

100
Sonderdruck aus „Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau“

[Z. Acker- u. Pflanzenbau 141, 120—131, 1975]

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

Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg

*Aus dem Institut für Grünlandlehre
der Technischen Universität München, Freising-Weihenstephan*

Produktionsfunktionen der Stickstoffdüngung auf Mähweiden

Von

G. VOIGTLÄNDER und V. LANG

*Aus dem Institut für Grünlandlehre
der Technischen Universität München, Freising-Weihenstephan*

Produktionsfunktionen der Stickstoffdüngung auf Mähweiden

Von

G. VOIGTLÄNDER und V. LANG

Mit 5 Abbildungen und 5 Tabellen

Eingegangen am 6. April 1975

I. Einleitung und Problemstellung

Der Stickstoffdüngung kommt auf Dauergrünland, vor allem auf intensiv bewirtschafteten Weiden und Mähweiden, eine besondere Bedeutung zu. Der Stickstoff ist ein ausgezeichnetes Hilfsmittel für die Weideführung, da das vegetative Wachstum beschleunigt und der Ertrag in der Zeiteinheit stark gesteigert werden kann (16). Stickstoffgaben bis 300 kg/ha und Jahr sind heute keine Seltenheit mehr (4, 11). Um die Stickstoffdüngung wirtschaftlich optimal einsetzen zu können, wird eine Information über die Ertragsleistung des Stickstoffes benötigt. Nach ZAPF (17) liefert die Produktionsfunktionsanalyse die notwendigen Grunddaten für die Betriebsplanung. In der folgenden Arbeit werden Produktionsfunktionen für den Zusammenhang zwischen Ertrag und Stickstoffdüngung von drei verschiedenen Standorten berechnet.

II. Material und Methoden

Die Lage und die wichtigsten Merkmale der drei Versuchsstandorte gehen aus den Tabellen 1 bis 3 hervor. Die wichtigsten Bestandsbildner waren *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Agropyron repens*, *Taraxacum officinale* und *Trifolium repens*. In Tabelle 4 sind die langjährigen Klimadaten angegeben. Die Klimadaten gelten exakt für Standort II, die 8 bzw. 10 km entfernten Standorte I und III weichen davon nur geringfügig ab

Tabelle 1 Angaben über den Versuchsstandort I
Data on experimental site I

Geographische Lage:	48° 25' N 11° 37' E
Höhenlage über NN:	506 m
Naturraum:	Donau - Isar - Hügelland
Geologische Unterlage:	50 cm Lößlehmauflage über feinsandiger Oberer Süßwassermolasse
Bodentyp:	Braunerde
Bodenart:	sandiger Lehm
Pflanzengesellschaft:	<i>Lolium-Cynosuretum</i> : Gräser 54 % , Kräuter 22 % , <i>Trifolium repens</i> 24 %

Tabelle 2 Angaben über den Versuchsstandort II
Data on experimental site II

Geographische Lage:	48° 24' N 11° 44' E
Höhenlage:	467 m
Naturraum:	Donau - Isar - Hügelland
Geologische Unterlage:	schwach sandiger bis schluffiger jungpleistozäner Lößlehm auf miozäner Süßwassermolasse
Bodenart:	schluffiger Lehm
Bodentyp:	schwach pseudovergleyte Ackerbraunerde (= erodierte Parabraunerde) aus Lößlehm
Pflanzenbestand:	Weideansaat: Gräser 17 % , <i>Trifolium repens</i> 83 %

Tabelle 3 Angaben über den Versuchsstandort III
Data on experimental site III

Geographische Lage:	48° 23' N 11° 50' E
Höhenlage über NN:	435 m
Naturraum:	Münchner Ebene
Geologische Unterlage:	Flachmoortorf auf würmeiszeitlichen Kalkschottern
Bodentyp:	puffiges , basenreiches Niedermoor
Bodenart:	stark anmooriger Sand bis Lehm
Pflanzengesellschaft:	<i>Lolium-Cynosuretum</i> : Gräser 92 % , <i>Taraxacum</i> 4 % , <i>Trifolium repens</i> 4 %

Tabelle 4 Langjährige Klimadaten Standort II
Climatic data for a prolonged period of years for site II

Jahrestemperatur 1931 bis 1960:	7,7 °C
April bis September:	13,8 °C
Jährliche Niederschläge:	814 mm
April bis September:	527 mm
Jährliche Sonnenscheindauer:	1786 Stunden
April bis September:	1264 Stunden

Mathematische Auswertung

Aus den gefundenen Versuchsdaten wurden mit Hilfe der Regressionsanalyse Ertragskurven berechnet. In der Funktionsgleichung $y = a + bx + cx^2 \dots$ stellt y den Ertrag dar, der von der N-Menge x abhängig ist. Der Grad der Anpassung der mathematischen Kurve an die Ausgangsdaten läßt sich an Hand des Bestimmtheitsmaßes beurteilen.

Die Produktionsfunktion ermöglicht eine Aussage über das Verhalten des Ertrages zwischen den einzelnen N-Stufen. Es kann der Ertrag für jedes kg N innerhalb der aufgewendeten Menge bestimmt werden. Aus der ersten Ableitung der Ertragsfunktion ($dy/dx = y' = b + 2cx \dots$) läßt sich der Mehrertrag für jedes kg N berechnen.

