

Düngungsversuche zu *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria mutica* und *Pueraria phaseoloides* auf „upland“ im District Dacca / Bangladesh

Von G. VOIGTLÄNDER und H. KRISCHKE*)

Eingegangen am 28. 10. 1983

1 Einleitung

Bangladesh hatte 1970 68 Mill., 1981 90,6 Mill. Einwohner. Bei gleichbleibender Wachstumsrate wird sich diese Zahl innerhalb von 20 Jahren nahezu verdoppelt haben. Mit dem Wachstum der Bevölkerung ist unter den gegebenen Verhältnissen eine Ausweitung des Reisanbaues zu Lasten der Futterflächen zwangsläufig verbunden.

So ist es nicht verwunderlich, daß die von 1976 bis 1980 von 26 Mill. auf 33 Mill. angewachsene Rinderpopulation fast ausschließlich von landwirtschaftlichen Abfällen (Reisstroh, Zuckerrohrspitzen, Erdnuß- und Juteblätter) oder von einheimischen Gräsern und Unkräutern auf nicht bestellten Feldern, Rainen und Wegrändern existieren muß. Lediglich in der Trockenzeit wird ein gewisser Futterbau mit Zwischenfrüchten betrieben, hauptsächlich mit Körnerleguminosen, von denen aber bei guter Entwicklung doch nur das Stroh für die Rinder übrigbleibt, weil die Körner als Eiweißquelle für die menschliche Ernährung dringend gebraucht werden.

Die Folge des chronischen Futtermangels sind degenerierte, weil ständig unterernährte Rinder. Lebendgewichte von 200 kg oder mehr werden nur noch selten erreicht. Die Zahl der Rinder wurde in der Vergangenheit hauptsächlich deswegen erhöht, weil man die mit der Ausweitung und Intensivierung des Reisanbaues immer knapper werdende Zugkraft ergänzen wollte; damit wurde aber die Futtersituation nur noch schlimmer.

Zu allem Überfluß hatte sich die bengalische Regierung auf ein großzügiges KB-Programm festgelegt, um das einheimische Rind durch Einkreuzung leistungsfähiger ausländischer Rassen zu verbessern. Dabei wurde offenbar nicht bedacht, daß damit der Futtermangel nach Menge und Güte weiter verschärft werden könnte.

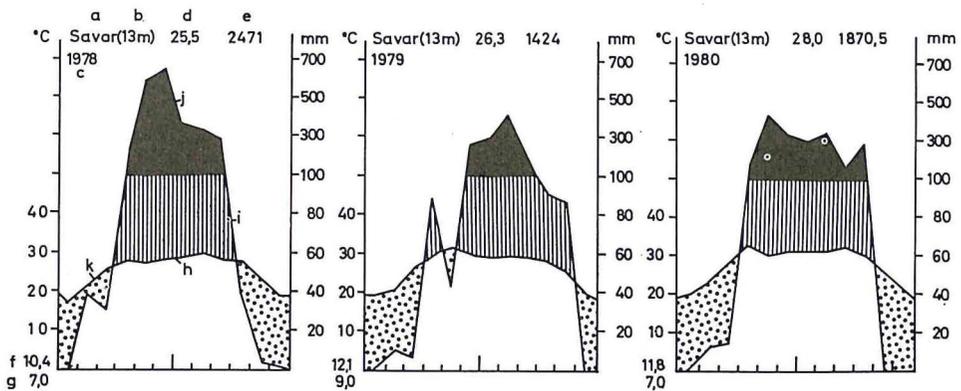
In dieser Notlage wurde 1978 im deutsch-bengalischen Entwicklungsprojekt „Central Cattle Breeding Station Savar“ ein Programm zur Förderung des Futterbaues begonnen. Das erste Ziel dieses Programmes war es, Erträge und Qualität von tropischen Gräsern und Leguminosen auf dem sog. „upland“ zu verbessern, das für den Reisanbau nicht so gut geeignet ist wie das im Sommerhalbjahr mehr oder weniger unter dem Flutspiegel liegende „lowland“.

2 Material und Methoden

2.1 Klima und Witterung

In Bangladesh herrscht ein typisches Monsunklima vor mit hohen Niederschlägen und tropisch-humiden Bedingungen von April bis Oktober und einer ausgeprägten Trockenzeit von November bis März. In Abbildung 1 sind die Witterungsdaten für die Versuchsjahre 1978, 1979 und 1980 nach WALTER (1971) dargestellt. Aus den Graphiken geht hervor,

*) Prof. Dr. G. VOIGTLÄNDER und Dr. H. KRISCHKE, Lehrstuhl für Grünland und Futterbau der TU München, D-8050 Freising-Weihenstephan



Abszisse: Monate Januar – Dezember

Ordinate: Ein Teilstrich = 10°C bzw. 20 mm Ns, ab 100 mm Ns ein Teilstrich = 200 mm

- a) Stationsname
- b) Höhenlage
- c) Beobachtungsjahr
- d) mittlere Jahrestemperatur (°C)
- e) Jahresniederschläge (mm)
- f) mittleres Tagesminimum des kältesten Monats
- g) tiefste gemessene Temperatur
- h) Kurve der Monatsmitteltemperatur
- i) Kurve der mittleren monatlichen Niederschläge
- j) Monate mit über 100 mm Niederschlag
- k) Dürrezeit

Abb. 1

*Klimadiagramme vom Versuchsstandort aus drei Versuchsjahren
(nach WALTER, 1971)*

*Climatological diagram of the experimental site for three test years
(according to WALTER, 1971)*

daß bei gleichem Witterungscharakter von Jahr zu Jahr größere Unterschiede in den Niederschlagsmengen und geringere in der Dauer der Dürrezeit auftreten können.

2.2 Bodenverhältnisse

Die „upland“-Böden sind aus alten Sedimenten entstanden. Aufgeworfen durch Erdbeben, bilden sie durchbrochene Terrassen, deren Oberfläche etwa 5–6 m über dem „low-

Tab. 1

*Ergebnisse der Bodenuntersuchung vom Versuchsstandort (0–10 cm Bodentiefe) vor Versuchsbeginn
Results of soil analyses of the experimental site (0–10 cm soil depth) before the start of the trial*

Probe Nr.	pH in CaCl ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅	Mg in CaCl ₂	Fe	Al	Al NH ₄ Cl-löslich
		mg/100 g (CAL)			mg/100 g Boden		
1	4,8	11	2	11	201	306	1,2
2	4,9	8	2	11	191	364	1,0
3	5,0	9	4	11	156	250	0,6
4	4,9	11	3	11	222	350	0,6
5	5,0	7	1	11	197	328	0,5

land" liegt. Die Böden können den Braunerden, nach dem international verbreiteten US-System den Inceptisolen, z. T. auch den Ultisolen, zugeordnet werden.

