

P-00379602

Institut für Pflanzenbau und Grünland

Lehrstuhl für Grünlandlehre

Universität Hohenheim

Prof. Dr. H. Jacob

**Einfluß von Stickstoff-Düngerform und N-Aufwand
auf den N-Umsatz in Pflanze und Boden
sowie auf die Narbenqualität eines Golfgrüns**



Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors

der Agrarwissenschaften

vorgelegt der Fakultät III - Agrarwissenschaften I

(Pflanzenproduktion und Landschaftsökologie)

der Universität Hohenheim

von

Gunther Hardt

aus Regensburg

1994

Gunther Hardt · Dissertation 1994

Institut für Pflanzenbau und Grünland
Lehrstuhl für Grünlandlehre
Universität Hohenheim
Prof. Dr. H. Jacob

**Einfluß von Stickstoff-Düngerform und N-Aufwand
auf den N-Umsatz in Pflanze und Boden
sowie auf die Narbenqualität eines Golfgrüns**

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften
vorgelegt der Fakultät III - Agrarwissenschaften I
(Pflanzenproduktion und Landschaftsökologie)
der Universität Hohenheim

von
Gunther Hardt
aus Regensburg

1994

Die vorliegende Arbeit wurde am 27.08.1993 von der Fakultät III - Agrarwissenschaften I (Pflanzenproduktion und Landschaftsökologie) - der Universität Hohenheim als "Dissertation zur Erlangung des Doktors der Agrarwissenschaften" angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 09.09.1993

Dekan:	Prof. Dr. W.R. Fischer
Berichterstatter:	Prof. Dr. H. Jacob
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. V. Römheld
Mitprüfer:	Prof. Dr. A. Steiner

VORWORT

Mein Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. H. Jacob für die Überlassung des Themas sowie die gewährten Arbeitsmöglichkeiten am Institut für Pflanzenbau und Grünland;

Herrn Prof. Dr. V. Römheld, Institut für Pflanzenernährung der Universität Hohenheim, für die Übernahme des Koreferates;

Herrn Dr. H. Schulz, der durch seine zahlreichen wertvollen Anregungen, der ständigen Gesprächs- und Diskussionsbereitschaft und durch das Einbringen seiner vielfältigen Erfahrungen und Kenntnisse maßgeblichen Anteil am Entstehen dieser Dissertation hat;

Herrn M. Zahner, Herrn A. Vögele und Frau D. Mezger für die Unterstützung bei der Durchführung zahlreicher Analysen;

Herrn Dr. U. Thumm und Frau G. Schnotz für die Einarbeitung und zahlreiche Hilfestellungen am Computer;

der "Golf-Sportstättenbau Firma" J. Mokinski, mit deren großzügiger Spende die Rasen-Lysimeteranlage überhaupt erst erstellt werden konnte;

dem Prüflabor für Freisportanlagen A. Morbach für die bodenphysikalischen Untersuchungen des Rasentragschichtmaterials;

allen meinen Kolleginnen und Kollegen am Institut für Pflanzenbau und Grünland für die angenehme Atmosphäre, Hilfsbereitschaft und gute Zusammenarbeit;

einer Vielzahl von Personen, die durch ihr fachliches Interesse sowie hilfreiche Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben;

meinen Eltern, die mir diese Ausbildung durch Großzügigkeit, Verständnis und Geduld ermöglichten;

last but not least meiner Freundin Christina, die mir stets hilfreich und verständnisvoll zur Seite stand.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung, Problemstellung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1 Definition Rasen	3
2.2 Düngung von Rasenflächen	4
2.3 Beziehungen zwischen N-Düngung und N-Verlusten bei Rasenflächen	8
2.3.1 Schnittgutmengen, N-Gehalt und N-Entzug	8
2.3.2 N-Auswaschung	11
2.3.3 Gasförmige Verluste	14
2.3.4 Bodenvorrat	15
2.4 Beziehungen zwischen N-Düngung und Rasenqualität	17
3. Material und Methoden	19
3.1 Standort	19
3.2 Witterung im Untersuchungszeitraum	19
3.3 Lysimeter	21
3.3.1 Aufbau	21
3.3.2 Bodenphysikalische Werte der Rasentragschicht	23
3.3.3 Bodenchemische Werte der Rasentragschicht	25
3.4 Versuchsanlage	25
3.4.1 Prüfvarianten	25
3.4.2 Behandlung im Ansaatjahr (Versuchsvorlaufjahr)	26
3.4.3 Behandlung in den Versuchsjahren	27

	Seite	
3.5	Erhobene Daten	29
3.5.1	Meßgrößen	29
3.5.1.1	Erfassung der Meßgrößen am Schnittgut	30
3.5.1.2	Erfassung der Meßgrößen im Sickerwasser	31
3.5.1.3	Erfassung der Meßgrößen im Boden	32
3.5.1.4	Erfassung der Meßgrößen am Pflanzenbestand	33
3.6	Biometrische Auswertung	34
4.	Ergebnisse	35
4.1	Schnittgut	35
4.1.1	Schnittgutmengen	35
4.1.1.1	Gesamtaufkommen	35
4.1.1.2	Einfluß der N-Zufuhr und Jahreszeit	37
4.1.2	N-Gehalt im Aufwuchs	43
4.1.3	N-Entzug mit der oberirdischen Pflanzensubstanz	45
4.1.3.1	Einfluß der N-Zufuhr und Jahreszeit	47
4.1.4	Vertikutiergut	53
4.1.5	Teilzusammenfassung zu Kap. 4.1	54
4.2	Sickerwasser	56
4.2.1	Sickerwassermengen	56
4.2.2	NO ₃ -Konzentrationen	57
4.2.2.1	Einfluß der N-Zufuhr und Jahreszeit	57
4.2.3	Gesamt-N-Austrag	63
4.2.3.1	Einfluß der N-Zufuhr und Jahreszeit	65
4.2.4	N-Eintrag mit dem Niederschlags- und Beregnungswasser	69
4.2.5	Teilzusammenfassung zu Kap. 4.2	70

	Seite	
4.3	Bodenproben	72
4.3.1	Gesamt-N _{min} -Mengen	72
4.3.2	N _{min} im Jahresverlauf	74
4.3.3	Veränderungen der Bodennährstoffwerte	77
4.3.4	Teilzusammenfassung zu Kap. 4.3	78
4.4	Nährstoffbilanzierung	80
4.4.1	Vereinfachte N-Bilanz und N-Wiederfindungsrate	80
4.4.2	Teilzusammenfassung zu Kap. 4.4	82
4.5	Bonituren	83
4.5.1	Gesamteindruck	83
4.5.2	Farbaspekt	84
4.5.3	Deckungsgrad	86
4.5.4	Teilzusammenfassung zu Kap. 4.5	89
5.	Diskussion	90
5.1	Anmerkungen zur Versuchsmethodik	90
5.2	Auswirkungen der N-Düngung auf Schnittgutaufkommen, N-Gehalt und N-Entzug	92
5.3	Einfluß der N-Düngerform und -menge auf den N-Austrag mit dem Sickerwasser sowie Beziehungen zu den N _{min} -Mengen	97
5.4	Bewertung der vereinfachten Nährstoffbilanzierung	101
5.5	N-Düngung und Narbenqualität	103
5.6	Zusammenfassende Wertung	105
6.	Zusammenfassung	107
7.	Summary	111
8.	Literaturverzeichnis	115

Tabellenanhang

Abkürzungsverzeichnis

ASS	Ammonsulfatsalpter
C_t	Gesamt-Kohlenstoffgehalt
DG	Deckungsgrad
DIN	Deutsche-Industrie-Norm
FIA	Fließinjektionsanalyse
GD 1%	Grenzdifferenz (1% Irrtumswahrscheinlichkeit)
Gew.-%	Gewichtsprozent
HM	Hornmehl
IBDH	Isobutylidendiharnstoff (Isodur)
MQ	Mittleres Abweichungsquadrat
N	Stickstoff
N_{\min}	Menge an mineralischem Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4^+\text{-N}$)
N_t	Gesamt-Stickstoffgehalt
N-WFR	Stickstoff-Wiederfindungsrate
n.s.	nicht signifikant
SCU	sulphur-coated urea
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
UF	Formaldehyd-Harnstoff (Ureaform)
USGA	United States Golf Association
Vj	Versuchsjahr
Vol.-%	Volumenprozent
Wdh.	Wiederholung
Wo.	Woche
\bar{x}	Stichprobenmittelwert
ϕ	Durchmesser
Σ	Summe
α	Irrtumswahrscheinlichkeit
*	signifikant mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit
**	signifikant mit 1% Irrtumswahrscheinlichkeit

1. Einleitung, Problemstellung

In den vergangenen beiden Jahrzehnten haben die sog. "Rasensportarten" vor allem im Amateursport einen außerordentlichen, sich noch ständig beschleunigenden Aufschwung genommen. Dabei kommt insbesondere der Rasensportart Golf eine herausragende, weil zugleich sehr nachhaltig in den gesellschaftspolitischen Bereich hineinreichende Bedeutung zu: Golf berührt zum einen im Hinblick auf den zur Ausübung dieser Sportart erforderlichen hohen Flächenbedarf und die Art der notwendigen Flächenpflege ökologische Belange, zum anderen weist diese Sportart in der Bundesrepublik Deutschland die höchsten Zuwachsraten auf, was wiederum den sich aus dem ohnehin hohen Flächenbedarf je Einzelgolfplatz ergebenden Raumanspruch insgesamt landesweit noch zusätzlich erweitert. So ist in der Bundesrepublik Deutschland die Zahl der Golfspieler von 1980 mit knapp 50 000 in 160 organisierten Golfclubs bis 1992 auf 184 000 in 380 Clubs angestiegen (DGV, 1992). Hinzu kommen ca. 600 000 bis 800 000 Golfinteressenten, was vermuten läßt, daß sich die Aufwärtsentwicklung im Golfsport in den nächsten Jahren weiter fortsetzt (BRÜGELMANN, 1991). Zwangsläufige Folge dieses Trends ist, daß der Flächenanteil der Rasen in neuerer Zeit stetig zunimmt. Die rückläufige Entwicklung in der Landwirtschaft generell, insbesondere die Aufgabe ganzer landwirtschaftlicher Betriebe begünstigt diesen Trend oder mag ihn gelegentlich sogar noch stimulieren.

Soweit Rasen für Sportzwecke genutzt werden, unterliegen sie in aller Regel außerordentlichen Belastungen. Um das Überleben solcher Rasen-Pflanzenbestände und deren ständige Benutzbarkeit zu sichern, ist intensive Pflege unumgänglich. Ein entscheidender Pflegefaktor ist dabei die Düngung, insbesondere die mit Stickstoff (N). Mit dem Einsatz von Stickstoff werden aber die der Erhaltung der Rasen dienenden Pflegemaßnahmen gleichzeitig und generell zu einem umweltrelevanten Faktor und damit nicht selten zugleich Gegenstand unter ökologischen Gesichtspunkten argumentierender Kritik. Letztere richtet sich vor allem auf die Intensität der N-Düngung intensiv genutzter strapazierter Zierrasenflächen* - wie etwa die Grüns der Golfanlagen - und das sich daraus ergebende Risiko der Verfrachtung löslicher, mineralischer N-Verbindungen im Boden bis in den Grundwasserbereich oder über Dränanlagen in die Oberflächengewässer. Die Kritik ist nicht unberech-

* Dieser Begriff schließt den ästhetisch und fein wirkenden Zierrasen ein, der aber gleichzeitig die Funktion eines Strapaziererrasens erfüllen kann.

tigt. Es läßt sich nämlich unterstellen, daß die Handhabung der N-Düngung mangels entsprechender Vorgaben nicht selten eher am Aussehen der Rasennarbe bzw. der Rasenfarbe orientiert wird, als am tatsächlichen Bedarf der Pflanzenbestände. Einer Überdüngung wird auf diese Weise Vorschub geleistet. Andererseits läßt sich aber auch nicht übersehen, daß bei der für die Regeneration belasteter Rasenflächen notwendigerweise reichlich zu bemessenden N-Zufuhr in Verbindung mit geringer Nährstoffhaltefähigkeit der hochdurchlässigen Rasentragschichten der Golfgrüns unerwünschte N-Verlagerungen auftreten.

Angesichts der Orientierungslosigkeit in der Golfrasendüngung und der Dringlichkeit der Einführung von Richtlinien, ist es Ziel der vorliegenden Arbeit, den beschriebenen, hinlänglich nicht geklärten Sachverhalten nachzugehen. Insbesondere sollte dabei untersucht werden, inwieweit die N-Umsetzung auf Strapazierrasenflächen mit Hilfe ausgewählter N-Düngerformen, deren Dosierung und Verteilung optimiert, gleichzeitig der N-Austrag ($\text{NO}_3\text{-N}$) im Boden minimiert werden kann. Damit sollten Erkenntnisse über ökologische Auswirkungen und anwendungsbezogene Aspekte der N-Düngung von Rasenflächen gewonnen werden. Gleichzeitig war der Einfluß spezieller N-Rasendünger auf die Rasenqualität zu prüfen, um praxisverwertbare Empfehlungen für Sportrasenpflege und -düngung ableiten zu können.

2. Literaturübersicht

2.1 Definition Rasen

Im vegetationskundlichen Sinne werden als Rasen in der Regel Pflanzengemeinschaften oder -gesellschaften beschrieben, die durch dichte, aus niedrigbleibenden Untergrasarten aufgebaute Grasnarben gekennzeichnet sind (BOEKER, 1982). Die Charakteristik ist indessen unscharf. Da auch bestimmte Nutzungsformen des Wirtschaftsgrünlandes dicht-rasige Narben ausbilden (z. B. Weidegrünland), bleiben die grundlegenden Unterschiede zum klassischen Begriff "Wirtschaftsgrünland" offen.

SCHULZ und JACOB (1987) definieren Rasen in neuerer Zeit treffender als nicht landwirtschaftlich genutzte Grünlandflächen, die von überwiegend ausdauernden Gräsern und Kräutern in wechselnder Zusammensetzung bedeckt sind. Sie dienen der Repräsentation, der Erholung und/oder der Verbesserung von Umweltbedingungen, einschließlich dem Erosionsschutz. GANDERT und BUREŠ (1991) ergänzen in diesem Sinne, daß Rasenflächen sowohl der biologischen Sicherung als auch ästhetischen Gestaltung von Bodenoberflächen dienen können.

Die Mehrzahl der bei HOPE/SCHULZ (1983) beschriebenen einzelnen Rasentypen, insbesondere aber die strapazierten Zierrasen der Golfgrüns, unterliegen einer gegenüber dem Wirtschaftsgrünland deutlich erhöhten Nutzungs- und Bewirtschaftungsintensität. Sie ergibt sich einerseits aus der jeweiligen Zweckbestimmung der Rasen, andererseits aber zugleich aus der vor allem bei Intensivrasen gewünschten Gräserdominanz, die nur durch erhöhte Stickstoffdüngung in Verbindung mit hoher Schnitffrequenz und Beregnung erreicht werden kann (SKIRDE, 1978).

Innerhalb der Rasen als Vegetationsform differenzieren sich als spezifische Gruppe nochmals jene heraus, die als mechanisch hoch belastete Rasen eines vor allem physikalisch speziellen Bodenzustandes bedürfen (PÄTZOLD und SKIRDE, 1978). Letzterer weicht von den natürlichen Bedingungen in aller Regel deutlich ab und läßt sich nur über Baumaßnahmen erreichen. Eine solche Bodenmodifikation bzw. Aufbaukonstruktion hat zum einen die Aufgabe, als Wurzelstandort (**Rasentragschicht**) zu dienen, der rasche Vermittlung von Wasser und Nährstoffen gewährleisten muß, zum anderen soll sie den ungehinderten Abfluß von Niederschlags- und Beregnungswasser auch unter (bodenver-

dichtender) Druckbelastung sicherstellen. Rasentragschichten werden dadurch zu mehr oder weniger "künstlichen" Bodenstandorten. Unter diesem Gesichtspunkt spezifiziert SKIRDE (1978) den Begriff Rasen im Sinne des Grünflächen-, Landschafts- und Sportplatzbaues als die auf einer Rasentragschicht oder Vegetationschicht (einschließlich Boden) aufgebaute, diese intensiv durchwurzelnde, dichte Pflanzendecke. Im Hinblick darauf, daß unter Rasen wie auch im Wirtschaftsgrünland annähernd 90% der Wurzelmasse in der obersten 10 cm starken Bodenschicht lokalisiert (BOEKER, 1974), die Rasentragschichten durch meist oberbodenarmen und stark sandigen Aufbau gekennzeichnet sind, ergibt sich die Notwendigkeit stetiger Nährstoffzufuhr. Letztere hat sich in ihrer Höhe und zeitlichen Verteilung zwar primär an der Benutzungsintensität und -dauer sowie an Klima und Witterung zu orientieren. Beides (Höhe und Verteilung des Nährstoffangebotes) hängt aber ebenso von den Eigenschaften des Rasentragschichtmaterials und dem gesamten Bodenaufbau ab (BÜRING, 1979).