Aus der Produktionsfunktion kann die maximale, aber auch die optimale Stickstoffmenge ermittelt werden. Die maximale N-Gabe ist diejenige Menge, bei deren Überschreiten kein Ertragszuwachs mehr eintritt. Sie errechnet sich, indem die erste Ableitung gleich Null gesetzt wird ($y' = 0$).

Die optimale N-Gabe ist diejenige Menge, die den höchsten Gewinn je Flächeneinheit erbringt. Der optimale Aufwand ist dann gegeben, wenn die Grenzkosten = dem Grenzerlös sind, das heißt, die Stickstoffgaben werden solange gesteigert, bis das letzte kg N soviel kostet, wie es an Erlös einbringt.

Die höchste Wirtschaftlichkeit liegt dann vor, wenn die durch die letzte Düngermenge erzeugten Nährstoffe bei Weidegang zu einer Erhöhung der tierischen Leistungen oder, bei Winterfuttermittelgewinnung, zu einer Ersparnis an Kraftfutter führen (3). Für den letzten Fall kann unter den derzeitigen Preis-Kosten-Verhältnissen ein Wert von 0,50 DM für die kStE angenommen werden. Man muß sich vor Augen halten, daß es sich bei den hier ermittelten Erträgen um Brutto-Erträge handelt, da bei der Verfütterung ein Verlust eintritt. KÖHNE (3) setzt diesen mit 30 % an. Unter diesen Voraussetzungen ist die Rentabilitätsschwelle, also Grenzerlös = Grenzkosten dann erreicht, wenn das letzte kg N einen Brutto-Ertrag von 4 kStE erbringt. Diese sind in 6,7 kg Trockenmasse (Trm) enthalten, wenn man 60 kStE je 100 kg Trm unterstellt (in 7,5 kg Trm bei 53 kStE/100 kg Trm usw.).

Die Produktionsfunktionen wurden für den Jahresertrag und für die Erträge der einzelnen Schnitte errechnet. Dadurch wird eine Aussage über die Wirkung der N-Düngung/ha und Jahr möglich, aber auch eine Aussage über eine günstige Verteilung der N-Gaben auf die einzelnen Schnitte.

III. Ergebnisse¹

1. Standort I

Die Stickstoffgabe wurde von 0 auf 260 kg N/ha und Jahr gesteigert. Ursprünglich war eine Gabe von 0 bis 300 kg N vorgesehen. Infolge des niederschlagsarmen Sommers 1972 konnte kein fünfter Schnitt mehr gewonnen werden, so daß sich der Düngeraufwand um die letzte Gabe verringerte. Die Ertragskurve verhält sich nach dem Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses. Der maximale Pflanzenertrag von 115,9 dt Trm/ha wurde mit 231 kg N/ha erreicht. Aber auch ohne N-Düngung lieferte der Standort den beachtlichen Ertrag von 89 dt/ha. Es muß also vom Boden und den Leguminosen Stickstoff zur Verfügung gestanden haben. Dieser Boden-Leguminosen-Stickstoff kann abgeschätzt werden, indem der N-Gehalt des Futters der Nullparzelle mit dem Trm-Ertrag multipliziert wird. Ohne N-Düngung

¹ Alle Regressionsanalysen wurden mit dt Trm/ha und dt Rein-N/ha durchgeführt, um kleinere Koeffizienten zu erhalten. Trotzdem wurden $N_{opt.}$, $N_{max.}$ und die Werte auf der Abszisse in kg N/ha angegeben.

nahmen die Pflanzen 267 kg N/ha auf. Der Grund für die Höhe der Stickstoffaufnahme ist sicher beim Weißklee zu suchen. Leguminosen können von dem durch Knöllchenbakterien gebundenen Luftstickstoff erhebliche Mengen an den Graspартner abgeben (8). Der Ausgangsbestand enthielt im Durchschnitt aller Schnitte 24 % Weißklee. Weiter ist Abbildung 1 zu entnehmen, daß die Steigerung des Trm-Ertrages auf die beträchtliche Erhöhung des Graszuwachses zurückzuführen ist. Der Ertragsanteil der Gräser nahm von 47 dt (ohne N) auf 78 dt (260 kg N) zu. Der maximale Grasertrag wurde mit 260 kg N/ha noch nicht erreicht. Der Kleeanteil nahm dagegen um 5 dt gegenüber der Nullparzelle ab. Der Anteil des Löwenzahns erreichte sein Maximum von 20 dt/ha bei einer N-Gabe von 163 kg N/ha. Es ist bekannt, daß durch die N-Düngung gerade die Konkurrenzskraft der Gräser gegenüber dem Weißklee und zum Teil auch den Kräutern gestärkt wird (1, 5, 6). Die optimale Gabe betrug auf Standort I 165 kg N/ha und Jahr. Die hier nicht aufgeführten Ertragsfunktionen für die einzelnen Schnitte zeigten, daß eine gleichmäßige Verteilung der N-Gaben optimal war.

