

Elsäßer, M. & M. Oswald, 1995: Das wirtschaftseigene Futter, 41, 1, 43-60.

Die Einbeziehung der Stickstofflieferung des Standortes bei der Berechnung der "ordnungsgemäßen" Düngung von Dauergrünland

Dr. Martin Elsäßer und Dipl. Ing. agr. (FH) Marianne Oswald
Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft
88326 Aulendorf

Einleitung

Noch bis vor wenigen Jahren wurde in Deutschland, wie auch in anderen europäischen Staaten (NL oder GB) die Maximierung der Erträge von Dauergrünlandflächen durch Stickstoffdüngung auf sehr hohem Niveau betrieben (u.v.a. KOREVAAR et al., 1988). In der Folge kam es und kommt es teilweise noch in den Niederlanden und in Großbritannien zu Stickstoffüberbilanzen von ca. 400 kg N/ha.a (AARTS et al., 1992) auf dem Grünland. In Deutschland beträgt der Überschuß nach BACH (1987) auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche bezogen etwa 100 kg N/ha. Zwar wird mehrfach auf die geringe Nitratauswaschung unter schnittgenutztem Grünland berichtet, jedoch belegt ISERMANN (1991) mit Ergebnissen von MICKLEY und STAHR (1991), daß die N-Verluste im Grünland nicht generell geringer sein müssen als bei Ackerland. Der überschüssige Stickstoff reichert sich entweder im Boden an und stellt damit eine potentielle Gefahr für eine Nitratauswaschung sofort oder in späteren Jahren dar (u.a. STEENVOORDEN et al., 1986) oder es kommt zu einer Abgabe von Stickstoff an die Luft über Ammoniak (u.a. ISERMANN, 1990; VAN DER MEER, 1994). Beides ist langfristig nicht tolerierbar, was neben der Landwirtschaft noch für weitere gesellschaftliche Gruppierungen gilt, die ebenfalls an der Produktion von Treibhausgasen beteiligt sind. Daraus kann gefolgert werden, daß bei der Gewinnmaximierung des landwirtschaftlichen Einzelbetriebes die ökologischen Belange der Umwelt noch zu wenig berücksichtigt werden (s.a. SAUERBECK, 1993). Eine "ordnungsgemäße" Grünlanddüngung hat sich also an einem ökonomischen Optimum zu orientieren, das ökologisch negative Auswirkungen überhöhter Stickstoffdüngung berücksichtigt bzw. sie vermeidet. Hierbei sind die im Boden verfügbaren bzw. die aus diesem voraussichtlich nachgelieferten Nährstoffmengen zu berücksichtigen (SAUERBECK, 1993). Solche negativen ökologischen Auswirkungen sind aber derzeit nicht marginal erfassbar, gleichwohl sind sie weitgehend zu vermeiden oder zumindest deutlich zu reduzieren. Ein möglicher Ansatz könnte hier die Berechnung der "ordnungsgemäßen" N-Düngung sein, so wie sie die Schutz- und Ausgleichsverordnung (SchALVO, 1987) für die Wasserschutzgebiete in Baden-Württemberg vorschreibt. Die ordnungsgemäße Stickstoffdüngung orientiert sich demnach am durchschnittlichen Entzug des Bestandes, der um einen Wert für die pauschal angesetzte "N-Nachlieferung des Standortes" vermindert wird. Diese Art der Berechnung der Stickstoffdüngung wird von BRIEMLE (1988) gefordert, der auf die potentielle Auswaschungsgefahr hinweist, wenn die bodenbürtige Stickstoffquelle bei der Bemessung der Düngergaben nicht angerechnet wird.

In einem nunmehr sechseinhalb Jahre dauernden Versuch wurden die Auswirkungen der um die N-Lieferung reduzierten Düngung auf fünf für Baden-Württemberg typischen Grünlandstandorten untersucht. Erfasst wurden die Auswirkungen auf Erträge und Stickstoffgehalte im Boden. Desweiteren wurden die Veränderungen der botanischen Zusammensetzung der Pflanzenbestände registriert. Diese Ergebnisse werden im folgenden dargestellt. Ferner werden seit 1992 Untersuchungen zur Abschätzung der N-Bindungsleistung des Weißklee vorgenommen, um die Dauerhaftigkeit der N-Nachlieferung ermitteln zu können. Die ersten Untersuchungsergebnisse werden an dieser Stelle vorgestellt.

Zum Begriff N-Nachlieferung

Über die Tauglichkeit des von RIEDER (1985) geprägten Begriffes "N-Nachlieferung" berechnet über den Stickstoffentzug über Futter abzüglich der Stickstoffdüngung und seine weitere Verwendung (ELSÄSSER, 1991; ELSÄSSER, 1993) wurde in den letzten Jahren häufiger diskutiert (u.a. mündliche Äußerungen der Herren Professoren Opitz von Boberfeld, Weißbach und Spatz 1993 anlässlich der Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften in Gießen; WEISSBACH (1994)). Ähnliche Begriffe finden sich in der angelsächsischen Literatur mit der "N-delivery capacity of the soil" (T'MANNETJE, 1994) oder der von RYDEN (1984) beschriebenen "N net mineralisation" von organischem Stickstoff. Den Aussagen von RYDEN zufolge hängt sie ab vom Bodentyp, dem Klima und der Bewirtschaftung und kann aus dem Stickstoffentzug von Pflanzenbeständen nicht gedüngter Parzellen abgeschätzt werden. VAN DER MEER and VAN UUM-VAN LOHUYZEN (1986) führen die Unterschiede in der N-Wirkung bei Dünger-N u.a. zurück auf eine Komponente die sie "the supply of N from sources other than fertilizer" nennen. Sie bestimmten diese Größe empirisch an vielen Versuchen als Stickstoffertrag in der pflanzlichen Biomasse von Beständen ohne N-Düngung. Es bleibt aber offen, ob dieses Vorgehen gerechtfertigt ist, denn es ist nicht nachgewiesen, daß die N-Nachlieferung auf nicht mit N gedüngten Beständen derjenigen gedüngter Bestände entspricht. Vielmehr kommt es bei hoher Stickstoffdüngung zu einer Steigerung der N-Mineralisation durch ein erhöhtes Niveau der aktiven organischen Masse und einer Verengung des C/N-Verhältnisses in den eingebrachten organischen Ernterückständen (HASSINK et al., 1990).

