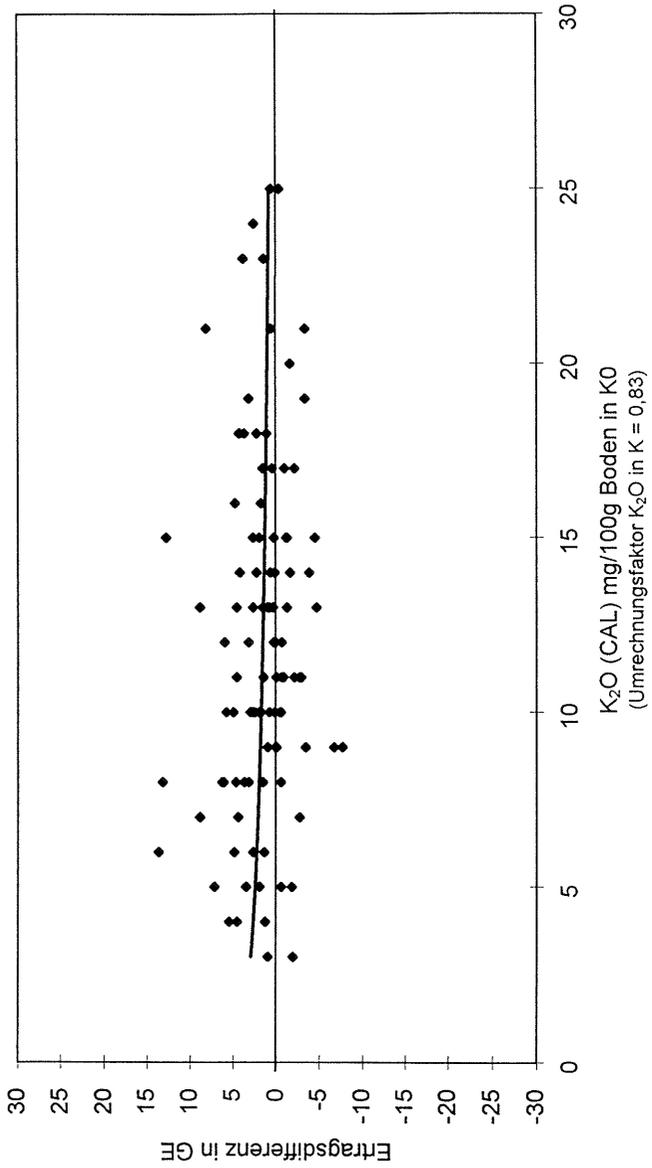


Abbildung 3: Ertragsdifferenz in GE bei Z-Rüben, Mais und Kartoffeln von 200 kg K<sub>2</sub>O/ha \* a gegenüber ohne K-Düngung in Abhängigkeit von der Bodenversorgung bei K<sub>0</sub> (n=46)

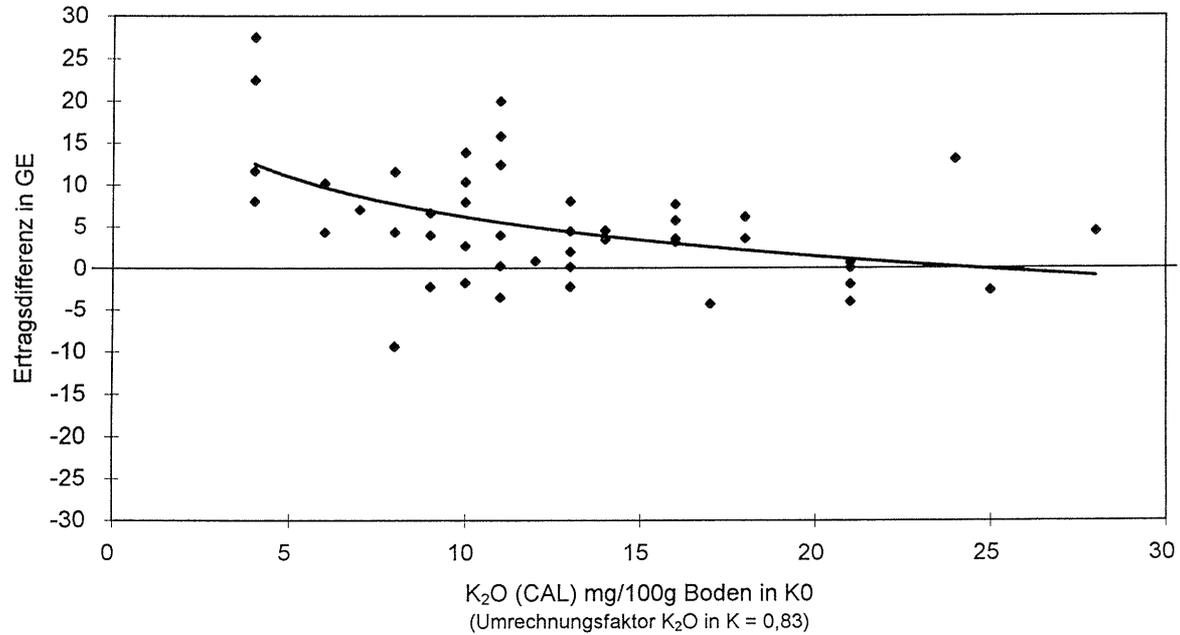


Abbildung 4: Ertragsdifferenz in GE auf leichten Böden (S-IS) von 200 kg K<sub>2</sub>O/ha \* a gegenüber ohne K-Düngung in Abhängigkeit von der Bodenversorgung bei K0

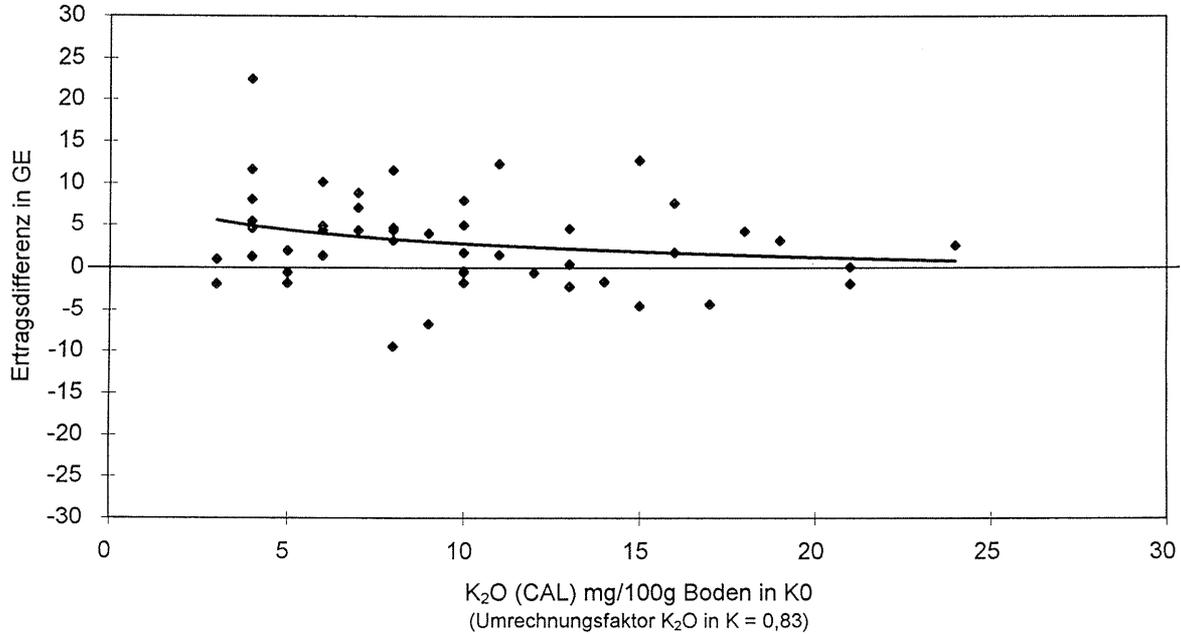
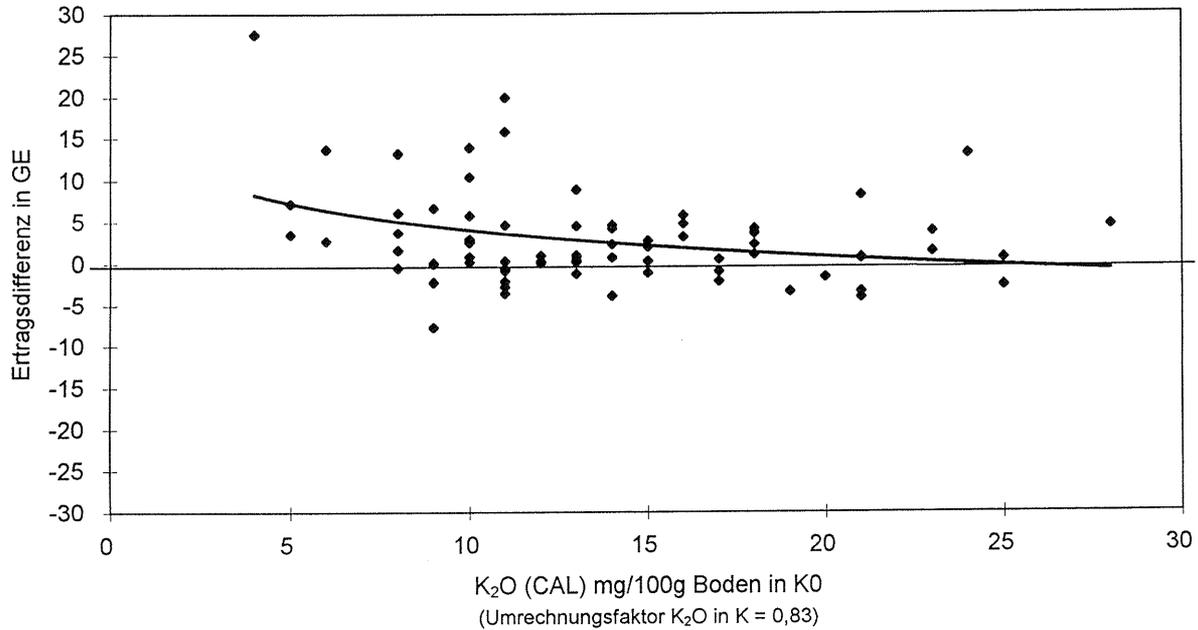
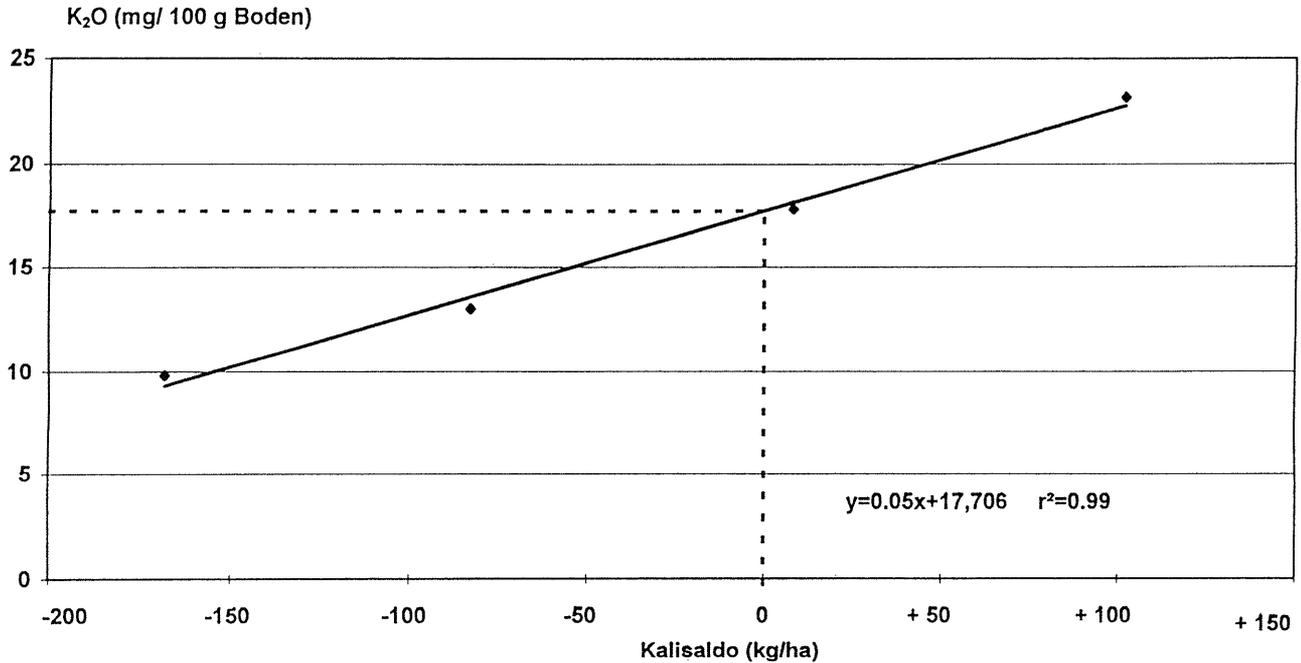


Abbildung 5: Ertragsdifferenz in GE auf mittleren bis schweren Böden (sL-t'L) von 200 kg K<sub>2</sub>O/ha \* a gegenüber ohne K-Düngung in Abhängigkeit von der Bodenversorgung bei K<sub>0</sub>

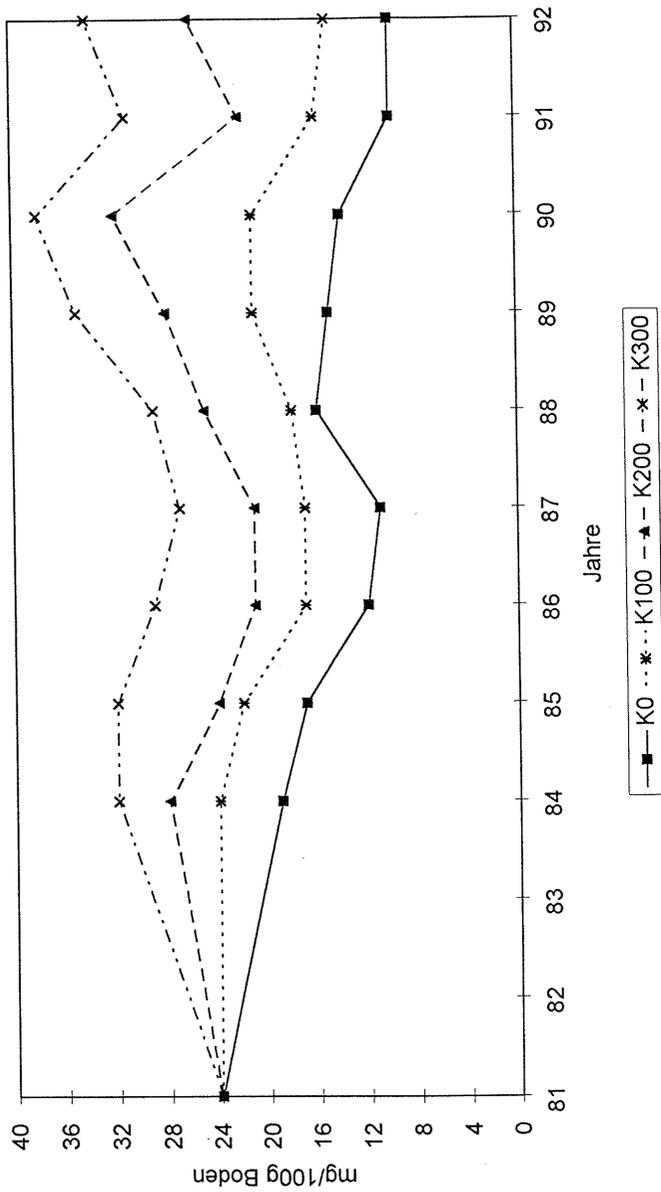


## Abb.6: Kaliversorgung der Böden in Abhängigkeit vom Kalisaldo

(Umrechnungsfaktor  $K_2O$  in  $K = 0,83$ )

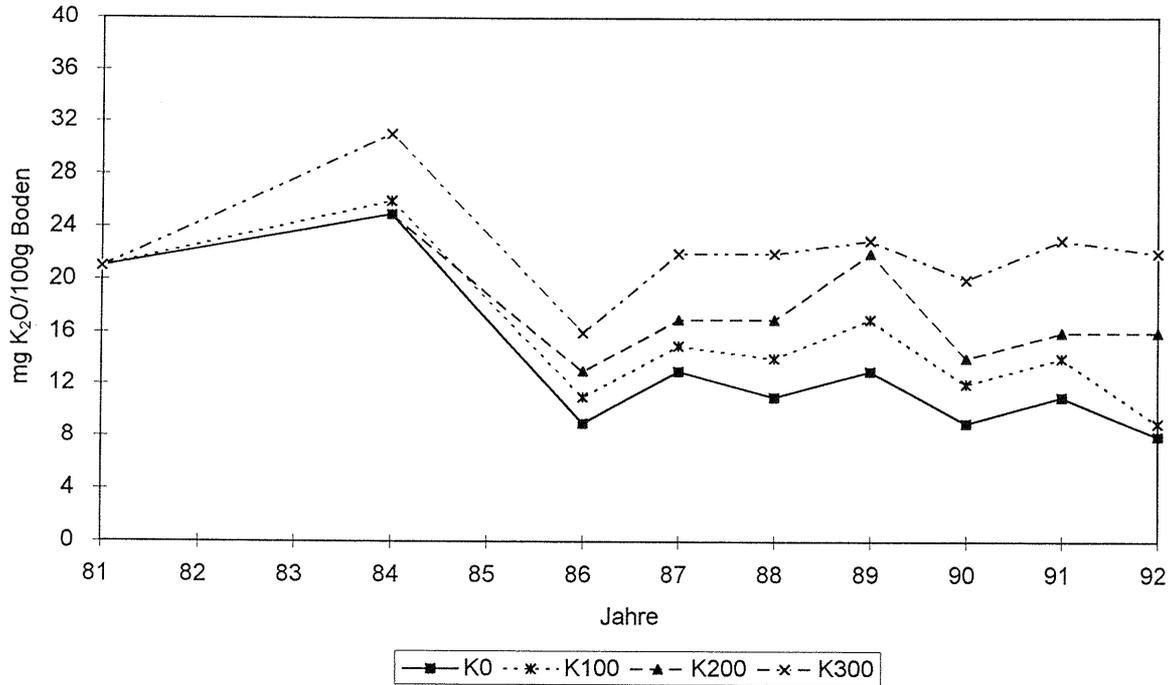


**Abbildung 7: Veränderung der Kaligehalte (CAL) im Boden  
Standort Buchschwabach**  
(Umrechnungsfaktor  $K_2O$  in  $K = 0,83$ )