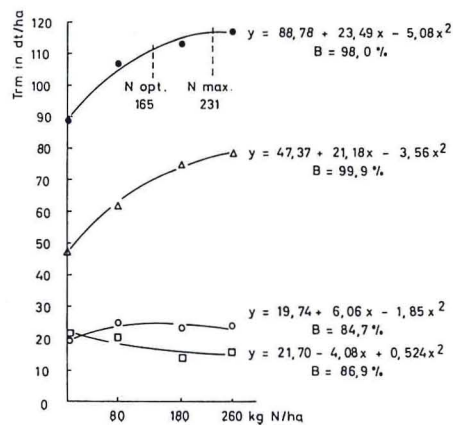
2. Standort II, Versuchsjahr 1971

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse des N-Steigerungsversuches auf dem Versuchsfeld in Weihenstephan des Jahres 1971 dargestellt. Ohne Beregnung (linke Seite der Abb. 2) ist die Ertragsbildung durch abnehmende Grenzerträge gekennzeichnet; mit Beregnung bleiben die Grenzerträge gleich (rechte Seite der Abb. 2). Mit steigender N-Düngung nimmt der Grasertrag zu, der Ertrag an Weißklee dagegen ab.

Der Versuch enthält jedoch eine Besonderheit. Der Pflanzenbestand der im Jahr 1970 durchgeführten Weideansaat enthielt im ersten Versuchsjahr in der Nullparzelle 83 % (unberegnet) bzw. 84 % (beregnet) Weißklee. Der Ertrag wurde im ersten Jahr überwiegend vom Weißkleeanteil gebildet. Der Ertragszuwachs der Gräser wird weitgehend durch die Abnahme des Weißkleeanteiles kompensiert. Daraus resultiert eine sehr flach verlaufende Kurve für den Gesamtertrag. Die höheren Erträge mit Beregnung erklären sich aus den höhe-

Abb. 1. Produktionsfunktionen der N-Düngung, Standort I: Eberspoint, 1972. Trm-Ertrag: (●) Gesamt, (△) Gräser, (□) Weißklee, (○) Löwenzahn

Production functions for N-manuring, site I: Eberspoint, 1972. Yield of dry matter: (●) total, (△) grasses, (□) white clover, (○) dandelion



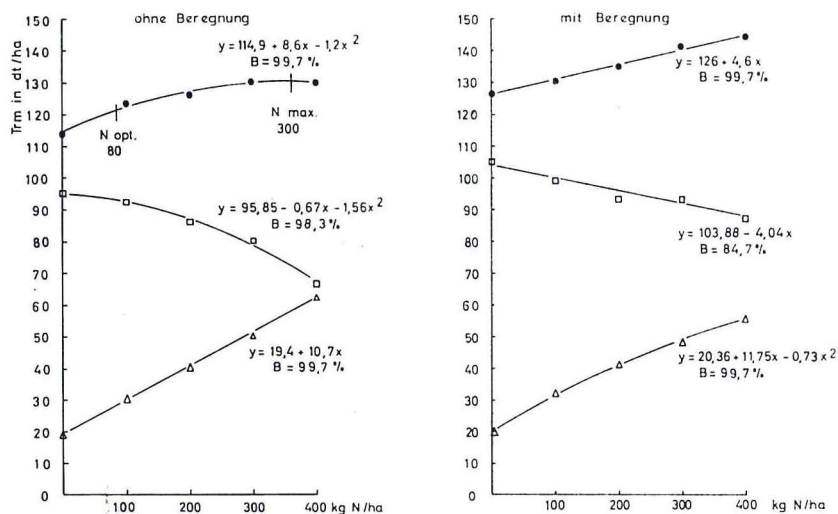


Abb. 2. Produktionsfunktionen der N-Düngung, Standort II: Weihestephan, 1971.

Trm-Ertrag: (●) Gesamt, (△) Gräser, (□) Weißklee, (○) Löwenzahn

Production functions for N manuring, site II: Weihestephan, 1971.

Yield of dry matter: (●) total, (△) grasses, (□) white clover, (○) dandelion

ren Erträgen des Weißklee. Mit Beregnung konnte sich der Weißklee in der Narbe besser behaupten. Ohne Beregnung nahm der Ertragsanteil des Weißklee von 0 bis 400 kg N/ha um 28 dt Trm/ha (95 bis 67 dt/ha) ab, mit Beregnung dagegen nur um 16 dt Trm/ha (104 bis 88 dt Trm/ha). Der hohe Weißkleeanteil erklärt auch die Stickstoffmenge, die von den Pflanzen der Nullparzellen aufgenommen wurde. Sie betrug 416 kg N/ha ohne Beregnung bzw. 469 kg N/ha mit Beregnung.