Die N-Nachlieferung ist in der deutschen Literatur meist an die Lieferung aus der Bodensubstanz über die Mineralisation gebunden (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, 1976) bzw. sie umfaßt noch den symbiontisch gebundenen Stickstoff (RIEDER u. GRAF, 1988). In der Folge kam es zu Irritationen, die darauf zurückzuführen waren, daß im Gegensatz zur N-Nachlieferung des Bodens die seitherige Verwendung des Begriffes "N-Nachlieferung" die gesamte N-Lieferung des Standortes mit erfaßte. Demnach wurden die über die Symbiose bereitgestellten Stickstoffmengen ebenso mit erfaßt wie der N-Eintrag aus der Luft und die Ernteverluste sowie die Freisetzung von Stickstoff aus der organischen Komponente der Wirtschaftsdünger. Möglicherweise ist die Einführung und zukünftige Verwendung des Begriffes "Stickstofflieferung des Standortes" weniger irreführend. Diese N-Lieferung des Standortes umfaßt alle oben genannten N-Quellen an einem gegebenen Standort in einem Wert wohlweisend, daß dieser Wert unter Berücksichtigung aller auftretenden Stickstoffquellen jahresweise starken Schwankungen unterliegt. Gemäß mehreren Autoren (u.v.a. SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1976; JÜRGENS-GSCHWIND, 1977; WERMKE, 1984; T'MANNETJE und JARVIS, 1990) setzt sich die N-Zufuhr am Standort zusammen aus: N-Düngung, symbiontischer und nicht symbiontischer N-Bindung, der N-Zufuhr über Niederschläge sowie der N-Mineralisation aus der organischen Substanz bzw. der N-Festlegung durch Mikroben. N-Verluste ergeben sich aus dem Entzug der Pflanzen, der Auswaschung und den gasförmigen N-Verlusten.

Schon RYDEN (1984) hat beschrieben, daß die Bestimmung einzelner Größen aus dem Stickstoffkreislauf teilweise nicht oder nur mit erheblichem Aufwand möglich ist. Zum gleichen Schluß kommen OLFS und WERNER (1993). Feldmessungen der Ammoniakabgasung, der Denitrifikation, der Mineralisation sowie der symbiontischen N-Bindung sind auch derzeit nur mit erheblichem apparativem Aufwand realisierbar (u.a. BOLLER, 1988). Für die Bemessung der Düngung in der landwirtschaftlichen Praxis sind solche Methoden nicht anwendbar. Aus Gründen der einfacheren Handhabbarkeit wird deshalb für die praktische Düngeberechnung trotz aller bestehenden Ungenauigkeiten vorgeschlagen, die Stickstofflieferung des Standorts als eine alle Zu- und Abgänge umfassende

pauschale Größe zu verwenden. In dieser Meßgröße ist berücksichtigt, daß verschiedene Anteile der Stickstofffraktionen im Boden festgelegt werden und andere in die Luft oder in das Grundwasser verloren gehen. Ein weiterer Anteil ist direkt pflanzenverfügbar und sollte deshalb in die Berechnung der Düngergaben einbezogen werden. Die Abschätzung dieser Größe erfolgte für Baden-Württemberg als Differenz zwischen Entzug durch pflanzliche Ertragsmasse und der Düngung. Sie wurde durch die entsprechende Auswertung vieler Düngeversuche (KRAUSE und MÜLLER, 1973; SCHIEFER et al., 1983) empirisch ermittelt und liegt je nach Art und Häufigkeit der Nutzung sowie der zusätzlichen Düngung und den ökologischen Eigenschaften des Standortes zwischen 50 und 150 kg N/ha (Tabelle 1). Die Versuchsergebnisse wurden entsprechend der jeweils angelegten Nutzungshäufigkeit gruppiert. Diesem Vorgehen liegt die Überlegung zugrunde, daß häufigere Nutzung nur auf ertrag-reicheren Standorten möglich ist und entsprechend die Mineralisationsbedingungen und die bei zunehmender Nutzungshäufigkeit gesteigerten Kleeanteile im Bestand eine größere Verfügbarkeit von Stickstoff nach sich ziehen. Eine Zuordnung der Ergebnisse zu bestimmten ökologischen Standort-eigenschaften erfolgte durch SCHIEFER (et al., 1983). Die Werte werden in der Höhe bestätigt von KUNTZE (1985) und RIEDER (1985). BROCKMAN (1969) erwähnt sogar Werte zwischen 100 und 900 kg N/ha.a in Großbritannien in Abhängigkeit vom Boden. JACOB (1991) erwähnt Werte für den nachhaltigen Entzug von 300 kg aus nicht mit Stickstoff gedüngten Parzellen im Allgäu.

Tabelle 1: Stickstoffentzug auf Dauergrünland in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität (KUNZ, 1991)

Nutzung	n	Ertrag TM dt/ha	N-Düngung XP dt/ha	N-Lieferung kg/ha	N-Lieferung kg/ha	N-Entzug kg/dt T
	41	73.8	8.3	58	75	1.80
III	64	90.8	11.5	83	101	2.02
IV	111	104.3	16.9	163	106	2.58
V	22	105.5	20.2	173	150	3.05
x	238	95.5	14.2	125	125	2.34

= Einzeljahreerträge

Material und Methoden

Zwei der fünf Versuchsstandorte wurden dreimal jährlich genutzt (Neresheim auf der Schwäbischen Alb und Titisee-Neustadt im Hochschwarzwald). Die drei anderen Flächen - Gaisbeuren in Oberschwaben, Oberndorf und Bad Teinach an der Ostabdachung des Schwarzwaldes - wurden je viermal genutzt.

Als Düngevarianten wurden verglichen:

- 1 ohne Stickstoff,
- 2 ordnungsgemäße Stickstoffdüngung (= geschätzter N-Entzug minus Stickstofflieferung des Standortes),
- 3 reduzierte N-Düngung (20 % weniger N als bei ordnungsgemäß) mit mineralischem Dünger
- 4 reduzierte N-Düngung (20 % weniger N als bei ordnungsgemäß) mit verdünnter Gülle (mit mineralischem P,K-Ausgleich).

Ab 1992 wurden an allen Standorten noch zwei Entzugsvarianten eingerichtet. Und zwar mit mineralischer Düngung nach Entzug und zum zweiten Güllendüngung mit mineralischem N-Ausgleich nach Entzug minus 20 %.

Die Gülle wurde stets auf einen Trockensubstanzgehalt von 3,5 % verdünnt um einen Vergleich der Güllendüngung an allen Standorten zu ermöglichen. Für Titisee-Neustadt wurden 70 kg N/ha.a; für alle anderen Standorte 100 kg N als potentielle Lieferung des Standortes angesetzt. Diese Werte entsprachen der ursprünglichen Version der Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO, 1987). Folgende Stickstoffmengen wurden je Jahr entsprechend der Ertragsersparnis des Standortes verabreicht (jeweils in der obigen Reihenfolge der Düngevarianten):

Neresheim (0; 87; 70; 74);
Titisee (0; 70; 56; 63);
Oberndorf (0; 125; 100; 101);
Bad Teinach (0; 125; 100; 96)
Gaisbeuren (0; 220; 176; 170).