**Abbildung 8: Veränderung der Kaligehalte (CAL) im Boden  
Standort Wolkshausen**

(Umrechnungsfaktor  $K_2O$  in  $K = 0,83$ )



## **Ergebnisse von Dauerversuchen zur K-Düngung auf Acker- und Grünlandstandorten in Ostdeutschland**

*Dr. sc. Manfred Kerschberger und Dipl.-Agrochem. Hubert Schröter<sup>3</sup>*

### **Einleitung**

Der Frage nach der ordnungsgemäßen K-Düngerzufuhr im Rahmen der Pflanzenproduktion wird in Ostdeutschland seit langem intensiv nachgegangen. Bereits Mitte/Ende der 50iger Jahre erfolgte die Anlage von zahlreichen Feldversuchen (Dauerdüngungsversuche) zur K-Düngung. Ziel der Untersuchungen war im Besonderen die Auffindung von Beziehungen zwischen der K-Düngewirkung und dem Pflanzenertrag in Abhängigkeit vom pflanzenverfügbaren K-Gehalt des Bodens. Die Versuchsergebnisse wurden mehrfach ausgewertet, in entsprechende Richtwerte zur K-Düngebemessung überführt und praxiswirksam zur Anwendung gebracht. Dabei bedurfte es der Festlegung eines insgesamt als niedrig, mittel und hoch einzustufenden K-Gehaltsniveaus im Boden, um von vornherein den Wirkungsfaktor der K-Düngungsmaßnahme, d.h. die Effektivität der K-Düngung einzubeziehen. Solche unterschiedlichen K-Gehaltsniveaus (früher in Ostdeutschland K-Versorgungsstufen, jetzt nach VDLUFA K-Gehaltsklassen, GK) wurden aus dem umfangreich erhaltenen Versuchsdatenmaterial abgeleitet. Über das Vorgehen zur Auffindung von K-GK und die Treffsicherheit dieser Richtwerte wird im vorliegenden Beitrag berichtet.

### **Material und Methoden**

In Ostdeutschland werden seit 1954 umfangreiche Versuchsserien mit Dauerfeldversuchen zur Prüfung der K-Düngewirkung durchgeführt. Die zunächst von den Instituten für Landwirtschaftliches Versuchs- und Untersuchungswesen in den 5 Ländern angelegten Feldversuche wurden später in die alleinige Verantwortung des ehemaligen Institutes für Pflanzenernährung und Ökotoxikologie Jena überführt. Damit lag das gesamte Versuchsdatenmaterial in dieser Einrichtung vor. Die LUFA Thüringen hat diese Versuchsdaten 1992 vollständig übernommen. Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) als Nachfolgeeinrichtung erweitert diese Datenbank mit neu angelegten Dauerversuchen.

Das Versuchsmaterial wird auf der Basis der durchgeführten Versuchsserien beschrieben (Tab. 1). Die bisherigen Versuchsauswertungen erfolgten auf der Grundlage der in Ostdeutschland verwendeten Einteilung der Böden, die sich weitgehend an die nunmehr vorgegebene Gruppierung nach DIN 19682 anlehnt (Tab. 2).

Für die Versuchsanlage wurden vorrangig Böden mit niedrigen und mittleren K-Gehalten (DL-Methode) herangezogen. Für die vorliegende Versuchsauswertung erfolgt eine Zusammenfassung der Standorte in leichte, mittlere und schwere Böden (Tab. 2). Zur Ermittlung von GK wurde ein Auswertungsverfahren entwickelt, welches die jährlich ermittelten Versuchsdaten in die Ergebnisfindung einbezieht.

---

<sup>3</sup> Dr. sc. Manfred Kerschberger und Dipl.-Agrochem. Hubert Schröter  
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena  
Abteilung Pflanzenproduktion

Die Einstufung des K-Gehaltes war in 5 GK vorzunehmen. Dabei soll die GK E die Gehaltsspanne bezeichnen, bei der keine K-Düngung nötig ist. In GK C ist eine K-Düngung nach Pflanzenentzug für die Erzielung von Optimalerträgen ausreichend. In GK A sind hohe, erheblich über dem Entzug liegende K-Düngermengen erforderlich. Die GK B und D nehmen Zwischenstufen ein. Folgendes Auswertungsverfahren wurde angewandt:

Im Erntejahr resultieren die Ertragsunterschiede zwischen den Prüfgliedern aus der Wirkung des jeweiligen K-Gehaltes im Boden und der K-Düngung. Der bei einem Prüfglied auftretende Höchstertag wurde relativ 100 % gesetzt. Bei diesbezüglicher Betrachtung aller Ergebnisse zeigte sich, daß gesicherte Ertragsunterschiede meist zwischen dem Kontrollprüfglied und den gedüngten Prüfgliedern vorliegen, dagegen selten zwischen den gedüngten Prüfgliedern. In vielen Fällen führt nicht die höchste K-Düngung zum jährlichen Höchstertag. Die in solchen Fällen vorhandenen negativen Ertragsdifferenzen bei höherer im Vergleich zu niedrigerer Düngung waren jedoch immer gering und zufällig. Aus diesem Grund wurden solche Prüfgliedererträge mit dem Höchstertag gleichgesetzt (relativ 100 %).

Die so durch paarweise Vergleiche für alle Prüfglieder eines Erntejahres ermittelten relativen Erträge wurden für die weitere Auswertung verwendet. Dabei erfolgte die Einbeziehung folgender zugehöriger Prüfgliedwerte: K-Gehalt des Bodens, K-Düngung, K-Entzug sowie zusätzlich für das Höchstertagsprüfglied der absolute GE-Ertrag. Es folgte für jedes Prüfglied die Errechnung der jährlichen K-Bilanz (K-Düngung minus K-Entzug) und deren Eingruppierung in K-Bilanzgruppen:

K-Bilanzgruppe	kg/ha K-Bilanz
1	> + 100
2	+ 61... + 100
3	+ 21... + 60
4	- 19... + 20
5	- 59... - 20
6	- 99... - 60
7	< -100

Die K-Bilanzgruppen wurden so gewählt, daß einerseits eine repräsentative Anzahl von Prüfgliedwerten enthalten ist und andererseits eine praktisch bedeutsame Spannweite vorliegt.

In Abbildung 1 sind am Beispiel der Bodengruppe 3 (stark lehmiger Sand) und K-Bilanzgruppe 4 die Beziehungen zwischen K-Bilanz im Boden (x) und Relativertrag (y) dargestellt. Die Berechnung der Regressionen erfolgte mit den Ertragsmittelwerten beim jeweiligen K-Gehalt des Bodens. Dabei wurden Mittelwerte mit eindeutigen Relativerträgen von 100 % (in Abb. 1 ab 16 mg K/100 g Boden) nicht mehr in die Berechnung einbezogen.

Zur Auffindung des K-Gehaltes im Boden, der bei K-Düngung nach K-Entzug (Bilanz - 19,9 ... + 20 kg/ha K) für den Höchstertag ausreicht, wurde, ausgehend vom Schnittpunkt der Regressionsgeraden, mit dem Höchstertag ein Lot auf die Abszisse gefällt und der Grenzwert für den K-Gehalt im Boden ermittelt. Obwohl die quadratische Regression oft etwas höhere Bestimmtheitsmaße aufwies, waren die Ergebnisse der linearen Regression zur Auffindung des Höchstertages leichter zu handhaben und wurden deshalb zur Ergebnisfindung benutzt. Diese so für alle K-Bilanzgruppen erhaltenen Ergebnisse fanden für die Auffindung von GK Anwendung. Das Vorgehen wird am Beispiel der Bodengruppe 4 gezeigt (Abb. 2). Es wurden 5 GK abgeleitet, wobei die ökonomische Effektivität der K-Düngung mit einzubeziehen war. So beginnt z.B. GK C (Düngung nach Entzug) nicht erst beim Schnittpunkt der zugehörigen

Ertragskurve mit dem Höchstertag (HE), sondern bereits bei niedrigeren K-Gehalten im Boden (etwa 1...2 % unter dem Höchstertag). Für die Festlegung der Grenzwerte bzw. Richtwerte für GK A fanden neben dem ermittelten Ertragsverlauf für die Bilanzgruppen auch noch Ergebnisse von Sonderuntersuchungen (Pflanzen- und Bodenanalysen) von Praxisschlägen Berücksichtigung. Die Richtwerte für die GK sind in Tabelle 3 enthalten.

## **Ergebnisse und Diskussion mit Schlußfolgerungen**

### **1. Ertragswirkung auf Acker- und Grünland**

Von besonderem Interesse für den Landwirt ist die Ertragswirkung der K-Düngung. Deshalb erfolgt nunmehr die Darstellung der Ertragseffekte in Abhängigkeit von den ermittelten K-Gehalten für die jeweilige K-GK. Das methodische Vorgehen bestand darin, zunächst für jede Versuchsernte, d.h. für jedes Erntejahr eines Versuches in Abhängigkeit vom jährlichen K-Gehalt im Boden des Kontrollprüfgliedes eine Eingruppierung der Prüfgliederträge nach den gefundenen K-Gehaltsrichtwerten in K-GK vorzunehmen. Danach wurde im Versuch die mittlere Ertragsdifferenz zwischen den jeweiligen 2 Höchstertagsprüfgliedern zum Kontrollprüfglied errechnet. Die so zunächst für den Einzelversuch und danach durch Addition für die Gesamtheit aller Düngungsversuche in Abhängigkeit von Bodengruppen/Bodenartengruppen und K-Gehalt des Bodens erhaltenen Ertragsrelationen sind für Ackerland in Tabelle 4 aufgeführt. Die Ergebnisse belegen hohe Mehrerträge durch K-Düngung, bis über 30 % bei Vorliegen von K-GK A, sowie einen stetigen Rückgang der K-Ertragswirkung mit zunehmendem K-Gehalt im Boden. Abbildung 3 zeigt eine Auswahl der Daten aus Tabelle 4 und verdeutlicht überzeugend den ertragsbeeinflussenden Zusammenhang zwischen K-Düngewirkung und DL-löslichem K-Gehalt des Bodens.

Auf der Grundlage der gleichen Auswertungsmethode, wie für die Versuche auf Ackerlandstandorten ausgeführt, wurden die Ergebnisse für Grünland erhalten (Tab. 5 und Abb. 4). Die dargestellten Ergebnisse zeigen auf Grünlandstandorten eine dem Ackerland vergleichbare K-Wirkung. Während bis hin zur K-GK C die K-Düngung deutliche Mehrerträge bewirkt, bleiben diese auch auf Grünland bei höheren K-Gehalten des Bodens weitgehend aus. Hervorzuheben ist die sehr hohe K-Düngewirkung auf Moorböden.

### **2. Ertragswirkungen der Fruchtarten**

Für die zweckmäßige Einordnung der K-Düngung in die Fruchtfolge ist die Kenntnis über die Ertragsreaktion der Fruchtarten auf eine K-Düngung von besonderem Interesse. Ergebnisse hierzu enthält Tabelle 6.

Die höchsten Mehrerträge liegen bei Kartoffeln, Rüben und Mais vor, wobei die Getreidearten (insbesondere Wintergerste und Hafer) nur wenig schwächer reagieren.

### **3. Variabilität und Sicherheit der Mehrerträge**

Ausgehend von den in den Tabellen 4 und 5 aufgezeigten Werten für das Konfidenzintervall bei 5 % belegen die Ergebnisse eine mit hoher Sicherheit zu erwartende Ertragswirkung der K-Düngung in GK A und auch B. Weiter steigende K-Gehalte führen zunehmend zur Unsicherheit der K-Düngewirkung. Hervorzuheben ist die auffallend hohe Variabilität der Ertragswirkung einer K-Düngung auf den Moorböden.

#### 4. Wirtschaftlichkeit der K-Düngung

Werden die in Tabelle 4 aufgeführten mittleren Mehrerträge durch K-Düngung mit 25 DM/dt GE und 1 kg K mit 0,72 DM finanziell bewertet, lassen sich näherungsweise Betrachtungen zur Effektivität anstellen (Abb. 5). Die Berechnungen belegen die gewinnbringende Ertragswirkung der K-Düngung in GK A. In GK B sind Aufwand und Mehrertrag fast gleich hoch. Bei etwas höherem Preisansatz für die GE (16 bis 30 DM) ist auch hier die K-Düngung noch als lohnend einzuordnen, zumal auch Aspekte der Ertragssicherheit und Produktqualität für eine über den K-Entzug (Abfuhr) liegende K-Düngung sprechen. Daraus wird deutlich, daß die Effektivität der K-Düngung, gemessen an der Mehrertragswirkung, eindeutig nur bei insgesamt niedrigen K-Gehalten (GK A und B) gegeben ist. In GK C ist eine K-Zufuhr in Höhe des Entzuges (Abfuhr) nur noch andeutungsweise sinnvoll. Eine Reduzierung der K-Düngung ist unter Beachtung der angebaute Kulturart sinnvoll.

#### 5. K-Düngermengen zur Anhebung des K-Gehaltes im Boden

Für die K-Düngebemessung auf nicht optimal mit K versorgten Böden (K-GK A und B) werden Angaben über Düngermengen zur Erhöhung des pflanzenverfügbaren (DL-löslichen) K-Gehaltes benötigt. Zu diesem Zweck wurden die K-Dauerdüngungsversuche entsprechend ausgewertet. Die erhaltenen Ergebnisse werden für die Anwendung in der Düngungspraxis als Richtwerte empfohlen (Tab. 7).

#### Zusammenfassung

In vier Versuchsserien wurden seit 1954 bis 1991 umfangreiche K-Düngungsversuche als Dauerversuchsanlagen auf Ackerland- und Grünlandstandorten in Ostdeutschland durchgeführt. Die Versuchsergebnisse erfuhren eine mehrfache Auswertung. Es erfolgte die Ableitung von Richtwerten zur Bodenuntersuchung und Düngung. Auf dieser Grundlage wurden in Ostdeutschland Bodenuntersuchungsergebnisse bewertet und Düngungsempfehlungen erteilt.

Der vorliegende Beitrag bezieht sich auf das methodische Vorgehen zur Auffindung von Richtwerten für K-GK, auf die Ertragswirkung der K-Düngung, die statistische Sicherheit der Mehrerträge, die betriebswirtschaftliche Rechtfertigung der K-Düngung sowie auf K-Düngermengen, die zur Anhebung niedriger K-Gehalte im Boden erforderlich sind.

Die ermittelten Richtwerte für die besonders interessierende GK C (= anzustrebender K-Gehalt des Bodens / K-Düngung nach K-Abfuhr) betragen:

-	leichte Böden	7...11 mg K/100 g Boden (DL-Methode)
-	mittlere Böden	9...13 mg K/100 g Boden (DL-Methode)
-	schwere Böden	11...22 mg K/100 g Boden (DL-Methode)

Seit 1992 wird in Thüringen die CAL-Methode angewendet. Durchgeführte Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen DL- und CAL-Methode erlaubten eine Umrechnung der Richtwerte nach DL- in CAL-Werte. Die Richtwerte für GK C betragen:

-	leichte Böden	7...11 mg K/100 g Boden (CAL-Methode)
-	mittlere Böden	9...14 mg K/100 g Boden (CAL-Methode)
-	schwere Böden	11...23 mg K/100 g Boden (CAL-Methode)

---

Zur Absicherung dieser Vorgehensweise werden seit 1993 auf 12 Versuchsstationen in Thüringen K-Düngungsversuche zur Eichung der Grenzwerte für die K-Gehaltsklasse nach der CAL-Methode durchgeführt. Die Auswertung der Versuchsergebnisse der Jahre 1993 bis 1996 ergab eine hohe Treffsicherheit der gegenwärtig angewandten Richtwerte.