Unter solchen Voraussetzungen sind Stickstoffgaben kaum lohnend. Mit Beregnung verläuft die Ertragskurve linear, d. h. die Grenzerträge bleiben mit steigenden N-Gaben gleich. Da sich der Einsatz des Stickstoffes bis zu einem Grenzertrag von 6,7 kg Trm für das letzte kg Düngerstickstoff lohnt, war der gleichbleibende Grenzertrag von 4,6 kg Trm zu gering und eine Düngung nicht rentabel. Ohne Beregnung beträgt die optimale N-Gabe 80 kg N/ha und Jahr. Diese Gabe scheint gering zu sein, sie ist aber im Zusammenhang mit der Verteilung der N-Gaben recht interessant. Die Berechnung der Ertragsfunktionen für die einzelnen Schnitte ergab nämlich, daß sich zum ersten Schnitt eine Gabe von 50 kg N/ha und zum fünften Schnitt von 40 kg N/ha gelohnt hat.

3. Standort II, Versuchsjahr 1972

Im zweiten Versuchsjahr (Abb. 3) betrug der Massenanteil des Weißklee an Pflanzenbestand der Nullparzelle 50 % gegenüber 80 % im ersten Versuchsjahr. Dieser Rückgang trat möglicherweise infolge einer schon wirksamen Förderung der Gräser durch den Leguminosenstickstoff ein. Verstärkt wird dieser Trend noch durch den mineralischen Stickstoff. Nur noch in der Nullparzelle war der Kleeertrag höher als der des Grases.

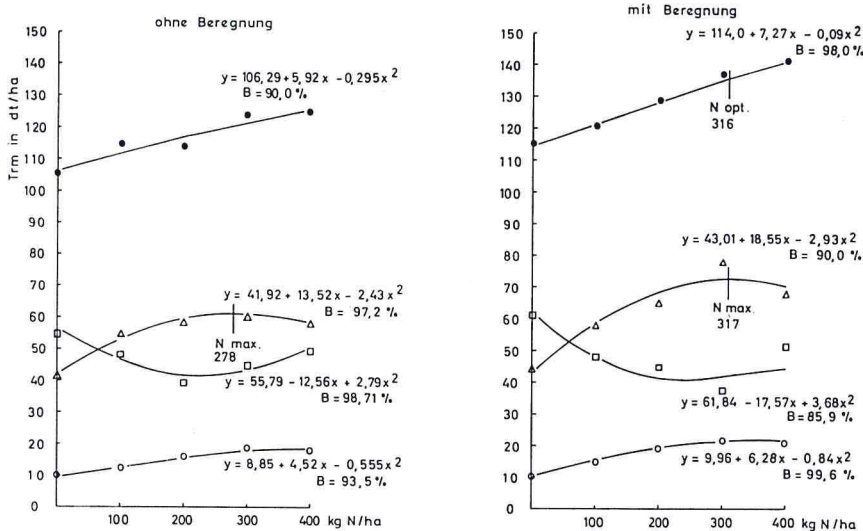


Abb. 3. Produktionsfunktionen der N-Düngung, Standort II: Weihestephan, 1972.

Trm-Ertrag: (●) Gesamt, (△) Gräser, (□) Weißklee, (○) Löwenzahn

Production functions for N manuring, site II: Weihestephan, 1972.

Yield of dry matter: (●) total, (△) grasses, (□) white clover, (○) dandelion

Der Grasertrag wurde wie im ersten Versuchsjahr durch die N-Düngung gesteigert, und zwar mit einem Maximum bei 278 kg N/ha (unberechnet) bzw. 317 kg N/ha (berechnet). Interessant ist, daß der Weißkleeanteil nicht bis zur höchsten N-Gabe abnahm, sondern wieder anstieg, wenn der Zuwachs der Gräser nachließ. Demnach wird durch die N-Düngung die Konkurrenzskraft der einzelnen Arten beeinflusst, der Weißklee aber nicht direkt geschädigt, worauf schon KLAPP (1) und STEEN (13) hingewiesen haben. Im zweiten Versuchsjahr konnte sich bereits der stickstoffliebende Löwenzahn stärker ausbreiten. Sein Anteil am Ertrag nahm mit steigender N-Düngung zu.

Ohne und mit Beregnung lag das Maximum des Gesamtertrages außerhalb der aufgewendeten N-Mengen. Der Grund ist in der Zusammensetzung des Pflanzenbestandes zu suchen. Das Nachlassen des Graszuwachses bei 300 und 400 kg N/ha wird durch den Zuwachs des Weißkleees und Löwenzahns ausgeglichen.

Ohne Beregnung hat sich eine Stickstoffdüngung nicht gelohnt. Dieses Ergebnis sollte jedoch nicht überbewertet werden, da die Kurve an die ermittelten Daten nicht so gut angepaßt ist wie in allen anderen Beispielen. Die Berechnung der Produktionsfunktionen der einzelnen Schnitte zeigt nämlich, daß zum ersten Schnitt eine Gabe von 61 kg N/ha rentabel war. Für den zweiten, dritten und fünften Schnitt konnte jedoch kein eindeutiger Zusammenhang zwischen N-Düngung und Ertragsbildung gefunden werden. Die Monate Mai bis September waren niederschlagsarm, die Regenmengen betragen 50 % des langjährigen Mittels. Die Aufnahme des Düngerstickstoffes war durch die Trockenheit begrenzt. Mit Beregnung konnte der Düngerstickstoff gut zur Wirkung kommen. Der Grasertrag der berechneten Parzellen lag wesentlich

über dem der unberechneten Parzellen; in geringerem Umfang gilt das auch für den Ertrag des Löwenzahns.