Die P,K-Düngung wurde zwischen den Varianten gleich gehalten.

Zur Abschätzung der symbiontisch gebundenen N-Menge wurden an allen Aufwüchsen jeder Wiederholung von jeder Variante 150 g Weißklee herausortiert und auf den Gesamtstickstoffgehalt hin untersucht. Mit der Formel von BOLLER (1988) wurde der jeweilige symbiontisch gebundene Anteil pro Schnitt abgeschätzt und über die nach KLAPP/STÄHLIN ermittelten Ertragsanteile als insgesamt gebundene N-Menge hochgerechnet.

$$\% \text{ N symb.} = 73,8 - 0,142 \times \text{Kleeanteil (\%)} + 0,411 \times \text{TS-Ertrag (dt/ha pro Schnitt)}$$

Versuchsstandorte:

Im Versuchsjahr 1989 wurden die Standorte von Herrn Vogelgsang vom Amt für Landwirtschaft in Riedlingen standörtlich bewertet und 1990 von Herrn Dr. Deller (LUFÄ Augustenberg) weitergehend untersucht. Beiden Herren wird an dieser Stelle für die Durchführung der Untersuchungen herzlich gedankt.

a) Neresheim-Ohmenheim

Lage: Albbuch-Härtsfeld; ca. 570 m ü. NN, Ø-Temp.: 7,5° C; Ø-Niederschlag: 865 mm; C/N-Verhältnis: 10:1.

Boden: Tiefhumoses, lehmig-toniges, pseudovergleytes, kalkhaltiges anthropogen umlagertes mittelgründiges Kolluvium mit Pelosoldynamik über stark pseudovergleyter Pelosol-Pararendzina aus Zementmergel des Oberen Weißjura

Horizonte: Ah: 0-20 cm; Sw-M: 10-55 cm; PSd-elCV: 55-120 cm +; Gründigkeit: mittel; Bodenart: stL

b) Titisee-Neustadt:

Lage: Niederterrasse; ca. 840 m ü.NN; Ø-Temp.: 5,8 ° C; Ø-Niederschlag: 1228 mm; C/N-Verhältnis: 12:1.

Boden: Saure, mittel bis mäßig tiefgründige, lehmiggröbsandige bis gröbsandig-lehmige Braunerde aus fluvioglazialen Sedimenten (vorwiegend Gneise und granitisierte Gneise)

Horizonte: Ahp: 0-25 cm; Bv: 25-45cm; (C-)Bv: 45-95 cm; Cn: 95-165+cm; Gründigkeit: tief; Bodenart: sL

c) Oberndorf-Beffendorf

Lage: Lettenkeuper-Hochfläche; ca. 670 m ü.NN; Ø-Temp.: 7,8 °C; Ø-Niederschlag: 851 mm;

C/N-Verhältnis: 10:1.

Boden: Mäßig saurer, mittelgründiger Braunerde-Pseudogley aus schluffig-lehmiger Deckschicht über toniger Fließerde, im Untergrund Tongestein des Lettenkeupers

Horizonte: Ahp: 0-20 cm; Sw-Bv: 20-40 cm; IISd: 40-80 cm; IIISd-Cv: 80-140 cm; Cvn: 140-180+ cm; Gründigkeit: mittel; Bodenart: tU

d) Bad Teinach-Lützenhardt:

Lage: Hochfläche des oberen Buntsandsteins, ca. 600 m ü.NN; Ø-Temp.: 7,3 °C; Ø-Niederschlag: 1049 mm; C/N-Verhältnis: 10:1

Boden: Mäßig saure, mäßig-tiefgründige, pseudovergleyte Pelosol-Braunerde aus schluffig-tonig-lehmiger bis tonig-lehmiger Deckschicht, über lehmig-toniger Fließerde des oberen Buntsandsteins, im Untergrund Rötton

Horizonte: Ahp: 0-20 cm; (Sw-)Bv: 20-40 cm; II Sw-Bp: 40-65cm ; III Sd-Pv: 65-130+ cm; Gründigkeit: mäßig; Bodenart: sL

e) Gaisbeuren:

Lage: Jungmoräne-Hügelland; ca. 600 m ü.NN; Ø-Temp.: 7,5 °C; Ø-Niederschlag: 874 mm; C/N-Verhältnis: 11:1.

Boden: Mäßig tiefgründige, erodierte Parabraunerde aus Geschiebemergel der Würm-Grundmoräne, mit schluffig-lehmiger Deckschicht

Horizonte: Ah: 0-20 cm; Bt: 20-35 cm; II Bt: 35-65 cm; Cv-B: 65-85 cm; eCv: + 100 cm; Gründigkeit: mäßig; Bodenart: sL

Ergebnisse

Die Einbeziehung der N-Lieferung des Standortes in den hier darzustellenden Düngungsversuch hatte folgende Auswirkung auf die TM-Erträge (Tabelle 2).

Tabelle 2: Mittlere TM-Erträge der unterschiedlichen Versuchsstandorte (1988 bis 1992)

Variante Standort	N-Null	Od-gem.	reduziert mineral.	Gülle	Mittel	Stat.ges. Diff. (p=0.05)
Neresheim	79,2	94,5	87,5	87,4	87,2	D
T.-Neustadt	72,7	82,6	84,1	79,7	79,7	E
Oberndorf	87,0	97,0	93,9	95,6	93,4	C
Bad Teinach	87,7	105,7	100,2	101,8	98,6	B
Gaisbeuren	108,3	126,8	123,1	125,4	120,9	A
Mittel (relat.)	87,0 86,1	101,1 100	97,7 96,6	98,0 96,9		
Stat.ges. Diff.(p=0.05)	C	A	B	B		

Die Düngung mit Gülle hatte im Durchschnitt den gleichen Ertrag wie die nährstoffmäßig gleiche mineralische Düngung zur Folge. Dies ist insofern überraschend als mit vielen Ergebnissen bislang

nur Mineraldüngergleichwerte bei der Gülledüngung von etwa 90 % nachgewiesen wurden (ELSÄSSER u. KUNZ, 1992; SCHECHTNER, 1992). Es wurde aber auch verschiedentlich gezeigt, daß sich die Effizienz der Gülledüngung mit zunehmender Anwendungsdauer verbessert (u.a. ELSÄSSER und KUNZ, 1994). Der Grund für die im Vergleich zur landwirtschaftlichen Praxis ausgezeichnete Güllwirkung ist vermutlich in dem stets für das pflanzliche Wachstum gut geeigneten Ausbringungszeitpunkt und dem Grad der Verdünnung der Gülle (TS-Gehalt stets etwa 3,5 %) zu suchen.