Tabelle 1: Charakteristik der Versuchsserien - durchgeführte K-Düngungsversuche in Ostdeutschland

Versuchs- serie	Nut- zungs- art	Laufzeit	Anzahl		Prüf- glieder	Prüflieddüngung jährlich
			Versuchs- standorte ca.	Versuchsjahre		
1	AL	1954...1972	46	490	4	gestaffelt 0...260 kg K/ha
2	GL	1961...1972	53	380	4	gestaffelt 0...260 kg K/ha
3	AL	1973...1980	12	180 <sup>1</sup>	5	gestaffelt 0...240 kg K/ha mit 2 N-Stufen
4	AL	1981...1991	5	50	8	gestaffelt 0...800 kg K/ha; u.a. Vorratsdüngung
5	AL	1993... in Thüringen	15	noch nicht ausgewertet	4	gestaffelt 0...130 % vom K-Entzug

1) 2 Versuchsergebnisse je Jahresernte ausgewertet

Tabelle 2: Einteilung der Versuchsböden zur Versuchsauswertung in die Bodenartengruppen: leicht, mittel, schwer

Bodenart (DIN 19682)	Tonanteil (TA)	Feinbodenanteil (FA)	Bodengruppe	Bodenartengruppe
Sand	< 5	< 7	1	leicht
schwach lehmiger Sand	6...12	8...16	2	leicht
stark lehmiger Sand	13...17	17...23	3	mittel
sandig schluffiger Lehm	18...25	24...35	4	schwer
toniger Lehm bis Ton	> 26	> 36	5	schwer
Anmoor und Moor			6	

Tabelle 3: K-Gehalte für 5 Gehaltsklassen auf den Bodengruppen des Ackerlandes (Angaben in mg K/100 g Boden nach DL-Methode)

Bodengruppe	Gehaltsklasse				
	A	B	C	D	E
1	$\leq 3$	4... 6	7...10	11...15	$\geq 16$
2	$\leq 3$	4... 7	8...11	12...19	$\geq 20$
3	$\leq 4$	5... 8	9...13	14...22	$\geq 23$
4	$\leq 5$	6...10	11...15	16...26	$\geq 27$
5	$\leq 9$	10...15	16...22	23...39	$\geq 40$

Tabelle 4: Grundertrag (GE dt/ha) und relative Mehrerträge (ME) mit Angabe des Konfidenzintervalls (KI, t 5 %)<sup>1)</sup> in 85 Dauerversuchen zur K-Düngung auf Ackerland. Ergebnisse verschiedener Versuchsserien 1954 bis 1991 in Ostdeutschland

K-Gehaltsklasse DL-Methode (mg K/100 g Boden) <sup>3)</sup>	Bodenart	Anzahl Versuche	Kontrolle GE(2)	Prüfglied mit						Mittel aus (1) und (2)	
				höchstem GE-Ertrag (1)			zweit höchstem GE-Ertrag (2)			ME	KI
				ME	KI	ME	KI	ME	KI		
										dt/ha	dt/ha
E ≥ 23 ≥ 40	mittel	3	36,0	8	± 3	4	± 7	6	± 6		
	schwer	18	62,5	8	± 5	5	± 4	7	± 4		
	gesamt	21	58,7	8	± 4	5	± 3	7	± 4		
D 12...19 14...22 23...39	leicht	14	45,7	8	± 4	3	± 4	6	± 4		
	mittel	12	53,8	7	± 4	4	± 3	5	± 3		
	schwer	48	56,2	8	± 2	4	± 2	6	± 2		
	gesamt	74	53,8	8	± 2	4	± 1	6	± 1		
C 08...11 09...13 16...22	leicht	51	45,4	10	± 4	6	± 2	8	± 2		
	mittel	70	58,0	9	± 4	5	± 2	7	± 2		
	schwer	61	63,0	9	± 2	5	± 2	7	± 2		
	gesamt	182	56,1	9	± 1	5	± 1	7	± 1		
B 04...07 05...08 10...15	leicht	103	42,7	17	± 4	12	± 4	15	± 4		
	mittel	62	59,0	13	± 4	9	± 3	11	± 3		
	schwer	112	65,4	9	± 2	5	± 1	7	± 2		
	gesamt	277	55,5	13	± 2	9	± 2	11	± 2		
A ≤ 03 ≤ 04 ≤ 09	leicht	105	36,1	35	± 7	28	± 6	32	± 7		
	mittel	32	53,9	23	± 9	17	± 7	20	± 8		
	schwer	31	69,9	16	± 7	12	± 5	14	± 6		
gesamt	168	45,7	29	± 5	23	± 4	26	± 5			

1) der mittlere Mehrertrag liegt mit 95%iger Sicherheit im Bereich der aufgeführten Intervallgröße

2) Haupt- plus Nebenprodukt

3) K-Gehalte für Bodenart: leicht = Bodengruppe (BG) 2; mittel = BG 3; schwer = BG 5; Einstufung nach TLL Richtwerten

Tabelle 5: Grundertrag (TM dt/ha) und relative Mehrerträge (ME) mit Angabe des Konfidenzintervalls (KI, t 5 %<sup>1)</sup>) in 53 Dauerversuchen zur K-Düngung auf Grünland. Ergebnisse der Versuchsserie 1961 bis 1972 in Ostdeutschland

K-Gehaltsklasse <sup>2)</sup> DL-Methode (mg K/100 g Boden) <sup>3)</sup>	Bodenart	Versuchsjahre	Kontrolle TM  dt/ha	Prüfglied mit				Mittel aus (1) und (2)	
				höchstem TM-Ertrag(1)		zweithöchstem TM-Ertrag(2)		ME	KI
				ME	KI	ME	KI		
D 13...25 16...24	mittel	2	59,0	1	± 4	- 4	± 45	- 2	± 27
	Moor	1	56,5	7	± 0	5	± 0	6	± 0
	<b>gesamt</b>	<b>3</b>	<b>58,2</b>	<b>3</b>	<b>± 8</b>	<b>- 1</b>	<b>± 15</b>	<b>1</b>	<b>± 11</b>
C 07...11 08...12 09...15 11...15	leicht	32	63,6	15	± 4	12	± 3	13	± 3
	mittel	13	60,4	13	± 9	9	± 8	11	± 9
	schwer	32	68,1	8	± 2	6	± 2	7	± 2
	Moor	3	61,0	11	± 14	9	± 12	10	± 13
	<b>gesamt</b>	<b>80</b>	<b>64,7</b>	<b>12</b>	<b>± 2</b>	<b>9</b>	<b>± 2</b>	<b>10</b>	<b>± 2</b>
B 04...06 04...07 05...08 07...10	leicht	47	63,5	16	± 4	12	± 4	14	± 4
	mittel	67	60,0	23	± 5	15	± 3	19	± 4
	schwer	53	61,7	13	± 3	8	± 2	10	± 3
	Moor	11	53,7	25	± 12	20	± 10	23	± 11
	<b>gesamt</b>	<b>178</b>	<b>61,0</b>	<b>18</b>	<b>± 3</b>	<b>13</b>	<b>± 2</b>	<b>16</b>	<b>± 2</b>
A ≤ 03 ≤ 03 ≤ 04 Moor ≤ 06	leicht	25	65,2	15	± 7	12	± 6	13	± 7
	mittel	25	56,8	27	± 7	16	± 4	22	± 6
	schwer	16	65,2	13	± 3	10	± 2	12	± 2
	Moor	53	54,2	43	± 10	36	± 9	39	± 10
	<b>gesamt</b>	<b>119</b>	<b>58,5</b>	<b>30</b>	<b>± 5</b>	<b>23</b>	<b>± 5</b>	<b>27</b>	<b>± 5</b>

1) Der mittlere Mehrertrag liegt mit 95%iger Sicherheit im Bereich der angeführten Intervallgröße.

2) Böden mit K-Gehaltsklasse E lagen nicht vor.

3) K-Gehalte für Bodenart: leicht = Bodengruppe (BG) 2; mittel = BG 3; schwer = BG 5; Moorböden = BG 6; Einstufung nach TLL Richtwerten

Tabelle 6: Mehrerträge (ME) durch K-Düngung in GE dt/ha (Fruchtartenrangfolge 1 bis 4)<sup>1)</sup> in Abhängigkeit von der K-Gehaltsklasse

K-Gehalts- klasse DL-Methode	Fruchtart	Kontrolle GE dt/ha gerundet	Mittelwerte aus höchstem und zweithöchstem Mehrertrag	
			relativer ME	Rangfolge
A	Kartoffeln	50	40	1
	Mais	50	38	2
	Getreide	40	23	3
	Futter- und Zuckerrüben	105	14	4
B	Futter- und Zuckerrüben	120	16	1
	Kartoffeln	55	15	2
	Mais	50	14	3
	Getreide	45	13	4
C	Mais	75	13	1
	Futter- und Zuckerrüben	130	9	2
	Kartoffeln	60	8	3
	Getreide	60	8	3

1) Auszug aus einer Vielzahl von Fruchtarten

Tabelle 7: K-Düngeremengen in kg K/ha, zusätzlich zum K-Entzug der Pflanzen, zur Erhöhung des DL-löslichen K-Gehaltes um 1 mg/100 g Boden

Bodenart	Ackerland	Grünland
leicht	150...180	40...60
mittel	50...150 <sup>1)</sup>	40...60
schwer	50...100 <sup>1)</sup>	30...50
Moor	180...200	70...90

1) abhängig von der geologischen Herkunft des Bodens

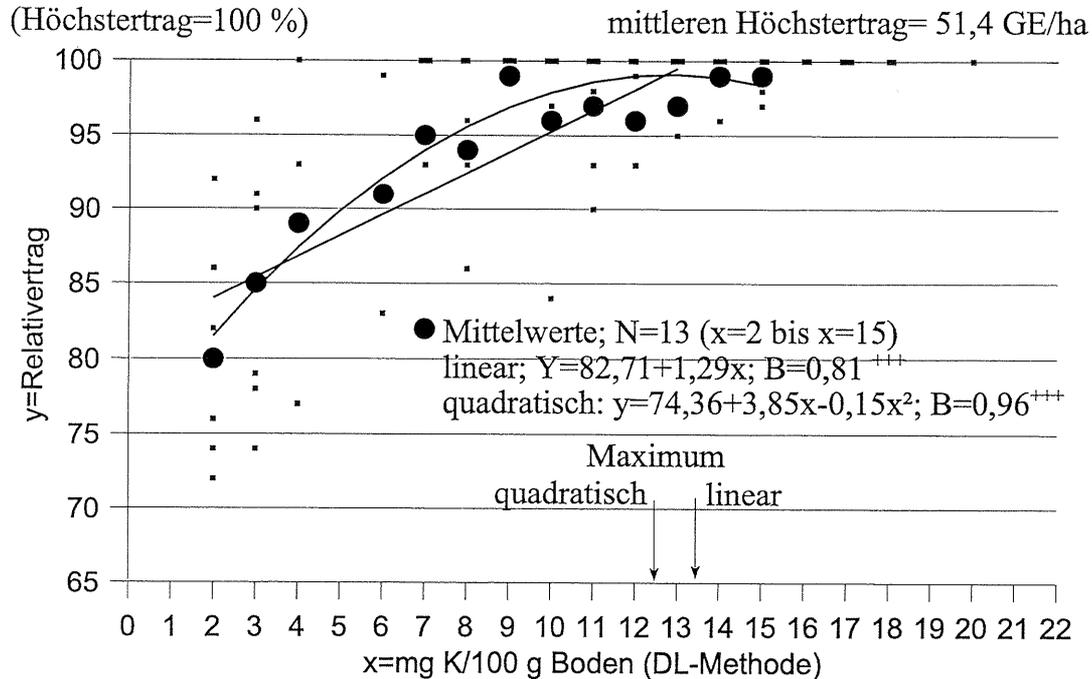


Abb. 1: Beziehung zwischen K-Gehalt im Boden (x) und Relativertrag (y). Ergebnisse der Bodengruppe 3 und Bilanzgruppe 4 (-19 bis 20 kg K/ha); 74 paarweise Vergleiche.

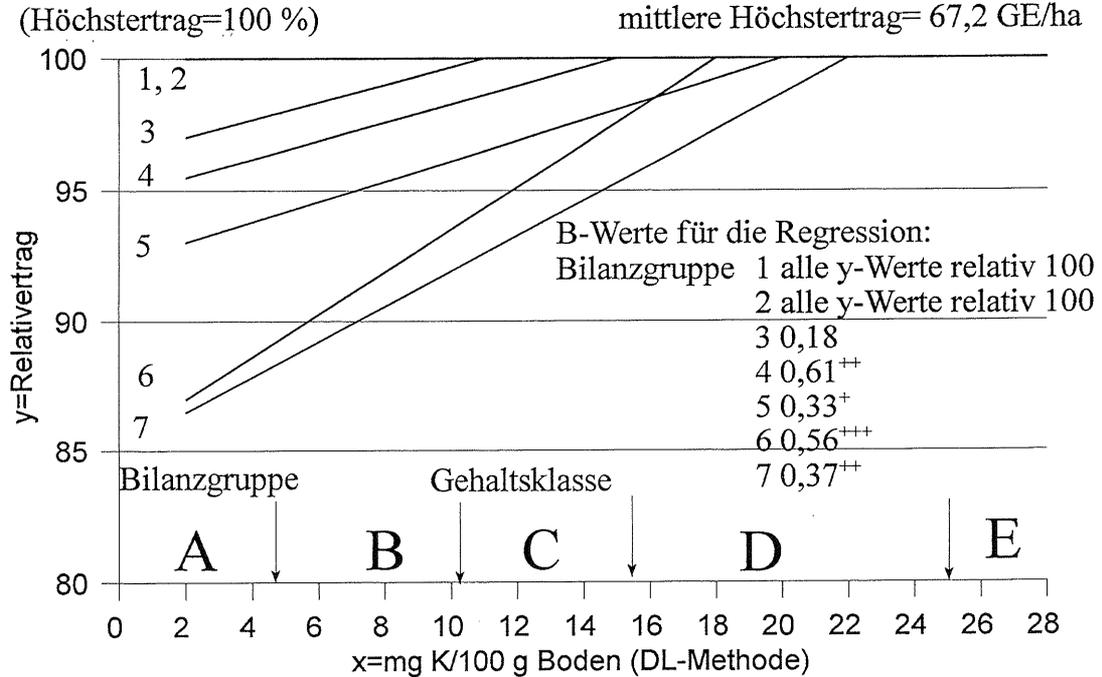


Abb. 2: Beziehung zwischen K-Gehalt im Boden (x) und Relativertrag (y). Ergebnisse der Bodengruppe 4 (Lehmboden)

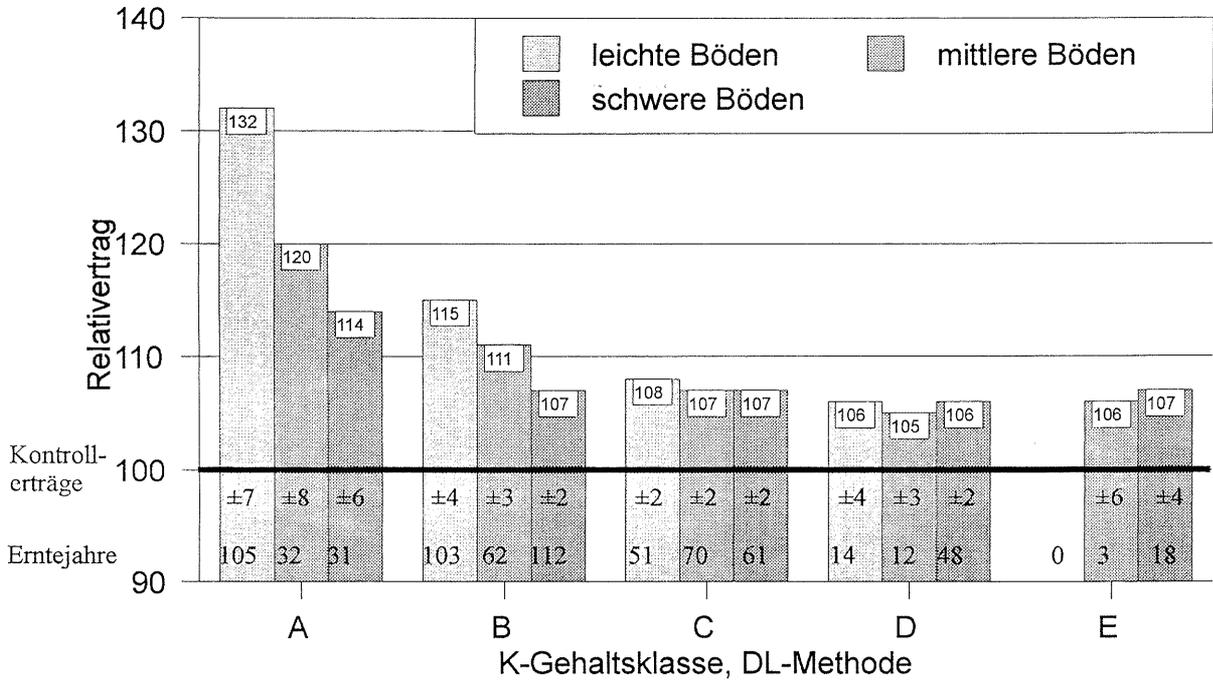


Abb. 3: Mittlere relative Mehrerträge (Konfidenzintervall ± bei 5 %) durch K-Düngung im Vergleich zur Kontrolle auf leichten, mittleren und schweren Böden. Ergebnisse von verschiedenen Versuchsserien 1954 bis 1991 auf Ackerland in Ostdeutschland.