Der Boden der Versuchsfläche enthielt in der Schicht von 0 bis 10 cm im Mittel 22,2 % Ton, 64 % Schluff, 12,4 % Sand und 1,4 % organische Substanz. In dieser Schicht überwogen die stark verwitterten Tonminerale Kaolinit und Halloysit.

Die Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchung vor Versuchsbeginn enthält Tabelle 1. Danach lagen die pH-Werte im Übergangsbereich von mäßig sauer nach stark sauer. Die mit der CAL-Methode ermittelten K_2O - und P_2O_5 -Gehalte waren niedrig, die Mg-Werte entsprachen der mittleren Gehaltsstufe. Die hohen Gehalte an oxalatlöslichem Eisen und Aluminium (aktive Fe- und Al-Oxide) weisen auf P-Sorption hin. Das austauschbare bzw. leicht pflanzenverfügbare Aluminium (NH_4Cl -löslich) zeigt dem pH-Wert entsprechend niedrige Werte an.

2.3 Versuchsanlage

2.3.1 Art der Düngungsversuche

- N-Steigerung zu Pennisetum purpureum und Brachiaria mutica
- NP-Steigerung zu Pennisetum purpureum
- NK-Steigerung mit Mg- und Na-Ergänzung zu Pennisetum purpureum
- P- und Ca-Steigerung zu Pennisetum purpureum und Pueraria phaseoloides (C 6)
- P-, Ca- und K-Steigerung zu Pennisetum purpureum (C 7)

2.3.2 Allgemeine Angaben

Versuchsdauer: 3 Jahre	Wiederholungen: 4		
Parzellengröße: 20 m ²	Erntefläche: 12 m ²		
Zahl der Aufwüchse ¹⁾	1978	1979	1980
Brachiaria mutica ²⁾	5	7	7
Pennisetum purpureum	5	7	6
Pueraria phaseoloides	2	3	3

¹⁾ Mittlere Aufwuchsdauer der Gräser: 4–5 Wochen

²⁾ Nur im N-Steigerungsversuch

2.3.3 Angaben zur Düngung

- N-Steigerung: 0, 200, 400, 600 kg N/ha (1978),
0, 250, 500, 750 kg N/ha (1979, 1980);
Grunddüngung: 400 kg P_2O_5 , 750 kg K_2O /ha
- NP-Steigerung: 400, 600 kg N/ha (1978),
500, 750 kg N/ha (1979, 1980);
0, 150, 300 kg P_2O_5 /ha;
Grunddüngung: 750 kg K_2O /ha
- NK-Steigerung: 400, 600 kg N/ha (1978),
500, 750 kg N/ha (1979, 1980);
0, 300, 600 kg K_2O /ha; 200 kg Mg, 190 kg Na/ha;
Grunddüngung: 400 kg P_2O_5 /ha
- P- und Ca-Steigerung: 0, 100, 200, 300 kg P_2O_5 /ha;
0, 2000 kg $CaCO_3$ /ha;
Grunddüngung: 750 kg K_2O /ha, zu Pennisetum P. Ø 475 kg N/ha

- P-, Ca- und K-Steigerung: 0, 100, 200, 300 kg P₂O₅/ha;
0, 2000 kg CaCO₃/ha; 0, 750 kg K₂O/ha;
Grunddüngung: 500 kg N/ha

Angewandte Düngemittel: Harnstoff, Triplesuperphosphat, Kaliumchlorid 50 %, Kohlensäurer Kalk, Kieserit, Viehsalz

2.3.4 Qualitätsuntersuchungen

Das Pflanzenmaterial wurde 1978 und 1979 auf folgende Inhaltsstoffe untersucht: Rohprotein, Rohfaser, Mengenelemente.

3 Ergebnisse

3.1 N-Steigerungsversuch

Wie Tabelle 2 erkennen läßt, wurden im N-Steigerungsversuch mit beiden Grasarten sehr hohe Erträge erzielt; dabei war Pennisetum purpureum stets deutlich überlegen. Die meisten Ertragsdifferenzen waren signifikant, überwiegend hochsignifikant. Allerdings war das Ertragsmaximum in den meisten Fällen bereits in der Stufe N₂ erreicht bzw. in N₃ überschritten. Nur 1980 wurde mit Pennisetum purpureum in N₃ ein hochsignifikanter Mehrertrag gegenüber N₂ erzielt.

In den hier nicht aufgeführten Rohproteingehalten unterschieden sich die beiden Grasarten wenig. In den Stufen N₀ und N₁ wies Pennisetum purpureum etwas höhere Gehalte auf, in N₂ und N₃ Brachiaria mutica. Erwartungsgemäß wurden die Rohproteingehalte durch N-Düngung in N₂ und N₃ stärker erhöht als in N₁.

Die Rohproteinerträge wurden maximal auf 35 dt bzw. 25 dt/ha gesteigert. Schätzte man die Rohproteinerträge 1980 mit den mittleren Gehalten der Vorjahre, dann ergaben sich Höchsterträge von 40 dt bzw. 32 dt Rohprotein/ha.