Durch Düngung ausschließlich mit P und K wurde der Ertrag durchschnittlich um 16 % erniedrigt. So gering die Unterschiede zwischen den Varianten einerseits ausfielen, so stark negativ veränderte sich andererseits das generelle Ertragsniveau im Verlauf der bisherigen Versuchsperiode von 1988-1992 (Abb. 1).

Abbildung 1: Veränderung des Ertragsniveaus während der Versuchsphase

In Titisee-Neustadt war die Absenkung des Ertragsniveaus um über 40% sehr hoch. Relativ gering waren die Abnahmen am sehr humusreichen Standort Neresheim (s.a Tabelle 4). Die anderen Standorte lagen zahlenmäßig dazwischen.

Für den allgemeinen Rückgang des Ertragsniveaus während der bisherigen Versuchsdauer können im wesentlichen drei Faktorenkomplexe als Erklärung dienen:

1. das Vorgehen bei der Einbeziehung der N-Lieferung in die Bemessung der Düngung;
2. Standorteinflüsse (vor allem die Trockenheit der letzten Jahre) oder (und)
3. die versuchsmäßige Bewirtschaftung der Parzellen.

Tabelle 3: Nettonachlieferung in kg N/ha

Ort	Variante	Nettonachlieferung						Summe	
		1988	1989	1990	1991	1992	1993	88-92 Ø	
Neresheim	NO,PK	136	153	154	190	199	252	1084	181
	Od.gem.	106	110	99	122	138	210	785	131
	red. min.	100	105	88	122	131	180	726	121
	red. Gülle	114	91	122	135	129	197	788	131
Titisee-Neustadt	NO,PK	153	189	190	174	129 *)	-	835	167
	Od.gem.	112	101	93	98	78	-	482	96
	red. min.	130	121	110	121	91	-	573	115
	red. Gülle	121	109	127	104	94	-	555	111
Oberndorf	NO,PK	311	249	270	203	145	204	1382	230
	Od.gem.	201	116	128	98	65	76	684	114
	red. min.	206	137	156	115	68	85	767	128
	red. Gülle	196	139	184	139	95	138	891	149
Bad Teinach	NO,PK	188	213	230	150	159	175	1115	186
	Od.gem.	167	134	110	61	87	65	624	104
	red. min.	151	159	130	71	104	94	709	118
	red. Gülle	162	152	164	104	102	121	805	134

Gaisbeuren NO,PK	291	328	259	333	223	*)	1434	287
Od.gem	166	119	90	138	90	-	603	121
red. min	175	142	112	163	103	-	695	139
red. Gülle	178	140	132	192	78	-	720	144

*) die Standorte Titisee und Gaisbeuren wurden ab 1993 ohne Ertragsbestimmung weitergeführt.

Anhaltspunkte zur Klärung der Frage inwieweit die Einbeziehung der N-Lieferung ausschlaggebend für den Ertragsabfall ist, kann Tabelle 3 geben, in der die durchschnittliche Standortlieferung im Verlauf der Versuchsperiode dargestellt wurde. Daraus ist ersichtlich, daß die N-Lieferung an keinem Standort einheitlich abfallend ist, sondern auch noch nach 6 Versuchsjahren das Ausgangsniveau in etwa gehalten werden konnte. Ein weiteres Indiz für die Nachhaltigkeit kann die Betrachtung der Humusgehalte liefern (Tabelle 4). Es zeigte sich, daß außer am Standort Oberndorf eine Abnahme nicht generell, sondern wenn überhaupt nur bei einzelnen Versuchsvarianten erfolgte. Dies ist insofern auch nicht verwunderlich, als Änderungen des Humusgehaltes in aller Regel nicht sehr rasch vor sich gehen.

Tabelle 4: Humusgehalte 1988 - 1992 (0 - 30 cm)

Standort	Variante.	1988	1989	1990	1991	1992	Veränderung (92:88)
Neresheim	1	11,06	11,55	11,17	11,86	11,79	+
	2	11,06	10,86	11,27	12,64	12,30	+
	3	11,06	11,21	12,55	11,51	12,03	+
	4	11,06	12,41	11,55	11,88	11,35	+
Titisee-Neustadt	1	9,90	11,03	12,43	10,07	10,79	+
	2	9,90	11,38	11,81	10,07	9,72	-
	3	9,90	9,31	11,33	9,91	11,57	+
	4	9,90	11,03	10,87	10,52	12,06	+
Oberndorf	1	4,18	4,48	4,38	4,59	3,34	-
	2	4,18	3,97	3,95	3,57	3,08	-
	3	4,18	3,62	3,86	4,07	3,41	-
	4	4,18	4,31	3,59	3,57	3,40	-
Bad Teinach	1	5,50	5,17	4,88	5,79	5,01	-
	2	5,50	5,52	4,83	5,43	5,72	+
	3	5,50	5,52	4,69	5,79	6,24	+
	4	5,50	5,34	4,45	5,52	5,86	+
Gaisbeuren	1	3,81	3,62	3,93	4,07	3,69	-
	2	3,81	3,28	3,48	4,03	3,33	-
	3	3,81	3,79	3,00	4,03	3,96	+
	4	3,81	3,45	3,14	3,33	3,72	-

Die Frage ist nun, welche Stickstoffquellen eines Standortes sind nachhaltig vorhanden und in welcher Menge pro Jahr wird von ihnen Stickstoff abgegeben?