Mit Berechnung hat sich eine N-Gabe von 316 kg N/ha und Jahr gelohnt. Mit der optimalen N-Gabe wurde gleichzeitig das Maximum des Grasertrages erreicht. Aus der Berechnung der Produktionsfunktionen der einzelnen Schnitte läßt sich ableiten, daß die N-Gaben am besten auf den Ertrag im ersten, dritten und fünften Schnitt gewirkt haben.

4. Standort III

Auf dem Standort III wurden N-Steigerungsversuche nur zu den einzelnen Schnitten durchgeführt. Eine Produktionsfunktion für das ganze Jahr ließ sich daher nicht berechnen. Das erste Beispiel (Abb. 4) zeigt die Ertragskurven der ersten Nutzung im Mai für die Weidereife (15 bis 25 dt Trm/ha) und die Siloreife (25 bis 35 dt Trm/ha). Die N-Gaben wurden von 0 bis 240 kg N/ha und Nutzung gesteigert. Der siloreife Bestand war sieben Tage älter als der weidereife. Auch ohne N-Düngung konnte ein weide- und siloreifer Bestand erreicht werden.

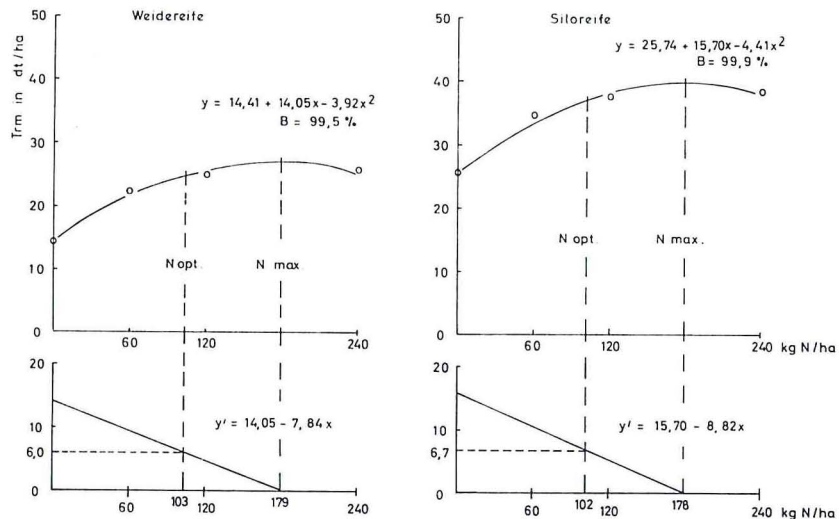


Abb. 4. Produktionsfunktionen der N-Düngung, Standort III: Grünschwaige, Mai 1970
Production functions for N manuring, site III: Grünschwaige, May 1970

Die Pflanzen nahmen auf den Nullparzellen 50 kg N/ha (weidereif) bzw. 70 kg N/ha (siloreif) auf. Der basenreiche Niedermoorboden des Standortes III kann durch Mineralisation erhebliche Mengen an Stickstoff freisetzen. Der Leguminosenstickstoff spielte dabei keine Rolle, da sich der Pflanzenbestand zu 92 % aus Gräsern und nur zu 4 % aus Weißklee zusammensetzte. Der Ertrag kann aber durch mineralischen Stickstoff noch beträchtlich gesteigert werden. Das Ertragsmaximum wurde erst mit 179 kg N/ha bzw. 178 kg N/ha erreicht. Die optimale N-Gabe lag bei diesem grasreichen Bestand mit 103 kg N/ha (weidereif) bzw. 102 kg N/ha (siloreif) relativ hoch.

Abbildung 5 zeigt die Produktionsfunktionen für die dritte Nutzung im Juli. Auch hier konnte ohne N-Düngung ein weide- und siloreifer Bestand geerntet werden. Die Pflanzen nahmen wie im Mai in den Nullparzellen 50 kg N/ha bzw. 70 kg N/ha auf. In der Weidereife wurde das Ertragsmaximum mit 191 kg N/ha erreicht, in der Siloreife lag das Maximum außerhalb der aufgewendeten N-Menge. Beide Ertragskurven verlaufen flacher als die Ertragskurven der Mainutzung. Das bedeutet, daß die Grenzerträge und die optimalen N-Gaben geringer waren als im Mai. Sie betragen in der Weidereife 47 kg N/ha und in der Siloreife 77 kg N/ha.