2.2 Düngung von Rasenflächen

Die Grunddüngung der Rasen orientiert sich im wesentlichen an den auch im Wirtschaftsgrünland gültigen Grundsätzen. Hierbei spielen zunächst die bodenchemischen Verhältnisse, insbesondere Nährstoffversorgungsgrad und Bodenreaktion eine maßgebliche Rolle. Während aber im Wirtschaftsgrünland bei der Bemessung der P-, K-, Mg-Düngung dem Bedarf der Pflanzenbestände und gleichzeitig auch den Erfordernissen der Tierernährung hinsichtlich des Mineralstoffgehalts im Futter Rechnung getragen werden muß (VOIGTLÄNDER und JACOB, 1987), bedarf es bei Rasen im Prinzip lediglich der Orientierung an den bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften der Rasentragschicht. Dementsprechend empfiehlt BÜRING (1984) für die obersten 10 cm der Rasentragschichten bei einem anzustrebenden pH-Wert zwischen 5.5 und 6.5 Bodennährstoffgehalte (jeweils in mg/100 g Boden) von 10 - 20 mg P_2O_5 (= 4.4 - 8.7 mg P, CAL), 15 - 30 mg K_2O (= 12.5 - 25 mg K, CAL) und 11 - 15 mg Mg ($CaCl_2$). Das sind mithin niedrigere Werte, als sie für das futterbaulich genutzte Grünland in der Regel empfohlen werden (FRÜCHTENICHT *et al.*, 1993).

Während sich die Bemessung der Grunddüngung mit solchen konkreten Daten relativ einfach am Grad der jeweiligen Bodenversorgung ausrichten läßt, ergeben sich für die N-Düngung erhebliche Schwierigkeiten und, daraus resultierend, Unsicherheiten. Die N-Zufuhr soll auf Rasen weniger "ertragswirksam" sein, als vielmehr vornehmlich den sich aus der Tritt- und Tiefschnittbelastung ergebenden Erfordernissen zur Erhaltung der Vegetationsdecke Rechnung tragen. Sie hat sich zudem am N-Bedarf der Grasarten auszurichten, darüber hinaus aber auch an der Erhaltung der Abwehrfähigkeit gegenüber Krankheiten, an der Farbe der Rasen, deren Narbendichte und Regenerationsvermögen (BEARD, 1973; TURGEON, 1991).

Um diese mit der N-Düngung im herkömmlichen (produktionsbezogenen) Sinne nur bedingt übereinstimmenden Forderungen düngetechnisch zu erfüllen, bieten sich nach MEHNERT (1986) folgende Wege:

- entweder 1. Ausbringen der benötigten N-Menge in leichtlöslicher Form in vielen kleinen Teilgaben und in kurzen Zeitabständen; bei bestimmten Witterungssituationen ist hiermit jedoch die Gefahr der Blatt- und Wurzelverätzung verbunden; oder
2. Verwendung von langsam, aber nachhaltig wirkenden Langzeit-Düngern, die in wenigen Teilgaben und genau festgelegten Zeiträumen verabreicht werden.

Unter diesem Aspekt gliedert MÜLLER-BECK (1987) die auf Rasenflächen zum Einsatz kommenden N-Düngerformen wie folgt:

- leichtlöslich-mineralische N-Dünger mit Sofortwirkung,
 - natürlich-organische N-Dünger mit geringer Sofort- und variabler Dauerwirkung,
 - synthetisch-organische N-Dünger mit Sofort- und definierter Dauerwirkung,
 - umhüllte N-Dünger mit definierter Dauerwirkung,
 - Kombinationen aus o. g. N-Düngerformen.
-
- **leichtlöslich-mineralische N-Dünger mit Sofortwirkung** (z. B.: Ammonsulfatsalpeter) sind Kurzzeitdünger, die aufgrund ihrer Leichtlöslichkeit rasch eine kurzfristig erkennbare Wirkung erbringen (HEMMERSBACH, 1980). Sie sind normalerweise gut streufähig,

relativ billig, bergen jedoch Ätzgefahren und erfordern Sachkenntnis bei der Anwendung (BURGHARDT, 1984).

- **natürlich-organische N-Dünger mit geringer Sofort- und variabler Dauerwirkung** werden in der Regel aus Industrieabfällen organischen Ursprungs oder aus Siedlungsabfällen hergestellt (z. B.: Leder-, Horn- und Blutmehl, Rizinussschrot). Der Stickstoffgehalt ist gering (1 bis 13%, AGNEW, 1992). Die Dünger dürfen keine pathogenen Keime sowie hygienisch bedenkliche oder pflanzenschädliche Stoffe enthalten (FINCK, 1979). Teilweise sind sie mit weiteren mineralischen, leichtlöslichen Nährstoffen aufgebessert. Die N-Freisetzung aus den natürl.-org. N-Düngern beschriebener Art ist von der Mikroorganismenaktivität und diese wiederum vom Witterungsverlauf, insbesondere der Temperatur abhängig. Bei Temperaturen bereits unter 13° C ist daher der Stickstofffluß stark limitiert (PRÜN, 1981).

Neben der insgesamt jedoch begrenzten Kalkulierbarkeit der Stickstoffwirkung werden als weitere Nachteile der natürl.-org. Nährstoffträger bei SKIRDE und KANNENBERG (1991) deren ungenügende Streufähigkeit sowie die vergleichsweise hohen Kosten angeführt. Noch weitgehend ungeklärt ist die von BENEDIKT (1982) den natürl.-org. Nährstoffträgern zugeschriebene höhere biologische Aktivität im Boden.

- **synthetisch-organische N-Dünger mit Sofort- und definierter Dauerwirkung** (sog. Langzeitdünger) sind Harnstoff-Aldehyd-Kondensate mit geringer Wasserlöslichkeit, wie z. B. Ureaform (Formaldehyd), Crotonylidendiharnstoff (Crotonaldehyd) und Isobutyridendiharnstoff (Isobutyraldehyd). Sie weisen eine geringe Sofort-, wohl aber eine zeitlich definierte Langzeitwirkung auf. Die Langzeitwirkung der Crotonur- und Isodur-Dünger beruht auf allmählicher Hydrolyse, die von den auch das Pflanzenwachstum beeinflussenden Faktoren Wasser und Temperatur, von der Aktivität der Bodenbakterien sowie der Bodenazidität (pH-Wert) abhängig ist (MEHNERT, 1986). So ist der Stickstofffluß am schnellsten im pH-Bereich zwischen 5.5 und 6.5 (PRÜN, 1981; ALEXANDER, 1989) und bei Bodentemperaturen von 32° C, sehr langsam jedoch bei Temperaturen unter 10° C (BEARD, 1973). Weiterhin ist für die Stickstoff-Freisetzung der Feinheitsgrad der N-Dünger von besonderer Bedeutung, weil sich nach JÜRGENS-GSCHWIND (1974) pulverförmige Dünger schneller umsetzen als granulierten. Da bei Ureaform die N-Freiset-

zungsrate in direkter Beziehung zur Löslichkeit der Molekülketten steht, wird die Mineralisierung im wesentlichen von der biologischen Aktivität beeinflusst (KAVANAGH *et al.* 1980; ALEXANDER und HELM, 1990). Die langkettigen Verbindungen können indessen nur sehr schwer von Mikroorganismen mineralisiert werden. Die N-Freisetzung ist hier in besonderem Maße von der Witterung, insbesondere der Temperatur abhängig. Der Temperaturanspruch ist daher bei N-Düngern auf Ureaform-Basis für eine ausreichende Mineralisation höher als für isodurhaltige Produkte (SNYDER *et al.*, 1976).

- **umhüllte N-Dünger mit definierter Dauerwirkung** sind mineralische Dünger, die nach ihrer Granulierung mit einer Hüllschicht aus organischen oder anorganischen Materialien (z. B. Kunststoffharze, gehärtete Pflanzenöle oder Schwefel) umgeben werden. Die Langzeitwirkung entsteht durch diese Schutzhülle, die erst von den sich lösenden Nährstoffen passiert werden muß (HÄHNDEL, 1986). Die Gruppe der umhüllten N-Dünger hat allerdings für die Düngung von strapazierten Zierrasenflächen - hierzu zählen die Golfgrüns - in der Praxis keine größere Verbreitung.

Generell werden nach HÄHNDEL (1986) folgende Forderungen an langsamwirkende Stickstoffdünger gestellt:

- eine dem jeweiligen Bedarf der Pflanzen entsprechende Nährstoff-Freisetzung über möglichst lange Zeit,
- mindestens gleiche Nährstoffleistung wie übliche Stickstoffdünger, aber deutlich reduzierte Anzahl der Düngungstermine,
- nur geringe Erhöhung der Salzkonzentration der Bodenlösung auch bei hoher Nährstoffgabe, um Unverträglichkeitsrisiken für die Pflanzen zu minimieren.

Unabhängig von den N-Düngerformen ist jedoch für die Erhaltung einer dichten und krautfreien Rasenfläche eine gleichmäßige N-Anlieferung notwendig (ROEBERS und LANGE, 1968). Sie soll nach DEN ENGELSE (1970) dabei aber - anders als im Wirtschaftsrundland - den Zuwachs oberirdischer Biomasse nicht zu stark fördern, andererseits eine permanent grüne (= photosynthetisch aktive) und geschlossene Rasenfläche erhalten. Durch den Effekt der Stickstoffdüngung, die zur Ausbildung einer dichten Narbe unerlässlich ist, wird gleichzeitig aber der Massenwuchs gefördert, was wiederum zu hohem

Schnittgutanteil führt (SKIRDE und KERN, 1971). Auf Rasenflächen ist intensiver Massenwuchs - im Gegensatz zu landwirtschaftlich genutztem Grünland - im Hinblick auf Arbeitsaufwand und Entsorgungsproblem jedoch unerwünscht (MÜLLER-BECK, 1987). Es wird daher angestrebt, die N-Düngergaben so aufzuteilen, daß die Aufwuchsmaxima des natürlichen Wachstumsrhythmus entfallen und eine möglichst gleichmäßige Wachsfähigkeit auf niedrigem Niveau über die gesamte Vegetationsperiode verbleibt (BURGHARDT, 1982). Der gleichmäßige Wachstumsverlauf würde sich nicht allein arbeitsparend und umweltfreundlich auswirken, sondern gleichzeitig die mechanische Belastbarkeit der Rasenflächen und die Regenerationsfähigkeit der Gräser verbessern. Nach HOPE/SCHULZ (1983) ist der typische Verlauf der Wachstumskurve, insbesondere die hohen Zuwachsraten bis Mitte Juni indessen nicht grundsätzlich zu glätten, sondern bestenfalls durch differenzierten N-Aufwand während der Vegetationsperiode zu beeinflussen.

2.3 Beziehungen zwischen N-Düngung und N-Verlusten bei Rasenflächen

2.3.1 Schnittgutmengen, N-Gehalt und N-Entzug

Die Literatur läßt weitgehend Einigkeit darüber erkennen, daß die Zusammenhänge zwischen Schnittgutanteil, dessen N-Gehalt sowie dem daraus resultierenden N-Entzug im wesentlichen von folgenden Faktoren beeinflußt werden:

- Witterungsbedingungen während der Vegetationsperiode,
- Bodenverhältnisse,
- genetisches Potential einzelner Arten und/oder Sorten,
- N-Düngerform und -menge,
- Schnittgutmanagement

(SKIRDE, 1976; MEHNERT und MÄDEL, 1982; SHEARD *et al.*, 1985; LANDSCHOTT und WADDINGTON, 1987; PETROVIC, 1990; SKIRDE, 1990; BOCKSCH, 1992).

Nach HEMMERSBACH (1980) wird der Graszuwachs stärker durch **Witterungsfaktoren** als durch Düngerwirkungen beeinflußt, wobei in der Wirkung die Feuchtigkeit eindeutig

vor der Temperatur rangiert (BURGHARDT und ELLERING, 1987). Allerdings unterliegt die Mehrzahl der intensiv genutzten und belasteten Rasenflächen künstlicher Beregnung, so daß dort in der Regel weitgehend gleichmäßige Feuchteverhältnisse über die Vegetationsperiode hin vorliegen. "Feuchtigkeit" als natürlicher Standortfaktor verliert daher seine Vorrangstellung bei Intensivrasen, für die nach HUMMEL und WADDINGTON (1984) vielmehr die Temperatur zum maßgebenden, die N-Verwertung nachhaltig beeinflussenden Wachstumsfaktor wird. Die Autoren berichten über einen höheren N-Ausnutzungsgrad nach der Applikation von schwefelummhülltem Harnstoff SCU (sulphur coated urea) im Frühjahr als nach Herbstausbringung. MOSDELL und SCHMIDT (1985) beobachteten an einem Rasen aus *Poa pratensis*, daß der N-Entzug über das Schnittgut bei Tag-/Nachttemperaturen von 16°C/4°C zwischen 26 und 39% betrug (bezogen auf die N-Zufuhr). Hingegen konnten bei Tagestemperaturen von 30°C und Nachttemperaturen von 24°C keine Unterschiede im N-Entzug zwischen den mit 7.4 g N/m²/Jahr (in Form von NH₄NO₃ bzw. IBDH) gedüngten und den ungedüngten Varianten festgestellt werden.

Zum Einfluß der jeweiligen **Bodenbedingungen** auf die N-Verwertung liegen nur sehr begrenzt Informationen vor. So wies SKIRDE (1990) nach, daß der N-Gehalt im Schnittgut bei einer oberbodenfreien Rasentragschicht insgesamt höher liegt als bei einer Oberbodenmaterial enthaltenden. Auf die gesamte Biomasse bezogen, ergaben sich bei den Rasentragschichten mit Oberboden indessen geringere N-Verwertungsraten. Über ähnliche Beobachtungen - allerdings nicht an Rasenflächen - berichten WEBSTER und DOWDELL (1986). Sie ermittelten, daß geringerer N-Verwertung durch den Aufwuchs bei oberbodenhaltigeren Aufbauten höhere Auswaschungsmengen, Denitrifikationsraten und/oder eine vermehrte Festlegung an Bodenteilchen gegenüberstehen. Ohne Einfluß auf die N-Verwertung bleiben angeblich der pH-Wert des Substrates sowie die Art der zeitlichen Düngerverteilung (SHEARD *et al.*, 1985).

Bei den **Grasarten** läßt sich nach Untersuchungen von SCHWEIZER (1974) ein deutlicher Unterschied im N-Gehalt der oberirdischen Biomasse zwischen den vielschnittverträglichen und strapazierfähigen Rasengräsern ("Intensivgräser") wie *Agrostis* spp., *Lolium perenne* und *Poa* spp. (mit fast 5% N i. d. TS) und den im gleichen Sinne weniger verträglichen ("Extensivgräser") wie *Festuca rubra* ssp. (mit ca. 4% N i. d. TS) erkennen. CISAR *et al.* (1985) beobachteten bei allerdings nur einem einzelnen Schnitt einen N-Entzug von 4.6 g N/m² bei *Poa pratensis* gegenüber nur 3.1 g N/m² bei *Lolium perenne*

über das Schnittgut. Auf die einheitlich zugeführte N-Menge bezogen fanden HULL *et al.* (1989) bei *Lolium perenne* 46% bzw. bei *Festuca rubra* 29% im Schnittgut wieder.

Einen deutlichen Einfluß auf die Schnittgutmenge, deren N-Gehalt sowie auf den N-Entzug üben **N-Düngerformen und -mengen** aus. So ermittelten HUMMEL und WADDINGTON (1981) bei Zufuhr von 24.5 g N/m²/Jahr in Form von SCU, IBDH und NH₄NO₃ in 3-jährigen Versuchen je nach N-Düngerform eine N-Ausnutzung zwischen 46 und 59%. Innerhalb der Gruppe der Langzeitdünger bestehen allerdings offenbar ebenfalls Wirkungsunterschiede. Das zeigt ein Vergleich von Ureaform und IBDH, über den HÄHNDEL (1987) berichtet. Hierbei wurden als Ureaform 34.2 g N/m²/Jahr, als IBDH 28.8 g N/m²/Jahr zugeführt. Trotz stärkerer N-Zufuhr über Ureaform betrug der N-Entzug über das Schnittgut lediglich 30%, bei IBDH dagegen 58% des mit der Düngung zugeführten Stickstoffs. Entsprechend geringer war auch bei Ureaform der gesamte Schnittgutanteil. Dieser liegt im allgemeinen je nach N-Düngerform zwischen 0.5 und 2.0 g TM/m²/Tag, kann aber nach SHEARD *et al.* (1985) sowie WADDINGTON *et al.* (1978) in der Hauptwachstumsphase bis zu 6 g TM/m²/Tag betragen. Über ähnliche Befunde wird auch von anderen Autoren berichtet (SKIRDE, 1976; SNYDER *et al.*, 1976; STARR und DEROO, 1981; HUMMEL und WADDINGTON, 1984; WATSON, 1987; SKIRDE, 1990; BOWMANN und PAUL, 1992). MEHNERT *et al.* (1984) ermittelten im Rahmen eines 3-jährigen Düngungsversuchs bei Ureaform allerdings N-Ausnutzungsgrade bis 60% (N-Zufuhr 30 g N/m²/Jahr), während gleichfalls geprüfte leichtlösl.-min. N-Düngerformen nahezu vollständig verwertet wurden.

Generell läßt sich nach BRAUEN *et al.* (1989), SELLECK *et al.* (1980) und WESELY *et al.* (1988) festhalten, daß der N-Ausnutzungsgrad dann am günstigsten ist, wenn die Pflanzen auch optimal mit Stickstoff versorgt sind. Was als "optimale" N-Zufuhr bewertet wird, bleibt indessen offen. Höhere N-Mengen führen auf jeden Fall nicht zwangsläufig zu höheren N-Entzügen mit dem Schnittgut (SHEARMAN, 1982; BARRACLOUGH *et al.*, 1985; HALEVY, 1987). Außerdem wird mit zunehmenden N-Gaben bei zugleich ansteigenden Rohproteingehalten die Ausbildung von Festigungsgeweben und Reservestoffen eingeschränkt (SKIRDE, 1982).