BALL (1983) und TMANNETJE/JARVIS (1990) belegen, daß bei langjährigem Grünland auf Mineralboden ein Gleichgewicht zwischen der Mineralisierung und der Immobilisierung von Stickstoff besteht. Demnach könnten als stetiger Zufluß nur die symbiontisch gebundene N-Menge, die Erntereste, der Stickstoffeintrag aus der Luft und die bei organischer Düngung nicht verbrauchte Reststickstoffmenge gelten. Der Abschätzung des symbiontisch von Leguminosen gebundenen Stickstoffs kommt deshalb eine wesentliche Bedeutung zu, wobei nicht geklärt ist, ob der gebundene Stickstoff den übrigen Graspflanzen komplett zur Verfügung steht (KELLER, 1993). Als mögliche exakte Verfahren zur Bestimmung der Symbioseleistung werden in der Literatur folgende Verfahren vorgeschlagen: Differenzmethode, N15-Methode und Acetylen-Methode (u.a. DYCKMANS, 1986). Während die Differenzmethode aufgrund der hohen Diversität der Bestände im Dauergrünland nur schwer oder gar nicht einsetzbar ist, setzen die anderen Methoden einen sehr hohen apparativen Aufwand voraus. Zudem ist die Bedienung anspruchsvoll und für die landwirtschaftliche Praxis kaum durchführbar. Eine Abhilfe könnte die Entwicklung von einfachen Schätzverfahren zur Bestimmung der N-Bindung von Leguminosen darstellen. Eine erste Möglichkeit könnte das von BOLLER (1988) für die Anwendung im "Kunstofferbau" entwickelte Schätzverfahren sein, das neben dem TM-Ertrag der Leguminosen noch deren Rohproteingehalt verwendet. Der Berechnung liegt die Überlegung zugrunde, daß in Abhängigkeit von der Höhe der Stickstoffdüngung, vom Leguminosenanteil des Bestandes und dem Ertrag der Anteil des symbiontisch gebundenen Stickstoffs im Weißklee zwischen 70 und 85% liegt. Nach NEUENDORFF und SPATZ (1991) wird zudem der prozentuale Anteil des symbiontisch gebundenen Stickstoffs am Gesamtstickstoff des Weißklee nur wenig von der Düngung beeinflusst.

Tabelle 5 beschreibt die daraus abgeleiteten Ergebnisse hinsichtlich des jeweiligen Anteils an symbiontisch gebundenem Stickstoff. Daraus läßt sich dann in der Folge die N-Lieferung der Leguminosen abschätzen.

Tabelle 5: N-Lieferung der Leguminosen in kg N/ha (s = Standardabweichung)

Varianten	ohne N	reduziert	Dgg. nach Entzug			
		Od-gem.	mineral.	organ.	Odgem.	reduz.

Anteil des symbiont. geb. N in %						
1992	79,2	82,8	82,1	81,6	84,5	83,6
1993	79,2	82,5	81,9	81,7	86,5	84,6

durchschn. N-Bindung (kg N/ha)						
1992 (n=5)	32,2	16,4	16,8	23,8	11,5	20,9
s	14,9	6,11	8,55	3,97	7,17	6,76
1992 (n=3)	23,4	13,0	11,4	23,0	6,5	17,2
s	7,7	3,94	10,8	6,62	1,35	3,96
1993 (n=3)	49,5	27,4	22,9	35,3	6,9	18,2
s	9,15	14,7	3,47	1,05	2,04	4,88

*) n bezieht sich auf die Anzahl der Standorte.

Es zeigte sich, daß der Anteil des symbiontisch gebundenen Stickstoffs nur wenig zwischen den Jahren variierte und die insgesamt von Weißklee gebundene Stickstoffmenge je nach Höhe der Stickstoffdüngung zwischen 6,5 (bei Düngung nach Entzug) und 49,5 kg N/ha (bei N-Null-Düngung) betrug.

Zur weiteren Klärung der Frage, warum das Ertragsniveau im Verlaufe der Versuchsperiode absank und ob die N-Lieferung des Standorts in die Berechnung des zu düngenden Stickstoffs einbezogen werden kann, wurden zwei Wiederholungen zweier Versuchsvarianten auf allen Standorten seit 1992 nach Entzug gedüngt, was statistisch gesicherte Mehrerträge dieser Parzellen von 12 bzw. 10 Prozent im Jahr 1992 zur Folge hatte. Diese höhere Düngung hatte aber gleichzeitig auf allen Standorten eine drastische Narbenauflockerung zur Folge. Damit liegt die Vermutung nahe, daß die Einbeziehung der N-Nachlieferung in die Düngeberechnung zwar grundsätzlich so bestehen bleiben kann, aber in der angelegten Größenordnung überprüft werden muß.

Ein möglicher Ausweg zur Festlegung der anrechenbaren Stickstofflieferung kann evtl. über die "apparent N recovery rate" nach VAN DER MEER and VAN UUM-VAN LOHUYZEN (1986) gegeben werden. Diese Wiederfindungsrate wird bestimmt als Differenz im N-Ertrag zwischen der gedüngten und der nicht mit N gedüngten Parzelle und ausgedrückt in Prozent des aufgewendeten Stickstoffs. In Abbildung 2 sind die Ergebnisse für die Versuchsperiode und alle Standorte aufgetragen.

Abbildung 2 : N-Wiederfindungsrate in %

Es fällt auf, daß die Wiederfindungsrate in den Versuchen zunächst weitgehend unabhängig von der Höhe der Düngung ist. Die Rate ist mit Werten von maximal 60 % im Durchschnitt sehr gering. Sie weist vor allem bei niedrigen Düngegraden sogar negative Werte auf, was bedeutet, daß der eingesetzte Dünger nicht in Stickstofftrag umgesetzt wurde und die Nullparzellen schon an sich hohe N-Erträge lieferten. Zwei Effekte kommen hier gleichzeitig zum Tragen. Erstens das hohe Nährstoffpotential der Standorte und zum zweiten die rasche Umstellung der Pflanzenbestände mit teilweise sehr hohen Ertragsanteilen von Leguminosen in den nicht mit Stickstoff gedüngten Parzellen. Die Einschätzung der N-Lieferung des Standortes muß deshalb um die N-Menge korrigiert werden, die von den Leguminosen symbiontisch gebunden wurde. Das ist mit Abbildung 3 geschehen. Dabei wurde wie folgt vorgegangen. Für die Jahre 1992 und 1993 wurde die mit der BOLLER-Formel abgeschätzte N-Lieferung vom N-Ertrag der Nullparzellen abgesetzt. Für die vorausgegangenen Jahre wurden die Mittelwerte aus den Jahren 1992 und 1993 eingesetzt.

Abbildung 3: Um die Symbioseleistung von Weißklee korrigierte N-Wiederfindungsrate

Aus der Abbildung ist zu erkennen, daß sich die Wiederfindungsrate für den mineralischen Stickstoff nach der Korrektur um die symbiontische Stickstofflieferung des Weißklee deutlich erhöht. Allerdings gibt es immer noch Parzellen, in denen der zugeführte Stickstoff zu keinem Mehrertrag an Stickstoff, in einzelnen Fällen sogar zu geringeren Stickstoffträgen führte. Dies kann durchaus als Indiz dafür gewertet werden, daß in die Düngebilanz eine von Bodenbedingungen und Witterung abhängige Größe, nämlich die "Stickstofflieferung des Standortes" aufgenommen werden sollte.