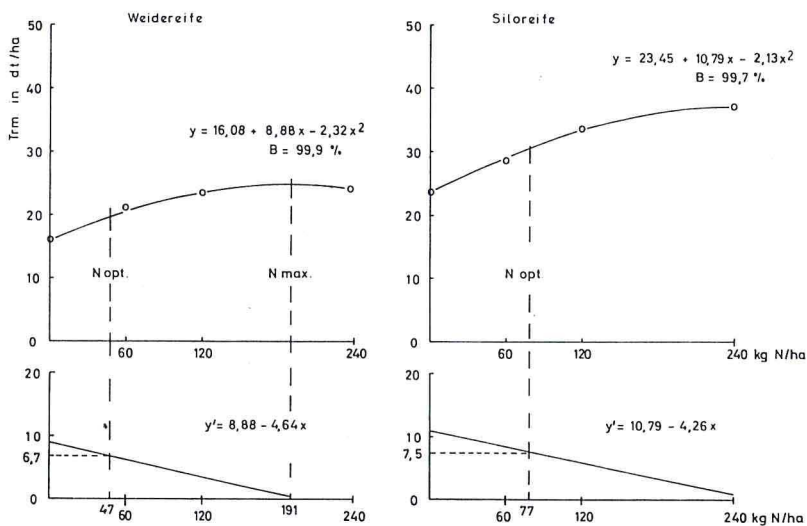


Abb. 5. Produktionsfunktionen der N-Düngung, Standort III: Grünschaige, Juli 1970
Production functions for N manuring, site III: Grünschaige, July 1970

Die Wirkung der N-Düngung wurde auf Standort III vom Grasanteil und seinem natürlichen Wachstumsrhythmus, aber auch stark vom Angebot an Bodenstickstoff bestimmt. Die Aufnahme von Bodenstickstoff schwankte innerhalb von zwei Versuchsjahren zwischen 36 und 104 kg N/ha und Nutzung. Aus weiteren, hier nicht aufgeführten Produktionsfunktionen läßt sich der Schluß ziehen, daß sich auf diesem Standort N-Gaben von 85 bis 100 kg/ha zur ersten Nutzung lohnen. In den folgenden Nutzungen scheint bei abnehmendem Ertragspotential der Einfluß des Bodenstickstoffs stärker zu werden, so daß die optimale N-Düngung schwer vorausgesagt werden kann. Wir fanden Werte zwischen 0 und 80 kg N/ha und Nutzung.

In Tabelle 5 haben wir die Leistungen in kg Trm und in kStE je kg N bei optimaler N-Gabe für die drei Standorte zusammengestellt. Die Daten lassen den Schluß zu, daß unabhängig von der Höhe der optimalen N-Gabe die Verwertung des Stickstoffs auf dem Standort I am besten war. Die Ursachen hierfür dürften in dem relativ N-armen Mineralboden und in dem mäßigen Weiß-

Tabelle 5 Ertrag und N-Leistung bei optimaler N-Gabe für alle Standorte
(WR = Weidereife, SR = Siloreife)

Yield and production with optimum N application for all sites
(WR = ripe for grazing, SR = ripe for ensilage)

	Standort I	Standort II		Standort III			
		ohne	mit	Mai		Juli	
		Beregnung		WR	SR	WR	SR
optimale N-Gabe kg / ha und Nutzung	41	16	63	103	102	47	77
Ertrag bei optimaler N-Gabe dt / ha	28,4	24,2	27,2	24,7	37,2	19,8	30,2
N-Leistung bei optimaler N-Gabe in kg Trm / kg N	15,1	7,6	7,0	10,0	7,2	7,8	9,2
N-Leistung bei optimaler N-Gabe in kStE / kg N	9,06	4,58	4,19	6,2	6,7	4,68	5,12
Weißkleeanteil in den 0-Varianten (%)	17	80	50	4	5	5	10
N-Entzüge in den 0-Varianten kg N / ha und Nutzung	67	83	94	53	74	54	70
N-Entzüge in den 0-Varianten kg N / ha und Jahr	267	416	469	-	-	-	-

kleeanteil von 24 % auf der Variante ohne N und von 15 % im Mittel der N-Varianten liegen. Auf Standort II waren die Leistungen des Stickstoffs wesentlich geringer, sicher eine Folge des Weißkleeanteiles von 80 % (1971) bzw. 50 % (1972) bei den Nullvarianten und von 64 % (1971) bzw. 38 % (1972) im Mittel der N-Parzellen. Die ebenfalls geringere Wirkung des mineralischen Stickstoffs auf Standort III hat zweifellos ihre Ursache in den hohen natürlichen N-Gehalten des Bodens, die in den Entzügen auf den Nullvarianten deutlich erkennbar sind.

IV. Diskussion

Die Angaben zur optimalen N-Düngung schwanken von Autor zu Autor oft recht erheblich. So gibt z. B. VOIGTLÄNDER (15) 200 kg N/ha und Jahr an, ROTH (11) je nach Standort 240 bis 300 kg und REID (10) 450 bis 500 kg. Die Wirkung der Stickstoffdüngung wird bekanntlich von vielen Faktoren beeinflusst. Ein wesentlicher Faktor ist die Höhe des Weißkleeanteiles im Pflanzenbestand. KLETER und BAKHUIS (2) geben an, daß Weißklee je 1 % Anteil 3 bis 5 kg N/ha und Jahr liefern kann. Dieser Wert deckt sich gut mit unseren Ergebnissen und den Angaben von REID (10) und KUTUZOVA (7). Die Entwicklung der Weißkleepflanzen und die N-Bindung werden durch ausreichende Niederschläge bzw. Beregnung günstig beeinflusst (11, 12). Auf N-reichem Moorboden können auch ohne N-Düngung und ohne nennenswerte Anteile an Weißklee im Pflanzenbestand Erträge von 80 bis 110 dt Trm/ha und Jahr erreicht werden (9, 14). Weiter hat die Jahreswitterung einen Einfluß auf die N-Wirkung. Trockenheit und zu niedrige Temperaturen können das Wachstum und damit die Verwertung des Dünger-N begrenzen (1, 11).