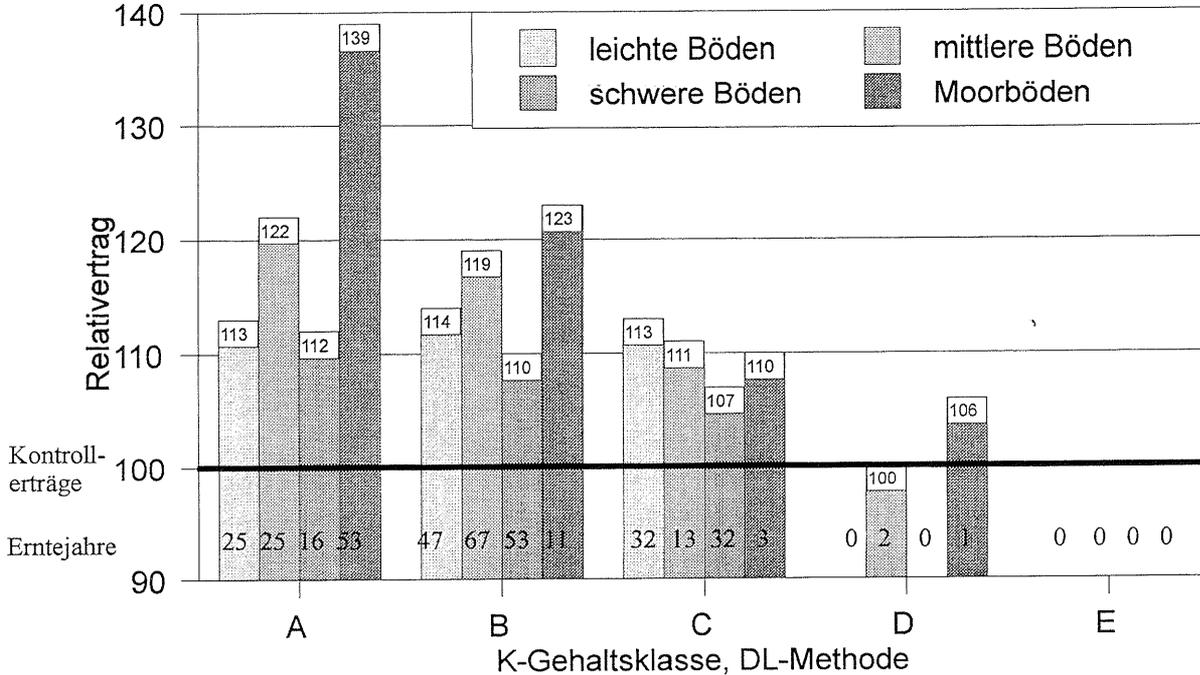


Abb. 4: Mittlere relative Mehrerträge durch K-Düngung im Vergleich zum Kontrollprüfglied auf leichten, mittleren und schweren Böden sowie Moorböden. Ergebnisse der Versuchsserie 1961 bis 1972 auf Grünland in Ostdeutschland.

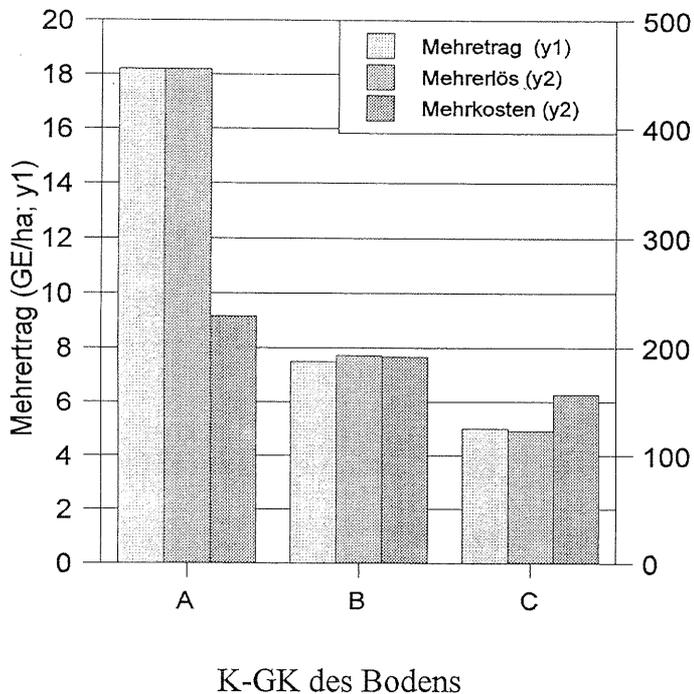


Abb. 5: Effizienz der K-Düngung nach Ergebnissen von Feldversuchen und nach Empfehlungen der TLL in der Pflanzenproduktion auf Ackerland.

**Basiswerte:**

Proz. Mehrertrag

in GK A: 26 %

in GK B: 11 %

in GK C: 7 %

Preis je GE: 25 DM

Ertragsniveau:

70 GE/ha=190 kg K-Entzug

Zuschläge zur K-Entzugs-

Düngung nach TLL-

Empfehlung:

GK A: 100 kg K/ha

GK B: 50 kg K/ha

GK C: kein Zuschlag

Kosten je kg K: 0,72 DM

(zuzüglich 20 DM

Ausbringungskosten)

## K-Düngungsversuche - Baden-Württemberg

Dr. M. Mokry<sup>4</sup>

### Einleitung

In Baden-Württemberg wurden von 1984 bis 1993 K-Düngungsversuche mit dem Ziel durchgeführt, die Auswirkungen einer statischen K-Düngung auf Erträge und K-Entzüge der Pflanzenaufwüchse und K-Gehalte der Böden (=Erhalt der Bodenfruchtbarkeit) zu überprüfen sowie die Einteilung der Böden nach Gehaltsklassen zu validieren.

Die Versuchsstandorte waren mit denen der P-Versuche (VDLUFA Schriftenreihe 42/1996) identisch (Tab. 1).

Tab. 1 Kenndaten der Standorte

	Blaufelden	Schw.Gmünd	Emmendingen	Tuttlingen	Pfullendorf	Biberach	Ladenburg
Höhenlage (m)	410	500	180	670	620	630	90
mittl. J.Temperatur (°C)	8.0	8.3	9.7	7.5	9.0	8.5	9.8
mittl. J.-Niederschlag (mm)	800	820	770	860	800	820	640
Bodentyp	Parabraunerde (Pseudogley)	Parabraunerde (Pseudogley)	Parabraunerde	Parabraunerde	Parabraunerde (Pseudogley)	Parabraunerde	Parabraunerde
geol. Herkunft	Lößlehm üb. Lettenkeuper	Angulatusand	Lößlehm	Schwarzer Jura	Altmoräne	Altmoräne	Alluvium
Bodenart	sL	sL	uL	htL	sL	IS	sL
AZ	46	52	92	42	52	64	75
pH-Wert	6.4	6.4	7.2	6.2	6.3	5.9	6.3
K <sub>2</sub> O (mg/100g Boden)	19 B	41 D	23 B	7 A	36 C	38 C	26 C

Der Standort „Tuttlingen“ wurde nicht ausgewertet, da es sich um einen - über die Versuchsfäche betrachtet - sehr unregelmäßig stark kalifizierenden Boden handelt. Die anfängliche K-Versorgung (CAL) der Böden lag nach der in Baden-Württemberg vorliegenden Gehaltsklasseneinteilung zwischen B (12-25 mg K<sub>2</sub>O/100g Boden) und D (41-60 mg K<sub>2</sub>O/100g Boden) für mittlere Mineralböden (Tongehalt). Der Hackfruchtanteil der Fruchtfolgen (Tab.2) bewegte sich betriebsabhängig zwischen 20% und 50% im 10-jährigen Versuchsablauf. Die Versuche wurden einheitlich mit 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha jährlich gedüngt; Bodenbearbeitung, Aussaat, N-Düngung und Pflanzenschutz erfolgten betriebsüblich. Kalium wurde jährlich im Frühjahr in Form von Kaliumchlorid gedüngt. Folgende Varianten wurden angelegt\*:

- ohne K-Düngung
- 100 kg K<sub>2</sub>O je ha \* a

<sup>4</sup> LUFA Augustenberg, Neßlerstraße 23, 76227 Karlsruhe

– 200 kg K<sub>2</sub>O je ha \* a

– 300 kg K<sub>2</sub>O je ha \* a.

) Für die Umrechnung in die Elementform wurde der Faktor 0.83 angesetzt.

Tab. 2 Fruchtfolge (Hackfruchtanteil)

Jahr	Blaufelden	Schw.Gmünd	Emmendingen	Pfullendorf	Biberach	Ladenburg	% Hackfrucht
1984	Z.Rüben	Hafer	W.Weizen	Hafer		S.Gerste	20
1985	W.Weizen	Hafer	W.Gerste	F.Rüben		W.Roggen	20
1986	Hafer	S.Mais	K.Mais	W.Weizen	W.Weizen	Z.Rüben	50
1987	S.Mais	W.Weizen	Hafer	W.Gerste	S.Gerste	Durum	17
1988	W.Weizen	Hafer	W.Weizen	W.Raps	S.Mais	S.Gerste	33
1989	Z.Rüben	W.Gerste	W.Gerste	Hafer	W.Weizen	S.Gerste	17
1990	Hafer	Kleegras	K.Mais	W.Weizen	S.Gerste	(Tabak)	40
1991	W.Gerste	W.Weizen	Hafer	S.Gerste	S.Mais	W.Weizen	17
1992	(W.Raps)	S.Gerste	W.Weizen	W.Raps	W.Weizen	S.Gerste	34
1993	S.Mais	S.Mais	W.Gerste	W.Weizen	W.Gerste	K.Mais	50
(%) Hackfrucht	50	30	20	30	25	30	

## Getreide- und Hackfruchterträge (dt GE/ha) in Abhängigkeit von der K-Düngung

(Im Mittel aller Standorte und Kulturen - ohne Tuttlingen)

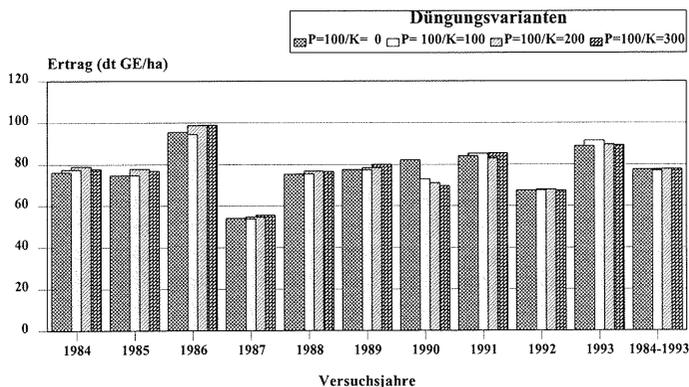


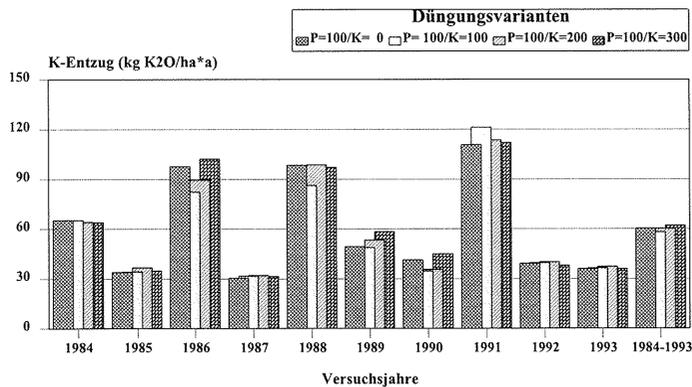
Abb.1: Erträge der Ernteprodukte von Getreide und Hackfrüchten in den Einzeljahren und im Mittel der Jahre 1984-1993 über alle Standorte (ausgenommen Tuttlingen) und Kulturen

**Ergebnisse**

Die Erträge der Ernteprodukte (s. Abb. 1) waren über den gesamten Versuchszeitraum ausgeglichen und unterschieden sich innerhalb der Varianten nur geringfügig, statistisch nur in wenigen Fällen absicherbar. Die K-Entzüge der Ernteprodukte (s. Abb. 2) waren wie die Erträge - von jahrgangsbedingten Ausnahmen (Hackfruchtanteil!) abgesehen - im Einzeljahr nahezu gleich.

**K-Entzüge (kg K<sub>2</sub>O/ha\*a) über Ernteprodukte in Abhängigkeit von der K-Düngung**

(Im Mittel aller Standorte und Kulturen - ohne Tuttlingen)



LUFA Augustenberg, Ref. I.3

Abb.2 K-Entzüge der Ernteprodukte von Getreide und Hackfrüchten in den Einzeljahren und im Mittel der Jahre von 1984-1993 über alle Standorte (ausgenommen Tuttlingen) und Kulturen

Eine jährliche Düngergabe von 100 kg K<sub>2</sub>O/ha sicherte Erträge und Entzüge (im Mittel wurden über alle Jahre, Standorte und Kulturen ca. 70 kg K<sub>2</sub>O/ha\*a entzogen) und stabilisierte die Bodengehalte (Abb. 3). Ohne K-Düngung (Tab. 3) nahmen die CAL-Gehalte bei wenig verändertem Ertragsniveau in Abhängigkeit vom jeweiligen Standort und K-Ausgangsniveau geringfügig bis deutlich ab. Rechnerisch waren zum Erhalt der K-Versorgung standortbedingt 0 bis 200 kg K<sub>2</sub>O/ha und Jahr nötig (Tab. 4).

Tab. 3: Veränderungen der K<sub>2</sub>O (mg/100g Boden) Gehalte auf der Nullparzelle

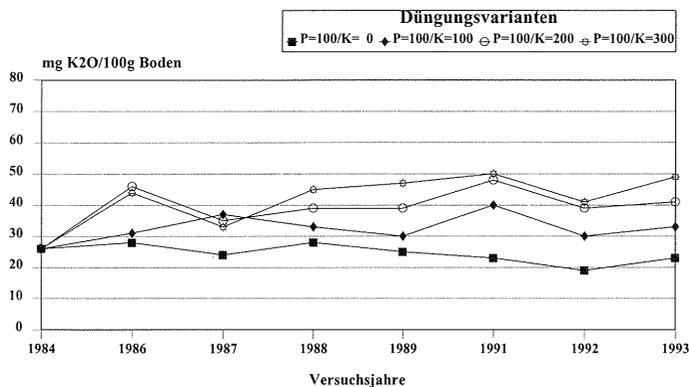
	Blaufelden	Schwäbisch Gmünd	Emmendingen	Pfullendorf	Biberach	Ladenburg
Startwert	19 (B)	41 (D)	23 (B)	38 (C)	38 (C)	26 (C)
Endwert	10 (B)	42 (D)	11 (B)	19 (B)	34 (C)	20 (B)
Veränderung	- 9	+ 1	- 12	- 19	- 4	- 6

Tab. 4: Optimale K-Düngung und Faktor „Nettoentzug“ (Berechnungsbasis „Erhalt der Bodengehalte“)

Standort	mittlerer K-Entzug	optimale K-Düngung	f (optimale K-Dg. zu mittl. K-Entzug)
Endingen	38	145	3,8
Ladenburg	55	65	1,2
Biberach	124	145	1,2
Blaufelden	87	200	2,3
Schwäbisch Gmünd	87	0	0
Pfullendorf	57	200	3,5

### Entwicklung der K-Gehalte im Boden in Abhängigkeit von der K-Düngung

(Im Mittel aller Standorte und Kulturen - ohne Tuttlingen)



PK-Eichversuche, LUFPA Ref. 1.3

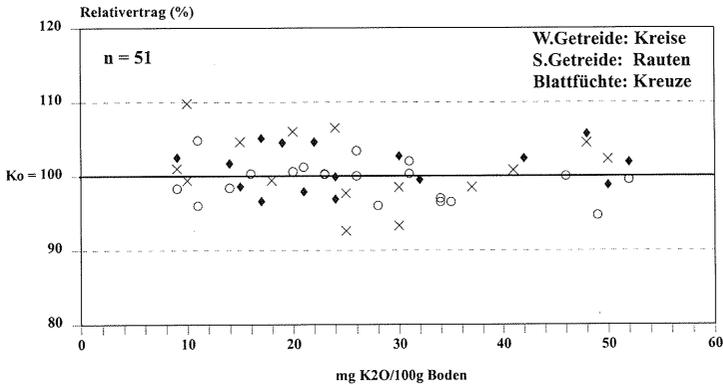
Abb. 3 Verlauf der CAL-K-Gehalte über alle Standorte (ausgenommen Tuttlingen) und Kulturen

In Abbildung 4 sind die relativen Mehr- oder Mindererträge durch eine K-Düngung mit 100 kg K<sub>2</sub>O je ha und Jahr im Vergleich zur Kontrolle dargestellt. Es zeigt sich, daß bei Getreide, aber auch bei den Blattfrüchten (Winterraps, Silo- bzw. Körnermais, Zuckerrüben, Futterrüben, Möhren) in den beobachteten Gehaltsbereichen (<15 mg, 15-25 mg und >25 mg K<sub>2</sub>O/100g Boden)

- Mehr- und Mindererträge nur in wenigen Fällen signifikant waren,
- sich im Bereich 15-25 mg K<sub>2</sub>O/100g Boden der Großteil der statistisch absicherbaren Mehr-erträge bewegte und
- im Bereich <15 mg und >25 mg K<sub>2</sub>O/100g Boden die Ertragssituation nahezu ausgeglichen war mit einer gewissen Tendenz zu höheren Erträgen bei Düngung im Bereich <15 mg K<sub>2</sub>O/100g Boden.