Alles in allem läßt sich aufgrund der vorliegenden Literatur davon ausgehen, daß N-Gehalte im Schnittgut häufig geschnittener Rasen im Mittel mit 3 bis 5% i. d. TS anzusetzen sind. Daraus errechnet sich ein täglicher N-Entzug zwischen 0.05 und 0.3 g N/m², wobei

die leichtlös.-min. N-Düngerformen (bei geteilten Düngergaben) auch stets die höheren N-Ausnutzungsraten aufwiesen als die nach der N-Zufuhr vergleichbar gedüngten Langzeitdüngerformen (SKIRDE, 1990; MEHNERT *et al.*, 1984; SHEARD *et al.*, 1985; HÄHNDEL, 1987; WESLEY *et al.*, 1988).

Das **Schnittgut** von Golfgrüns wird in aller Regel **entfernt**. Immerhin hat sich gezeigt, daß beim Belassen des Schnittgutes auf der Rasenfläche mit höheren N-Entzügen zu rechnen ist (BOCKSCH, 1992), gleichzeitig aber auch ca. 14 bis 21% des gedüngten Stickstoffs in der "Filzschicht" wiederzufinden sind (STARR und DEROO, 1981), also auf der Fläche verbleiben. Der N-Entzug relativiert sich somit.

2.3.2 N-Auswaschung

Angesichts der für Sportrasen unabdingbar hohen N-Zufuhr einerseits, des meist geringen Nährstoffhaltevermögens der Rasentragschichten andererseits, ist die Vermeidung oder zumindest Minderung der N-Verlagerung ein besonderes Problem (KRAFFCZYK, 1987). Die sich hier stellenden Schwierigkeiten werden noch zusätzlich dadurch erhöht, daß Rasen sehr flach wurzeln und somit verlagertes Stickstoff rasch in Schichten außerhalb der Hauptwurzelzone gelangt. Mithin kommt der Berücksichtigung aller Faktoren, die zur Minimierung der N-Verlagerung beitragen, hohe Bedeutung zu. BROWN *et al.* (1977a) sowie zahlreiche andere Autoren (RIEKE und ELLIS, 1974; ANDRE, 1986; HESKETH *et al.*, 1986; GERON und DANNEBERGER, 1990; SKIRDE, 1990) nennen in diesem Sinne folgende Faktoren, die den Grad der Stickstoffauswaschung "künstlich" aufgebauter Rasenflächen beeinflussen:

- N-Düngerform und -menge,
- Bodenaufbau,
- Niederschlags- und Beregnungsmenge,
- Jahreszeit bzw. Applikationszeitpunkt (Teilgaben).

Daneben spielt für COLBOURN (1985) die Lage der Grundwasseroberfläche eine entscheidende Rolle. Nach MEHNERT (1986) und PETERSEN (1970) können auf wasser-gesättigten Sandböden, wie sie beispielsweise die Rasentragschichten der Grüns darstellen, bereits Niederschlagsmengen zwischen 15 und 20 mm nahezu 90% des Stickstoffs leicht-

lös.-min. N-Dünger aus dem Wurzelhorizont in tiefere Bodenschichten und damit in das Grundwasser verlagert werden. Hinzu tritt der Einfluß der Dränung, da Grüns und Sportplätze fast immer (flach) dräniert sind, so daß überschüssiges Wasser schneller abgeführt wird, was die N-Verluste zusätzlich vergrößert.

Zahlreiche in der Literatur beschriebene Untersuchungen hatten zum Ziel, Beziehungen zwischen N-Düngerform, N-Menge und N-Auswaschung aufzudecken (ENGLISH *et al.* 1974; RIEKE und ELLIS, 1974; KEENEY, 1986; GOLD *et al.*, 1989; GROSS *et al.* 1990; MANCINO und TROLL, 1990; SKIRDE, 1991). Die weitgehend übereinstimmenden Ergebnisse aus Gefäß- (ANDRE, 1986), Feldexperimenten (BROWN *et al.*, 1982; EPPEL und TRUNK, 1992) und großflächig durchgeführten Praxisversuchen auf Golfplätzen (COHEN *et al.*, 1990) lassen erkennen, daß Auswaschungsverluste erwartungsgemäß vorwiegend auf die NO_3 -N-Fraktion zurückzuführen sind und dabei deutliche Unterschiede zwischen den Langzeitdüngern und den leichtlös.-min. N-Düngerformen auftreten. So erwies sich z. B. in den Feldversuchen von BROWN *et al.* (1982) an Grüns mit verschiedenen zusammengesetzten Rasentragschichten, daß bei Einsatz von 16.3 g/m^2 Ammoniumnitrat je nach Bodenmaterial zwischen 8.6 (mit Oberboden) und 21.9% NO_3 (ohne Oberboden) verfrachtet wurden, bei Anwendung von 14.6 g N/m^2 eines IBDH-haltigen N-Düngers aber nur 0.2 bis 1.6%, bei Anwendung von 24.4 g N/m^2 als Ureaform 0.1 bis 0.3%. ANDRE (1986) ging derselben Frage mit Hilfe eines Gefäßversuches nach. Die N-Zufuhr betrug dabei $90 \text{ g N/m}^2/\text{Jahr}$ aufgeteilt in zwei Gaben. Dabei ermittelte er für Kalkammonsalpeter eine Nitrat Auswaschung - gegenüber des gedüngten Stickstoffs - von etwa 50% ohne bzw. ca. 22% mit Rasenbedeckung, bei Ureaform etwa 18% ohne bzw. 0.5% mit Rasenbewuchs. Wurde die Gesamtmenge an Stickstoff in 6 Teilgaben von je 15 g N/m^2 aufgeteilt, so lag der N-Austrag angesichts des stark durchlässigen Bodenaufbaues (oberbodenlose Rasentragschicht) ohne Rasendecke zwar ebenfalls hoch, er sank unter Bewuchs bei Kalkammonsalpeter aber auf etwa 8.5%, bei Ureaform wiederum unter 0.5%. Auch bei Einsatz von IBDH-Düngern lag der Nitrat austrag unter 1% der zugeführten N-Menge. Im übrigen ist nach HÄHNDEL und DRESSEL (1987) die NO_3 -Auswaschung auch bei Einsatz natürl.-org. N-Dünger (Hornmehl) gering.

Anders als Nitrat wird Ammonium oder Harnstoff zwar nur in geringem Maße verlagert (MITCHELL *et al.*, 1978; BROWN *et al.*, 1982; MAZUR und WHITE, 1983; BRAUEN *et al.* 1990), eine - wenn auch nur begrenzte - NH_4^+ -Auswaschung ist jedoch auf durch-

lässigen, sorptionsschwachen und biologisch inaktiven Böden (Sandböden) nicht gänzlich auszuschließen (CZERATZKI, 1973; MANCINO, 1991).

Der **Bodenaufbau** hat auf die N-Auswaschung offenbar keinen nennenswerten Einfluß (SKIRDE, 1977; MITCHELL *et al.*, 1978; SNYDER *et al.*, 1981; BROWN *et al.*, 1982; MAZUR und WHITE, 1983; SHEARD *et al.*, 1985; SKIRDE, 1990). Die Verlagerung von NO_3 -Konzentrationen in tiefere Bodenschichten erfaßten STARR und DEROO (1981), die mit steigenden Mengen radioaktivem Ammonsulfatsalpeter das Sickerwasser in der Schicht zwischen 1.8 und 2.4 m Bodentiefe untersuchten. Die N-Auswaschung war sehr gering. Die Autoren folgern, daß bei Jahresgaben bis 18 g N/m^2 des geprüften leichtlösl.-min. N-Düngertyps keine NO_3 -Kontamination des Grundwasseres zu erwarten sind.

Allerdings muß in diesem Zusammenhang die **Berechnungsmenge** berücksichtigt werden. Hierzu ergaben Untersuchungen durch MORTON *et al.* (1988), daß unter sonst gleichen Voraussetzungen signifikant höhere NO_3 -Konzentrationen im Sickerwasser nach Beregnung mit 37.5 mm/Woche auftraten als mit 12 mm, wobei in letzterem Fall die Wasserzufuhr mit Hilfe eines Tensiometers gesteuert wurde. Diese Beobachtung wurden von SNYDER *et al.* (1984) bestätigt, die eine 2 bis 28 mal höhere Stickstoffauswaschung in täglich nur zeitlich begrenzt beregneten Parzellen gegenüber einer mit einem Tensiometer kontrollierten Beregnung ermittelten. BROWN *et al.* (1977b) beobachteten im Rahmen eines Feldexperimentes an Grüns in einer Zeit von 15 bis 30 Tagen nach Verabfolgung von 16.3 g N/m^2 in Form von Ammoniumnitrat und einer täglichen Beregnungsmenge von 12 mm im Sickerwasser bis zu $92 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$. Blieb die Tagesberegnung dagegen in der Größenordnung der Evapotranspirationsrate, also unter 8 mm, erhöhte sich gegenüber der höheren Beregnungsmenge die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration im Sickerwasser nicht.

Ein weiterer, für die N-Auswaschung verantwortlicher Faktor ist die **Temperatur**, wobei nach bislang vorliegenden Beobachtungen die Beziehungen noch nicht völlig klar sind. In einem Vergleich von Temperaturwirkungen mit den beiden N-Düngerformen NH_4NO_3 und IBDH, bei dem wöchentlich 25 mm beregnet wurden, ermittelten MOSDELL und SCHMIDT (1985), daß bei niedrigen Tag-/Nachttemperaturen ($16^\circ/4^\circ\text{C}$) höhere Auswaschungsraten beim Langzeitdünger (IBDH), bei höheren Temperaturen ($30^\circ/24^\circ\text{C}$) dagegen bei Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) auftraten, insgesamt aber die N-Auswaschungsrate bei der verabreichten N-Düngermenge von 7.4 g/m^2 2.7% nicht überstieg.

Mit dem Temperatureinfluß verbunden ist schließlich die **saisonale Abhängigkeit** der N-Auswaschung. Nach LAWSON und COLCLOUGH (1991) wird die Hauptmenge an Stickstoff (auf den britischen Inseln) in den späten Herbstmonaten von November bis Dezember ausgewaschen, nach SNYDER *et al.* (1984), Florida, in den Monaten Februar und März. Die geringsten N-Verluste treten dagegen offenbar in den Sommermonaten auf (HUMMEL und PETROVIC, 1985; HULL *et al.*, 1989).

2.3.3 Gasförmige Verluste

Über die Zusammenhänge der N-Düngung von Rasenflächen und den damit verbundenen gasförmigen Verlusten (Volatilisation und Denitrifikation) finden sich in der Literatur nur sehr wenig Hinweise.

Durch **Volatilisation** wird Ammoniakgas in die Atmosphäre abgegeben. Der Vorgang wird nach SHEARMAN (1984) sowie WESELY *et al.* (1982) durch hohen pH-Wert des Bodens ($\text{pH} > 7$) und zunehmende Bodentemperaturen begünstigt. Dagegen sinkt die NH_3 -Volatilisation mit steigender Bodenfeuchte und Kationenaustauschkapazität. Bei der Volatilisation kommt offenbar der N-Düngerform besondere Bedeutung zu (DUBLE *et al.*, 1978). Nach Untersuchungen von CHRISTIANSON *et al.* (1988) und JOO (1989) sind die Verluste bei Urea- und Ammoniumdüngern höher als bei Ureaform und Isodur. Bereits VOLK (1959) stellte bei Einsatz von Urea auf Rasen eine größere NH_3 -Volatilisation fest als auf unbewachsenen Flächen. In Untersuchungen von TORELLO *et al.* (1983) betrug die NH_3 -Volatilisation nach Urea-Düngung (N-Jahresgabe von 29 g/m^2) nach 21 Tagen 10%, bei einem schwefelumhüllten N-Dünger aber nur 1 bis 2%. Dabei spielt offensichtlich auch die Applikationsform eine wichtige Rolle. Flüssigdüngung soll zu höheren Verlusten führen (SHEARMANN, 1984).

Die Volatilisation wird offenbar durch Beregnung verringert. BOWMANN *et al.* (1987) beobachteten einen Rückgang der Volatilisation bei kurzzeitiger Beregnung nach der Düngerausbringung von 8 auf 1%. Die in diesem Falle schnellere Einwaschung des Düngers vermindert dessen Verweildauer in der Filzschicht und begrenzt somit die Umsetzungsprozesse. Filzschichten kommt in diesem Zusammenhang hohe Bedeutung zu. So ermittelten NELSON *et al.* (1980) an einer Rasenfläche, die aus *Poa pratensis* aufge-

baut war und eine Filzschicht von 5 cm aufwies, bereits 8 Tage nach einer Urea-Düngergabe (insgesamt 25 g N/m²/Jahr) eine NH₃-Volatilisation von 39%, dagegen nur 5% auf der Vergleichsparzelle ohne Rasenfilz.

Bei dem Prozeß der **Denitrifikation** wird Nitrat (NO₃) zu gasförmigen Verbindungen wie N₂ und N₂O reduziert (MENGEL, 1984). Generell sind Denitrifikationsverluste auf Dauergrünlandflächen wesentlich höher als auf Ackerland, da der gut durchwurzelte Bereich einer Grasnarbe den Denitrifikanten mehr organisches Material zur Verfügung stellen kann. Nach STEVENSON (1986) sind es vorwiegend die Bodenfeuchte sowie die Temperatur- und Luftverhältnisse im Boden, die das Ausmaß der Denitrifikation beeinflussen. MANCINO *et al.* (1988) beobachteten an einer Grasnarbe aus *Poa pratensis* bei wassergesättigtem Boden und Bodentemperaturen von 30°C Denitrifikationsverluste zwischen 45 und 93%.

STARR und DEROO (1981) quantifizieren die atmosphärischen Verlustquellen von Rasenflächen durch Volatilisation und/oder Denitrifikation auf 24 bis 36% der eingesetzten Stickstoffmenge.

2.3.4 Bodenvorrat

Grundlage für die Bemessung von Höhe, Form und Verteilung der N-Düngung auf Grüns oder anderen Sportrasen bildet stets der Ausgangsnährstoffgehalt des Substrates. Bei Einbau normgerechter, das heißt ausreichend wasserdurchlässiger und abgemagerter Tragschichten unter strapazierfähigen Rasenflächen findet die Stickstoffumsetzung nahezu ausschließlich in dieser Schicht statt. Für die Ermittlung des pflanzenverfügbaren Stickstoffes im Boden (NO₃-N und NH₄⁺-N) wird die N_{min}-Methode herangezogen (WEHRMANN und SCHARPF, 1986). Diese ermöglicht jedoch keine Aussage über die N-Dynamik und N-Verluste im Boden, da nach SKIRDE (1990) der Stickstoffgehalt im Boden von den nicht vorhersehbaren Mineralisationsbedingungen, dem Humusgehalt sowie dem Tragschichtaufbau abhängt. Des weiteren wird der N-Ausnutzungsgrad von Wurzel-tiefgang und Bewurzelungsintensität bestimmt.

Trotz dieser schwierigen Kalkulierbarkeit waren bereits bei Untersuchungen von RIEKE und ELLIS (1974) unabhängig von der N-Düngerform und -menge Nitratverlagerungen in

tiefere Bodenschichten (bis 60 cm) nicht erkennbar. Erste Anhaltswerte über die Höhe der N_{\min} -Mengen im Boden unter verschiedenen Rasentypen sind von HARDT *et al.* (1988) ermittelt worden. Demnach lagen die Nitratstickstoffmengen bei Grüns bis 90 cm Tiefe zwischen 1 und 4 g/m². Gleichzeitig konnte jedoch festgestellt werden, daß hoher Oberbodenanteil in der Tragschicht von Grüns auch mit erhöhten NO₃-N-Mengen im Boden verbunden ist. Diese Beobachtungen stehen weitgehend in Einklang mit anderen Untersuchungen, bei denen die Beziehungen zwischen Boden-N-Vorrat, Bodenaufbau, Rasentyp, N-Düngungsniveau sowie Rasenalter verfolgt wurden (HARDT und SCHULZ, 1989; HÄHNDEL und HERMANN, 1990; SCHWEMMER, 1990; SKIRDE *et al.*, 1990).

Demgegenüber wurden aber andererseits in tieferen Bodenschichten unter sandhaltig aufgebauten Rasenflächen (ab 60 cm Tiefe) erhöhte NH₄⁺-N-Mengen (bis zu 8 g/m²) ermittelt (HARDT *et al.*, 1988; HÄHNDEL und HERMANN, 1990;). DRESSEL und JÜRGENS-GSCHWIND (1985) erklären die Erscheinung damit, daß NH₄⁺-N in tieferen Schichten unterhalb sandreicher Aufbauten von Grüns in stärkerem Maße in die organische Substanz inkorporiert bzw. fixiert wird. Es findet dort also eine Immobilisierung statt. ISERMANN und HENJES (1990) hingegen führen die erhöhten NH₄⁺-N-Anteile auf eine Ammonifikation des Nitrates infolge Sauerstoffmangels zurück.

In diesem Zusammenhang ist der Gesamt-N-Gehalt der oberbodenarmen Rasentragschichten von Interesse. So ergibt sich für SKIRDE (1984) die z. T. geringe Effektivität spezifischer N-Bindungsformen aus dem jeweiligen N-Gehalt abgemagerter Tragschichten, der von der N-Düngung in hohem Maß beeinflusst wird. Bei Düngung mit 5 Langzeitdüngern lag der Gesamt-N-Gehalt in der Tragschicht mit 0.032 bis 0.04% N nach 2 Vegetationsperioden deutlich höher als bei der Kontrollvariante mit 0.021% N. Ein hoher Gesamt-N-Gehalt von 0.056% N in der Rasentragschicht wurde nach Düngung mit Ureaform erreicht.