Die Wirkung der N-Düngung kann durch die Verteilung der N-Gaben auf die einzelnen Nutzungen beeinflusst werden. Nach VOIGTLÄNDER (16) bringen in Süddeutschland gleichmäßige N-Gaben, oft sogar niedrige Frühjahrs- und hohe Sommergaben, den höchsten Gesamtertrag, wenn in jeder Nutzung zur Weidereife etwa 15 bis 25 dt/ha geerntet werden. Wird im Mai oder Anfang Juni zur Siloreife oder Heureife geerntet, dann lohnen sich hohe Stickstoffgaben auch im Frühjahr, weil zu diesem Zeitpunkt das Ertragspotential, besonders der Gräser, die beste Voraussetzung für eine hohe N-Leistung bietet (16).

Unsere Versuchsflächen wurden als Mähweide genutzt. Zum Siloschnitt im Frühjahr lohnten sich N-Gaben bis zu 60 kg auf Standort II, beim grasreichen Bestand des Standortes III sogar 80 bis 100 kg/ha. Aber auch zur vierten und fünften Nutzung in der Weidereife lohnten sich Gaben von 40 bis 60 kg N/ha, was sich mit den Angaben von VOIGTLÄNDER (16) deckt.

Die Produktionsfunktionen sollen eine Information über die optimale Stickstoffdüngung liefern. Zu diesem Zweck ist es notwendig, Stickstoffsteigerungsversuche auf verschiedenen Standorten über mehrere Jahre durchzuführen. Unsere Versuche umfassen erst einen kurzen Zeitraum, so daß noch kein abschließendes Urteil gefällt werden kann. Insgesamt haben die Versuche jedoch gezeigt, daß es möglich ist, aus den Produktionsfunktionen standortsbezogene Empfehlungen für Höhe und Verteilung der N-Düngung abzuleiten.

Zusammenfassung

1. Auf drei Standorten in Oberbayern wurden Stickstoffsteigerungsversuche auf fünfmal genutzten Mähweiden angelegt, und zwar Versuch I und II auf tiefgründigem Mineralboden, Versuch III auf flachgründigem Niedermoorboden. Die Grasnarbe in Versuch I enthielt 24 %, in Versuch II 80 % und in Versuch III nur 4 % Weißklee. Die Gräser waren in allen Versuchen überwiegend hochwertig bis mittelwertig.

2. Aus den Erträgen an Trockenmasse wurden mit Hilfe der Regressionsanalyse Produktionsfunktionen für jeden Standort abgeleitet. Diese ermöglichen eine genauere Aussage über die Höhe der maximalen und der optimalen N-Gabe. Dabei haben wir unterstellt, daß unter westdeutschen Preis-Kosten-Verhältnissen der höchste Gewinn dann erreicht ist, wenn das letzte kg N noch einen Mehrertrag von 4 kStE = 6,7 kg Trm bewirkt (60 kStE in 100 kg Trm).

3. Die in den einzelnen Versuchen erzielten Ertragssteigerungen folgten im allgemeinen dem Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs.

4. Die Wirkung der mineralischen N-Düngung wurde auf den Mineralböden vom Weißkleeanteil, auf dem Niedermoorboden von der N-Nachlieferung aus dem Boden eingeschränkt.

5. Die höchsten Erträge ohne mineralische N-Düngung wurden auf Standort II mit hohem Weißkleeanteil und auf Standort III mit N-reichem Niedermoorboden erzielt. Dagegen wurde die beste N-Verwertung auf Standort I mit geringerem Weißkleeanteil festgestellt.

6. Das Optimum der jährlichen N-Düngung lag je ha auf Standort I bei 160 kg, auf Standort II bei 80 kg (unberechnet) bzw. bei 300 kg (berechnet); auf Standort III betrug es in der ersten Nutzung 85 bis 100 kg/ha.

Auf dem weißkleereichen Standort lohnte sich die N-Düngung in zwei von vier Versuchen überhaupt nicht, während auf dem N-reichen Niedermoor die N-Wirkung nach der ersten Nutzung unsicher wurde, so daß sie kaum vorausgesagt werden kann.

7. Insgesamt haben die Versuche gezeigt, daß es möglich ist, aus den Produktionsfunktionen standortsbezogene Empfehlungen für Höhe und Verteilung der N-Düngung abzuleiten. Dabei ist der natürliche und der aus dem Kleeanteil der Grasnarbe resultierende N-Gehalt des Bodens von großem Einfluß.