### Relativerträge durch K-Düngung (100 kg/ha\*a) im Vergleich zur ungedüngten Variante auf Böden mit unterschiedlichen CAL-K-Gehalten

Vergleich über alle Jahre und Standorte (ausgenommen Tuttingen)



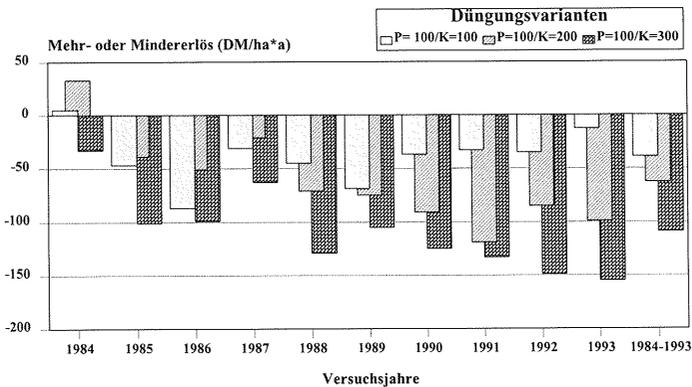
LUFU Augustenberg, Ref. 1.3

Abb. 4 Relativerträge durch K-Düngung (100 kg K<sub>2</sub>O/ha\*a) im Vergleich zur ungedüngten Variante auf Böden mit unterschiedlichen CAL-K-Gehalten

### Wirtschaftlichkeitsberechnung der K-Düngung gegenüber der Kontrolle

(Im Mittel aller Standorte und Kulturen)

Berechnungsbasis: 20.00 DM/dt GE; 0.50 DM/kg K<sub>2</sub>O; 15.00 DM/ha Ausbringungskosten



LUFU Augustenberg, Ref. 1.3

Abb. 5: Monetäre Wirtschaftlichkeitsbewertung der K-Düngung im Vergleich zur ungedüngten Variante auf Böden mit unterschiedlichem CAL-K-Gehalt - korrigiert um den Mehraufwand der K-Düngung -

Eine Wirtschaftlichkeitsbewertung (Abb. 5) unter der Annahme, daß 3,5 GE einer K-Gabe von 100 kg  $K_2O$ /ha incl. Ausbringung entsprechen, relativiert zunächst den monetären Vorteil einer K-Düngung. Unter dem Gesichtspunkt einer langfristigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit ist eine K-Düngung unter Berücksichtigung eines noch näher zu definierenden Bilanzüberschusses jedoch zu empfehlen.

### **Zusammenfassung**

Die Auswertung 10-jähriger K-Versuche an 6 Standorten Baden-Württembergs zeigte, daß:

- ohne K-Düngung die Erträge tendenziell rückläufig waren,
- die K-Entzüge über die Ernteprodukte mit jahresbedingter Variation recht einheitlich waren und im Mittel aller Jahre und Standorte bei etwa 70 kg  $K_2O$ /ha und Jahr lagen,
- der überwiegende Teil der Mehrerträge durch die Versuchsdüngung „Stufe 2“ 100 kg  $K_2O$  je ha und Jahr erzielt wurde,
- dadurch die CAL-Gehalte der Böden in einem für sichere Erträge notwendigen Bereich von 10-25 mg  $K_2O$ /100g Boden gehalten werden konnten und daß
- standortbedingt ein Bilanzüberschuß von 0 bis 200 kg  $K_2O$  je ha und Jahr zur Absicherung der Bodengehalte und der Erträge nötig war.

Da die K-Dynamik der untersuchten Böden sehr unterschiedlich war, sollten zur langfristigen Sicherung der Ertragskraft eines Standortes und zur Vermeidung ökologisch bedenklicher K-Überschüsse Standorteigenschaften wie Witterung, Bewirtschaftungsweise, Tiefgründigkeit, Tongehalt und Tonfraktion in die Düngekalkulation einbezogen werden. Für die Beratungspraxis bedeutet dies, zu klären, ob die Erhaltung eines standort- bzw. betriebstypischen K-Gehaltes der Böden - unter Einbeziehung eines ökologisch tolerierbaren Bilanzüberschusses - oder die Düngung nach Entzug auf der Basis sicherer Erträge im Vordergrund steht.

## Ergebnisse hessischer K-Steigerungsversuche

G. Schaumberg, J. Heyn \*

### Ältere Versuchsergebnisse und Problemstellung

Zur Prüfung der K-Düngewirkung auf mittel-hoch versorgten Lößböden wurden von der hessischen Agrarverwaltung durch die Hessische Landwirtschaftliche Versuchsanstalt die nachfolgend beschriebenen Feldversuche durchgeführt.

In den davor liegenden Jahren waren amtliche Versuche im südhessischen Ried (= Rheingraben bei Darmstadt) auf extrem niedrig versorgten, K-fixierenden Böden mehrjährig durchgeführt worden, die zwar hoch signifikante, bezogen auf den Versuchszeitraum von ca. 5 Jahren aber noch unrentable Mehrerträge gebracht hatten. Allerdings hatten die hohen K-Gaben zu einer nachhaltig ertragswirksamen K-Anreicherung in den Böden geführt, so daß die Rentabilität über einen längeren Zeitraum hinweg schließlich doch gegeben war. (HEYN u. BRÜNE, 1977).

GRAß berichtete 1987 im Rahmen einer gemeinschaftlichen Versuchsauswertung mit Rheinland-Pfalz und dem Saarland (GRAß, VOLKEMER u. BRÜCK, 1987) über vier hessische P/K-Steigerungsversuche auf unterschiedlich hoch versorgten Böden, bei denen im Mittel zwar signifikante, insgesamt aber dennoch unrentable Mehrerträge durch K-Düngung zu verzeichnen waren.

Auf nordhessischen Lößböden mit K-Ausganggehalten zwischen 10 und 20 mg  $K_2O/100g$  Boden (CAL-Methode) wurden 3 Versuche in den Jahren 1975-79 mit jährlichen K-Gaben bis zu 580 kg  $K_2O/ha$  durchgeführt. Hierbei konnten nur auf dem einen Standort mit dem niedrigsten Ausgangsgehalt von 10 mg  $K_2O/ha$  signifikante und an der Rentabilitätsschwelle liegende Mehrerträge verzeichnet werden.

In der Nachfolge dieser Versuche wurde 1983/84 mit der nachfolgend beschriebenen Serie von 4 Versuchen begonnen, die nach einem im VDLUFA beschlossenen Versuchsplan durchgeführt wurden. Mittlerweile waren durch die praxisübliche K-Düngung niedrig versorgte Böden relativ selten geworden, so daß sich die Fragestellung auf die Ertragswirksamkeit der K-Düngung auf mittel-hoch versorgten Böden konzentrierte, zu deren Beantwortung ältere Versuchsergebnisse nur noch bedingt herangezogen werden konnten.

### Standortbeschreibung und Versuchsergebnisse

In Tab. 1 sind die wichtigsten Standortangaben der Versuche auf mittel-hoch versorgten Lößböden zusammengefaßt.

---

\* Dr. G. Schaumberg, Hessisches Landesamt für Regionalentwicklung und Landwirtschaft, Kölnische Str. 48-50, 34117 Kassel

Dr. J. Heyn, Hessische Landwirtschaftliche Versuchsanstalt, Am Versuchsfeld 13, 34128 Kassel

Tab.1: Standortbeschreibung der Kalium-Steigerungsversuche auf Lößböden

	Grebenstein	Dörnhagen	Besse	Berge
Höhenlage m ü. NN	210	250	250	175
mittl. Jahrestemp. in °C	8,2	8,3	8,3	8,3
mittl. Jahresniederschlag in mm	669	640	620	650
Bodentyp	PBE	PBE	PBE	PBE
geol. Herkunft	Löß	Löß/Buntsandst.	Löß	Alluvium
Bodenart	IU	IU	IU	uL
durchw. Tiefe in cm	90	75	90	90
AZ	70	50	65	75
pH	6,3	6,0	6,5	7,2
K <sub>2</sub> O (mg/100g B.)	15-19	14-15	20-23	22-25
K (mg/100g B.)	12,5-15,8	11,6-12,5	16,6-19,1	18,3-20,8

In ungefährer Anlehnung an die praxisüblichen Verhältnisse wurden zwei der vier Versuche in viehhaltenden Betrieben, d.h. mit wirtschaftseigener organischer Grunddüngung durchgeführt (Besse und Grebenstein), die anderen beiden Versuche in Ackerbaubetrieben ohne Wirtschaftsdüngeranwendung (Dörnhagen und Berge). Die Auswirkungen der gestaffelten mineralischen K-Düngung in Höhe von jährlich 100, 200 und 300 kg K<sub>2</sub>O/ha auf die K-Bodengehalte ist in Abb.1 und Abb.2 exemplarisch dargestellt.

Danach konnte in Grebenstein in der K-Null-Variante trotz der niedrigen organischen Düngung mit Stallmist der Bodenwert nicht ganz erhalten werden. Allerdings trat die Absenkung zu Beginn des Versuches ein, danach stabilisierte sich der Gehalt in einer Größenordnung von 10-12 mg K<sub>2</sub>O/ha. In den mittleren beiden K-Düngungsstufen von 100-200 kg K<sub>2</sub>O/ha blieb die Ausgangsversorgung zwischen 16-18 mg erhalten, während die hohe K-Düngung zu einer Anreicherung über 25 mg hinaus führte.

In Dörnhagen blieb, abgesehen von den generell etwas erhöhten Werten der 94-er Proben, in der K-Null-Variante der Ausgangswert von 14 mg ungefähr erhalten. In den K-gedüngten Varianten kam es zu einer gestaffelten K-Anreicherung im Boden. Ähnliche Entwicklungen waren in Berge und Besse bei etwas höheren K-Ausgangsgelalten zu verzeichnen. Auf eine Darstellung soll hier aus Platzgründen verzichtet werden.

Die Ertragsergebnisse der vier Versuche sind in Abb.3 als jeweilige Standortmittelwerte aus den in der Bildunterschrift angegebenen Erntejahren zusammengefaßt. Bei der Berechnung der Standort-Varianteergebnissen aus den Einzeljahresergebnissen wurde bei Zuckerrüben der Bereinigte Zuckerertrag je Hektar (= dt BZE/ha), bei allen anderen vorkommenden Fruchtarten der Ertrag in Getreideeinheiten (= dt GE/ha) zugrunde gelegt.

Aus Abb.3 ist ersichtlich, daß lediglich in einem Fall ein signifikanter Mehrertrag erzielt werden konnte und zwar auf dem Standort Grebenstein in der Variante mit der niedrigsten K-Düngung. Dieser Mehrertrag von 2,5 dt GE/ha liegt genau an der Rentabilitätsschwelle, wenn man K-Düngerkosten in Höhe von 0,60 DM/kg K<sub>2</sub>O, 15.-DM für die Ausbringung und 30.-DM/dt GE Erlös unterstellt. In allen anderen Fällen konnte die Rentabilitätszone nicht erreicht werden.

In einem weiteren Auswertungsschritt wurden die Standortergebnisse zu Serien-Mittelwerten zusammengefaßt und zwar insgesamt für alle Erntejahre, für die Getreidejahre und für die

Zuckerrübenjahre. Abb.4 zeigt diese Gegenüberstellung; wegen der besseren Vergleichbarkeit angegeben jeweils als Relativergebnis bezogen auf den Ertrag der K-Null-Variante.

Im Mittel aller Jahre bleibt bei dieser Betrachtung die Signifikanz des Mehrertrages durch die K-Düngung mit 100 kg  $K_2O$ /ha erhalten, wenngleich er hier mit absolut 1,2 dt GE/ha unterhalb der Rentabilitätsschwelle liegt. Interessant ist die unterschiedliche Reaktion der Fruchtarten. Während im Mittel der Getreidejahre kein signifikanter Mehrertrag auftrat, war im Mittel der Zu-Rübenjahre der Mehrertrag von 9-10 % in allen K-Düngungsvarianten sehr gut gesichert. Eine Rentabilitätsberechnung ist hier schwierig, da das Ertragsergebnis der Rüben nicht nur auf die einjährig aktuelle K-Düngung, sondern auch auf Nachwirkung vorangegangener Gaben und Bodenanreicherungen zurückzuführen ist.

### Schlußfolgerungen

Die Bewertung dieser Versuchsergebnisse im Hinblick auf die Beratung soll die Frage nach der zu empfehlenden K-Düngung und die Frage nach dem anzustrebenden K-Bodengehalt beantworten.

Obwohl eindeutige Mehrerträge mehr oder weniger nur in den Zuckerrübenjahren auftraten, sollte für Fruchtfolgen mit Zu-Rüben und unter vergleichbaren Bedingungen dennoch eine Beratungsempfehlung für eine K-Düngung in Höhe von jährlich ca. 100 kg  $K_2O$ /ha (= 83 kg K/ha) abgegeben werden. Bei dieser Höhe, die etwas über der K-Abfuhr einer Rüben-Weizen-Gerste-Fruchtfolge liegt, ist ein gewisser "Sicherheitszuschlag" bereits enthalten. Bei Abfuhr auch der Nebenernteprodukte Stroh und Rübenblatt wird der höhere K-Export ungefähr wieder ausgeglichen durch die Rücklieferung des Wirtschaftsdüngers - bei nicht zu hohem Tierbesatz und vernünftigem Verteilungsregime -, so daß pauschal die Empfehlung für die Höhe der Mineraldüngung beibehalten werden kann. Bei Fruchtfolgen mit Körnererbsen kann die Empfehlung auf jährlich 60-80 kg  $K_2O$ /ha (= 50-66 kg K/ha) reduziert werden.

Als "anzustrebend" wird der K-Bodengehalt bezeichnet, der sich mittel- und langfristig bei der optimalen K-Düngung einstellt. In den hier vorgestellten Versuchen blieben in der Düngungsvariante mit jährlich 100 kg  $K_2O$ /ha (= 83 kg K/ha) die Ausgangsgehalte erhalten oder es kam zu geringfügigem Ansteigen der Bodenwerte.

Die festgestellten Unterschiede in der Aussage zwischen den Versuchsstandorten dürften in erster Linie auf die Fruchtfolge zurückzuführen sein (Zu-Rüben, ja oder nein?) und weniger auf den K-Ausgangshalt im Boden. "Fruchtfolgebereinigt" konnte kein genereller Unterschied zwischen den beiden Versuchen mit Ausgangsgehalten knapp oberhalb 20 mg  $K_2O$ /100 g Boden (= 16,6 mg K/100 g Boden) und den anderen beiden mit Ausgangsgehalten zwischen 15 und 20 mg  $K_2O$  (= 12,5 und 16,6 mg K) verzeichnet werden. Von daher gesehen gibt es keine Veranlassung, bei Böden vergleichbarer Tiefgründigkeit und Korngrößenverteilung einen Gehalt oberhalb von 20 mg  $K_2O$  (= 16,6 mg K) anzustreben.

### Literatur

Graß,K., Volkemer,H.K. u. Brück,K.: Ergebnisse von Phosphat-Kali-Steigerungsversuchen 1976- 1986 in Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland. IfB-Landwirtschaftliche Fachinformation Nr. 42/87, Herausg. Hess. Landesamt f. Ernährung, Landwirtschaft. u. Landentwicklung Kassel, 1987, ISSN: 0932-0083

Heyn,J. u. Brüne,H.: Vegetationsversuche zur Kaliumdüngung auf niedrig versorgten Böden. Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft 34/II, S.90-102, 197

Abb.1: K-Steigerungsversuch Grebenstein  
 Entwicklung der K-Bodengehalte  
 Entnahme jeweils im Herbst

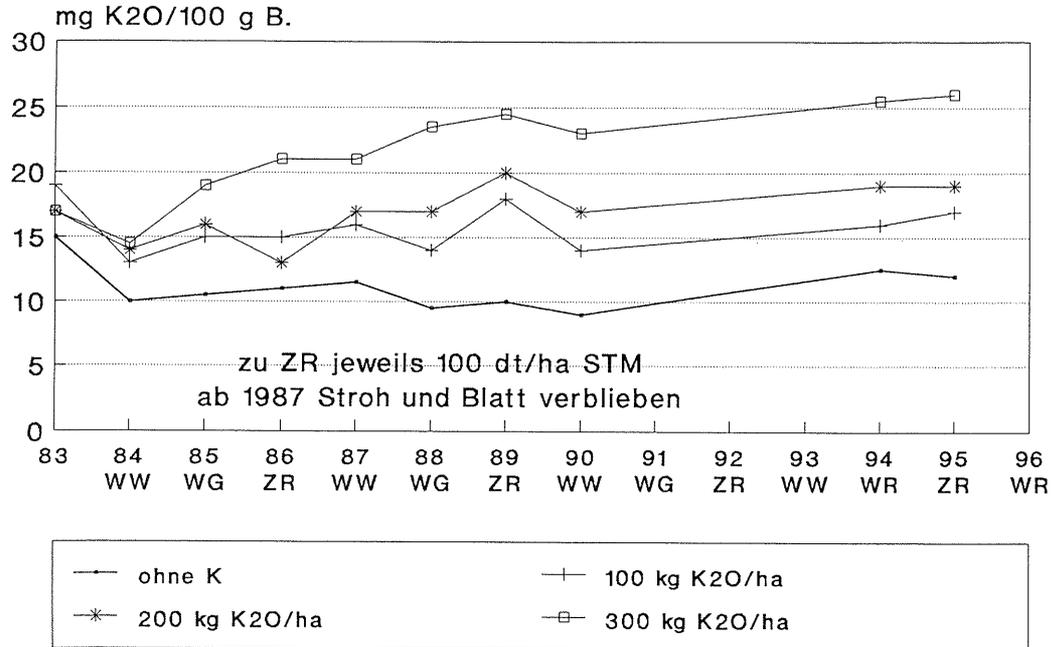


Abb.2: K-Steigerungsversuch Dörnhagen:

## Entwicklung der K-Bodengehalte

Entnahme jeweils im Herbst

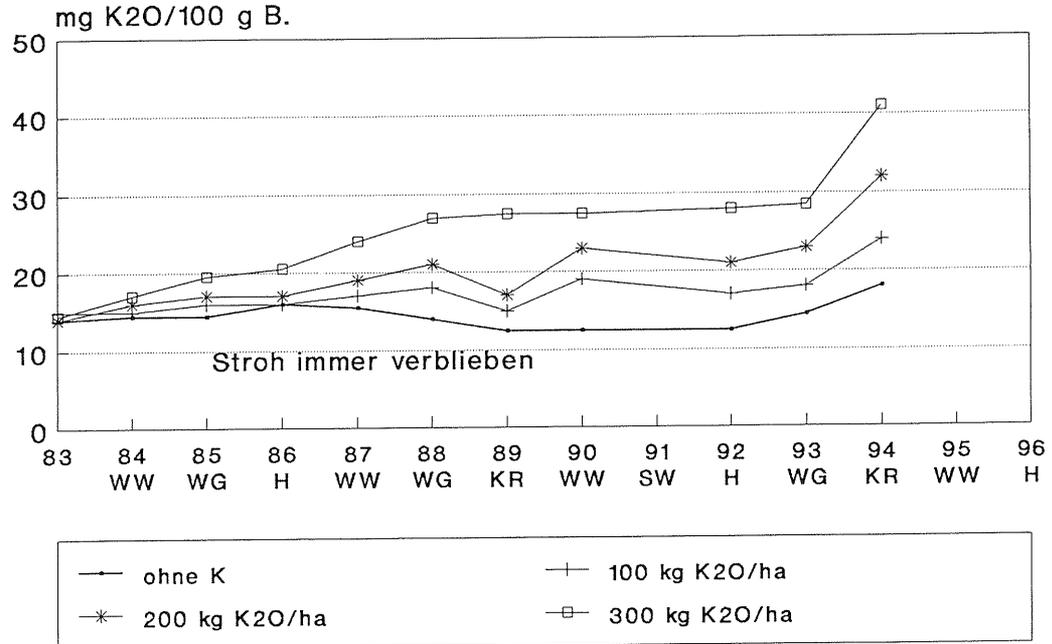


Abb.3: K-Steigerungsversuche 1984-96:  
Standorterträge  
im Mittel der Jahre

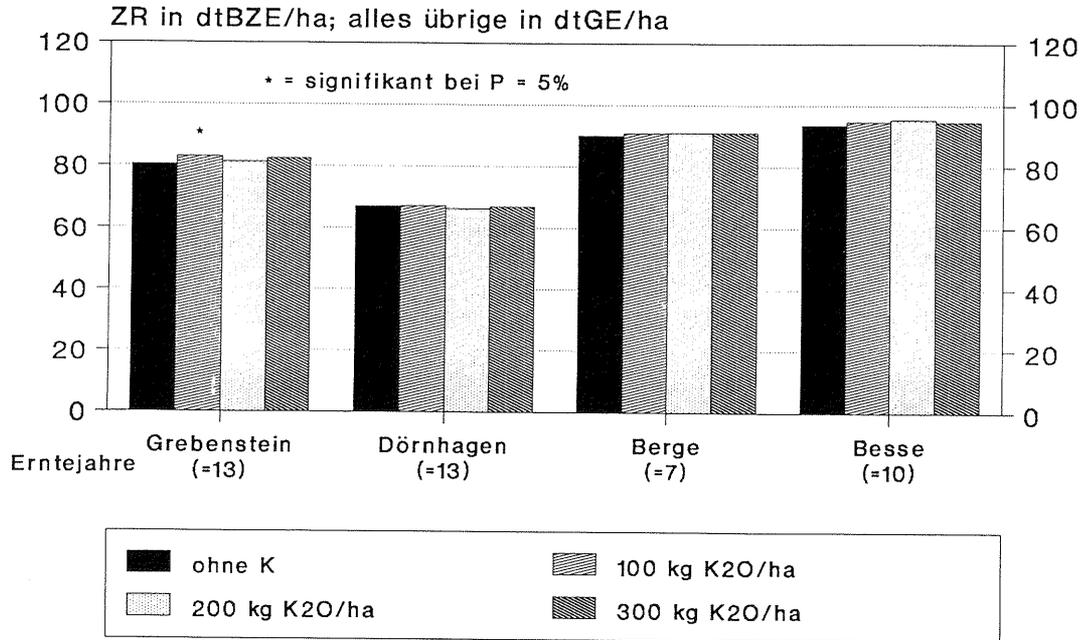
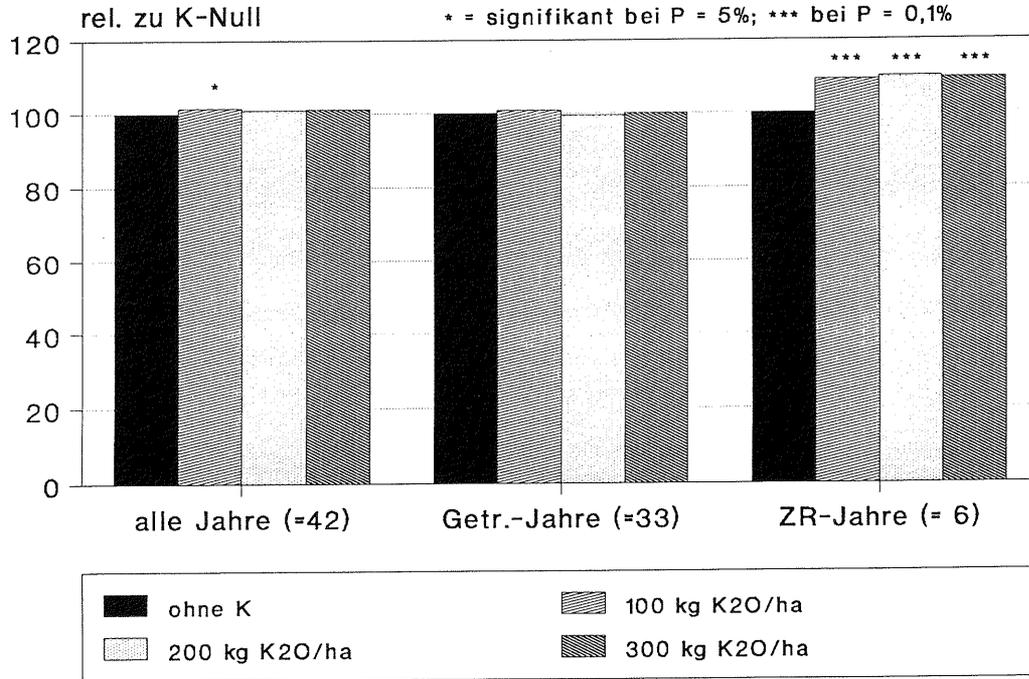


Abb.4: K-Steigerungsversuche 1984-96:  
Ertrag im Mittel der Serie





## Kalidüngungsversuche in Westfalen-Lippe

*Dr. Günter Spielhaus, LK Münster*

### Ziel der Untersuchungen und Versuchsdurchführung

Das Ziel der Untersuchungen war, das pflanzenbauliche Optimum für die Kalidüngung zu finden. Deshalb wurden auf den gleichen sechs Standorten, auf denen Phosphatdüngungsversuche angelegt worden waren, auch mehrjährige Kalidüngungsversuche durchgeführt. Dabei geht es um die Frage: Wieviel Kali muß gedüngt werden, damit die als optimal angesehene Versorgungsstufe C gehalten werden kann. Nach den Ergebnissen der Bodenuntersuchung lagen 1984 43 % der untersuchten Ackerfläche von Westfalen-Lippe in der Versorgungsstufe C und höher. Somit hatte ein Großteil der Böden eine gute bis hohe Kaliversorgung und sollte nach Entzug oder weniger gedüngt werden. Es wird aber in der Regel zur Ertragsabsicherung mehr gedüngt. Vor allem werden die Nährstoffrückflüsse aus den Ernteresten und organischen Düngern nicht genügend oder überhaupt nicht angerechnet. Das führt dazu, daß der Anteil dieser gut mit Kali versorgten Böden zunahm. 1994 waren 84 % der von der LUFA untersuchten Böden in den Kali-Versorgungsstufen C und höher, was einen Luxus darstellt und die pflanzliche Produktion verteuert.

Bei einer pflanzenbedarfsgerechten Düngung sollte die Zufuhr den Entzug durch die Pflanzen und die Auswaschungsverluste wieder ausgleichen. Für die Kaliversuche wurden solche Flächen ausgesucht, die nicht vorher sehr stark mit Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft gedüngt worden waren, sondern die gute Ausgangsversorgung ist überwiegend durch die Mineraldüngung entstanden. Die Versuchsflächen wurden während der Versuchsdauer nicht mit organischen Düngern wie Mist, Gülle oder Sekundärrohstoffdüngern gedüngt. Allerdings blieben die Erntereste wie Stroh und Blätter auf den Flächen. Die Höhe der Nährstoffrückflüsse durch die Erntereste wurde nicht ermittelt.

Die Versuche wurden als Blockanlage randomisiert in vierfacher Wiederholung angelegt. Die Parzellen waren meistens zwischen 50 und 60 m<sup>2</sup> groß, es erfolgte jeweils nur eine Kernbeermung mit dem Versuchsmährescher. Die Zuckerrübenenernte erfolgte von Hand. Die Höhe der Stroherträge wurde nicht festgestellt.

Die übrige Düngung mit Stickstoff, Phosphor und Magnesium wurde auf allen Prüfparzellen gleich hoch durchgeführt. Die Höhe der Phosphordüngung wurde nach den Ergebnissen der Bodenuntersuchung ausgerichtet. Bei Bedarf wurde im Rahmen der Erhaltungskalkung gekalkt, oft mit Mg-haltigen Kalken. Zur Erzielung einer bedarfsgerechten Stickstoffdüngung wurde auf N<sub>min</sub> untersucht und zu Getreide in drei Gaben gedüngt. Für den Anbau wurden Sorten verwendet, die auch in der offiziellen Sortenempfehlung in der Spitzengruppe lagen. Bodenbearbeitung, Saattermine und Anbautechnik wurden entsprechend den pflanzenbaulichen Ansprüchen der Früchte optimal gestaltet. Der Pflanzenschutz wurde nach den Empfehlungen des amtlichen Pflanzenschutzdienstes sachgerecht durchgeführt.

Zur Charakterisierung der Versuchsstandorte wurden die Korngrößen, der Humusgehalt und auch der Gesamtnährstoffgehalt von Phosphat und Kali festgestellt. Vor Versuchsanlage wurden außer der Ackerkrume auch der Unterboden auf die pflanzenverfügbaren Nährstoffe und den pH-Wert untersucht (s. Übersicht 1).

Für die Umrechnung in die Elementform ist der Faktor 0,83 anzusetzen.

### Nur geringe Mehrerträge durch die Kalidüngung

In der Übersicht 2 sind die Kaligehalte der Versuchsstandorte bei Versuchsbeginn und bei Versuchsende von den am höchsten mit Kali gedüngten und den nicht mit Kali gedüngten Varianten wiedergegeben. Auf dem leichten IS-Standort Drensteinfurt sind die Kaligehalte offenbar wegen stärkerer Auswaschung generell abgefallen. Hingegen konnten auf den anderen Böden die  $K_2O$ -Gehalte auf den nicht mit Kali gedüngten Parzellen allein durch den Nährstoffrückfluß über die Erntereste in der Versorgungsstufe C gehalten werden. Auf den Parzellen mit der höchsten Kalidüngung fand eine unwesentliche Zunahme der Kaligehalte statt, aber auf allen vier Standorten wurde knapp die Versorgungsstufe D erreicht.

Wie die Übersicht 2 belegt, haben die Kaligehalte auf den nicht mit Kali gedüngten Parzellen während des Versuchszeitraumes bis auf eine Ausnahme nicht abgenommen. Diese Kaliver-sorgung der Böden hat aber offenbar schon für eine ausreichende Kaliernährung der Pflanzen genügt. Das ist die Ursache dafür, daß sich durch die Kalisteigerungen in den Versuchen nur sehr geringe Mehrerträge ergeben haben. Die Übersicht 3 zeigt, daß die Kalidüngung gegenüber ungedüngt bei Getreide nur in der ersten Dünungsstufe einen Mehrertrag gebracht hat. Bei Weizen und Hafer gab es noch einen geringen Ertragszuwachs bis zur zweiten Kalidünungsstufe. Durch höhere Kaligaben sind bei Getreide keine Mehrerträge eingetreten. Wie aus der Abbildung 1 hervorgeht, weisen die Getreideerträge aber generell in allen Dünungsstufen eine sehr große Streuung auf.

Die Blattfrüchte haben hier nicht positiv auf die gesteigerte Kalidüngung reagiert. Allerdings sind in den Versuchen nur sehr wenig Blattfrüchte angebaut worden. Auch wenn die Zucker-rüben gesondert betrachtet werden (hier nicht dargestellt), ergibt sich kein besseres Bild als im Mittel für alle Blattfrüchte.

Wie aus dem Verlauf der Ertragskurven aller Getreideergebnisse in der Abbildung 1 zu sehen ist, ergeben sich durchweg nur sehr flache Kurven, die unter Berücksichtigung der Streuung keinerlei Absicherung der Düngewirkung des Kalis in diesen Versuchen ergeben. Es besteht nur tendenziell eine schwache Kaliwirkung bis zu der Dünungsstufe 120 kg/ha  $K_2O$ .

Auf dem Standort Nienhagen ist der Kalidüngungsversuch zwölf Jahre lang durchgeführt worden. Obwohl sich hier gegenüber ungedüngt in 10 von 12 Versuchsjahren bis zur ersten und zweiten Kalidünungsstufe Mehrerträge von 2 bis 3 dt/ha Getreide ergeben, ist diese Beziehung zwischen Kaligehalt im Boden und Mehrertrag durch die Kalidüngung, wie die Abbildung 2 zeigt, sehr schlecht. Danach sind Mehrerträge nur bis zu einem Gehalt von 18 mg  $K_2O/100$  g Boden zu erwarten. Die Nettoentzüge waren auf diesem Standort durch die z.T. niedrigen Getreideernten gering. Deshalb waren zur Aufrechterhaltung des Kaliversorgungszustandes des Bodens nur eine durchschnittliche Kalidüngung von 60 kg/ha  $K_2O$  erforderlich. Dabei wurde eine mittlere jährliche Kaliauswaschung von 20 kg/ha  $K_2O$  angenommen. Mit dieser Düngung konnten die Kaliausgangsgelände über die zwölf Versuchsjahre gehalten und sogar leicht angehoben werden. Bei den höheren Dünungsstufen nahmen die Kaligehalte bis auf über 20 mg  $K_2O$  zu (aus Platzgründen hier nicht dargestellt). Daraus ergibt sich, daß eine Düngung nach Entzug bis zur Versorgungsstufe C lohnend ist, daß aber eine höhere Auf-düngung wirtschaftlich nicht zu vertreten ist.

## Zusammenfassung

- Die gute Ausgangslage bei Kali auf den hier geprüften Versuchsstandorten und die Rückführung aller Erntereste (Stroh und Blätter) ist die Ursache für die geringe Ertragswirkung der Kalidüngung.
- Ertragssteigerungen waren nur bei Getreide in der ersten und zweiten Kalidüngungsstufe (60 bzw. 120 kg/ha  $K_2O$ ) zu verzeichnen. Darüber hinaus gehende Kaligaben waren nicht ertragswirksam. Bei den Blattfrüchten konnten unter den hier geprüften Bedingungen keine positiven Ertragswirkungen der Kalidüngung ermittelt werden.
- In dieser Versuchsserie waren überwiegend mittelschwere Böden mit den Bodenarten uL und sL vertreten. Dabei sind nur bis zu einer Kaliversorgung des Bodens von 18 mg  $K_2O$  bzw. 15 mg K/100 g Boden Mehrerträge durch eine Kalidüngung eingetreten. Höhere Kaligehalte sind in den Böden nicht erforderlich. Eine Düngung mit dem Ziel, diese Kaligehalte weiter zu erhöhen, ist unwirtschaftlich.
- Die Kali-Versorgungsstufe C des Bodens konnte schon fast durch die Kalirückflüsse der Erntereste gehalten werden. Für eine sichere Erhaltung dieses Nährstoffversorgungszustandes des Bodens und der Mitnahme von Mehrerträgen in günstigen Jahren ist eine Kalidüngung, die auf den Ersatz der tatsächlichen Nährstoffabfuhr und Auswaschungsverluste ausgerichtet ist, ausreichend.
- Für eine optimale Kaliernährung der Pflanzen wird die Versorgungsstufe C angestrebt. Sie wird aufgrund dieser und anderer Versuche für S-Böden auf 6 - 12 mg, für lS, sL, uL und IU-Böden auf 10 - 18 mg und für L, tL und T-Böden auf 14 - 24 mg  $K_2O/100$  g Boden entsprechend für S-Böden 5 - 10 mg, für lS, sL, uL und IU-Böden auf 8 - 15 mg und für L, tL und T-Böden auf 12 - 20 mg K/100 g Boden festgelegt.