Neben der unterschiedlichen N-Freisetzung der einzelnen N-Düngerformen ist das Alter der Grasnarbe von Bedeutung. PORTER *et al.* (1980) ermittelten auf Rasenflächen unterschiedlichsten Alters (1-125 Jahre) in der Schicht 0 bis 40 cm Gesamt-N-Mengen, die in den ersten 10 Jahren gezielter N-Düngung deutlich und rasch bis auf 2000 kg N/ha anstiegen. Die Zunahme der N-Vorräte verlangsamte sich sodann. Nach 25 Jahren regelmäßiger N-Düngung ergab sich keine weitere nennenswerte Erhöhung mehr. Bei der N-Anreicherung im Boden muß nach STARR und DEROO (1981) allerdings auch das

Schnittgutmanagement berücksichtigt werden. Die Autoren beobachteten, daß ca. 15 bis 21% des gedüngten Stickstoffs im Boden und 21 bis 26% in der Filzschicht festgelegt wurde. Daraus läßt sich ableiten, daß in abgemagerten Rasentragschichten mit Filz ca. 36 bis 47% der N-Düngermenge dem organischen Anteil zuzuschreiben sind (WEBSTER und DOWDELL, 1986; WATSON, 1987).

2.4 Beziehungen zwischen N-Düngung und Rasenqualität

Der wünschenswerte Gesamteindruck einer Rasenfläche wird nach GANDERT und BUREŠ (1991) als lückenlose und in der Wuchshöhe und -form, in Dichte, Blattstruktur (Textur) sowie Farbe völlig homogene Grasnarbe definiert, deren teppichartige Wirkung durch Kräuter und Ungräser oder durch wechselnde Bestandsbilder nicht gestört wird. Dabei können die an einen Zierrasen zu stellenden Anforderungen bezüglich Färbung, Dichte, Regenerationsfähigkeit im wesentlichen nur über angemessenes Wachstum von Gräsern erfüllt werden. Deshalb stehen für BURGHARDT (1982) die Wachstumsfaktoren "Witterungsverlauf" und "Düngung" in direkter Korrelation zum Rasenzustand, also dem optischen Aspekt des Rasens.

In diesem Zusammenhang interessiert die Verträglichkeit von N-Düngerformen bei Rasen, die schließlich ein Kriterium für die Auswahl des Düngers darstellt. So schließt der Rasenaspekt, der für SKIRDE (1989) ein zusammenfassendes Merkmal für Einflüsse und Auswirkungen verschiedenster Art ist, auch negative N-Wirkungen ein. Letzteres gilt für überhöhte N-Düngermengen, die zum einen den Schneeschimmelbefall fördern (HEMERSBACH, 1980;), zum anderen den Wasserverbrauch erhöhen, was bei begrenztem Wasserangebot zu früheren und stärkeren Welkeschäden führt (CARROLL und PETROVIC, 1991). Daraus folgert SKIRDE (1986), daß bei N-Düngern mit hoher N-Ausnutzung Nebenwirkungen eine gewisse Beeinträchtigung des Rasenaspektes verursachen können.

Unbeschadet solcher Effekte ist der belastungsmindernde Einfluß höherer N-Gaben unverkennbar (LEYER und SKIRDE, 1980; SKIRDE, 1988). Dazu geht aus Untersuchungen von WILL und HÄHNDEL (1987), bei denen die belastungsausgleichende Wirkung verschiedener N-Langzeitdünger geprüft wurde, hervor, daß das Ureaform-Produkt eine

leichte Verbesserung im Farbaspekt belasteter Rasen aufweist.

Grundsätzlich kann durch eine regelmäßige N-Düngung in kurzen Abständen der Rasen- aspekt, insbesondere Färbung und Dichte, positiv beeinflusst werden (MÜHLSCHEGEL und MEHNERT, 1974; HEMMERSBACH, 1980; OPITZ von BOBERFELD, 1980; SKIRDE, 1986). Gleichzeitig führt dabei Stickstoff zu einer Bestandsumbildung, die den Anteil von *Agrostis* spp. begünstigt, den von *Festuca rubra* ssp. verringert (EGGENS *et al.*, 1989; LODGE *et al.*, 1991). Weiterhin fördern höhere Stickstoffgaben nach OPITZ von BOBERFELD *et al.* (1979) die Entwicklung von *Poa pratensis*, dabei wirken sich leichtlös.-min. N-Dünger und N-Dünger mit Langzeitwirkung, d. h. synth.-org. N-Dünger gleichermaßen signifikant aus.

Da Pflanzenarten auf den Boden-pH-Wert verschieden reagieren (BOEKER, 1964) und mehrfach Beziehungen zwischen Bodenreaktionen und Verunkrautungsraten im Rasen festgestellt wurden (SKIRDE, 1970; OPITZ von BOBERFELD und BOEKER, 1975; MÜLLER-BECK, 1977) ist bei pH-Wert-Änderungen im Boden auch eine Veränderung des Anteils einzelner Grasarten in der Narbe zu beobachten. So sinkt nach OPITZ von BOBERFELD *et al.* (1979) der Anteil der Art *Festuca rubra* ssp. mit zunehmendem pH-Wert signifikant ab, wohingegen der Anteil der Art *Poa pratensis* steigt.

Des weiteren finden sich in der Literatur Hinweise, daß eine ständige N-Düngung mit organischen Düngemitteln zu einer lockeren, unkrautreicheren Rasennarbe führt (SIEBER, 1970; SKIRDE, 1970), während nach der Applikation eines Mineraldüngers der Unkrautbesatz rückläufig ist. Eine Erklärung für diesen Vorgang sieht HEMMERSBACH (1980) nicht in der Nährstoffwirkung der N-Dünger, als vielmehr in der meist physiologisch sauren Wirkung zahlreicher mineralischer N-Düngemittel. Sie ändert auf Standorten mit neutraler oder alkalischer Reaktion den Reaktionszustand des Bodens und stärkt dadurch den Verdrängungsdruck der Gräser auf solche Kräuter, die einen mehr neutralen bis alkalischen Boden bevorzugen (DEN ENGELSE, 1970; SCHÖNTHALER, 1974).

3. Material und Methoden

3.1 Standort

Versuchsfeld:	Versuchsfläche nordwestlich des Institutes für Pflanzenbau und Grünland der Universität Hohenheim		
Höhenlage:	400 m über NN		
Frosttage (lj. Mittel):	87		
Eistage (lj. Mittel):	22.1		
Letzter Frosttag 1990:	27.03.	Erster Frosttag 1990:	23.10.
Letzter Frosttag 1991:	04.05.	Erster Frosttag 1991:	22.10.
Letzter Frosttag 1992:	07.04.	Erster Frosttag 1992:	28.10.

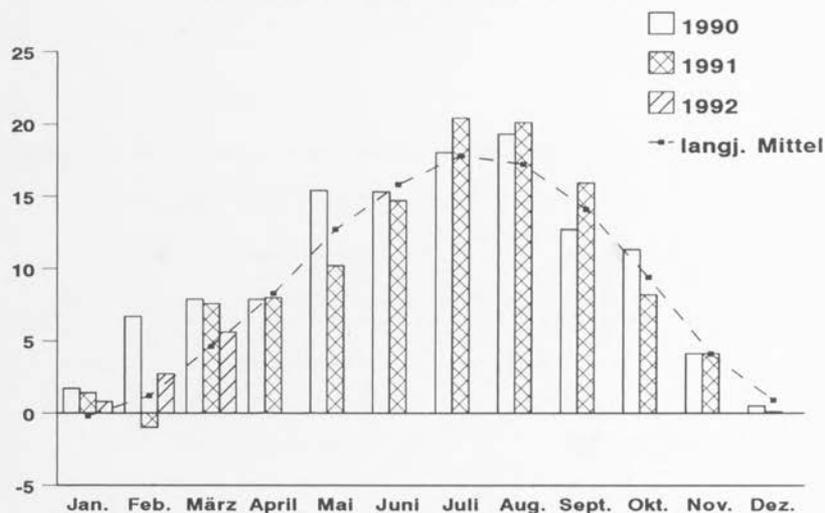
3.2 Witterung im Untersuchungszeitraum

Der Abb. 1 sind die monatlichen Temperatur- und Niederschlagsdaten sowie die Berechnungsmengen der Hauptversuchsjahre (April 1990 bis März 1992) zu entnehmen, die Werte für die Vegetationsperioden der Gesamtjahre sowie die jeweiligen langjährigen Mittel sind in Tab. 1 dargestellt. Die Daten wurden vom Institut für Physik der Universität Hohenheim in einer der Versuchsanlage benachbarten Meßstation erhoben.

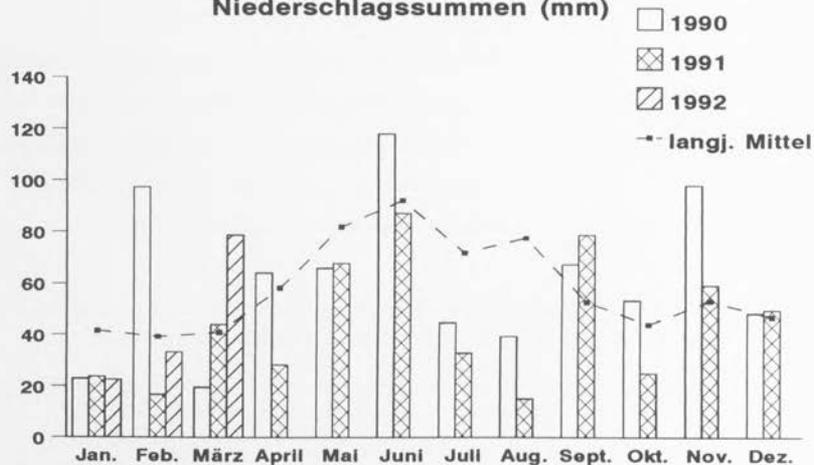
Tabelle 1: Temperatur, Niederschläge, Berechnungsmengen für die Versuchsjahre gesamt sowie für Vegetationszeit April bis September und langj. Mittel

	Temperatur		Niederschlag und (Berechnungsmenge)	
	Mittel (°C)		Summe (mm)	
	Jahresmittel	Apr.-Sept.	Jahressumme	Apr.-Sept.
1990	10.1	14.7	736 (201)	398 (192)
1991	9.1	14.9	526 (218)	309 (209)
langj. Mittel	8.8	14.3	698	433

Monatsmitteltemperaturen (°C)



Niederschlagssummen (mm)



1990	Beregnungs-	35	18	101	32	6	9
1991	menge (mm)	11	18	24	66	64	26

Abbildung 1: Monatsmittel bzw. -summe der Temperatur und der Niederschläge sowie die Beregnungsmengen in beiden Versuchsjahren

3.3 Lysimeter

3.3.1 Aufbau

Für die hier beschriebenen Untersuchungen wurde die erforderliche Versuchseinrichtung im Frühjahr 1989 erbaut und eingesät (Abb. 2, 3 und 4). Es handelt sich um eine 165 m² große, in 48 Einzelparzellen zu je 3 m² gegliederte Rasen-Lysimeteranlage (Abb. 3), wobei Bodenaufbau, Rasensaatgut-Mischungszusammensetzung und spätere Pflege den Anforderungen eines Golfgrüns entsprechen. Der Boden dieser Anlage (Abb. 2) ist in 3 Schichten gegliedert: Rasentragschicht sowie einer feinen und groben Dränschicht. Aufgrund der unterschiedlichen Körnungen der drei Schichten - insbesondere der Rasentragschicht - entsprechen sie nicht der USGA-Bauweise (BEARD, 1982).

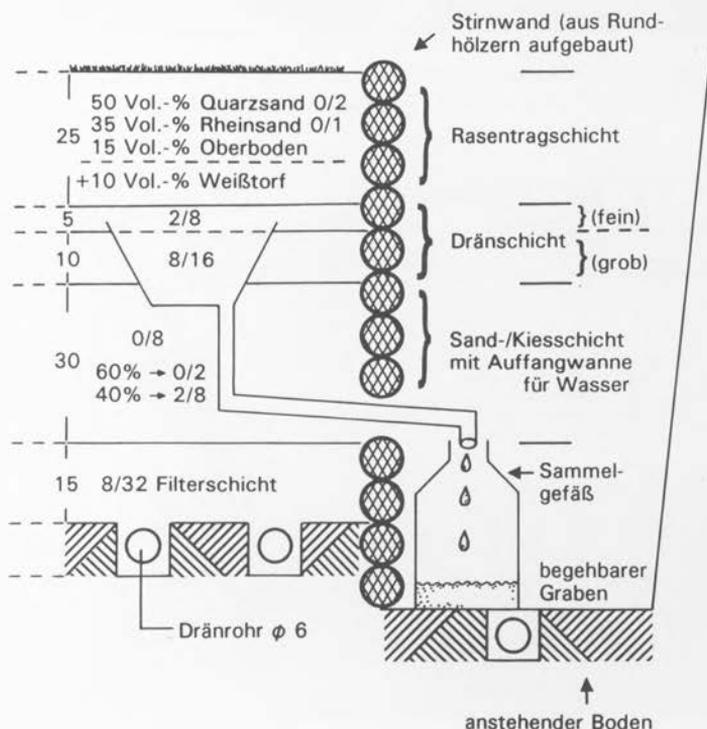


Abbildung 2: Bodenaufbau der Versuchsanlage (Längenmaße in cm, Korngrößen in mm)



Abbildung 3: Versuchsanlage; die Versuchsparzellen werden durch die Unterschiede im Farbaspekt z. T. sichtbar (Aufnahme im Juni 1991)



Abbildung 4: Ansicht des begehbaren Grabens mit Sammelgefäßen; in Bildmitte vorn: Waschbetonbehälter zur Unterbringung der Beregnungsschaltanlage

In jeder Parzelle ist in 30 cm Tiefe eine Wasserauffangwanne von 0.56 m² installiert, von der das der Schwerkraft folgende Sickerwasser aufgefangen und über ein Abflußrohrsystem in ein Sammelgefäß geleitet wurde. Die Sammelgefäße sind in einem begehbaren Graben an der Stirnseite der Lysimeteranlage gegen Lichteinstrahlung geschützt untergebracht (Abb. 4).

Die Versuchsfläche wurde über 8 unterirdisch verlegte Präzisions-Versenkregner mit Wasser versorgt. Da je Parzelle Sickerwasser lediglich von 0.56 m² aufgefangen und abgeleitet wurde, ist in die Anlage zusätzlich ein Dränsystem üblicher Bauweise in 85 cm Tiefe eingebaut worden.

3.3.2 Bodenphysikalische Werte der Rasentragschicht

Die Untersuchung der bodenphysikalischen Parameter der Rasentragschicht wurde nach den Anforderungen der 1974 gültigen DIN 18035, Bl. 4 (DNA, 1974) vorgenommen. In Abb. 5 sind die nach Einbau der Rasentragschicht ermittelten Korngrößen in den Grenzbe-
reich für Grüns der ab 1990 geltenden Richtlinie "Bau von Golfplätzen" (FLL, 1990) übertragen worden. Eine Nachuntersuchung im Februar 1992 ergab keine Abweichungen. Die Daten für Wasserkapazität und Wasserdurchlässigkeit sowohl nach Einbau der Rasentragschicht als auch zu Versuchsende sind Tab. 2 zu entnehmen. Die Lagerungsdichte wurde nach HARTGE (1989) vor Versuchsbeginn mit dem Faktor 1.4 g/cm³ ermittelt.

Tabelle 2: Wasserkapazität und -durchlässigkeit nach DIN 18035 Bl. 4, zu Versuchsbeginn (Apr. 1990) und zu Versuchsende (März 1992)

	DIN 18035 Bl. 4 (1974)	Versuchsbeginn	Versuchsende
Wasserkapazität WK (Vol.-%)	35-40	35.2	31.2
Wasserdurchlässigkeit k* mod (cm/sec)	> 0.0015	0.0037	0.0056

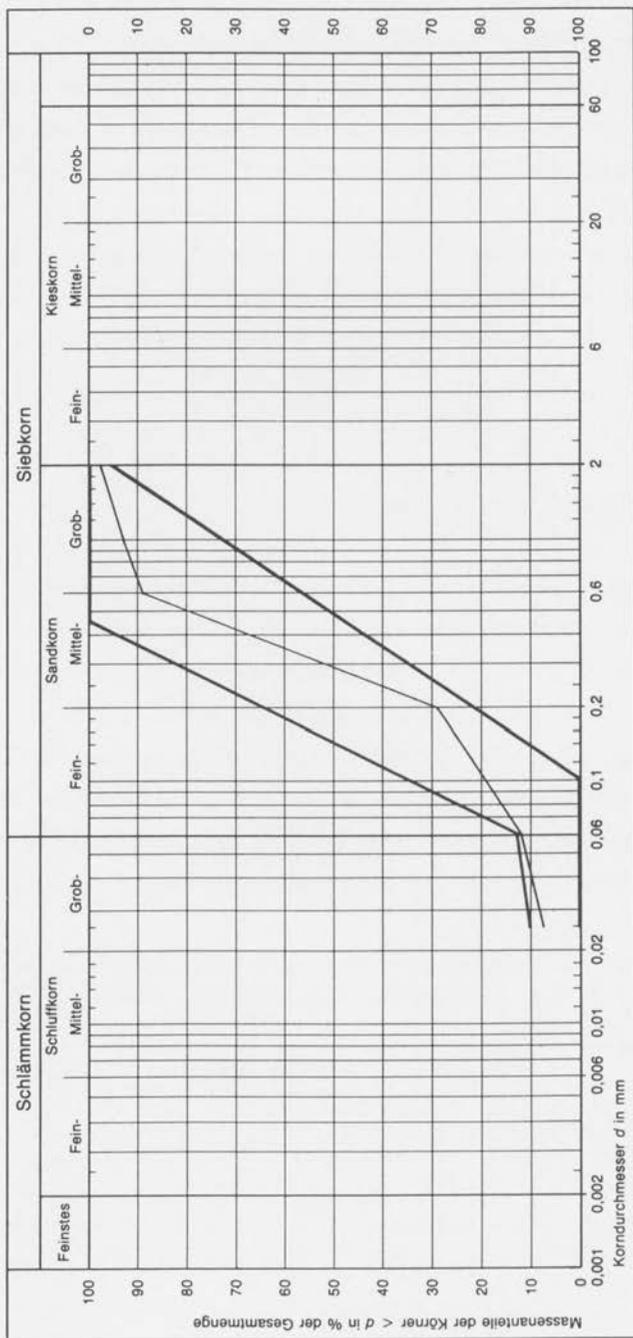


Abbildung 5: mittlere Linie markiert die Korngrößenverteilung der Rasentragschicht, fettgedruckte Linien markieren den Grenzbereich der FLL-Richtlinie

3.3.3 Bodenchemische Werte der Rasentragschicht

Die bodenchemischen Werte der Rasentragschicht nach Fertigstellung der Versuchsanlage (April 1989) sowie zu Versuchsbeginn (April 1990) sind mit Tab. 3 erfaßt.