Summary

Production functions of nitrogen manuring on hay pastures

1. Experiments on raising the amount of nitrogen applied were carried out in three sites in Upper Bavaria on hay pastures that had been cut five times, namely in experiments I and II on deep mineral soil and in experiment III in flat low moorland soil. The turf in experiment I contained 24 % white clover, that in experiment II 80 % and that in experiment III only 4 %. The grasses in all experiments were of high to medium value.

2. From the yield of dry matter, production functions were calculated for each site by means of regression analysis. These enable a more accurate estimate to be made of the amount of the maximum and optimum amounts of N to apply. In this way we found that under the price-cost conditions of West Germany the greatest profit can be achieved when the kg N leads to a yield increase of 4 starch units = 6.7 kg dry matter (60 starch units = 100 kg dry matter).

3. In the individual experiments the yield increases in general followed the law of diminishing yield returns.

4. The effect of mineral N manuring on the mineral soils was limited by the proportion of white clover, on the low moorland soils by that of the N production from the soil.

5. The highest yields without mineral N manuring came from site II with the high proportion of white clover and from site III with the low moorland soil with high N content. On the other hand the best N utilization was found on site I with the low proportion of white clover.

6. The optimum for annual N manuring was at 160 kg per ha on site I, on site II at 80 kg (unirrigated) or 300 kg (irrigated); on site III it amounted to 85—100 kg/ha for the first crop.

On the site with the high proportion of white clover, N manuring was totally unprofitable in two of the four experiments, whereas on the low moorland with high N content the effect of N manuring after the first application was uncertain, so that it is hardly possible to predict it.

7. In general the experiments have shown that it is possible to deduce from the production functions recommendations for particular sites in respect of amounts and distribution of N manuring. In this connection the natural N content of the soil and that resulting from the proportion of clover in the turf are of great importance.

Literaturverzeichnis

1. KLAPP, E., 1971: Wiesen und Weiden, 4. Aufl. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
2. KLETER, H. J., and J. A. BAKHUIS, 1972: The effect of white clover on the production of young and older grassland compared to that of nitrogen fertilizer. *J. Brit. Grassland Soc.* 27, 229—239.
3. KÖHNE, M., 1972: Wie wirtschaftlich ist die Düngung? *Mitt. Dtsch. Landw. Ges.* 87, 1163—1165.
4. KÖNEKAMP, A. H., 1971: Repetitorium über Weidewirtschaft. *Das wirtschaftseig. Futter* 17, 88—106.
5. KREIL, W., and H. KALTOFEN, 1967: Versuchsergebnisse zur Stickstoffdüngung von Dauerweiden auf Niedermoor. *Sitzungsber. Dtsch. Akad. Landw. Wiss. Berlin* 16, 5—31.
6. — —, 1968: Ergebnisse von Stickstoffsteigerungsversuchen auf verschiedenen Weidestandorten in der DDR. *Tagungsber. Dtsch. Akad. Landw. Wiss. Berlin* 94, 65—78.
7. KUTUZOVA, A. A., 1966: Utilization of nitrogen from legumes on cultivated pastures in the central regions of the forest zone of the USSR. *Proc. X. Intern. Grassland Congr.*, 187—191.
8. LAMPETER, W., 1967: Untersuchungen über die N-Abgabe der Leguminosen an die Gramineen bei Mischanbau und die Beeinflussung des Mineralstoffgehaltes der Gramineen durch die Leguminosenpartner. *Albrecht Thaer Arch.* 11, 605—618.
9. OOSTENDORP, D., 1964: Stikstofbemesting en bruto-opbrengst van grassland. *Stikstof* 4, 192—202.
10. REID, D., 1970: The effects of a wide range of nitrogen application rates on the yields from perennial ryegrass sward with and without white clover. *J. Agric. Sci.* 74, 227—240.
11. ROTH, D., 1970: Ergebnisse von Stickstoffsteigerungsversuchen auf intensiv genutztem Flußaue- und Vorgebirgsgrünland. *Z. Landeskultur* 11, 255—272.
12. SAU, A., 1966: Nitrogen accumulated by white clover as a means of raising yields of cultivated pastures in the Baltic Republics of the Soviet Union. *Proc. X. Intern. Grassland Congr.*, 195—199.
13. STEEN, E., 1966: The effect of fertilizer nitrogen and clover nitrogen on the yield of herbage in Scandinavia. *Proc. 1st Gen. Meet. Eur. Grassland Fed.*, 77—83.
14. VOIGTLÄNDER, G., 1966: Nitrogen fertilization and yield of permanent grassland. *Proc. 1st Gen. Meet. Eur. Grassland Fed.*, 93—104.
15. — —, 1961: Versuche mit variierter Verteilung der Stickstoffgaben auf Weiden der Schwäbischen Alb. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 113, 261—276.
16. — —, 1971: Der Stickstoff in der Grünlanddüngung. In: *Chemie und landwirtschaftliche Produktion*. Verlag Landw.-Chem. Bundesversuchsanstalt, Wien.
17. ZAPP, R., 1965: Zur Anwendung der linearen Optimierung in der landwirtschaftlichen Betriebsplanung. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. G. VOIGTLÄNDER und Dr. V. LANG, Lehrstuhl für Grünlandlehre der Technischen Universität München, 805 Freising-Weihenstephan.