Tab. 2
TM- und Rohproteinerträge im N-Steigerungsversuch
DM and crude protein yields in the experiment with increasing rates of N application

Variante	Pennisetum purpureum			Variante	Brachiaria mutica		
	1978	1979	1980		1978	1979	1980
Tm-Ertrag (dt/ha)							
N ₀	133	190	115	N ₀	113	126	103
N ₁	190 ^c	238 ^c	195 ^c	N ₁	147 ^b	160 ^b	193 ^c
N ₂	221 ^b	291 ^c	267 ^c	N ₂	176 ^a	200 ^c	254 ^c
N ₃	230	290	323 ^b	N ₃	182	204	247
Signifikanztest von N-Stufe zu N-Stufe: a = P ≤ 0,05; b = P ≤ 0,01; c = P ≤ 0,001							
RP-Ertrag (dt/ha)							
N ₀	11,8	16,9	10,7	N ₀	10,6	10,2	9,0
N ₁	16,8	22,9	18,9	N ₁	14,7	14,0	18,5
N ₂	22,8	32,2	30,2	N ₂	20,6	22,9	29,9
N ₃	26,4	35,4	40,0	N ₃	24,9	25,5	31,8

3.2 NP-Steigerungsversuch

Die P₂O₅-Düngung führte nicht zu signifikanten Ertragssteigerungen (Tab. 3). Allerdings lagen die Ertragsunterschiede von 23 bis 25 dt TM/ha zwischen P₀ und P₂ nur

knapp unter der Signifikanzschwelle. 1980 ergaben sich signifikante Ertragsunterschiede zwischen den beiden N-Stufen, ähnlich wie im N-Steigerungsversuch zwischen N₂ und N₃.

Die P₂O₅-Düngung mit 150 bzw. 300 kg/ha steigerte im Mittel von 2 Versuchsjahren und 2 N-Stufen den Entzug von 171 kg P₂O₅/ha ohne P-Düngung nur um 13 bzw. 38 kg P₂O₅/ha und Jahr.

Die P-Gehalte in den Pflanzen nahmen mit steigenden P-Gaben zu. Sie betragen in den drei P-Stufen im Mittel 0,31 %, 0,34 % bzw. 0,37 % P in der TS und lagen damit auch ohne P-Düngung auf einem für das Pflanzenwachstum gut ausreichenden Niveau. Vergleicht man P-Gehalte und -Entzüge mit den Ergebnissen der Bodenuntersuchung in Tabelle 1, dann zeigt sich hier schon eindeutig, daß die CAL-Methode den Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphat in den Versuchsböden nicht richtig erkennen läßt.

Tab. 3
TM-Erträge und P₂O₅-Entzüge im NP-Steigerungsversuch mit Pennisetum purpureum
DM yields and P₂O₅ uptake in the experiment with increasing rates of NP for Pennisetum purpureum

Variante	TM-Ertrag (dt/ha)			P ₂ O ₅ -Entzug (kg/ha)	
	1978	1979	1980	1978	1979
N ₁ P ₀	214	270	245 ^b	177	182
P ₁	211	265	237 ^c	166	194
P ₂	203	265	269 ^a	192	214
N ₂ P ₀	217	264	271	167	158
P ₁	210	276	285	187	192
P ₂	224	287	287	206	223

Signifikanztest für die Ertragsdifferenz N₁ - N₂ in den 3 P-Stufen:

a = ≤ 0,05; b = P ≤ 0,01; c = P ≤ 0,001

Alle übrigen Wirkungen (N, P, N × P) waren nicht signifikant

3.3 NK-Steigerungsversuch

Die K₂O-Düngung brachte nur in der Stufe N₂ und erst ab 1979 hochsignifikante Mehrerträge in K₂ gegenüber K₀. 1980 waren auch die N-Wirkungen und die NK-Interaktionen signifikant. Die Mg- und Na-Zusatzdüngung steigerte die Erträge gegenüber N₂K₂ in drei bzw. zwei Jahren ganz erheblich.

Die K₂O-Entzüge betragen schon in der Variante K₀ 859 kg K₂O/ha (Mittel aus 1978 und 1979 bzw. N₁ und N₂). Durch eine Düngung von 300 und 600 kg K₂O/ha wurden demgegenüber nur noch Mehrentzüge von 102 bzw. 224 kg K₂O/ha und Jahr bewirkt. Mit Mg- bzw. Na-Zusatzdüngung wurden dagegen 1463 und 1506 kg K₂O/ha entzogen.

Die K-Gehalte in den Pflanzen wurden durch die K-Düngung und darüber hinaus noch durch die Mg- und Na-Düngung deutlich gesteigert bis auf Höchstwerte von 6 % K in der TS (1978). Andererseits waren die Unterschiede von Aufwuchs zu Aufwuchs so groß, daß z.B. 1979 im 1. und 4. Aufwuchs in der Variante K₁ nur 2 % K in der TS gefunden wurden. Im Mittel der Versuchsjahre und N-Stufen betragen die K-Gehalte in den Varianten K₀, K₁ und K₂ 3,15 %, 3,45 % bzw. 3,71 % K in der TS, mit Mg- und Na-Düngung 4,5 bzw. 4,65 % K in der TS.

Tab. 4
*TM-Erträge und K₂O-Entzüge im NK-Steigerungsversuch
mit Pennisetum purpureum*
*DM yields and K₂O uptake in the experiment with increasing rates
of NK for Pennisetum purpureum*

Variante	TM-Ertrag (dt/ha)			K ₂ O-Entzug (kg/ha)	
	1978	1979	1980	1978	1979
N ₁ K ₀	203	276	246	922	806
K ₁	202	283	b 249	974	945
K ₂	207	284	b 248	1054	1056
N ₂ K ₀	207	275 ^b	242 ^{ab}	955	752
K ₁	216	286	266	977	947
K ₂	225	303	276	1060	1161
N ₂ K ₂ Mg	258	324	314	1602	1324
N ₂ K ₂ Na	259	287	300	1719	1294

1978: Keine signifikanten Wirkungen

1979: Nur K₂ - K₀ signifikant (b)

1980: Nur N₂ - N₁ (b), K₂ - K₀ (b); K₁ - K₀ (a) und N × K (a) signifikant

a = P ≤ 0,05; b = P ≤ 0,01; c = P ≤ 0,001

Die Mg-Gehalte lagen im Bereich von 0,27 bis 0,37 % in der TS; sie wurden durch K-, vor allem aber durch Mg- und Na-Düngung gesenkt. Die Na-Gehalte wurden durch Mg- und Na-Düngung eher erhöht, erreichten jedoch in *Pennisetum purpureum* nur etwa 0,01 % in der TS.

3.4 P-, Ca- und K-Steigerungsversuche

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse für *Pennisetum purpureum* enthalten. Im Versuch C 6 verursachte die Kalkdüngung in allen drei Jahren starke Ertragsdepressionen, während die P-Düngung nur 1978 in Ca₀P₂, Ca₁P₁, Ca₁P₂ und 1979 in Ca₁P₃ einen positiven Einfluß auf die Erträge erkennen ließ. Da auch Bodenunterschiede als Ursache für diese kaum erklärbaren Ergebnisse vermutet wurden, wurde der Versuch 1979 auf einer anderen Fläche neu angelegt (C 7).