Tabelle 3: pH-Werte (CaCl_2), P-, K- (CAL), Mg- (CaCl_2) (mg/100 g Boden), Gesamtstickstoff- ($\%N_t$) und Gesamtkohlenstoff-Gehalte ($\%C_t$) der Rasentragschicht vor Versuchsbeginn und bei Versuchsende

Termin	pH	P	K	Mg	N_t	C_t
21.04.1989	7.6	0.7	1.6	1.9	0.02	0.28
20.03.1990	7.5	1.5	5.7	2.8	0.06	0.43

3.4 Versuchsanlage

3.4.1 Prüfvarianten

Versuchsanlage: 2-faktorielle Blockanlage (Abb. 6)

Wiederholungen: 4 (Block I, II, III, IV)

Parzellengröße: 1.5 m x 2.0 m = 3 m²

Versuchsfaktoren: 2

Faktor 1: N-Düngerform

D1 = synthetisch-organischer N-Dünger (Ureaform - Golf Nitrozol -), 38% N

D2 = synthetisch-organischer N-Dünger (Isodur - Floranid 32 -), 32% N

D3 = natürlich-organischer N-Dünger (S 0 Cornusol - Hornmehl -), 10% N

D4 = leichtlöslich-mineralischer N-Dünger (Ammonsulfatsalpeter), 26% N

Faktor 2: N-Aufwandmenge

N1 = 20 g N/m²/Jahr

N2 = 40 g "

N3 = 80 g "

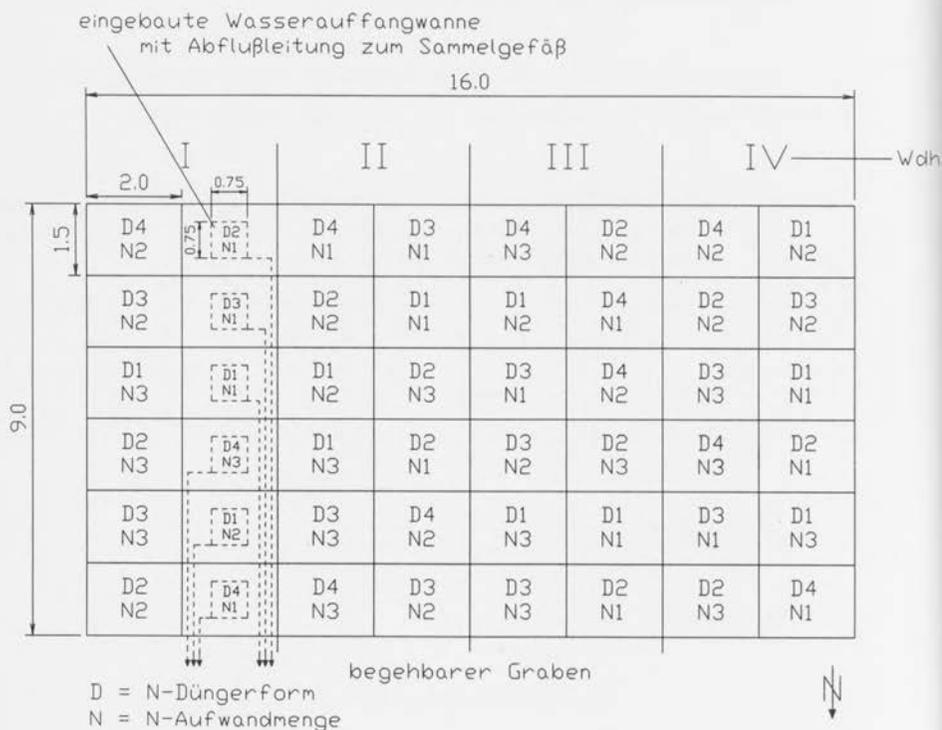


Abbildung 6: Parzellenanordnung (Maße in Metern)

3.4.2 Behandlung im Ansaatjahr (Versuchsvorlaufjahr)

Saattermin: 24.04.1989
 Saatmischung: in Anlehnung an RSM 1 (FLL, 1992), s. Tab. 4
 Saatmenge: 20 g/m²

Um natürliche Setzungsprozesse der aufgebauten Rasentragschicht abzufangen und eine gut ausgebildete Rasennarbe zu etablieren, die den Anforderungen eines ausdauernden Strapazierrasens genügt, war zunächst eine einheitliche Dünge- und Pflegebehandlung der Versuchsfläche für das Baujahr 1989 und vor Versuchsbeginn notwendig. Zu Versuchsbeginn 1990 lag somit eine gut entwickelte und geschlossene Rasennarbe vor.

Tabelle 4: Ansaatmischung der Versuchsfläche

Art	Sorte	Saatanteil (Gew.-%)
Festuca rubra commutata	Lifalla	40
Festuca rubra trichophylla	Dawson	40
Agrostis stolonifera	Penncross	4
Agrostis stolonifera	Prominent	4
Agrostis capillaris	Bardot	6
Agrostis capillaris	Tracenta	6

Düngung 1989: synth.-org. Dünger (Floranid Permanent) mit der Formulierung 15-9-15-2; 50 g N/m², 30 g P₂O₅/m², 50 g K₂O/m², 6.6 g MgO/m²

erster Schnitt 1989: am 06.06.1989 auf 15 mm, anschließend pro Woche 1 mm tiefer, bis die Endschnitthöhe von 6 mm erreicht war

Vertikutieren 1989: 4 x

Nachsaat 1989: nach dem Vertikutieren am 09.08.1989 mit 5 g/m² angegebener Saatgutmischung (Tab. 4)

Besanden 1989: jeweils nach dem Vertikutieren mit 0.8 l/m²

3.4.3 Behandlung in den Versuchsjahren

Die N-Düngung wurde (praxisüblich) für die synth.-org. N-Dünger 3 x, für den natürl.-org. 4 x und für den leichtlösl.-min. 8 x jährlich vorgenommen. Die N-Düngungstermine für beide Versuchsjahre sind in Tab. 5 zusammengestellt. Die Verteilung der N-Dünger erfolgte von Hand mittels eines speziellen, 3 m² umfassenden Rahmens, so daß bei der Düngung eine genaue Abgrenzung zur Nachbarparzelle gewährleistet war. Wegen der zum Teil geringen Ausbringungsmengen der leichtlösl.-min. N-Düngerform pro Termin wurde dieser flüssig appliziert, um eine gleichmäßige Verteilung zu erreichen.

Tabelle 5: N-Düngungstermine in den Versuchsjahren

Termin		N-Düngerformen			
		synth.-org.		natürl.-org.	leichtlösl.-min.
1990	1991	UF	IBDH	HM	ASS
05.04.	03.04.	+	+	+	+
03.05.	02.05.				+
30.05.	31.05.			+	+
27.06.	27.06.	+	+		+
12.07.	10.07.				+
31.07.	30.07.			+	+
29.08.	28.08.				+
25.09.	24.09.	+	+	+	+

- Grunddüngung:** P-, K-, Mg-Dünger mit der Formulierung 9-23-6, 4 Düngergaben pro Vegetationsperiode, insgesamt pro m² und Jahr: 17.2 g P₂O₅, 44 g K₂O, 11.4 g MgO
- Rasenschnitte 1990:** ab 09.04. bis 26.10. (= 29 Wochen) 3 x je Woche
- Rasenschnitte 1991:** ab 08.04. bis 18.10. (= 28 Wochen) 3 x je Woche
- Vertikutieren 1990:** 4 x
- Vertikutieren 1991:** 3 x
- Nachsaat 1990:** nach dem Vertikutieren am 30.05. mit 5 g/m² angegebener Saatgutmischung (s. Tab. 4)
- Nachsaat 1991:** ohne
- Besanden 1990:** 1 x nach dem Vertikutieren am 30.05. mit 0.8 l/m²
- Besanden 1991:** ohne
- Pflanzenschutz 1990:** gesamte Versuchsfläche im Frühjahr gegen *Gaeumannomyces graminis* (Erreger der Schwarzbeinigkeit) behandelt mit Sportak Alpha (Wirkstoff: Carbendazim + Prochloraz, 1.5 l/ha)
- Pflanzenschutz 1991:** keiner

3.5 Erhobene Daten

3.5.1 Meßgrößen

Anmerkung: Wie im Landschafts- und Sportstättenbau üblich, werden auch in der vorliegenden Arbeit alle flächenbezogenen Gewichtsangaben in g/m^2 ausgedrückt und nicht - wie in der landwirtschaftlichen Praxis die Norm - auf kg/ha hochgerechnet. Die vergleichsweise geringe Flächengröße von Golfgrüns (ca. 300 bis 800 m^2 pro Grün) legt diese Vorgehensweise nahe.

Es wurden nachfolgende Meßgrößen in beiden Versuchsjahren ermittelt:

am Schnittgut:	Schnittgutmengen (g/m^2) Vertikutiergut (g/m^2) Gesamt N-Gehalt (% i. d. TS)
im Sickerwasser:	NO_3 -N-Konzentrationen (mg/l) NH_4^+ -N-Konzentrationen (mg/l)
im Boden:	NO_3 -N-Mengen (g/m^2) NH_4^+ -N-Mengen (g/m^2) P-, K- und Mg-Gehalte (mg/100g Boden) sowie pH-Wert N_T - und C_T -Gehalte (%)
am Pflanzenbestand:	Gesamteindruck* Farbaspekt Deckungsgrad

* nähere Definition in Kap. 3.5.1.4

3.5.1.1 Erfassung der Meßgrößen am Schnittgut

Schnittgutmengen:

Probenahme­fläche: 1.5 m²

Schnitt­höhe: 6 mm

Trocknung: bei 50°C bis zur Gewichtskonstanz

Die Gewinnung des Schnittgutes erfolgte 3 x je Woche und Parzelle mit Hilfe einer speziellen, für die Untersuchung entwickelten Auffangvorrichtung (Abb. 7), die keinen Einfluß auf die Mähgenauigkeit sowie Funktionstüchtigkeit des vorhandenen handgeführten Grünsähers (Schnittbreite 50 cm) ausübte. Durch die Verwendung speziell angefertigter Leinensäcke, die in den Auffangkorb des Spindelmähers eingelegt und mittels eines eingenähten Gummis an dessen Rand befestigt wurden, konnte das Schnittgut jeder Einzel­parzelle exakt aufgefangen werden. Ein weiterer Vorteil bestand zudem darin, daß das nach der Beerntung aufgenommene Schnittgut in diesen Leinensäcken für die anschließende Trocknung belassen werden konnte, was die andernfalls methodisch bedingten Schnittgutverluste reduzierte. Beim Mähvorgang wurde zu jedem Schnittermin (3 x pro Woche) in Längs- und Querrichtung abgewechselt, wobei aber stets alle 48 Parzellen gleich behandelt wurden.

Da das Schnittgut je Einzelschnitt und Parzelle mengenmäßig z. T. für die vorgesehenen Analysen nicht reichte, wurden die drei wöchentlichen Einzelschnitte jeder Parzelle zusammengefaßt. Schließlich wurde es zur Ermittlung des Trockengewichts in üblicher Weise zurückgewogen und sodann in einer Hammermühle mit einem 1 mm Sieb gemahlen.

Vertikutiergut:

Aus arbeitstechnischen Gründen wurde von den im 1. Versuchsjahr vier und im 2. Versuchsjahr drei Vertikutiermaßnahmen jeweils der 1. Vertikutiertermin ausgewählt, von dem die Vertikutiergutmenge jeder Parzelle exakt ermittelt wurde. Daraus wurde für jede N-Prüfvariante ein Durchschnittswert aus beiden Versuchsjahren errechnet.



Abbildung 7: Auffangkorb des Spindelmähers mit eingelegtem Leinensack

Gesamt N-Gehalt:

Der N-Gehalt im Erntegut wurde nach der Kjeldahl-Methode in üblicher Weise ermittelt. Der N-Entzug über die geerntete oberirdische Pflanzensubstanz wurde durch Verrechnung des TM-Ertrages mit dem für die Trockenmasse ermittelten N-Gehalt bestimmt.

3.5.1.2 Erfassung der Meßgrößen im Sickerwasser

$\text{NO}_3\text{-N}$ - und $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Konzentrationen:

Die Bestimmung der $\text{NO}_3\text{-N}$ - und $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Konzentrationen im Sickerwasser erfolgte 1 x wöchentlich, sofern Sickerungen auftraten. Hierzu wurde das Wasser aus den Sammelbehältern zunächst gewogen, anschließend dem Sickerwasser jeweils eine Mischprobe von 100 ml entnommen und bei -20°C eingefroren. Mit Hilfe der Fließinjektionsanalyse

(FIA), deren Prinzip bei RUZICKA und HANSEN (1981) beschrieben ist, wurden die Konzentrationen an $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4^+\text{-N}$ photometrisch ermittelt. In gleicher Weise wurde mit dem Niederschlags- und Beregnungswasser verfahren. Dabei ist der Stickstoff im Niederschlagswasser nach jedem Niederschlag analytisch bestimmt worden. Die N-Einträge mit dem Beregnungswasser fußen auf einer einmaligen Messung, bei der 1.42 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ und 0.05 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/l}$ ermittelt wurden. Der Umrechnungsfaktor von mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ zu mg $\text{NO}_3\text{/l}$ beträgt 4.43, der von mg $\text{NH}_4^+\text{-N/l}$ zu mg $\text{NH}_4^+\text{/l}$ 1.29.

3.5.1.3 Erfassung der Meßgrößen im Boden

$\text{NO}_3\text{-N}$ - und $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Mengen (N_{\min}):

Zur N_{\min} -Bestimmung wurden Bodenproben ausschließlich aus der Rasentragschicht (0 bis 25 cm) je Parzelle in 14-täg. Rhythmus gezogen. Soweit die Probenahme mit einem Düngungstermin zusammentraf, wurde sie jeweils vor der N-Düngung vorgenommen. Die Bodenproben sind mit Hilfe eines Bohrstocks ($\phi = 1$ cm) entnommen und unmittelbar anschließend bei -20°C eingefroren worden. Diese Vorgehensweise kann zwar zu höheren $\text{NO}_3\text{-N}$ -Mengen führen (AUFHAMMER *et al.*, 1989), erlaubt aber gleichzeitig die Untersuchung der $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Fraktion und damit die Bestimmung des N_{\min} -Vorrates der Rasentragschicht.

Um die Grasnarbe jeder einzelnen N-Variante möglichst wenig zu beschädigen, wurde pro Parzelle nur ein Einstich vorgenommen. Die 4 Wiederholungen je Versuchsvariante sind anschließend zu einer Mischprobe vereint worden, um genügend Bodenmaterial für die Untersuchung zu erhalten. Nach der Probenahme wurde das 25 cm tiefe Bohrloch mit Rasentragschichtmaterial aufgefüllt und das bei dem Einstich entfernte Narbenstück wieder eingesetzt.

Zur N_{\min} -Extraktion wurde 20 g Boden mit 200 ml 0.025n CaCl_2 -Lösung versetzt und 1 Stunde geschüttelt. Der $\text{NO}_3\text{-N}$ - und $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Gehalt im Filtrat wurde wie im Sickerwasser über FIA photometrisch bestimmt. Die N_{\min} -Menge in der Rasentragschicht (g/m^2) ergibt sich sodann durch Korrektur der Meßwerte entsprechend dem Trockensubstanzgehalt der Proben und Umrechnung mit der ermittelten Lagerungsdichte des Bodens

(s. Kap. 3.3.2). Die TS-Gehalte der Bodenproben wurden nach 16-stündigem Trocknen bei 106 °C im Trockenschrank gravimetrisch ermittelt.

P-, K-, Mg-, N_t- und C_t-Gehalte sowie pH-Wert:

Die hier zur Bestimmung erforderlichen Bodenproben wurden im Anlagejahr 1989, danach jeweils zu Beginn und Ende der beiden Versuchsjahre aus der Rasentragschicht gezogen. Nach der Entnahme mit einem Bohrstock ($\phi = 1$ cm) sind sie getrocknet bis zur Untersuchung aufbewahrt worden.