Übersicht 1: Kalidüngungsversuche - Standortbeschreibung Westfalen-Lippe<sup>1)</sup>

	Haus Düsse	Brakel- Abbenburg	Drensteinfurt	Welver- Recklingsen	Sundern- Altenhellefeld	Leopoldshöhe- Nienhagen
Kreis	SO	HX	WAF	SO	HSK	LIP
Höhenlage über NN	70	160	33	70	350	115
Ø Jahres Temperatur	9,0 °C	8,9 °C	9,3 °C	9,0 °C	7,9 °C	9,1 °C
/Niederschläge	750 mm	892 mm	728 mm	750 mm	1.090 mm	847 mm
Bodentyp	Gley-Para- braunerde	Parabraunerde	Braunerde	Parabraunerde	Pseudogley- Parabraunerde	Parabraunerde
Bodenart	uL	uL	IS	sL	sL	sL
Ton	14 %	14 %	12 %	18 %	27 %	12 %
Schluff	80 %	83 %	17 %	79 %	47 %	44 %
Sand	6 %	3 %	71 %	3 %	26 %	44 %
Humus	2,8 %	3,9 %	-	2,6 %	2,9 %	1,65 %
Ackerzahl	67	65	35	68	35	58
pH-Wert Krume	7,2	6,8	6,4	6,3	5,9	5,8
Unterboden	7,4	6,9	6,1	7,0	5,8	5,5
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt</b>						
Krume:						
Gesamt-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> in mg %	140	156	34	270	270	140
CAL mg/100 g Boden	28	33	20	23	21	23
Unterboden:						
CAL mg/100 g Boden	6	5	5	9	7	7
<b>K<sub>2</sub>O-Gehalt</b>						
Krume:						
Gesamt-K <sub>2</sub> O in mg %	240	252	133	580	580	120
CAL mg/100 g Boden	17	23	22	18	24	12
Unterboden:						
CAL mg/100 g Boden	8	10	9	8	20	11
<b>Mg-Gehalt:</b>						
CaCl <sub>2</sub> mg/ 100 g Boden						
Krume:	4	4	5	6	4	3
Unterboden:	4	6	5	5	6	2

1) Nährstoffgehalte bei Versuchsbeginn

Übersicht 2: Ergebnisse der Bodenuntersuchung bei Beginn und am Ende der 5- bis 7-jährigen Versuchsdauer

Standort	Dauer der Versuche in Jahren	Gehalte in mg K <sub>2</sub> O/100 g Boden nach der CAL-Methode		
		bei Versuchs- beginn	bei Versuchsende ohne Kali	240 kg K <sub>2</sub> O
Haus Düsse	7	17	18	22
Abbenburg	7	23	17	22
Drensteinfurt	6	22	8	17
Wolver	6	18	18	23
Sundern	5	24	25	27

Übersicht 3: Ergebnisse der Kalidüngungsversuche von 1983 - 1995 in Westfalen-Lippe

jährliche Düngung kg/ha K <sub>2</sub> O	Erträge relativ zu ungedüngt			
	Winterweizen (14 Versuche)	Wintergerste (16 Versuche)	Hafer (7 Versuche)	Blattfrüchte (5 Versuche)*)
0	100	100	100	100
60	102	102	101	99
120	103	100	103	100
180	103	102	101	101
240	103	102	103	100
Ertrag in dt/ha GE ohne Kalidüngung	69,0	62,7	49,9	109,0

\*) 3 Versuche Zuckerrüben, 1 Versuch Winterraps, 1 Versuch Ackerbohnen

Abbildung 1:

### K-Optimierung Nienhagen Mehrertrag durch die K-Düngung bei Getreide

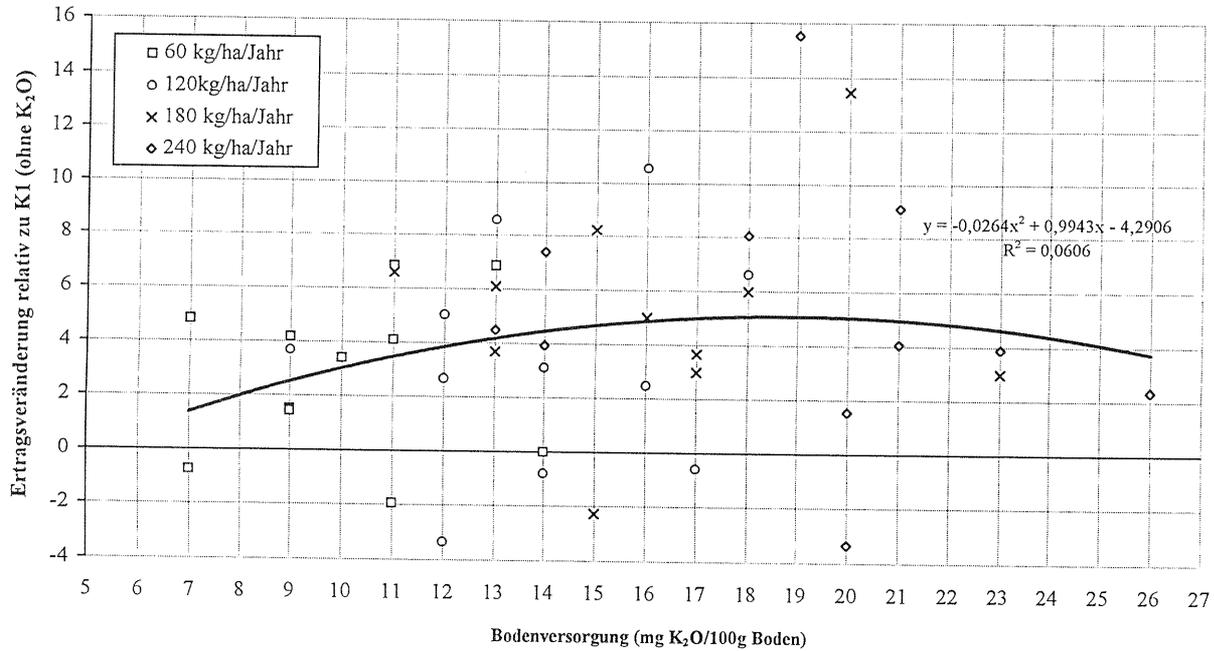
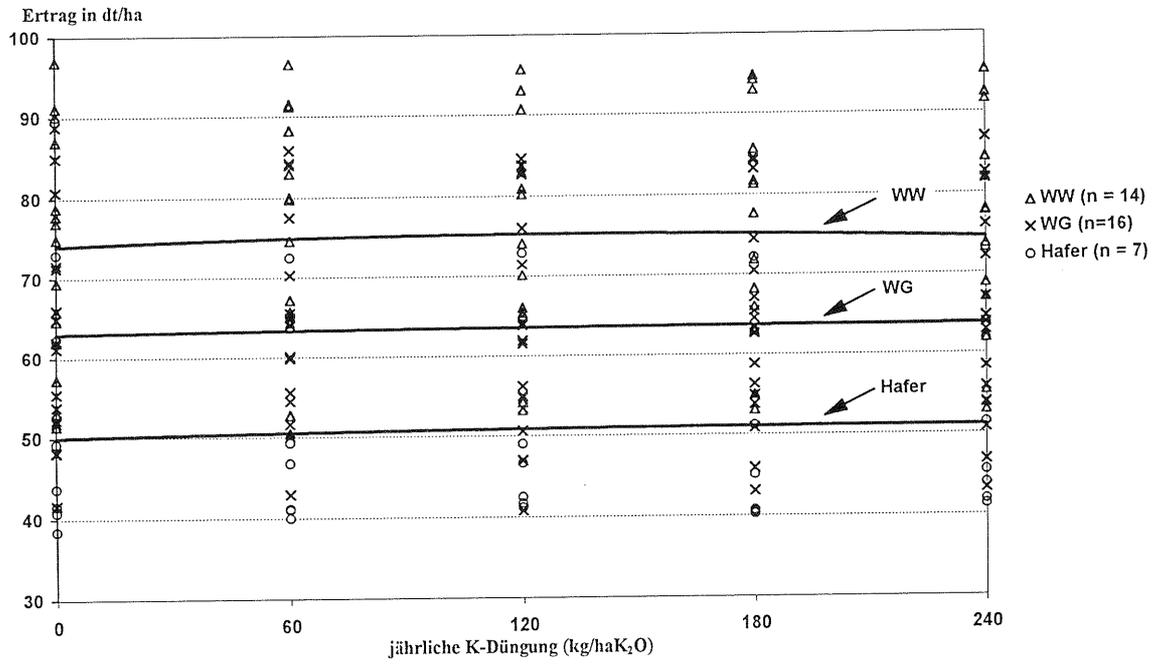


Abbildung 2: Ertragswirksamkeit der K-Düngung in Westfalen Lippe  
(37 Versuche 1983-1995)





## Fazit der Beiträge und Schlußfolgerungen

*Dr. sc. M. Kerschberger, U. Hege*

Die vorliegenden Beiträge zur K-Düngung beziehen sich meist auf Ackerlandstandorte. In zwei Beiträgen werden auch Ergebnisse auf Grünland vorgestellt. Vorrangig wird der Aspekt der Ertragswirkung der K-Düngung in Abhängigkeit vom K-Gehalt des Bodens angesprochen. Etwas untergeordneter ist die Frage der Veränderung der K-Gehalte im Boden bei unterschiedlicher K-Düngung und K-Pflanzenentzug.

Für einen Überblick über die wesentliche Aussage eines jeden Beitrages wird nachfolgend eine Kurzfassung wiedergegeben. Auf diese Weise soll das Verständnis für die gezogenen Schlußfolgerungen erleichtert werden.

**ALBERT** berichtet über einen 7jährigen K-Dauerdüngungsversuch auf einem flachgründigen, relativ schweren (sL) Verwitterungsboden (Diabas) in Sachsen mit K-Gehalten von 16 mg K/100 g Boden (DL-Methode) zu Versuchsbeginn. Die K-Düngung führte in fast allen Erntejahren im Mittel der Fruchtfolge zu deutlichen Mehrerträgen von 8 GE/ha. Die optimale K-Düngung belief sich im Mittel auf 90 kg K/ha. Besonders hohe Mehrerträge wurden für Hackfrüchte (Kartoffeln, Futterrüben und Mais) mit rund 13 GE/ha ermittelt. Bei Getreide lag der Mehrertrag bei rund 3 GE/ha. Die Ertragswirkungen durch K-Düngung in Abhängigkeit vom K-Gehalt des Bodens lassen für Getreide und Hackfrüchte unterschiedliche anzustrebende K-Gehaltsbereiche erkennen. Im Mittel über die Jahre und Fruchtarten läßt sich ein anzustrebende Gehaltsbereich bei 12 - 14 mg K/100 g Boden abschätzen.

Ohne K-Düngung gingen die K-Gehalte des Bodens in einem deutlichen Trend jährlich um 1,5 mg/100 g Boden bis auf 5 mg am Versuchsende zurück (185 kg K-Entzug/ha, flachgründiger Boden). Jedoch reichte eine mittlere jährliche Düngemenge von 120 kg K/ha bereits zur Erhaltung des K-Gehaltes im Boden aus. Offenbar liegen auf dem Standort vorwiegend illitische gebundene K-Reserven im Boden vor.

### Fazit:

Die Versuchsergebnisse erlauben den Schluß, daß die K-Gehaltsklasse C für diesen mittleren bis schweren Boden im Bereich von 11 - 18 mg K/100 g Boden liegen sollte. Dabei kann in Anbetracht der bodenbedingten K-Nachlieferung die K-Düngung zur Aufrechterhaltung des K-Gehaltes im Boden unterhalb der K-Abfuhr liegen.

**BAUMGÄRTEL** berichtet von 10 statischen K-Dauerdüngungsversuchen im Gebiet der Landwirtschaftskammer Hannover (5 Versuche sind beendet). Neben einer Kontrollvariante (ohne K-Düngung) wurde die K-Düngung jährlich in Höhe vom 0,5 bis zum 4fachen K-Entzug der Pflanzen ausgebracht. Bei Getreidekulturen wurden in keinem Fall Mehrerträge durch K-Düngung erzielt (61 Versuchsernten). Lediglich in 3 Versuchsernten beim Anbau von Kartoffeln und Zuckerrüben bewirkte die K-Düngung einen ausreichenden Mehrertrag. Dabei wies die Kontrollvariante K-Gehalte von < 6 mg K/100 ml Boden (CaCl<sub>2</sub>-Methode) auf. Bei höherem K-Gehalt des Bodens kam es in keinem Versuchsjahr zur Ertragserhöhung. Übertragen auf die nunmehr angewendete CAL-Methode läßt sich ein K-Gehalt im Boden, bei dem ausreichende Mehrerträge durch eine K-Düngung wahrscheinlich sind, auf < 10 mg K/100 g Boden festlegen.

**Fazit:**

Bei Gehaltsklasse C ist eine K-Versorgung des Bodens von 10 - 17 mg K/100 g Boden ausreichend. Bei höheren K-Gehalten ist die K-Düngung in jedem Fall uneffektiv (gute Böden). Dabei wird für leichte Böden ein erheblich niedriger K-Gehaltsbereich von ca. 5 - 10 mg/100 g Boden für optimal gehalten.

Der K-Gehalt des Bodens wurde auf fast allen Versuchsstandorten bei einer K-Düngung etwa in Höhe der K-Abfuhr langjährig auf dem Ausgangsniveau gehalten. Höhere K-Düngung bewirkte meist eine Erhöhung, geringe K-Düngung eine Abnahme des K-Gehaltes im Boden. Anders verhielten sich Marsch- und Sandböden. Erst eine über dem K-Entzug (K-Abfuhr) liegende K-Düngung erhält den Ausgangs-K-Gehalt des Bodens.

**FISCHER v. und APEL** berichten über 3 Versuchsreihen der vergangenen 18 Jahre auf Ackerlandstandorten im Gebiet Nordrhein.

In vier Versuchen (Laufzeit 1978 - 1986) erfolgte durch die K-Düngung (0 - 300 kg K<sub>2</sub>O/ha, entsprechend 0 - 250 kg K/ha) eine Differenzierung des K-Gehaltes im Boden von 17 - 23 mg K<sub>2</sub>O bzw. 14 - 19 mg K/100 g Boden. Bei Weizen und Gerste konnten keine signifikanten Mehrerträge festgestellt werden. Bei Zuckerrüben stieg der Ertrag bei 300 kg K<sub>2</sub>O (250 kg K) um 6 % an. Im Mittel der Jahre und Orte führte eine Kalidüngung zu Mindererlösen von 60.--DM/ha (100 kg K<sub>2</sub>O/ha) bis 120.--DM/ha (300 kg K<sub>2</sub>O/ha).

In einem Versuch (1978 - 1995) führte eine K-Düngung (von 300 kg K<sub>2</sub>O/ha) zur Anhebung des K-Gehaltes im Boden von 12 auf 22 mg K<sub>2</sub>O bzw. 10 auf 18 mg K/100 g Boden. Auch an diesem Standort konnte durch Kalidüngung kein ökonomisch ausreichender Mehrertrag erreicht werden.

In drei Versuchen (1987 - 1995) zeigte die K-Düngung von 240 kg K<sub>2</sub>O/ha eine Anreicherung des K-Gehaltes im Boden von 13 auf 20 mg K<sub>2</sub>O bzw. 11 auf 17 mg K/100 g Boden. Durch eine K-Düngung wurde der Ertrag von Weizen um 1 % (60 kg K<sub>2</sub>O) und von Zuckerrüben um 3 % (120 kg K<sub>2</sub>O/ha) erhöht. Die Gerstenerträge wurden durch K-Düngung scheinbar negativ beeinflusst, sie lagen niedriger als der Ertrag auf der K<sub>0</sub>-Parzelle.

Die auf Ackerland durch K-Düngung erreichten geringen Mehrerträge waren ökonomisch nicht relevant. Damit lassen sich die K-Gehalte des Bodens zu Versuchsbeginn als weitgehend optimale K-Gehalte des Bodens interpretieren.

Auf Grünland werden seit 1989 bis zur Gegenwart zwei Versuche durchgeführt. Durch K-Düngung (bis 360 kg K<sub>2</sub>O/ha) stiegen die K-Gehalte des Bodens von 7 auf 11 mg K<sub>2</sub>O bzw. 6 auf 9 mg K/100 g Boden an. Die K-Düngung führte bis zur höchsten K-Stufe von 360 kg K<sub>2</sub>O/ha zu TM-Mehrerträgen von 21 %.

**Fazit:**

Für eine wirtschaftlich effektive K-Düngung ist Gehaltsklasse C anzustreben, in der etwa nach K-Entzug/Abfuhr der Pflanzen zu düngen ist.

Gehaltsklasse C läßt sich für verschiedene Böden wie folgt angeben:

- leichte Sandböden : 6 - 12 mg K<sub>2</sub>O bzw. 5 - 10 mg K/100 g Boden
- mittlere Böden (IS, sU, ssL, lU, sL, uL): 10 - 18 mg K<sub>2</sub>O, bzw. 8 - 15 mg K/100 g Boden
- schwere Böden (uL, tL, T): 14 - 24 mg K<sub>2</sub>O bzw. 12 - 20 mg K/100 g Boden

**FRÜCHTENICHT** stellt Versuchsergebnisse zur K-Düngung von 30 Standorten auf Sand vor. Die Versuchsdauer betrug 1 - 15 Jahre. 161 Erntejahre liegen für den Zeitraum 1970 - 1994 vor.