Im Versuch C 7 kam 1979 ebenfalls keine eindeutige Kalkwirkung zustande, selbst wenn man den unter ungewöhnlicher Trockenheit herangewachsenen ersten Schnitt nicht in den Ertrag einbezieht. Lediglich 1980 kann man von einer Kalkwirkung sprechen, besonders in der Stufe P₃. Die P-Wirkung trat in beiden Jahren nur in der Stufe P₃ deutlich hervor (Ausnahme Ca₀K₁P₃ 1980). Eine K-Wirkung ist sowohl in den gekalkten als auch in den ungekalkten Varianten angedeutet.

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse für *Pueraria phaseoloides*. Diese Art reagierte weder auf die Ca- noch auf die P-Düngung. Nur in Ca₁P₁ sind gegenüber Ca₁P₀ Tendenzen einer P-Wirkung sichtbar. P₂ und P₃ bewirkten eher Ertragsdepressionen. Die Ursachen für den Ertragsanstieg aller Varianten im dritten Versuchsjahr liegen wahrscheinlich in einer besonders günstigen Niederschlagsverteilung und in der auffallend guten Knöllchenausbildung, die 1980 zu einer verbesserten N-Versorgung geführt haben könnte.

Die unbefriedigenden Ergebnisse der Feldversuche veranlaßten uns, die Frage der Kalkwirkung in einem Gefäßversuch mit *Sorghum bicolor* noch einmal aufzugreifen. Der Ver-

Tab. 5

TM-Erträge (dt/ha) von Pennisetum purpureum in Abhängigkeit von P- und Ca-Düngung
DM yields (dt/ha) of Pennisetum purpureum as affected by P and Ca fertilization

Jahr Variante	Versuch C 6			Jahr Variante	Versuch C 7		1980
	1978	1979	1980		1979 mit erstem Aufwuchs	ohne l. Aufwuchs	
Ca ₀ P ₀	185	340	291	Ca ₀ K ₀ P ₀	257	159	277
P ₁	204	342	296	K ₁ P ₀	260	170	291
P ₂	216	348	304	P ₁	273	162	293
P ₃	209	311	306	P ₂	261	165	310
				P ₃	302	190	305
\bar{x}	204	336	299	\bar{x}	271	169	295
Ca ₁ P ₀	144	287	265	Ca ₁ K ₀ P ₀	232	148	312
P ₁	165	288	251	K ₁ P ₀	252	185	327
P ₂	180	309	264	P ₁	252	181	305
P ₃	177	325	258	P ₂	237	170	318
				P ₃	275	200	389
\bar{x}	167	302	260	\bar{x}	250	177	330

Tab. 6

TM-Erträge (dt/ha) von Pueraria phaseoloides in Abhängigkeit von P- und Ca-Düngung (Versuch C 6)
DM yields (dt/ha) of Pueraria phaseoloides as affected by P and Ca fertilization (Experiment C 6)

Jahr Variante	1978	1979	1980
Ca ₀ P ₀	42,4	43,4	86,6
P ₁	40,1	43,4	81,7
P ₂	43,8	37,7	67,5
P ₃	41,2	37,0	76,5
\bar{x}	41,8	40,4	78,1
Ca ₁ P ₀	42,0	41,2	68,9
P ₁	43,4	45,9	71,4
P ₂	42,1	41,1	61,8
P ₃	36,4	41,0	67,6
\bar{x}	41,0	42,3	67,4

such wurde mit einem Boden des Versuchsstandorts im Gemisch mit Quarzsand (50 : 50) durchgeführt. Die relativen Erträge der Varianten:

$$\begin{aligned} \text{Ca}_1\text{P}_1 &= 100 & \text{Ca}_1\text{P}_0 &= 57 \\ \text{Ca}_0\text{P}_1 &= 115 & \text{Ca}_0\text{P}_0 &= 32 \end{aligned}$$

Es ergab sich eine signifikante Wechselwirkung zwischen Düngerarten und Dünungsstufen, d.h. die Kalkung beeinflusste den Ertrag in der Stufe P_1 negativ, in der Stufe P_0 positiv, während die P-Düngung in der Stufe Ca_0 einen wesentlich stärkeren Effekt hatte als in der Stufe Ca_1 . In der Stufe Ca_1P_0 könnte durch die Kalkung die P-Mobilität gegenüber Ca_0P_0 erhöht worden sein; dagegen ist in der Stufe Ca_1P_1 eine Bildung schwererlöslicher Ca-Phosphate im Vergleich zu Ca_0P_1 zu vermuten.

In einem weiteren Feldversuch wurden auch durch PK-Düngung keine signifikanten Mehrerträge von *Pueraria phaseoloides* erzielt. K-Düngung mit einem KCl-Dünger beeinflusste die Erträge sogar negativ. Der Höchstertag von 99,7 dt TM/ha wurde im dritten Versuchsjahr in der Variante P_0K_0 erzielt, der niedrigste mit 66,7 dt TM/ha in der Variante P_3K_3 .

4 Diskussion

4.1 N-Steigerungsversuch

Die Erträge der beiden Grasarten lagen auch im dritten Versuchsjahr noch über 100 dt TM/ha ohne jede N-Düngung. Der Boden am Versuchsstandort war zwar humusarm bis schwach humos; das enge C : N-Verhältnis von unter 10 deutet aber auf eine rasche Mineralisierung der organischen Substanz hin, so daß doch mit einer erheblichen N-Nachlieferung gerechnet werden kann. Diese Ansicht wird auch durch Arbeiten von ISHAQUE und CORNFIELD (1974) und CHOUDHURY und CORNFIELD (1978 und 1979) bestätigt.

Weiterhin können besonders in den Tropen freilebende Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Hefen) einen Beitrag bis 100 kg N/ha zur N-Anreicherung des Bodens leisten (AMBERGER, 1979). Eine besondere Form der symbiontischen N-Bindung wurde erst in jüngster Zeit bekannt. Danach können Gräser mit N versorgt werden durch Luftstickstoff bindende Bakterien, die an der Wurzeloberfläche von den KH-Ausscheidungen der Wurzeln, vom Luftstickstoff und in optimaler O_2 -Konzentration leben. Zu den Gräsern, die in einer derartigen Symbiose leben können, gehört *Pennisetum purpureum* (PURCHASE, 1978).