Diskussion und Schlußfolgerungen

Unter leistungsfähigen, schnittgenutzten Grünlandnarben findet angeblich erst bei Stickstoffgaben über 400-500kg N/ha eine nennenswerte Nitratanreicherung und -auswaschung statt (u.a. GARWOOD and TYSON, 1973; DOWDELL and WEBSTER, 1980; PRINS, 1984 alle zitiert bei THEISS, 1989). RYOO (1994) erwähnt allerdings, daß bei verhaltener Stickstoffdüngung der N-Austrag deutlich zunimmt. Auch gibt es bei Betrachtung des Gesamtsystems "Landwirtschaftlicher Betrieb" unter Einbeziehung der Tiere beträchtliche Schwierigkeiten (VAN DER MEER and VAN

UUM-VAN LOHUYZEN, 1986). Trotzdem wird durch eine Vielzahl von Versuchsergebnissen belegt, daß beim Vergleich zwischen der gedüngten Menge an Stickstoff und dem tatsächlichen Entzug durch den Pflanzenbestand des Dauergrünlandes ein zunächst nicht erklärbarer Fehlbetrag existiert. Dieser Fehlbetrag kann der Stickstofflieferung des Standortes ganz allgemein zugeschrieben werden. Welche Stickstoffquellen im einzelnen vorhanden sind, wird von vielen Autoren geschildert (u.a.a. von RYOO, 1994). Zwar belegen BALL (1983) und T'MANNETJE and JARVIS (1990), daß bei langjähriger Grünlandnutzung auf Mineralboden ein Gleichgewicht zwischen der Mineralisierung und der Immobilisierung von Stickstoff besteht. Dies hieße aber, daß bei Verzicht auf Stickstoffdüngung und gleichbleibendem Humusspiegel keine nennenswerte Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff mehr zur Verfügung stünde. Dem widersprechen jedoch die vorliegenden Versuchsergebnisse und auch die Ergebnisse von RYOO (1994) aus dem württembergischen Allgäu. Seinen und den Ausführungen von BRIEMLE (1988) zufolge war auf produktiven Standorten nämlich trotz ausgesetzter Stickstoffdüngung ein konstant hoher N-Entzug zu verzeichnen. Im Hinblick auf eine Verringerung der Nitratbelastung des Grundwassers sollte jedoch diese vom Boden bereitgestellte Stickstoffmenge in die Berechnung der Stickstoffdüngung mit einbezogen werden. RIEDER hat dies bereits im Jahr 1985 gefordert; mit der SchALVO in Baden-Württemberg wurde dies seit 1987 gesetzlich vorgeschrieben.

Mit dem vorliegenden Versuch konnte nachgewiesen werden, daß die Stickstofflieferung des Standortes über mehrere Jahre hinweg existent ist. Bei einer Mineralisationsrate des Bodenvorrates an Stickstoff von 1-2% (KUNTZE, 1985), kann bei Stickstoffvorräten von mehr als 10,000 kg N/ha, die unter langjährig intensiv genutztem Dauergrünland durchaus nicht ungewöhnlich sind, viele Jahre mit einer konstanten Stickstoffquelle gerechnet werden. Allerdings ist das Ausmaß der Stickstofflieferung entscheidend abhängig von der Witterung, dem Bodenwassergehalt und der Bodentemperatur (MAYER, 1990) sowie der angelegten Düngung, die maßgeblich entscheidet über den Leguminosenanteil und die jeweilige N-Bindungsrate (BOLLER et al., 1992). NESHEIM und BOLLER (1991) führten aus, daß die Konkurrenz mit Gras zu einer Steigerung des Anteils an symbiontisch gebundenem Stickstoff führt, weil sich der Weißklee ohne Konkurrenz weitgehend des Bodenstickstoffs bedient. Demnach ist der Anteil an symbiontisch gebundenem N größer bei höherer N-Düngung, die in aller Regel den Grasanteil steigert. Dieser Effekt konnte auch mit den vorliegenden Ergebnissen nachvollzogen werden.

Nach RIEDER und GRAF (1988) ist die Vorgehensweise zur Bemessung der Stickstoffdüngung auf Grünland relativ schwierig. Das liegt u.a. daran, daß die Erträge zwischen den Jahren stark variieren und mehrere Aufwüchse pro Jahr zu düngen sind. Desweiteren sind die Mineralisationsbedingungen von klimatischen Faktoren abhängig und vorausschauend kaum einzuschätzen. Wenn die Düngung zudem grundwassergerecht erfolgen soll, dann muß an sie die Forderung eines möglichst effizienten Einsatzes des Nährstoffes Stickstoff gestellt werden. Das bedeutet gleichzeitig, daß die Stickstoffwiederfindungsrate möglichst hoch und die Stickstoffverluste durch Auswaschung und Denitrifikation möglichst gering sein sollen. Zur Reduzierung der Verluste stehen u.a. folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Anpassung von N-Input an den N-Output, d.h. eine Reduzierung des N-Düngeaufwandes
2. Verzicht auf mineralische N-Düngung und stattdessen Förderung von Weißklee, wobei die von den Leguminosen gebundene Stickstoffmenge in die Bilanz einbezogen werden muß;
3. Verbesserung des Einsatzes wirtschaftseigener Düngemittel im Hinblick auf Menge, Ausbringungsverfahren und Düngungszeitpunkt
4. Wahl von Düngerformen mit geringer Ammoniakabgasung.

Ein Hilfsmittel zur Abstimmung von In- und Output ist die Berechnung einer Stickstoffbilanz. Allerdings sollte die Beurteilung der Gefährdung von Stickstoffverlusten nicht auf den Mittelwerten, sondern auf den Abweichungen vom Durchschnittswert basieren (OPITZ von BOBERFELD, 1991).

Solche Abweichungen könnten aus der inneren Verkehrslage der Grünlandflächen oder aus Unterschieden in der botanischen Zusammensetzung sowie unterschiedlichen Böden herrühren. Mithin sollte für die Bemessung der Düngergaben die hofbezogene Stickstoffbilanz zwingend durch eine schlagbezogene Bilanzierung ergänzt werden. Da mit den vorliegenden Versuchen die Nachhaltigkeit einer Stickstofflieferung des Standortes belegt werden konnte, sollte in diese Schlagbilanz ein Wert für die Stickstofflieferung des Standortes einbezogen werden. Dies kann zum einen zur Risikominderung beitragen, zum anderen ist das Grünland heutigen Zuschnitts in aller Regel lange Jahre intensiv genutzt und gedüngt worden. Damit kann ein vorhandener Nährstoffpool von bis zu 10,000 kg organisch gebundenem Stickstoff unter Grünland oder sogar noch mehr durchaus viele Jahre einen einigermaßen konstanten Beitrag zur Stickstoffversorgung von Grünlandbeständen leisten.