Die einzelnen Bodenwerte in der Rasentragschicht wurden nach folgenden Methoden bestimmt (VDLUFA, 1991):

Bodenwert	Angewandte Methode
P und K	CAL-Extraktion
Mg	in 0.025n CaCl ₂
N _t	nach KJELDAHL
C _t	mittels nasser Veraschung nach LICHTERFELDE
pH	in 0.01m CaCl ₂ mit der Glaselektrode gemessen

3.5.1.4 Erfassung der Meßgrößen am Pflanzenbestand

Zur Beurteilung der rasenbildenden Eigenschaften der Prüfvarianten wurden alle Parzellen in regelmäßigen Abständen unmittelbar vor und ca. 14 Tage nach der N-Düngung mit üblicher Boniturskala (BSA, 1992) von 1 bis 9 beurteilt. Dabei bedeuten für:

- Gesamteindruck: 1 = sehr schlecht, 9 = sehr gut
- Farbe: 1 = sehr hell, 9 = dunkelgrün; Bezugsart: *Agrostis* spp.

Der Deckungsgrad wurde über die Bedeckung des Bodens mit Pflanzen in % ermittelt. Unter dem Kriterium Gesamteindruck bzw. Rasenaspekt wird hier ein homogener, gut beispielbarer (gerader Balllauf) sowie strapazierfähiger Zierrasen (= Golfgrün) verstanden, der gleichzeitig einen guten optischen Eindruck aufweist.

Die Deckungsgradschätzung, gegliedert nach den einzelnen Arten, erfolgte jeweils zu Beginn und Ende der Vegetationsperiode beider Versuchsjahre.

Da während der gesamten Versuchsdauer bei allen N-Varianten sehr dichte Narben vorhanden waren, konnte das Kriterium Narbendichte vernachlässigt werden.

3.6 Biometrische Auswertung

Die Verrechnung der gewonnenen Daten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammpakets SAS (SAS, 1987).

Die Voraussetzungen für eine varianzanalytische Auswertung ist u. a. die Unabhängigkeit der zu verrechnenden Daten (KÖHLER *et al.*, 1984). Die während der Versuchsphase in regelmäßigen Zeitabständen erhobenen Daten erfüllen diese Forderung nicht. Aus diesem Grund wurde für jeden Beobachtungstermin eine separate Varianzanalyse vorgenommen. Univariate Mittelwertvergleiche, ebenfalls für jeden Beobachtungstermin, wurden mit Hilfe des TUKEY-TESTS durchgeführt. Die in den Abbildungen und Tabellen angegebenen Grenzdifferenzen (GD) wurden in der Regel für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% berechnet. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da im allgemeinen die signifikanten Unterschiede zwischen den N-Prüfvarianten eindeutig waren und daher die Gefahr einer Nichterkennung von Signifikanzen nicht bestand.

4. Ergebnisse

4.1 Schnittgut

4.1.1 Schnittgutmengen

4.1.1.1 Gesamtaufkommen

Aus Tab. A 1 (Anhang) geht hervor, daß nach dem Ergebnis der Varianzanalyse die Schnittgutmengen in beiden Versuchsjahren signifikant von der N-Düngerform (D), der N-Aufwandmenge (N) sowie deren Wechselwirkung (D x N) bestimmt werden.

Über die Beziehungen der absoluten Schnittgutmengen zur N-Zufuhr und N-Düngerform in beiden Beobachtungsjahren informiert Abb. 8. Demnach ergibt sich zunächst folgender Sachverhalt:

- die mittleren Schnittgutmengen steigen bei jeder N-Düngerform (erwartungsgemäß) von N1 (20 g N/m²/Jahr) nach N3 (80 g N/m²/Jahr) signifikant an. Lediglich im 1. Versuchsjahr traten zwischen N1 und N2 (40 g N/m²/Jahr) in der Düngerform D1 (Ureaform) keine signifikanten Unterschiede auf;
- die N-Düngerformen unterscheiden sich in ihrer Wirksamkeit auf die TM-Bildung bei jeweils gleichem N-Aufwand zwar deutlich, indessen nicht in jedem Falle signifikant.

Die niedrigste TM-Menge erbringt generell der N-Düngertyp D1, die höchsten die N-Düngertypen D3 (natürl.-org. N-Dünger) und D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger). Die Differenzen zwischen D3 und D4 sind in den jeweils übereinstimmenden N-Varianten nicht mehr signifikant. 1990 werden in der Variante N1 bei D3 172 g TM/m², bei D4 197 g TM/m² über das Schnittgut entfernt, bei D2 (Isodur) aber nur 150 g TM/m² und bei D1 nur noch 123 g TM/m². In den Varianten N2 und N3 ist die Reihung ähnlich. Die N-Düngerformen D3 und D4 übertreffen D2 und D1 stets. In N3 ist das Schnittgutaufkommen bei der N-Düngerform D3 und D4 mit 609 bzw. 613 g TM/m² fast doppelt so hoch wie bei D1 mit 307 g TM/m². D2 erbringt hier 479 g TM/m². Im Mittel beider Beobachtungsjahre beträgt der Unterschied zwischen D1 und D4 in der Variante N1 85.7 g TM/m² = 168%, bei N2 204.7 g TM/m² = 198%, bei N3 228.4 g TM/m² = 158% (relativ jeweils bezogen auf D1).

Die Wirkung der langsamer wirkenden N-Düngerformen D1 und D2 steigt im 2. Beobachtungsjahr gegenüber dem ersten in den Varianten N2 und N3 signifikant an. So nimmt das Schnittgutaufkommen nach Zufuhr von Ureaform (D1) in N2 von 166 auf 251 g TM/m², in N3 von 307 auf 474 g TM/m² zu. Bei Isodur (D2) erhöht sich die Schnittgutmenge von 269 auf 384 g TM/m² (N2) bzw. 479 auf 575 g TM/m² (N3).

Demgegenüber verändert sich die Wirkung bei D3 und D4 vom 1. zum 2. Beobachtungsjahr in N2 vergleichsweise weniger stark (D3 von 358 auf 459 g TM/m²; D4 von 387 auf 440 g TM/m²), in N3 fast gar nicht. Die Schnittgutmengen bewegen sich hier in beiden Jahren bei D3 zwischen 609 und 614 g TM/m², bei D4 zwischen 613 und 624 g TM/m². Insgesamt ergeben sich somit im Mittel beider Versuchsjahre und aller vier geprüften N-Düngerformen bei N1 = 177.3 g TM/m², bei N2 = 339.4 g TM/m² und bei N3 = 537.2 g TM/m². Auf Variante N1 bezogen entspricht das einem relativen Zuwachsanstieg von 191% bei N2 bzw. 303% bei N3.

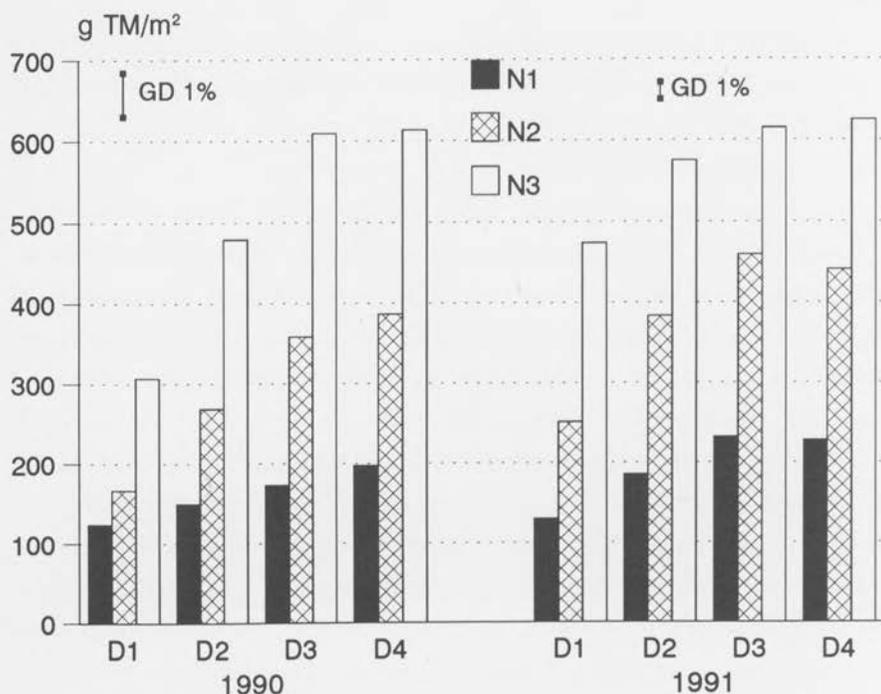


Abbildung 8: Schnittgutaufkommen (g TM/m²/Jahr): Wirkung von N-Düngerform und Höhe der N-Zufuhr, 1.- und 2. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

4.1.1.2 Einfluß der N-Zufuhr und Jahreszeit

Wie die Varianztabelle A 2 und A 3 ausweisen, beeinflussen die Hauptfaktoren N-Düngerform (D) und N-Menge (N) sowie die Interaktion D x N die Schnittgutmengen in den einzelnen Vegetationswochen der Versuchsjahre 1990 und 1991 signifikant.

In Abb. 9 sind die wöchentlichen Schnittgutmengen (jeweils ab 2. Aprilwoche) in Abhängigkeit von der N-Zufuhr für beide Versuchsjahre dargestellt (N-Variante jeweils Mittel aller N-Düngerformen), um den Einfluß der N-Gabenhöhe auf die TM-Bildung (drei Schnitte pro Woche) zu verdeutlichen. Die Vertikutier- bzw. Düngungstermine für die einzelnen N-Düngertypen (D1, D2, D3, D4) sind zusätzlich gekennzeichnet.

Wie aus Abb. 9 hervorgeht, ergibt sich im 1. Beobachtungsjahr bereits drei Wochen nach der 1. N-Düngung eine signifikante Differenz zwischen den N-Varianten. In allen drei N-Varianten wird zudem im Mai (4. bis 6. Woche nach der 1. N-Düngung) jeweils der höchste über das Schnittgut ermittelte Wochenzuwachs erreicht. Bei N1 sind das 15 g TM/m², bei N2 19.5 g TM/m² (jeweils 4. Woche) und bei N3 30.5 g TM/m² (6. Woche). Nach diesem 1. Zuwachshöhepunkt geht das Schnittgutaufkommen zunächst wieder zurück.

Dieser nach bisherigem Kenntnisstand auch erwartbare Zuwachsverlauf wiederholt sich im 2. Beobachtungsjahr nicht. Gewissermaßen in Umkehrung der Verhältnisse von 1990 ergibt sich bereits in der 1. Schnittwoche (eine Woche nach der 1. Düngung im April) ein sehr hoher TM-Zuwachs, der sich anschließend bis Mitte Mai (6. Woche) aber stetig verringert. Das Zuwachsmaximum wird in allen drei N-Varianten erst im August erreicht, zu einem Zeitpunkt also, zu dem bei Gräsern bestenfalls das zweite, in jedem Fall aber niedriger ausfallende Zuwachsmaximum auftritt.

Die Zuwachsverläufe während der Vegetationsperioden beider Beobachtungsjahre sind jedoch durch ein beständiges und jeweils markantes Auf und Ab gekennzeichnet. Dieser Wechsel läßt Beziehungen zu den N-Düngeterminen oder (1990 auch) zur Sommerdepression erkennen, sehr deutliche vor allem aber zum Vertikutieren. Mit Ausnahme des 1. Vertikutierens 1991 (Mai) geht der Zuwachs zumindest in der dieser Maßnahme folgenden Woche jeweils deutlich, z. T. erheblich zurück. So sinkt beispielsweise die mittlere wöchentliche Schnittgutmenge bei N3 im August 1991 von einer Woche zur folgenden, in der vertikutiert wurde, von 37 auf 10 g TM/m².

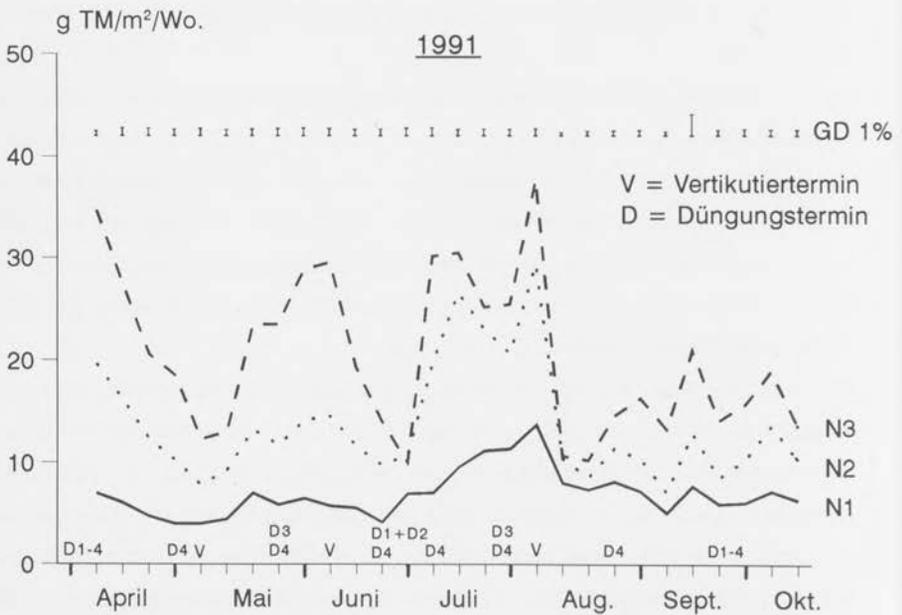
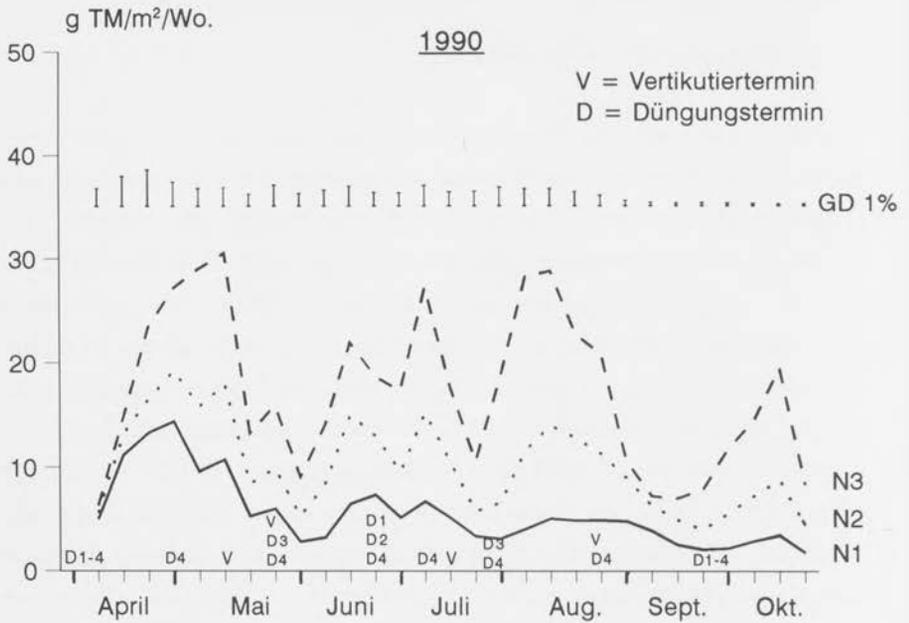


Abbildung 9: Schnittgutmengen (g TM/m²/Wo.) in Abhängigkeit von N-Düngermenge, Jahreszeit und Versuchsjahr (Mittel aus 4 N-Düngerformen u. 4 Wdh.)

Allgemein läßt sich aber auch beobachten, daß bei mittlerer (N2) und hoher (N3) N-Zufuhr der negative Einfluß des Vertikutierens auf den Zuwachs und damit den Schnittgutanteil stärker ausgeprägt ist, als bei N1.

Die Abbildungen 10 bis 12 geben die Zuwachsverläufe bzw. Schnittgutmengen je Woche, spezifiziert nach geprüften **N-Düngerformen** sowie gegliedert nach jeweiligem N-Aufwand wieder. Mitangegeben sind jeweils die Signifikanzschwellen bei $\alpha = 1\%$ (s. hierzu auch Tab. A 4 bis A 6). Wie sich erweist, ändert sich beim N-Düngertyp D1 (Ureaform) an der bereits beschriebenen (s. Kap. 4.1.1.1), vergleichsweise geringen Zuwachsleistung auch jahreszeitbezogen in allen N-Aufwandstufen und in beiden Beobachtungsjahren fast nichts. Die Differenz ist gegenüber D3 und D4 in den meisten Fällen (Wochen) signifikant, bei N2 und vor allem N3 in aller Regel auch gegenüber D2 (Isodur). Lediglich in Variante N3 (Abb. 12), und hier wiederum nur jeweils im Juli, verringert sich die Differenz zu den anderen geprüften N-Düngerformen vorübergehend. In dieser Zeit liefert D1 1991 kurzzeitig sogar die höchsten Schnittgutmengen (ca. 35 g TM/m² in einer Woche). Umgekehrt zeigt sich, daß das Schnittgutaufkommen auch in den einzelnen Vegetationswochen bei D4 und D3 in der Regel am höchsten ist.

Innerhalb der N-Varianten unterscheiden sich die Zuwachsverläufe der N-Dünger über die Vegetationsperiode hin erheblich. Im 1. Versuchsjahr differieren die beiden Langzeitdünger (D1, D2) im Schnittgutanteil während der einzelnen Vegetationswochen deutlich und z. T. signifikant in N2 (Abb. 11) und N3 (Abb. 12), im zweiten (1991) schließlich bis Mitte Juni in allen drei N-Varianten. Dabei weist D2 zu Beginn des 2. Versuchsjahres in N3 die höchsten Schnittgutmengen überhaupt auf (50 g TM/m² in der 1. Woche).