Die Nitratbildung dürfte auf den zur Verdichtung und unter den hohen Niederschlägen zur Staunässe neigenden Böden oft gehemmt sein. Nitrat Auswaschung ist auch deswegen weniger zu befürchten, weil die Schluff- und Tonanteile des Bodens sehr hoch sind und weil die Niederschläge nur während der Vegetationszeit bei hoher Substanzproduktion fallen. Andererseits kann es unter solchen Bedingungen durchaus zu einer N-Mineralisierung in Form einer anaeroben Ammonifizierung (AMBERGER, 1979) kommen.

Die Voraussetzungen für den Stickstoffhaushalt tropischer Böden können also recht günstig sein, so daß in Verbindung mit der hohen Photosyntheseleistung der C_4 -Pflanzen die hohen Erträge in den N_0 -Varianten erklärbar werden.

Bei der Beurteilung der N-Verwertung in Tabelle 7 ist zu berücksichtigen, daß 1978 die Bestände noch nicht voll entwickelt waren, daß 1979 Niederschlagsmenge und -verteilung weniger günstig ausfielen und daß erst 1980 gute Bedingungen vorherrschten. Die befriedigende bis gute Verwertung des gedüngten Stickstoffs 1980 hängt außerdem mit der Abnahme der N-Vorräte im Boden und der Pflanzenerträge in den N_0 -Varianten zusammen. Daß die N-Verwertung in der Stufe N_2 immer besser ist als in N_1 , ist eine auch von anderen beobachtete Erscheinung, die mit der höheren Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung erklärt werden kann. Erst wenn bei weiterer Erhöhung der N-Düngung das N-Angebot nicht mehr in Ertrag umgesetzt werden kann, geht die Verwertung zurück.

Die Leistung in kg TM je kg N betrug zwar 1978 und 1979 in N_1 und N_2 13,1 bis 26,5 kg TM, war aber erst 1980 mit 23,7 bis 35,3 als gut zu bezeichnen, entsprechen diese Daten doch erst 9,5 bzw. 14 KStE je kg N. Auch aus diesen Zahlen geht hervor, daß das

Tab. 7
Effizienz der mineralischen N-Düngung
Efficiency of mineral N application

N-Stufen	Verwertung des gedüngten Stickstoffs (%)		TM-Produktion je kg N-Mehraufwand (kg)	
	B.m.	P.p.	B.m.	P.p.
1978				
N ₀	—	—	—	—
N ₁	30,7	38,6	16,0	26,5
N ₂	37,7	41,7	13,9	14,6
N ₃	35,8	36,9	2,6	4,4
1979				
N ₀	—	—	—	—
N ₁	23,1	36,9	13,1	18,4
N ₂	38,9	46,8	15,2	20,1
N ₃	32,0	37,7	1,5	-0,2
1980				
N ₀	—	—	—	—
N ₁	59,5*	51,4*	35,3	31,3
N ₂	65,4*	61,0*	23,7	29,4
N ₃	47,6*	61,2*	-2,7	20,7

* mit Hilfe der mittleren RP-Gehalte der Vorjahre geschätzte Werte
 B.m. = *Brachiaria mutica*; P.p. = *Pennisetum purpureum*

Optimum der N-Düngung unter den gegebenen Verhältnissen bei diesen beiden Grasarten normalerweise mit 400–500 kg N (N₂) erreicht ist; *Pennisetum* war im TM- und Rohproteinertrag, aber auch in der N-Verwertung und in der Leistung je kg N überlegen.

Zur Leistung des Stickstoffs sei noch bemerkt, daß C₄-Pflanzen pro Einheit N eine höhere C-Assimilationsrate erreichen und damit wesentlich mehr TM/kg N produzieren als C₃-Pflanzen.

4.2 NP-Steigerungsversuch

Die CAL-Methode mit ihren sehr niedrigen Werten eignet sich in Anbetracht der hohen Erträge und P₂O₅-Entzüge in den P₀-Varianten offenbar wenig zur Erfassung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe im Boden; daher wurden die Proben des PK-Steigerungsversuchs zu *Pueraria phaseoloides* auch nach der Methode OLSEN et al. (1954) untersucht. Die Ergebnisse beider Methoden sind im folgenden verglichen.

Düngung	P ₀ mg	P ₁ P ₂ O ₅ /100 g Boden	P ₂	P ₃
CAL-Methode	5,5	5,7	7,0	7,7
Methode OLSEN	7,7	10,1	12,2	14,2

Die Düngerwirkung wird durch beide Methoden deutlich, aber quantitativ nicht ausreichend erfaßt. Die methodisch bedingten Unterschiede erscheinen nicht sehr groß. Gravierend ist aber, daß alle Proben nach der CAL-Methode in die Gehaltsstufe A (niedrig) ein-

zustufen sind, während die Grenzwerte nach der Methode OLSEN offenbar viel tiefer liegen. So stellte JACKSON (1967) fest, daß die Böden nach dieser Methode schon ab 10 ppm P (2,3 mg $P_2O_5/100$ g Boden) gut mit verfügbarem Phosphor versorgt sind. OZANNE und SHAW (1968) fanden ab 20 ppm P (4,6 mg $P_2O_5/100$ g Boden) keine ertragssteigernde Wirkung der Phosphatdüngung mehr.

Auch nach dem P-Sorptionstest von FOX und KAMPRATH (1970), auf den hier nicht näher eingegangen werden kann, deutet sich zum einen das hohe P-Sorptionspotential des Versuchsbodens an, zum anderen aber auch die Fähigkeit der Pflanzen, sorbiertes Phosphat zu nutzen. Die P-Sorption kann im wesentlichen von den Eisen- und Aluminiumoxiden (Tab. 1) und von den Tonmineralen Kaolinit und Illit ausgehen, die zu den Hauptbestandteilen der Tonfraktion gehörten; sie sind in der Lage, Phosphat an Kanten und Seitenflächen zu sorbieren.

4.3 NK-Steigerungsversuch

Die mit der CAL-Methode festgestellten Gehalte an verfügbarem Kalium (Tab. 1) lassen sich mit den Ergebnissen der Feldversuche ebenfalls schlecht in Einklang bringen. Im Gesamt-K-Gehalt erwies sich der Boden mit 1,2–1,23 % K als normalversorgt. Nach der CAL-Methode wurden für die Varianten K_0 bis K_3 folgende Werte (mg $K_2O/100$ g Boden) analysiert: 6,0 – 8,4 – 13,6 – 16,4;
Nach DE TURK et al. (1943): 29,1 – 28,8 – 25,8 – 34,1.