Allerdings ist dieser Beitrag von den ökologischen Eigenschaften des Standortes abhängig. BRIEMLE (1988) fordert deshalb die kombinierte Betrachtung des Gesamtstickstoffgehaltes mit dem C/N-Verhältnis sowie der ökologischen Bodenfeuchte ermittelt über die ökologischen Wertzahlen nach ELLENBERG. Da die von ihm vorgeschlagene Methode noch nicht in der Praxis verifiziert ist, kann die N-Lieferung solange als von der Nutzungshäufigkeit abhängige Schätzgröße verwendet werden, bis eine einigermaßen exakte und leicht handhabbare Methode für die Bestimmung aller, die Gesamtheit der Stickstofflieferung bildenden Einzelkomponenten vorhanden ist. Dieses Vorgehen erscheint zumindestens immer dann sinnvoll zu sein, wenn es gilt das Risiko eines Nitrataustrages in den Unterboden zu senken.

Zusammenfassung

An fünf für Baden-Württemberg typischen Dauergrünlandbeständen in unterschiedlichen Grünlandregionen wird seit 1988 der Einfluß unterschiedlicher Stickstoffdüngung auf Trockenmasseerträge, botanische Zusammensetzung des Bestandes und Bodenparameter untersucht.

In die Berechnung der sogenannten "ordnungsgemäßen" Düngung wird die geschätzte Stickstofflieferung des Standortes einbezogen und hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Ertragsbildung erfaßt. Die N-Lieferung ist neben pedologischen Eigenschaften noch von anderen ökologischen Eigenschaften des Standortes abhängig. Zudem wird sie noch von der Nutzungshäufigkeit und dem Kleeanteil des Bestandes maßgeblich beeinflusst. Es wird dargelegt, daß sich die N-Wiederfindungsrate erhöht, wenn die N-Lieferung nicht nur am Ertrag der Nullparzelle, sondern am durch die symbiotische N-Bindung verminderten N-Ertrag der Nullparzelle bestimmt wird. Die Einbeziehung der Stickstofflieferung des Standortes als feste Größe für die Bemessung der Stickstoffdüngung in der Praxis erscheint zumindestens solange gerechtfertigt, bis einfach zu handhabende Methoden zur Bestimmung aller Einflußgrößen des Stickstoffhaushaltes verfügbar sind und solange es darum geht, das Risiko eines Nitrataustrages in den Unterboden zu senken.

Abstract

On permanent grassland swards at five different sites in Baden-Wuerttemberg (South-Germany) the effects of different amounts of nitrogen on yield, botanical composition and soil parameters were enregistered. The measurement of the N fertilization follows a new calculation system, which takes the total N delivery of the site into account. According to this procedure, based on the water protection law in Baden-Wuerttemberg, where the N delivery is calculated as the difference between the N withdrawal by plant biomass and the fertilized N, the DM yield differs only slightly between the different variants. The general level of yield decreased in the experimental period from 1988 to 1993. The N delivery capacity stayed constantly over the same time, which gives the impression, that the calculation system should be kept. Moreover a easy method for determing the amount of symbiotic nitrogen fixation is discussed.

Literatur:

- AARTS, H.F.M., E.E.BIEWINGA und H.VAN KEULEN, 1992: Dairy farming systems based on efficient nutrient management. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 40, 285-299.
- BACH, M., 1987: Die potentielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 93, 1-186.
- BALL, P.R., 1983: Effect of grazing ruminants on the nitrogen economy of pastures. In: *Nitrogen fluxes in intensive grassland systems*. Workshop, Wageningen, 83-100.
- BOLLER, B., 1988: Biologische Stickstoff-Fixierung von Weiß- und Rotklee unter Feldbedingungen. *Landwirtschaft Schweiz*, Vol. 1 (4), 251-253.
- BOLLER, B., NESHEIM, L., LEHMANN, J. und U. WACHTER, 1992: Einfluß von Gülle und mineralischer N-Düngung auf N-Fixierung von Weißklee. *Landwirtschaft Schweiz*, 5 (4), 149- 151.
- BRIEMLE, G., 1988: Nachlieferung an Mineralstickstoff aus dem Boden unter Wirtschaftsgrünland und Konsequenzen für die Stickstoffdüngung. *Das wirtschaftseigene Futter*, 34, 2, 117-141.
- BROCKMAN, J.S., 1969: The relationship between total N input and the yield of cut grass. *Journal of the British Grassland Society*, 24, 89-96.
- DYCKMANS, A., 1986: Die Bedeutung des Weißkleees im Dauergrünland. Dissertation Hohenheim.
- ELSÄSSER, M., 1991: Auswirkungen "wasserschutzgemäßer" N-Düngung auf Ertrag, Pflanzenbestand und Konservierbarkeit verschiedener Grünlandbestände und den Nmin-Gehalt des Bodens. *Jahrestagg. AG Grünland und Futterbau*, Bad Hersfeld, 107-121.
- ELSÄSSER, M., 1993: Konsequenzen bei der Einbeziehung der N-Nachlieferung des Standortes in die Bemessung der N-Düngung auf Grünland. *Mitt. Gesells. f. Pflanzenbauwissenschaften*, 6, 101-104.
- ELSÄSSER, M. und H.G.KUNZ, 1992: Technische Behandlung von Rindergülle und ihre Einflüsse auf Grünland bei variierter Ausbringung. *Tagung der AG der Grünland- und Futterbauinstitute*, Hohenheim, 187-192.
- ELSÄSSER, M. und H.G. KUNZ, 1994: Technische Maßnahmen zur Güllebehandlung und ihre Auswirkungen auf das Dauergrünland. *Tagung der AG der Grünland- und Futterbauinstitute*, Oberweißbach, 34-43..
- HASSINK, J., SCHOLEFIELD, D. and P.BLAUTERN, 1990: Nitrogen mineralisation grassland soils. *Proceedings 13 th EGF-Meeting*, Banska-Bystrica, 25-32.
- ISERMANN, K., 1990: Ammoniakemissionen der Landwirtschaft als Bestandteil ihrer N-Bilanz und Lösungsansätze zur hinreichenden Minderung. *KTBL Symposium: Ammoniak in der Umwelt*, Braunschweig, 76 S..
- ISERMANN, K., 1991: Nährstoffbilanzen und aktuelle Nährstoffversorgung der Böden. *Sonderdruck 5. Kolloquium zur Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit der R. Bosch Stiftung*, Schwäbisch Hall, 58 S..
- JACOB, H., 1991: Stickstoffeinsatz und Stickstoffeffizienz in bäuerlichen Grünlandbetrieben aus Betriebsanalysen. I. Mitteilung. *Das wirtschaftseigene Futter*, 37, 169-185.
- JÜRGENS-GSCHWIND, S., 1989: Ground water nitrates in other developed countries (Europe)- Relationships to land use patterns. in: *Nitrogen Management and Ground water protection.*- ed. by R.F. Follett, Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- KELLER, T., 1993: Zur Stickstoffdynamik beim gemeinsamen Anbau von Leguminosen und Nichtleguminosen während ihrer Standzeit. *Archiv Acker-Pflanze-Boden*, Vol. 37, 362-371.
- KRAUSE, W. und A. MÜLLER, 1973: Möglichkeiten und Grenzen einer Nutzungsintensivierung auf Dauerwiesen in Abhängigkeit vom Standort. *Das wirtschaftseigene Futter*, 19, 3, 174-194.