Bei D3 und D4 verläuft der Zuwachs in allen N-Varianten überwiegend übereinstimmend. Lediglich ab Mitte August 1991 ergeben sich in N1 beim natürl.-org. N-Düngertyp (D3) höhere wöchentliche Schnittgutmengen als beim leichtlösl.-min. N-Dünger D4. Sie nehmen erst gegen Ende der Vegetationszeit langsam wieder ab (Abb. 10).

Auf die zuwachsmindernde Wirkung des Vertikutierens, die unabhängig von der N-Düngerform bei den Varianten N2 und N3 stärker auftritt als bei N1, sei nochmals verwiesen (s. Abb. 9). Umgekehrt ist bei allen drei N-Varianten ein unmittelbar auftretender wachstumsfördernder Einfluß nach jeder einzelnen N-Düngung erkennbar. In besonderem Maße trifft dies für die Ende Juni 1991 durchgeführte Düngungsmaßnahme zu, auf die die Rasen unmittelbar mit stetiger Erhöhung der Schnittgutmengen in den Folgewochen reagierten.

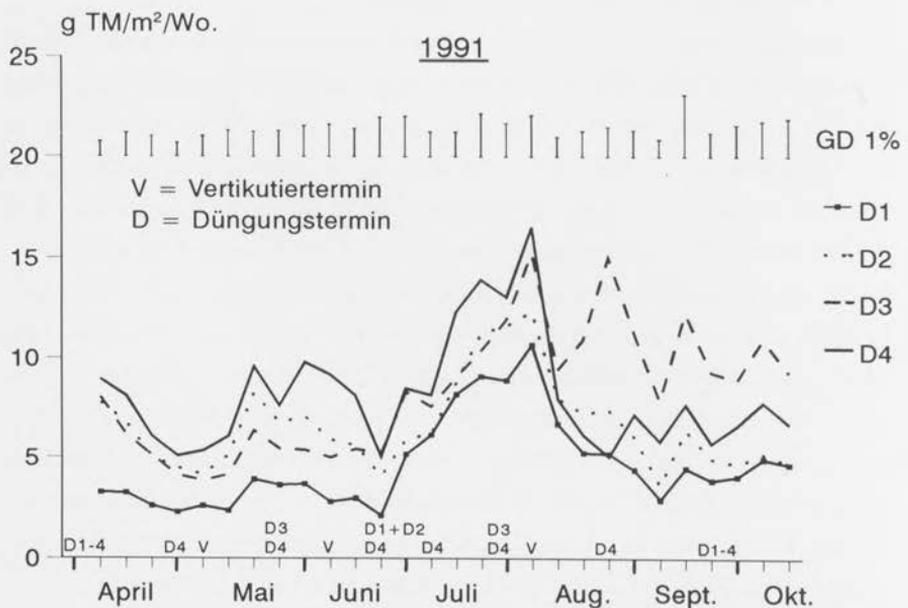
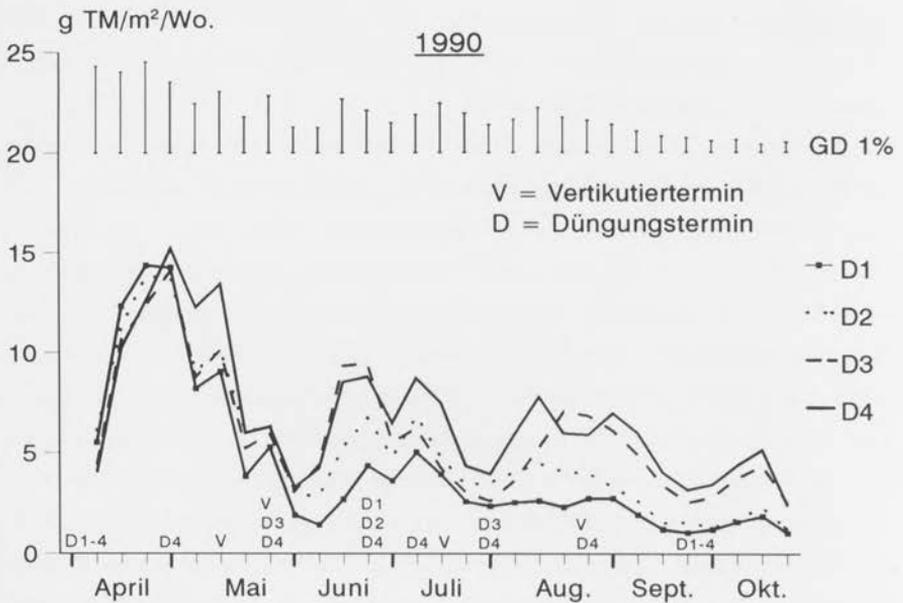


Abbildung 10: Schnittgutmengen (g TM/m²/Wo.) der Varianten N1 in Abhängigkeit von N-Düngerform, Jahreszeit und Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

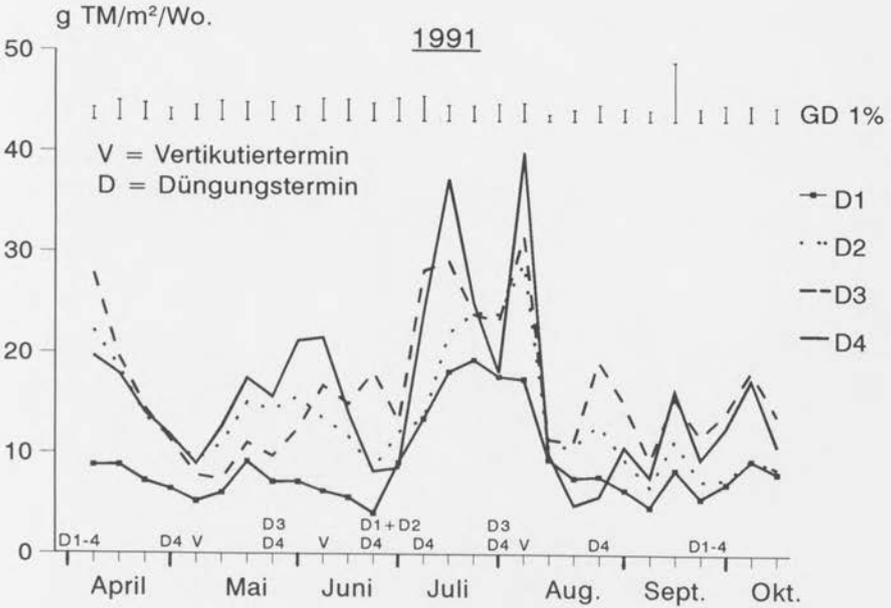
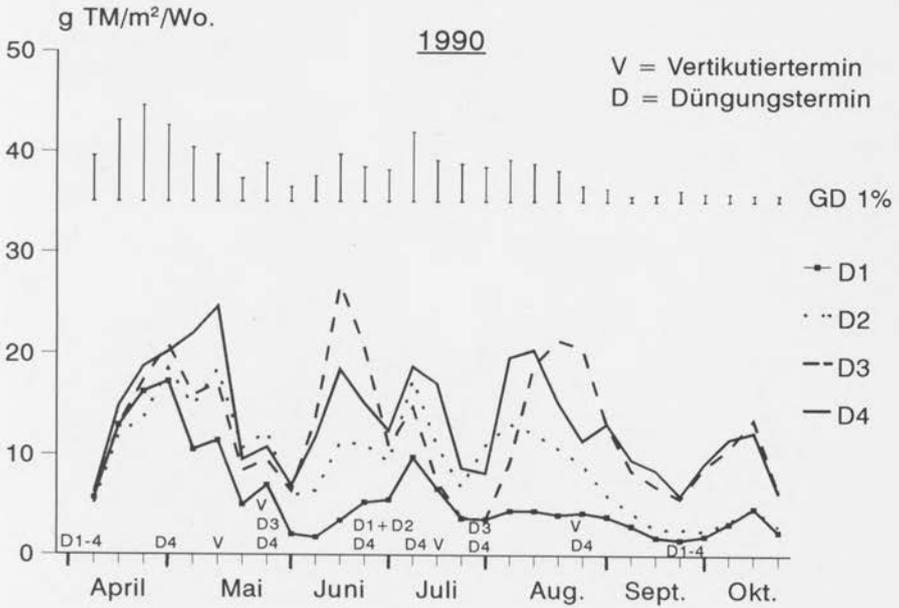


Abbildung 11: Schnittgutmengen (g TM/m²/Wo.) der Varianten N2 in Abhängigkeit von N-Düngerform, Jahreszeit und Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

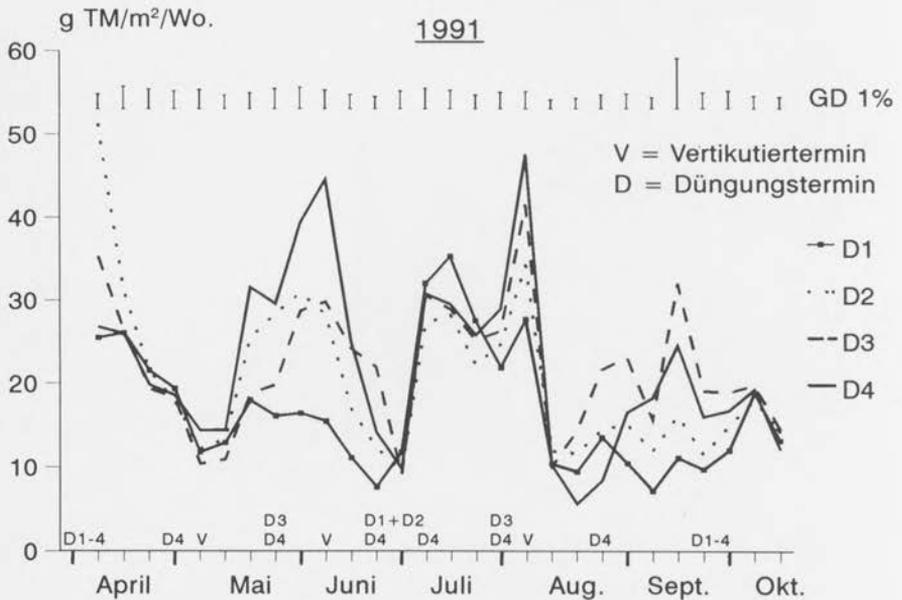
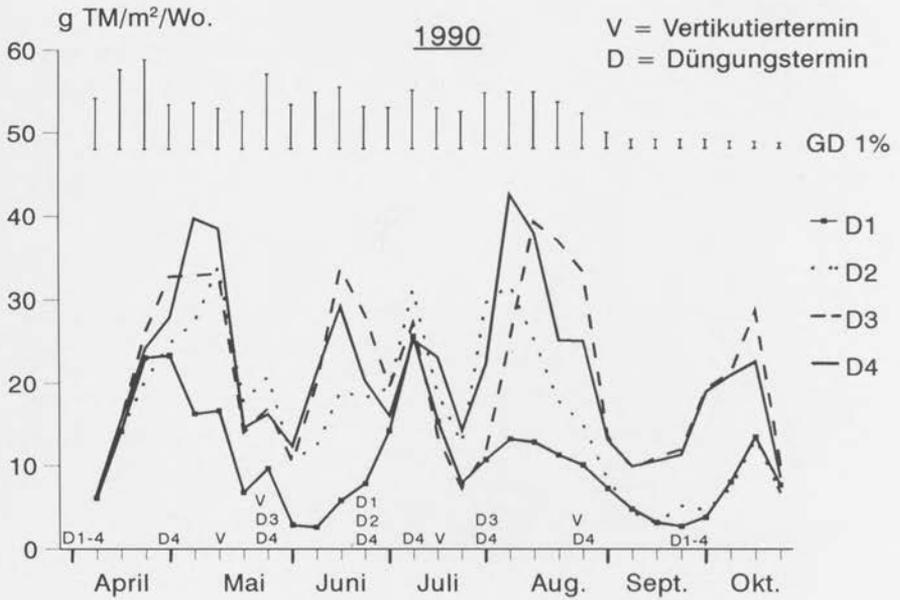


Abbildung 12: Schnittgutmengen (g TM/m²/Wo.) der Varianten N3 in Abhängigkeit von N-Düngerform, Jahreszeit und Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

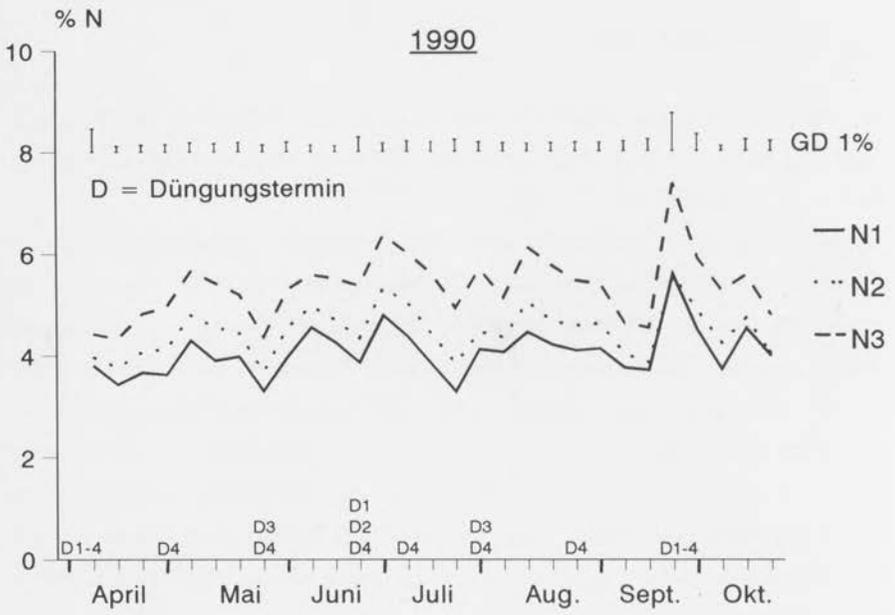
4.1.2 N-Gehalt im Aufwuchs

In beiden Versuchsjahren wird der N-Gehalt i. d. TS im Schnittgut von der N-Düngerform, der N-Düngermenge sowie von deren Wechselwirkungen signifikant beeinflusst (s. Tab. A 7 und A 8).

Mit Abb. 13 ist die Veränderung der absoluten N-Gehalte i. d. TS im Rasenschnittgut der geprüften N-Varianten im Mittel aller N-Düngerformen während der Vegetationszeit erfaßt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, steigen die N-Gehalte i. d. TS bis zur Juni/Juli-Wende in beiden Beobachtungsjahren in der Tendenz an. Danach sinken sie bis zum September eher wieder leicht ab. Im September werden jeweils die höchsten N-Gehalte in der TS erreicht (1990 in N3 7.3% i. d. TS, in N1 und N2 5.6% i. d. TS), was jedoch offenkundig mit dem Düngungszeitpunkt der unmittelbar vorausgegangenen N-Düngung in Verbindung steht (Abb. 13). Im übrigen nehmen die N-Gehalte i. d. TS nach nahezu jeder N-Düngung deutlich zu. Der Vorgang tritt bei allen drei N-Varianten gleichermaßen auf.

Im Mittel aller vier N-Düngerformen und beider Beobachtungsjahre betragen die N-Gehalte i. d. TS des Schnittgutes bei N1 4% (= 100%), bei N2 4.5% (= 112.5%), bei N3 5.5% (= 137.5%).

Auf weitere Darstellungen, spezifiziert nach N-Varianten und N-Düngerformen, wurde aufgrund der unerwartet geringen Unterschiede verzichtet.



4.1.3 N-Entzug mit der oberirdischen Pflanzensubstanz

Mit Abb. 14 sind die absoluten Jahresmittelwerte der N-Entzüge zusammengefaßt dargestellt (s. auch Varianztabelle A 9).

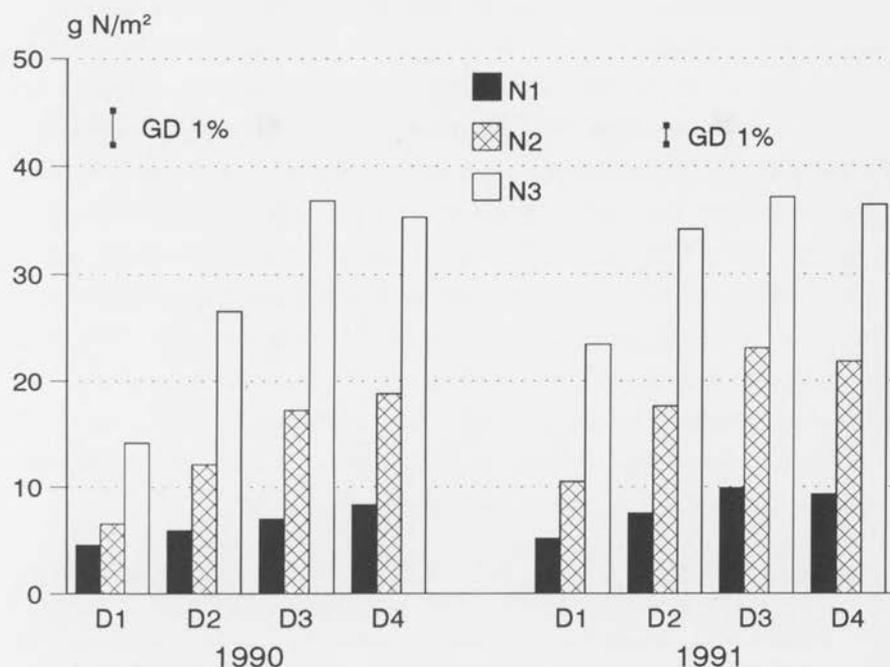


Abbildung 14: N-Entzüge (g N/m²/Jahr) mit dem Schnittgut: Wirkung von N-Düngerform und Höhe der N-Zufuhr, 1.- und 2. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

In beiden Beobachtungsjahren ergeben sich demnach die niedrigsten N-Entzüge in allen N-Varianten bei D1 (Ureaform), die höchsten bei D3 (natürl.-org. N-Dünger) und D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger). Zwischen D3 und D4 bestehen zwar ebenfalls Unterschiede, die jedoch sehr gering und nicht signifikant sind. Als in beiden Beobachtungsjahren übereinstimmende Tendenz läßt sich lediglich werten, daß der N-Entzug bei D4 in der Variante N3 gegenüber D3 leicht erniedrigt ist.