Die nach der Methode DE TURK et al. ermittelten Gehalte werden nach Extraktion mit kochender Salpetersäure gemessen. Diese Methode eignet sich zur Untersuchung stark verwitterter Böden. In amerikanischen Untersuchungen (DENNIS-ROUSE und BERTRAMSON, 1949) ergab sich ein hoher Regressionskoeffizient von 0,8 und eine enge Korrelation von $r = 0,88$ zwischen den nach DE TURK gefundenen Werten an verfügbarem K und den möglichen K-Entzügen in der Schicht von 0–15 cm. Der Durchschnitt der von uns gefundenen K-Werte entspricht einem Entzug von 720 kg K_2O/ha . Diese Menge kommt der im Feldversuch festgestellten sehr nahe.

Da die Zweischichttonminerale Kaolinit und Halloysit, die im Oberboden vorherrschend waren, kein Kalium enthalten, ist zu vermuten, daß die Schluff-Fraktion eine bedeutende Rolle für die K-Nachlieferung spielt. Nach AQUAYE et al. (1967) stand der Gesamt-K-Gehalt in kaolinitreichen Böden Ghanas in Beziehung zum Schluffanteil, aber nicht zur Tonfraktion. Jedenfalls würde in unserem Versuch eine starke K-Nachlieferung aus der Schluff-Fraktion zur Erklärung der hohen K-Entzüge in den K_0 -Varianten beitragen.

Der Anstieg der Erträge, K-Gehalte und K-Entzüge durch zusätzliche Mg- und Na-Düngung war so eindeutig, daß eine Gesetzmäßigkeit vorliegen muß. Es wird vermutet, daß diese Kationen Sorptionsplätze belegten und so verhinderten, daß größere Teile des gedüngten Kaliums vorübergehend sorbiert wurden. Mit der erhöhten K-Konzentration in der Bodenlösung kam es zu einem kontinuierlich hohen K-Angebot und damit zu einer stets gesicherten K-Ernährung der Pflanzen.

4.4 Versuche mit P-, Ca- und K-Steigerung

Die Kalkdüngung blieb zu *Pennisetum purpureum* und zu *Pueraria phaseoloides* ohne gesicherte Wirkung auf den Ertrag. In den Parzellen des N-Steigerungsversuches sank der pH-Wert jedoch von 5,6 vor Versuchsbeginn auf 4,9 nach dem zweiten Versuchsjahr ab. Die Ursache lag im Ca-Entzug von etwa 1,5 dt Ca/ha · Jahr und in der Verwendung physiologisch sauer wirkender Düngemittel (Harnstoff, in geringerem Umfang Triplesuper-

phosphat und Kaliumchlorid). Der schnelle Rückgang der pH-Werte läßt eine regelmäßige Überwachung und ggf. Erhaltungskalkung ratsam erscheinen.

Die P-Wirkung trat bei den Gräsern (*Pennisetum purpureum* und *Sorghum bicolor*) deutlicher zutage, jedoch nur in den höheren P-Stufen. *Pueraria phaseoloides* reagierte kaum auf die P-Düngung. Auch die im gemäßigten Klima bei Leguminosen so erfolgreiche PK-Düngung hatte bei der derzeitigen Nährstoffversorgung der Böden und bei dem relativ geringen Ertragspotential tropischer Leguminosen keinen sichtbaren Effekt.

5 Zusammenfassung

Zur Verbesserung der Futterproduktion wurden in Bangladesh von 1978 bis 1980 Untersuchungen mit tropischen Gräsern und Leguminosen durchgeführt. Einige der in diesem Rahmen angelegten Düngungsversuche brachten folgende Ergebnisse:

1. Die N-Düngung steigerte die Erträge von *Pennisetum purpureum* (P.p.) und *Brachiaria mutica* (B.m.) signifikant bis 500 kg N/ha. P.p. erreichte maximal 323 dt TM und 40 dt Rohprotein (Rpr.), B.m. 254 dt TM und 32 dt Rpr./ha. Die Leistung je kg N befriedigte erst 1980 mit 29,4–31,3 kg (P.p.) bzw. 23,7–35,3 kg TM (B.m.).

Die Rohproteingehalte beider Gräser lagen im Mittel der N-Stufen um 11 %, die Rohfasergehalte um 31 % in der TM. Dementsprechend wurden nur 400–450 StE im kg TM ermittelt.

2. Die P_2O_5 -Düngung bewirkte Ertragssteigerungen, die z.T. nur knapp unter der Signifikanzschwelle lagen. Der P_2O_5 -Entzug betrug in der Variante P_0 im Mittel von 2 Jahren und 2 N-Stufen 171 kg/ha; er wurde durch 150 und 300 kg P_2O_5 /ha nur um 13 bzw. 38 kg P_2O_5 /ha gesteigert. Die P-Gehalte in den Pflanzen stiegen in den 3 P-Stufen von 0,31 auf 0,34 und 0,37 % in der TM geringfügig an.
3. Die K_2O -Düngung brachte ab 1979 in der Stufe N_2 hochsignifikante Mehrerträge von K_2 (600 kg K_2O /ha) gegenüber K_0 . Die K_2O -Entzüge betragen in der Variante K_0 bereits 859 kg/ha; sie wurden durch 300 kg K_2O auf 961, durch 600 kg K_2O auf 1083, durch zusätzlich 200 kg Mg auf 1463 bzw. durch zusätzlich 190 kg Na/ha auf 1506 kg K_2O /ha angehoben. Der Mehrentzug durch K_2+Mg - bzw. Na-Düngung im Vergleich zu K_2 kam durch Steigerung der TM-Erträge und zugleich durch Erhöhung der K-Gehalte in der TM zustande.
4. Eine Kalkwirkung konnte weder an P.p. noch an *Pueraria phaseoloides* eindeutig nachgewiesen werden. Eine P-Wirkung war dagegen bei der Kombination von P und Ca an P.p. in allen 3 Jahren, jedoch nicht in allen Varianten erkennbar. *Pueraria ph.* reagierte auf die P-Düngung eher mit Ertragsdepressionen. Auch die PK-Düngung hatte bei dieser Leguminose keinen Effekt.
5. In einem Gefäßversuch mit *Sorghum bicolor*, der zur besseren Interpretation der Feldversuche mit dem Boden der Versuchsfläche angelegt wurde, beeinflusste die Kalkung den Ertrag in Stufe P_1 negativ, in P_0 positiv. Die P-Düngung hatte in Ca_0 einen wesentlich stärkeren Effekt als in Ca_1 .
6. Die Gehalte des Bodens an pflanzenverfügbaren Nährstoffen wurden mit der CAL-Methode in diesen aus alten Sedimenten entstandenen Braunerden (Inceptisolen) nicht befriedigend erfaßt. Deswegen wurden für P_2O_5 und K_2O andere Methoden getestet, die etwas bessere Aussagen über die aktuelle Nährstoffversorgung ermöglichten.
7. Nur mit N-Düngung wurden lohnende Ertragssteigerungen registriert. Die unsicheren bzw. negativen Wirkungen der Düngung mit P_2O_5 , K_2O und CaO in 3 Versuchsjahren auf bis dahin wenig intensiv genutzten, von Natur aus gut versorgten Böden lassen noch keine endgültigen Schlüsse zu.