- KOREVAAR, H., D.J. den BOER and T.V.VELLINGA, 1988: Intensive and extensive grassland systems: implications of restrictions. Proc. of 12th EGF-General Meeting, Dublin, 98-115.
- KUNTZE, H., 1985: Stoffumsetzungen im Boden und ihre Bedeutung für den Nitratreintrag in das Grundwasser. Sonderdr. aus: Nitrat im Grundwasser, VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- KUNZ, H.G., 1991: Statistische Zusammenstellung von Versuchsdaten. Unveröffentlichte Mitteilung, LVVG Aulendorf.
- MAYER, E., 1990: Regionale und saisonale Unterschiede in der N-Mineralisierung baden-württembergischer Böden. Dissertation Hohenheim.
- MICKLEY, W. und K.STAHR, 1991: Stoffhaushalt und Stoffflüsse in Boden-Catenen der Westallgäuer Würmmoränellandschaft im Hinblick auf die Eutrophierung der Senken (bzw. Oberflächengewässer). Mitt. Dt. Bodenkundl. Gesells., 66, II, 983-986.
- NEUENDORF, J. und G. SPATZ, 1991: Erste Ergebnisse zur Bestimmung der Stickstoff-fixierungsleistung von Weißklee in Weidelgras/Weißklee-Ansaaten. Jahrestagung der AG der Grünlandinstitute, Bad Hersfeld, 194-200.
- NESHEIM, L. and B. BOLLER, 1991: Nitrogen fixation by white clover when competing with grasses at moderately low temperatures. Plant and soil, 133, 47-56.
- OLFS, H.W. und W.WERNER, 1993: Methodische Ansätze zur Erfassung des N-Nachlieferungsvermögens des Bodens. Berichte über Landwirtschaft, 207, 141-157.
- OPITZ von BOBERFELD, W., 1991: Nitratwert unter Grünland. Stickstoffbilanzen erfassen Nitratprobleme oft nur unzureichend. Schwäbischer Bauer, 8, 24-26.
- RIEDER, J.B., 1985: Die N-Nachlieferung unterschiedlicher Pflanzengesellschaften des Dauergrünlandes in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität. Jahrestagg. d. AG Grünland und Futterbau, Aulendorf, 83-94.
- RIEDER, J.B. und R.GRAF, 1988: Die Bilanzierung der N-Düngung auf Dauergrünland. Schule und Beratung, 12, III, 12-14.
- RYDEN, J.C., 1984: The flow of nitrogen in grassland. Proceed. No.229, The Fertilizer Society, London, 3-44.
- RYOO, J.W., 1994: Wirkungen reduzierter Düngungs- und Nutzungsintensität auf einer landschaftstypischen Grünlandfläche des württembergischen Allgäus. Dissertation Hohenheim.
- SAUERBECK, D., 1993: Strategien für einen umweltschonenden Düngereinsatz. Berichte über Landwirtschaft, 170-180.
- SchALVO, 1987: Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung für Wasserschutzgebiete. Gesetzblatt Baden-Württemberg.
- SCHECHTNER, G., 1992: Pflanzenbauliche Bewertung des Wirtschaftsdüngerstickstoffs. Der Förderungsdienst, 3, 13-21.
- SCHEFFER, F. und P.SCHACHTSCHABEL, 1976: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag, Stuttgart, 394 S..
- SCHIEFER, J., KUNZ, H.G. und I. MASSIER, 1983: Natürliche Wachsfaktoren und Grünlandertrag. Das wirtschaftseigene Futter, 29, 55-66.
- STEENVOORDEN, J.H.A.M., FONK, H. and H.P.OSTEROM, 1986: Losses of nitrogen from intensive grassland systems by leaching and surface run-off. In: H.G.VAN DER MEER, J.C.RYELEN and G.C.ENNIK (eds) "Nitrogen fluxes in intensive grassland systems". Developments in Plant and Soil Sciences, 23, 85-99. Martinus Nijhoff, Dordrecht (NL).
- THEISS, H., 1989: Zur Dynamik der Nitrat- und Wasservorräte verschiedener Bodenschichten in Abhängigkeit von Hauptbestandbildner, Narbendichte und N-Düngung. Dissertation Gießen.
- T`MANNETJE, L. and S.JARVIS, 1990: Nitrogen flows and losses in grasslands. Proc. 13th EGF-General Meeting, Banska-Bystrica, Vol.I, 114-131.

- T MANNETJE, L., 1994: Towards sustainable grassland management in The Netherlands. Proc. 15th EGF-General Meeting, Wageningen, 3-18.
- VAN DER MEER, H.G., 1994: Grassland and society. Proc. 15th EGF-General Meeting, Wageningen, 19-34.
- VAN DER MEER, H.G. and M.G. VAN UUM-VAN LOHUYZEN, 1986: Relationships between inputs and outputs of nitrogen in grassland. in: "Nitrogen fluxes in intensive grassland systems". Developments in Plant and Soil Sciences, No.23, 1-18.
- WEISSBACH, F., 1994: Vorschlag zur Ableitung von N-Düngeempfehlungen für eine umweltschonende Weidewirtschaft. Mündl. Mitteilung bei der Tagg. des DLG-Ausschusses für Grünland und Futterbau, Jübeck, 30.6.1994.
- WERMKE, M., 1984: N-Kreislauf auf Dauergrünland bei Rindermast. Sonderdr. Landw. Forschung, 96. VDLUFA-Kongreß, Karlsruhe, 201-213.