**Ergebnisse:**

## 1. Einfluß der K-Düngung auf den K-Gehalt des Bodens

Mittels multipler Regression wurde gefunden, daß zur Erhöhung des K-Gehaltes um 1 mg  $K_2O/100$  g Boden (DL-Methode) sehr unterschiedliche K-Mengen erforderlich sind. Sie betragen in Abhängigkeit vom K-Gehalt des Bodens und der Bodenart 80 - 200 kg  $K_2O/ha$ .

## 2. Einfluß des K-Gehaltes im Boden auf die ökonomisch optimale K-Gabe

Unter Einbeziehung des Preises von 23.-- bis 30.-- DM/dt GE und der Kosten für 100 kg  $K_2O$  von 55.-- DM wurde anhand von multiplen Regressionsgleichungen optimale  $K_2O$ -Gaben ermittelt.

Die optimalen K-Düngergaben nahmen mit zunehmendem K-Gehalt im Boden ab. Bei Blattfrüchten liegt das "Optimum" höher als bei Getreide.

Bei einer  $K_2O$ -Düngung von 50 - 80 kg/ha erwiesen sich für Getreide auf Sandboden 6 - 7 mg  $K_2O$  bzw. 5 - 6 mg K/100 g Boden als optimaler K-Gehalt; für Blattfrüchte ergaben sich 90 - 140 kg  $K_2O/ha$  bei 8 - 10 mg  $K_2O$  bzw. 7 - 8 mg K/100 g Boden. Die genannten optimalen  $K_2O$ -Düngergaben lagen sowohl bei Getreide als auch bei Blattfrüchten erheblich unter dem K-Entzug (K-Abfuhr), dennoch blieb der K-Gehalt des Bodens erhalten. Es wird vermutet, daß der K-Entzug/Abfuhr allgemein zu hoch bewertet wird. Hinsichtlich einer möglichen K-Nachlieferung, auch auf Sandböden, sowie nivellierender Versuchsfehler (Verschleppung) wird Forschungsbedarf gesehen.

**Fazit:**

Basierend auf Versuchsergebnissen wurden die K-Richtwerte und K-Düngungsempfehlungen im Bereich der LK Weser-Ems vor einigen Jahren herabgesetzt. Die Richtwerte für die K-Gehaltsklasse C nach DL-Methode betragen:

- leichte Böden: 6 - 15 mg  $K_2O$  bzw. 5 - 12 mg K/100 g Boden
- mittlere Böden: 12 - 20 mg  $K_2O$  bzw. 10 - 17 mg K/100 g Boden
- schwere Böden: 14 - 28 mg  $K_2O$  bzw. 12 - 23 mg K/100 g Boden

**HEGE** berichtet über Durchführung und Auswertung von 13 K-Dauerdüngungsversuchen in Bayern. Die Versuche werden seit 1974 auf unterschiedlichen Standorten (tonarme Sandböden bis tonige Lehmböden) in einer meist dreifeldrigen Fruchtfolge durchgeführt. Bei einer gesteigerten jährlichen K-Düngung bis zu 300 kg  $K_2O/ha$  wurden standortabhängig mittlere Mehrerträge gegenüber  $K_0$  bis zu rund 9 GE/ha erzielt.

Zur Auffindung von Richtwerten für die K-Gehaltsklasse C wurde das Datenmaterial nach Bodenarten und Fruchtarten gruppiert. Mit Hilfe der errechneten Regressionslinien unter Berücksichtigung der Dünge- und Ausbringkosten wurden Grenzwerte ermittelt. Unter Berücksichtigung der Nährstoffkosten von 0,60 DM/kg  $K_2O$ , der Ausbringkosten von 20.-- DM/ha und der Produktkosten von 25.-- bzw. 30.-- DM/GE war unter Einbeziehung aller Einzelergebnisse eine jährliche K-Düngung in Höhe von 100 kg  $K_2O/ha$  gegenüber ohne K lediglich unterhalb von 8 bzw. 10 mg  $K_2O$ , entsprechend 7 - 8 mg K/100 g Boden rentabel; unterhalb von 5 bzw. 6 mg  $K_2O$ , entsprechend 4 - 5 mg K/100 g Boden waren 200 kg  $K_2O/ha$  lohnend. Bei Blattfrüchten (Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben) war der Mehrertrag und damit der errechnete "K-Grenzwert" des Bodens wesentlich höher als bei Getreide, wobei der Produktpreis einen wesentlichen Einfluß auf den ökonomischen Grenzwert hat.

Die K-Düngewirkung war in Abhängigkeit von der K-Versorgung auf Böden mit der Bodenart sL - tL geringfügig höher als auf den leichten Böden (S, IS). Für schwere Böden (Bodenart tL - T) kann aufgrund des zu geringen Datenmaterials keine Aussage gemacht werden.

Der K-Gehalt im Boden nahm um 1 mg/100 g Boden ab, wenn ein Defizit im K-Saldo von rund 250 kg/ha gegeben war. Der K-Gehalt im Boden nahm um 1 mg/100 g Boden zu, wenn ein Überhang im K-Saldo von rund 190 kg/ha vorlag.

#### **Fazit:**

Eine K-Düngung in Höhe von 100 kg K<sub>2</sub>O/ha (entspricht etwa 2/3 der K-Abfuhr) war im Mittel (Orte, Jahre, Fruchtarten) nur bei einer K-Versorgung von < 10 mg K<sub>2</sub>O bzw. 8 mg K/100 g Boden lohnend. Bei Getreide war keine K-Düngewirkung festzustellen.

Eine Düngung in Höhe der vollständigen K-Abfuhr im Mittel über die Fruchtfolge führte erst bei einer K-Versorgung von < 5 mg K<sub>2</sub>O bzw. 4 mg K/100 g Boden zu ausreichenden Mehrerträgen.

Böden mit Tongehalten von 12 - 25 % (sandiger Lehm bis schwach toniger Lehm) benötigen etwas höhere K-Gehalte im Boden als leichte Böden (Sand, schwach lehmiger Sand).

Als Folgerung aus den Versuchsergebnissen liegt die K-Gehaltsklasse C in Abhängigkeit von der Bodenart auf leichten Böden (S, l'S) bei 8 - 15, auf mittleren Böden (lS - t'L), bei 10 - 20 und auf schweren Böden (tL - T) bei 15 - 25 mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden bzw. auf leichten Böden bei 7 - 12, auf mittleren Böden bei 8 - 17 und auf schweren Böden bei 12 - 21 mg K/100 g Boden.

**KERSCHBERGER und SCHRÖTER** berichten über die Ergebnisse von 63 K-Dauerdüngungsversuchen auf Ackerflächen (AF) und 53 Versuchen auf Grünland (GL) in Ostdeutschland. Die Versuche liefen ab Mitte der fünfziger Jahre in verschiedenen Versuchsserien mit unterschiedlicher Laufzeit.

Gegenwärtig werden noch 15 Dauerversuche zur genannten Fragestellung durchgeführt.

Es wird eine Auswertungsmethode zur Auffindung von Richtwerten für K-Gehaltsklassen vorgestellt. Der ökonomisch effektive K-Düngereinsatz wurde abgeschätzt.

Nach diesem Auswertungsschritt erfolgte die Eingruppierung der Mehrerträge durch K-Düngung aus allen Versuchsernten (rund 900 auf AF und 400 auf GL) nach den ermittelten K-Gehaltsklassen. Die Mehrerträge durch K-Düngung sind in Gehaltsklasse A meist sehr hoch und nehmen mit zunehmendem K-Gehalt des Bodens ab.

#### **Fazit:**

Die Mehrerträge in K-Gehaltsklasse C betragen auf der AF bis zu 7 %, auf dem GL bis zu 10 % bei einer K-Düngung nach K-Abfuhr/K-Entzug. Die Effektivität der K-Düngung ist dabei noch gegeben. In der Gehaltsklasse D dagegen nicht mehr. Die höchsten Mehrerträge durch K-Düngung werden bei Hackfrüchten (Kartoffeln, Rüben, Mais) erzielt, gefolgt von Wintergerste und Hafer.

Zur Anreicherung des K-Gehaltes im Boden um 1 mg K/100 g Boden werden rund 50 - 150 kg K/ha benötigt (bei GL 40 - 60 kg K/ha), wobei diese Richtzahlen in Abhängigkeit von Bodenart und geologischer Herkunft des Bodens erheblich schwanken.

Die ermittelte K-Gehaltsklasse C auf Ackerland liegt bodenartenabhängig bei folgenden Werten (mgK/100g Boden):

	DL-Methode	CAL-Methode
- leichte Böden:	7 - 11	7 - 11
- mittlere Böden:	9 - 13	9 - 14
- schwere Böden:	11 - 22	11 - 23

Diese Richtwerte sind für Grünland auf leichten und mittleren Böden vergleichbar hoch, auf schweren Böden etwas niedriger.

**MOKRY** berichtet über 6 K-Düngungsversuche aus Baden-Württemberg, die in den Jahren 1984 - 1993 auf Ackerlandstandorten durchgeführt wurden. Bei den Versuchsböden handelt es sich vorwiegend um Lehm Böden mit einer Ackerzahl von 42 - 92. Die K-Düngung lag jährlich zwischen 100 und 300 kg  $K_2O$ /ha.

Bei unterlassener K-Düngung geht der K-Gehalt des Bodens zurück. Eine Kalidüngung führte zu geringen Mehrerträgen, die allerdings im Mittel (über Orte und Jahre) nicht wirtschaftlich war. Mit einer K-Düngung von 100 kg  $K_2O$ /ha konnte der K-Gehalt im Boden gehalten werden.

**Fazit:**

Das Versuchsmaterial (Ausgangsversorgung 19 - 41 mg  $K_2O$  bzw. 16 - 34 mg K/100 g Boden) läßt die Ableitung eines K-Gehaltsbereiches für Gehaltsklasse C nur eingeschränkt zu, da die Ausgangsversorgung mit 19 - 41 mg  $K_2O$ /100 g Boden sehr hoch lag. Die gesuchten Richtwerte für die K-Gehaltsklasse C (K-Düngung nach K-Abfuhr/bzw. K-Entzug) könnte aus dem vorliegenden Versuchsdaten mit 10 - 22 mg  $K_2O$  bzw. 8 - 18 mg K/100 g Boden abgeschätzt werden.

**SCHAUMBERG und HEYN** berichten aus Hessen zunächst über Ergebnisse von K-Düngungsversuchen früherer Jahre. Auf sehr niedrig mit Kalium versorgten Böden im Rhein-graben führte die K-Düngung zu hoch signifikanten Mehrerträgen. In anderen Versuchen auf unterschiedlich mit Kalium versorgten Böden bewirkte die K-Düngung mehr oder weniger Mehrerträge, die allerdings nur bei K-Gehalten des Bodens von < 10 mg  $K_2O$  bzw. 8 mg K/100 g Boden ökonomisch gerechtfertigt waren.

Mitte der 80er Jahre wurde eine neue Versuchsreihe mit 4 Dauerversuchen auf Löß-Böden begonnen (Versuche laufen weiter). Die  $K_2O$ -Gehalte des Bodens lagen zu Versuchsbeginn zwischen 15 und 25 mg/100 g Boden bzw. zwischen 12 und 21 mg K/100 g Boden (CAL-Methode). Dabei führte unterlassene K-Düngung in 2 Versuchen zu einer Abnahme des K-Gehaltes im Boden. Eine deutliche und ökonomisch rentable K-Düngewirkung im Mittel aller Jahre trat in keinem Versuch ein. Lediglich Zuckerrüben zeigten Mehrerträge von ca. 10 %. Eine eindeutige Differenzierung zwischen 2 Versuchen in Ackerbaubetrieben (Verbleib der Erntereste) und den zwei anderen Versuchen in Gemischt-Betrieben (geringe Viehhaltung) war nicht festzustellen.

**Fazit:**

Unter den gegebenen K-Gehalten des Bodens und einer Fruchtfolge von zweimal Getreide und einmal Zuckerrüben war eine K-Düngung von jährlich 100 kg/ha richtig.

Als anzustrebend (Gehaltsklasse C) wird ein K-Gehalt von 15 - 20 mg  $K_2O$  bzw. 12 - 17 mg K/100 g Boden angesehen. Dieses K-Gehaltsniveau bleibt bei der jährlichen K-Zufuhr von rund 100 kg/ha weitgehend erhalten.

**SPIELHAUS** berichtet von insgesamt sechs 5- bis 7jährigen K-Dauerdüngungsversuchen in Westfalen-Lippe. Es handelt sich um 2 leichte, 2 mittlere und 2 schwere Böden. Die Böden wiesen  $K_2O$ -Gehalte zwischen 12 und 24 mg/100 g Boden bzw. zwischen 10 und 20 mg K/100 g Boden (CAL-Methode) auf. Die Versuche erhielten keine organische Düngung, Erntereste blieben generell auf dem Feld.

Auf 2 Standorten mit leichtem Bodensubstrat fiel der K-Gehalt des Bodens bei langjährig unterlassener K-Düngung in Abbenburg um 6 mg K<sub>2</sub>O bzw. 5 mg K/100 g Boden und in Drensteinfurt um 14 mg K<sub>2</sub>O bzw. 12 mg K/100 g Boden ab. Noch bei hoher K-Düngung war ein Rückgang des K-Gehaltes im Boden in Drensteinfurt festzustellen.

Die K-Gehalte der anderen Versuchsböden lagen zu Versuchsbeginn in einem Bereich, in dem nur eine geringe Ertragswirkung durch K-Düngung erzielt wurde.

Der Mehrertrag lag im Mittel der 37 Getreideemten bei 3 %. Ertragswirkungen bei 5 Blattfruchtarten blieben gänzlich aus.

#### **Fazit:**

Unterhalb von 18 mg K<sub>2</sub>O bzw. 15 mg K/100 g Boden traten vereinzelt Mehrerträge durch K-Düngung auf. Eine K-Düngung in Höhe der K-Abfuhr/K-Entzug war zum Erhalt des K-Gehaltsniveaus im Boden ausreichend.

Die K-Gehaltsklasse C wird auf Grundlage der Feldversuchsergebnisse (auch anderer Versuche) für leichte Böden mit 6 - 12, für mittlere Böden mit 12 - 18 und für schwere Böden mit 18 - 24 mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden entsprechend für leichte Böden mit 5 - 10, für mittlere Böden 10 - 15 und für schwere Böden 15 - 20 mg K/100 g Boden festgelegt.

#### **Schlussfolgerungen**

In 9 Beiträgen wird über die Ergebnisse von insgesamt 194 Dauerversuchen zur K-Düngung berichtet. Die Versuche liegen verstreut über das gesamte Bundesgebiet und dienen vorrangig der Fragestellung, welcher K-Gehalt des Bodens der K-Gehaltsklasse C zuzuordnen ist.

Im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen ist folgendes festzustellen:

- Nur bei verhältnismäßig niedrigen K-Gehalten des Bodens werden deutliche Mehrerträge durch K-Düngung erzielt, die allerdings fast ausschließlich bei Hack- bzw. Blattfrüchten auftreten. Lediglich SPIELHAUS berichtet über ausbleibende Mehrerträge bei Blattfrüchten und dem gegenüber überdeutlichen Ertragszuwachs bei Getreidekulturen.
- Nicht in allen Beiträgen ist das Vorgehen für die Ableitung der Gehaltsklasse C eindeutig zu ersehen bzw. nachzuvollziehen. Dennoch wurde versucht, aus jedem Beitrag den K-Gehaltsbereich für die Gehaltsklasse C zu entnehmen. Das erfolgte für die allgemein zugrunde gelegte Standortklassifikation in leichte, mittlere und schwere Böden. Die Ergebnisse dieses Vorgehens sind in der Tabelle 1 enthalten. Der am Tabellenende angegebene mittlere Wertebereich sollte als Rahmen zur Einordnung der in jeder Länder-LUFA angewandten Gehaltsklasse C dienen.
- Ergebnisse auf Grünlandstandorten liegen nur in zwei Beiträgen vor (v. FISCHER u. APEL, KERSCHBERGER u. SCHRÖTER). Die Versuchsergebnisse verdeutlichen, daß in etwa dieselben Richtwerte für die Gehaltsklasse C, die für das Ackerland empfohlen werden, auch für das Grünland gelten können.
- Bei unterlassener K-Düngung wird allgemein ein erheblicher Rückgang des K-Gehaltes im Boden festgestellt, der bei höheren K-Ausgangsggehalten zu Versuchsbeginn wesentlich deutlicher ausfällt als bei niedrigen K-Gehalten. In dem von den Autoren der 9 Beiträge jeweils benannten K-Gehaltsbereich für Gehaltsklasse C reicht zur Erhaltung derselben oft eine K-Düngung unterhalb des K-Entzuges/K-Abfuhr der Pflanzen aus.
- Ist für Böden mit K-Gehaltsklasse C die K-Düngung höher als die K-Abfuhr, steigt der K-Gehalt des Bodens meist an. Allerdings gilt das fast ausschließlich für gute Böden. Auf Sandböden trifft das weit weniger zu. Zur Erhaltung der K-Gehaltsklasse C ist hier eine höhere K-Zufuhr im Vergleich zur K-Abfuhr erforderlich (BAUMGÄRTEL).