6 Summary

VOIGTLÄNDER, G. und KRISCHKE, H.: *Düngungsversuche zu Pennisetum purpureum, Brachiaria mutica und Pueraria phaseoloides auf „upland“ im District Dacca/Bangladesh (Fertilizing experiments with Pennisetum purpureum, Brachiaria mutica and Pueraria phaseoloides on upland in the district of Dacca/Bangladesh).*

Landwirtsch. Forsch. **37**, 1984

In order to improve the fodder production investigations with tropical grasses and legumes were carried out in Bangladesh from 1978 to 1980. Some of the fertilizing experiments conducted within this framework had the following results:

1. N application increased the yields of *Pennisetum purpureum* (P.p.) and *Brachiaria mutica* (B.m.) significantly up to 500 kg N/ha. P.p. produced up to 32.3 t DM and 4.0 t of crude protein (CP), B.m. 25.4 t DM and 3.2 t CP/ha. The yield per kg N was satisfactory only in 1980 being 29.4–31.3 kg (P.p.) and 23.7–35.3 kg DM (B.m.).

On the average of the N levels the CP contents of both grasses amounted to 11 %, the crude fibre contents to 31 % in DM.

2. The yield increases caused by P_2O_5 application remained but slightly below the level of significance. Averaged over 2 years and 2 N levels the P_2O_5 uptake amounted to 171 kg/ha in the P_0 -variant; application of 150 or 300 kg P_2O_5 /ha raised it merely by 13 and 38 kg P_2O_5 /ha, respectively. The P contents of the plants in the 3 P levels increased only slightly from 0.31 to 0.34 and 0.37 % in DM.
3. K_2O application caused highly significant yield increases as from 1979 within treatment N_2 at K_2 (600 kg K_2O /ha) compared with K_0 . In the variant K_0 the K_2O uptake amounted already to 859 kg/ha; with 300 kg K_2O it rose to 961, by 600 kg K_2O to 1083, by additional use of 200 kg Mg to 1463, and by adding 190 kg Na/ha to 1506 kg K_2O /ha. The additional uptake from K_2 +Mg and Na application, respectively, as compared with K_2 was brought about by increased DM yield as well as higher K contents in DM.
4. An effect of liming could neither be demonstrated with P.p. nor with *Pueraria phaseoloides*. In contrast P in the PCa-combination was effective with P.p. in all 3 years though not in all variants. On *Pueraria ph.* P fertilizing rather had a yield depressing effect. Also PK application to this legume was ineffective.
5. In a pot experiment with *Sorghum bicolor* carried out with the field test soil to achieve a better interpretation of the field trials liming influenced the yield negatively at the P_1 level, but positively at P_0 . In the Ca_0 treatment P application had a much stronger effect than with Ca_1 .
6. The CAL method did not satisfactorily reflect the plant available nutrients in these brown soils (inceptisols) which had originated from old sediments. Therefore other methods for P_2O_5 and K_2O were tested which allowed somewhat better estimates of the actual nutrient supply.
7. Only N fertilization resulted in profitable yield increases. The variable and negative effects, respectively, of applying P_2O_5 , K_2O or Ca_0 over three years on soils which were fertile by nature, but previously hardly utilized intensively, do not yet allow definite conclusions.

7 Literatur

ACQUAYE, D. K., MACLEAN, A. J. u. RICE, H. M.: Potential and capacity of potassium in some representative soils of Ghana. *Soil Sci.* **103**, 79–89, 1967

- AMBERGER, A.: Pflanzenernährung, ökologische und physiologische Grundlagen. Eugen Ulmer, Stuttgart, 1979
- CHOUDHURY, M. S. u. CORNFIELD, A. H.: Effect of soil moisture content on nitrogen mineralization during incubation of a slightly alkaline gangetic alluvial soil and an acid red soil from Bangladesh. *Trop. Agric Trin.* **55**, 77–80, 1978 a
- CHOUDHURY, M. S. u. CORNFIELD, A. H.: Nitrogen and carbon mineralization during incubation of 2 Bangladesh soils in relation to temperature. *Plant and Soil* **49**, 317–322, 1978 b
- CHOUDHURY, M. S. u. CORNFIELD, A. H.: Effect of altering the pH of an acid red soil from Bangladesh on mineral-nitrogen changes during aerobic incubation. *Trop. Agric. Trin.* **56**, 161–164, 1979
- DENNIS ROUSE, R. u. BERTRAMSON, B. R.: Potassium availability in several Indiana soils, its nature and methods of evaluation. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* **14**, 113–123, 1949
- DE TURK, E. E., WOOD, L. K. u. BRAY, R. H.: Potash fixation in corn belt soils. *Soil Sci.* **55**, 1–12, 1943
- FOX, R. L. u. KAMPRATH, E. J.: Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* **34**, 902–907, 1970
- ISHAQUE, M. u. CORNFIELD, A. H.: Nitrogen mineralization and nitrification in relation to incubation temperature in an acid Bangladesh soil lacking autotrophic nitrifying organisms. *Trop. Agric. Trin.* **51**, 37–41, 1974
- JACKSON, M. L.: *Soil Chemical Analysis*. 6th Edition, Univ. Wisconsin, Madison, 1967
- OLSEN, S. R., COLE, C. V., WATANABE, F. S. u. DEAN, L. A.: Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Dept. Agr. Circ. **939**, 1954. Zit. in JACKSON, M. L., 1967
- OZANNE, P. G. u. SHAW, T. C.: Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant methods for soil phosphate. *Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci. Adelaide*, Bd. 2, 273–280, 1968
- PURCHASE, B. S.: Nitrogen fixation associated with grasses – a potential source of nitrogen for Rhodesian agriculture. *Rhodesia agric. J.* **75**, 99–104, 1978
- WALTER, H.: I. Klima und Vegetation. In P. von BLANKENBURG und H.-D. CREMER, *Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern*, Bd. 2. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1971

RICHTLINIEN

für Veröffentlichungen in der Zeitschrift **LANDWIRTSCHAFTLICHE FORSCHUNG**

Die Zeitschrift „*Landwirtschaftliche Forschung*“ veröffentlicht Originalarbeiten aus dem Gebiet der landwirtschaftlichen Forschung, insbesondere aus den Arbeitsgebieten der Fachgruppen des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Aufgenommen werden Arbeiten in deutscher oder englischer Sprache.

In den „*Sonderheften*“ werden vornehmlich die Vorträge, die auf den VDLUFA-Kongressen gehalten werden, veröffentlicht (Kongreßbände).

Manuskripte müssen mit der Schreibmaschine auf DIN A 4-Bogen einseitig, einzeilig, mit 4 cm breitem Rand, geschrieben sein und in doppelter Ausfertigung eingereicht werden.

Ein Umfang von 10 Schreibmaschinenseiten (einschl. Tabellen und Abbildungen) darf nicht überschritten werden.

Fahnenkorrekturen bitten wir, umgehend zu erledigen. Die Autoren werden gebeten, sich auf Druckfehlerberichtigungen zu beschränken. Das Manuskript ist mit der Korrekturfahne zurückzusenden.

Die Anzahl der *Tabellen* und *Abbildungen* ist auf das sachlich unbedingt notwendige Maß zu beschränken. Tabellen und Abbildungen sollen nicht in den Text eingeklebt, sondern für sich auf besonderen Blättern am Schluß der Arbeit eingereicht werden. Fotografische Vorlagen (Hochglanzfotos) müssen kontrastreich sein. Zeichnungen sind klischierfähig zu liefern. Farbfotos können nur nach vorheriger Absprache angenommen werden.

Zu den Tabellen werden knappe, klare *Überschriften*, zu den Abbildungen entsprechende *Unterschriften* erbeten, die auf einem besonderen Blatt dem Manuskript beizufügen sind.

Die Über- und Unterschriften der Tabellen und Abbildungen sollen auch ins Englische übersetzt werden.

Der *Titel der Arbeit* soll kurz und prägnant formuliert sein. Die Namen der Autoren werden im Anschluß an den Titel der Arbeit aufgeführt. Auf der ersten Seite der Arbeit sind die vollständigen Anschriften der Autoren in einer Fußnote anzugeben.

Die englische und französische Übersetzung des Titels der Arbeit sowie ein Summary und die entsprechende Übersetzung der Zusammenfassung ins Französische (Résumé) sind vom Autor mitzuliefern.

Rechtschreibung, Schreibweise von Nomenklaturen und Fachausdrücken sowie Abkürzungen von Zeitschriftentiteln sollen nach „Einheitliche Schreibweise in naturwissenschaftlichen Werken“ von Herrmann, II. Auflage, 1965, Verlag Neumann-Neudamm KG, Melsungen, erfolgen.

Im Text soll die Literatur namentlich zitiert werden, z. B. KOCH (1971). Im Abschnitt „Literatur“ sind die Zitate in alphabetischer Reihenfolge der Autoren, und zwar mit Titel und vollständiger Angabe der Literaturstelle, aufzuführen.

Beispiel: VETTER, H. und FRÜCHTENICHT, K.: Abstufung der Nährstoff-Grenzwerte mit steigendem Humusgehalt. Landwirtsch. Forsch. 26, 1–9, 1973.

Die *Beiträge* sind an die Schriftleitung, D-6100 Darmstadt, Bismarckstraße 41 A, zu senden.

Erscheinungsweise: Die Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ erscheint jeweils in einem Band mit vier Heften. Außerdem erscheinen jährlich ein Kongreßband und nach Bedarf Sonderhefte, die gesondert in Rechnung gestellt werden.

Bezugsmöglichkeiten: Die Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ kann durch den in- und ausländischen Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Das Abonnement gilt bei Aufgabe der Bestellung für einen Band; es läuft weiter, wenn nicht unmittelbar nach Lieferung des Schlußheftes eines Bandes eine Abbestellung erfolgt.

Bezugspreis: Preis eines Bandes DM 164,— (empf. Richtpreis) zuzüglich Versandkosten. Preis der Sonderhefte je nach Umfang verschieden.

Sonderdrucke müssen beim Verlag bestellt werden.

Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, D-6000 Frankfurt (Main), Finkenhofstraße 21.

Bankkonten: Commerzbank AG, Frankfurt (Main), Konto Nr. 5 408 075; Stadtparkasse Frankfurt (Main), Girokonto Nr. 96-958; Postscheckkonto, Frankfurt (Main), Nr. 896–607.

This journal is covered by Current Contents (Series Agriculture, Biology and Environmental Sciences (CC/AB) and the Science Citation Index® (SCI®) of Institute for Scientific Information.

ISSN 0023-8 147

© J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1984

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks,
der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung vorbehalten

Herausgeber: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
(VDLUFA), Bismarckstraße 41 A,

D-6100 Darmstadt, Telefon (0 61 51) 2 64 85

Präsident: Prof. Dr. H. Vetter, Mars-la-Tour-Straße 4, D-2900 Oldenburg, Telefon (0441) 80 13 90

Mit der Herausgabe beauftragt: Prof. Dr. O. Siegel, Hans-Purmann-Allee 25, D-6720 Speyer
Schriftleitung: Dipl. Ing. agr. H. Zarges, Bismarckstraße 41 A, D-6100 Darmstadt

Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main

Satz und Druck: Graphische Kunstanstalt Wilhelm Herr, Gießen

Printed in Germany