Unbeschadet davon nimmt der N-Entzug im 2. Beobachtungsjahr bei D1 und D2 vor allem in den Varianten N2 und N3 gegenüber dem ersten nachhaltig zu. Eine deutliche Erhöhung ergibt sich sodann in der Variante N2 auch für D3 und D4. Demgegenüber

bleibt der N-Entzug bei letzteren in N3 in beiden Beobachtungsjahren annähernd gleich. Der auf die N-Zufuhr bezogene jeweilige Grad der N-Entzüge beträgt im Mittel beider Beobachtungsjahre bei N1 = 36.1%, bei N2 = 40% und bei N3 = 38.2%.

Mit Tab. 6 sind hierzu die scheinbaren, auf die N-Zufuhr bezogenen N-Entzüge der einzelnen N-Düngerformen und N-Varianten spezifiziert zusammengestellt. Die Bezeichnung "scheinbar" drückt aus, daß es sich bei den ermittelten Relativzahlen um theoretische Entzugswerte handelt, die lediglich den N-Entzug über das Schnittgut in Relation zur N-Zufuhr verdeutlichen sollen, aber nicht der tatsächlichen Verwertung des zugeführten Stickstoffs entsprechen. Die Relativzahlen spiegeln das bereits für die absoluten Werte mit Abb. 14 gezeichnete Bild wider. Immerhin lassen sie aber auch den relativen Anstieg des N-Entzuges im 2. Düngungsjahr allgemein erkennen, wobei sich allerdings speziell erweist, daß letzterer bei D1 (Ureaform) auch im 2. Beobachtungsjahr größenordnungsmäßig kaum 30% der N-Zufuhr erreicht. Demgegenüber steigt er in der Variante N2 bei D3 (natürl.-org. N-Dünger) und D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger) auf über 50% an.

Darüber hinaus läßt sich aus Tab. 6 herleiten, daß - mit Ausnahme bei D1 - der auf die N-Zufuhr bezogene N-Entzug bei N2 auch relativ größer ist als bei N1. In N3 vermindert er sich gegenüber N2 - wiederum mit Ausnahme von D1 - wieder.

Tabelle 6: Scheinbarer N-Entzug (% der N-Zufuhr) über das Schnittgut in Abhängigkeit von der N-Prüfvariante und Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

N-Prüfvariante		1. Versuchsjahr	2. Versuchsjahr
D1	N1	23.0	26.0
	N2	16.5	26.3
	N3	17.8	29.3
x		19.1	27.2
D2	N1	29.5	37.5
	N2	30.5	44.0
	N3	33.3	42.8
x		31.1	41.4
D3	N1	35.0	49.5
	N2	43.3	57.8
	N3	46.0	46.4
x		41.4	51.2
D4	N1	41.5	46.5
	N2	47.0	54.5
	N3	44.1	45.5
x		44.2	48.8

4.1.3.1 Einfluß der N-Zufuhr und Jahreszeit

Die jeweils auf die Beobachtungsjahre insgesamt bezogenen signifikanten Unterschiede im N-Entzug zwischen den N-Varianten sowie N-Düngerformen lassen sich auch über einzelne Wochen-Zeitschritte innerhalb der Vegetationsperioden weiter verfolgen (s. dazu Varianztabelle A 10 und A 11).

Abbildung 15 gibt hierzu zunächst die wochenbezogenen N-Entzüge über das Schnittgut bei verschiedenem **N-Aufwand** (Mittel aller N-Düngerformen) wieder. Es versteht sich von selbst, daß diese zunächst entsprechend der Zu- und Abnahmen im Schnittgutaufkommen (s. Abb. 9) ebenfalls einem fortlaufenden Wechsel unterliegen.

Die Schwankungen im N-Entzug beziehen sich dabei indessen im wesentlichen auf N2 und besonders N3. Bei N1 verläuft er deutlich stetiger. Der generelle Gang der N-Entzüge stimmt dabei zumindest bei N1 und N2 in den beiden Beobachtungsjahren nicht überein. Im 1. Beobachtungsjahr wird der stärkste wöchentliche N-Entzug bereits um die April/Mai-Wende erreicht. Von da an fällt er in der Tendenz und abgesehen von den bereits beschriebenen Schwankungen besonders bei N2 zum Herbst hin ab. Die jeweiligen wöchentlichen Extreme liegen dabei bei N1 zwischen 0.1 (Min.) und 0.5 g N/m² (Max.), bei N2 zwischen 0.2 (Min.) und 0.8 g N/m² (Max.).

Im 2. Beobachtungsjahr fällt der N-Entzug bei N1 und N2 im 1. Abschnitt der Vegetationsperiode zwar ebenfalls mehr oder weniger deutlich ab, steigt aber sodann ab Juni zum Hochsommer (Juli) hin vorübergehend nachhaltig an. Im August geht er auf ein Niveau zurück, das ungefähr bis zum Ende der Vegetationszeit erhalten bleibt. Im einzelnen bewegen sich die wochenbezogenen N-Entzüge während der 2. Vegetationsperiode bei N1 zwischen 0.1 (Min.) und 0.6 g N/m² (Max.), bei N2 zwischen 0.3 (Min.) und 1.5 g N/m² (Max.). Die N-Entzüge sind in der 2. Vegetationsperiode somit gegenüber der ersten angestiegen.

In der Variante N3 wird das Maximum der wöchentlichen N-Entzüge in beiden Beobachtungsjahren übereinstimmend im Juli/August erreicht. Mit 1.8 g N/m² im 1. Beobachtungsjahr ist der maximale wöchentliche N-Entzug mehr als doppelt so hoch als bei N2, mit 2.2 g N/m² im 2. Beobachtungsjahr übersteigt er letzteren allerdings nur noch um etwa die Hälfte.

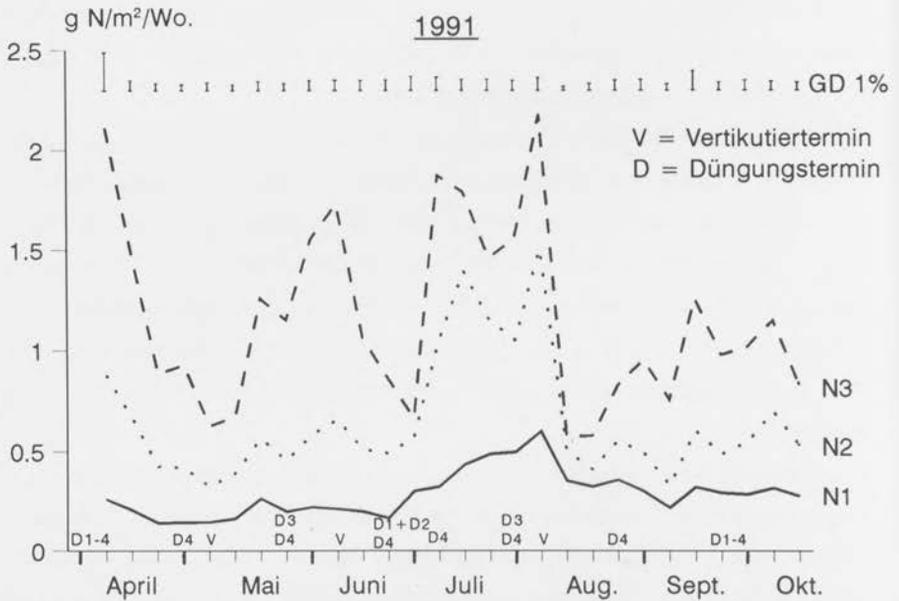
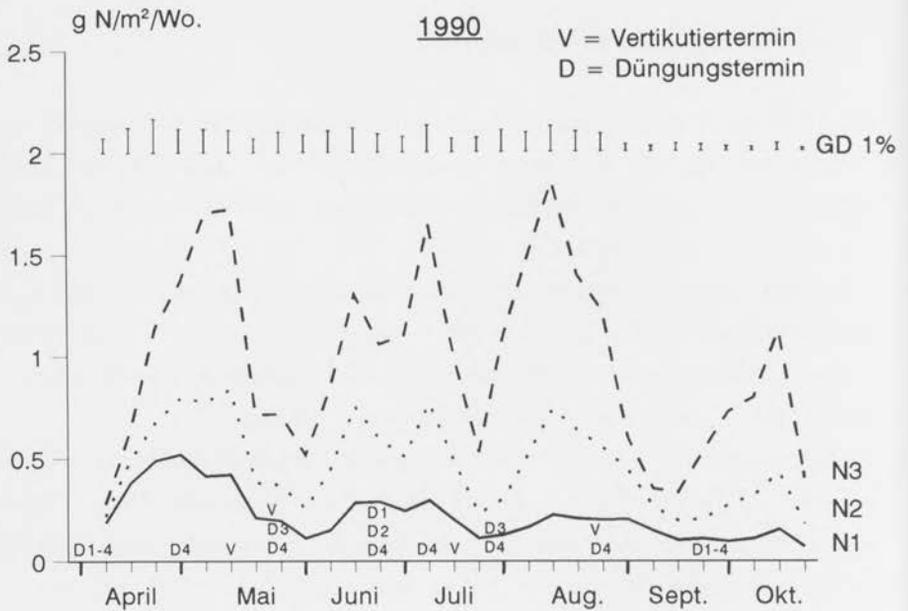


Abbildung 15: N-Entzüge über das Schnittgut (g N/m²/Wo.) in Abhängigkeit von N-Düngermenge, Jahreszeit und Versuchsjahr (Mittel aus 4 N-Düngerformen u. 4 Wdh.)

Hervorzuheben ist für N3, daß die maximal gemessenen N-Entzüge in beiden Beobachtungsjahren in der gleichen Größenordnung liegen. Die Spitzen-Entzüge stehen dabei jeweils mit der unmittelbaren N-Zufuhr in Verbindung. Dies gilt zwar auch für die beiden niedrigeren N-Mengen, indessen treten weder bei N2 und schon gar nicht bei N1 nach vorausgegangener N-Zufuhr ähnlich hohe Ausschläge im N-Entzug wie bei N3 auf.

Im übrigen ist auch die Wirkung des Vertikutierens durch in der Regel scharfe Rückgänge des N-Entzuges über das Schnittgut zu erkennen.

Mit den Abbildungen 16, 17 und 18 sind die N-Entzüge für die einzelnen N-Varianten nochmals nach **N-Düngerform** spezifiziert (s. auch Varianztabelle A 12 bis A 14). Demnach sind sie über die Vegetationszeit hinweg in allen N-Aufwandstufen überwiegend beim N-Düngertyp D4 am höchsten, gefolgt von D3 und bei D1 am niedrigsten. Des weiteren erweist sich, daß die schon für die drei N-Varianten beschriebenen Sprünge im N-Entzug während der Vegetationsperiode bei den vier N-Düngertypen verschieden stark ausgeprägt sind. Bei Ureaform (D1) sind sie in den Varianten N1 (Abb. 16) und N2 (Abb. 17) vergleichsweise weniger scharf, beim natürl.-org. N-Dünger D3 und vor allem beim leichtlösl.-min. N-Dünger D4 am stärksten ausgebildet.

Ähnliches gilt auch bei der höchsten N-Zufuhr (N3, Abb. 18). Allerdings steigt hier auch bei Ureaform der N-Entzug im Sommer (Juni/Juli) des 2. Beobachtungsjahres in ähnliche Bereiche wie bei allen anderen geprüften N-Düngerformen.

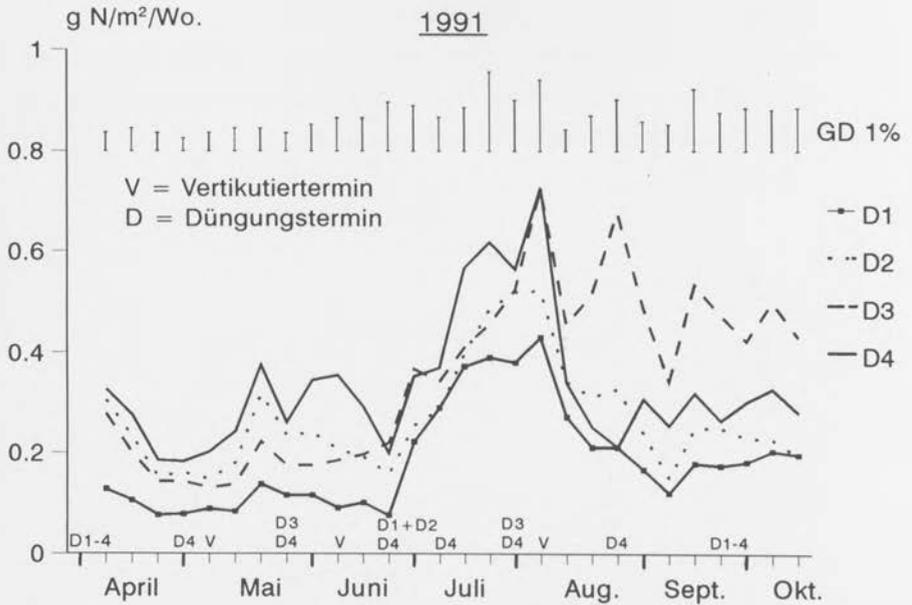
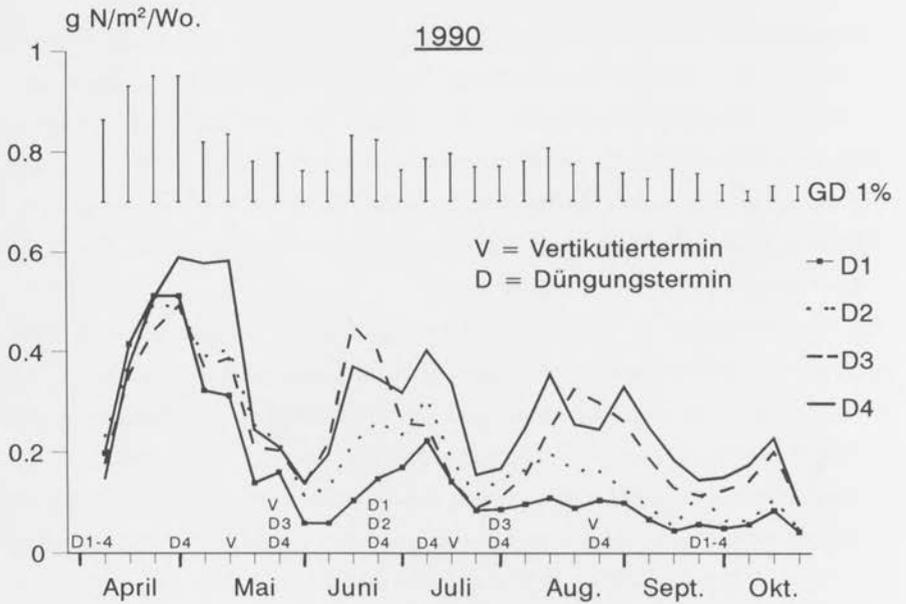


Abbildung 16: N-Entzüge über das Schnittgut (g N/m²/Wo.) der Varianten N1 in Abhängigkeit von N-Düngerform, Jahreszeit und Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

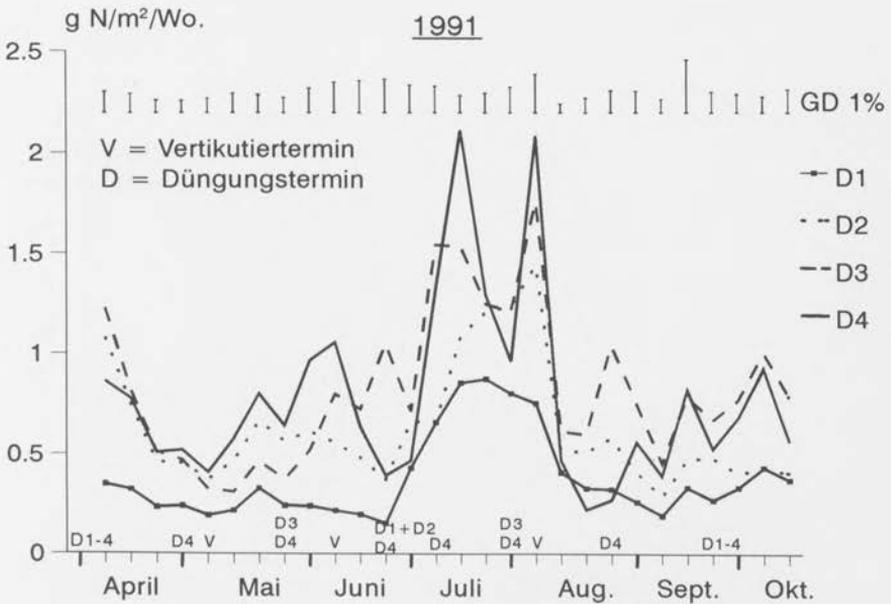
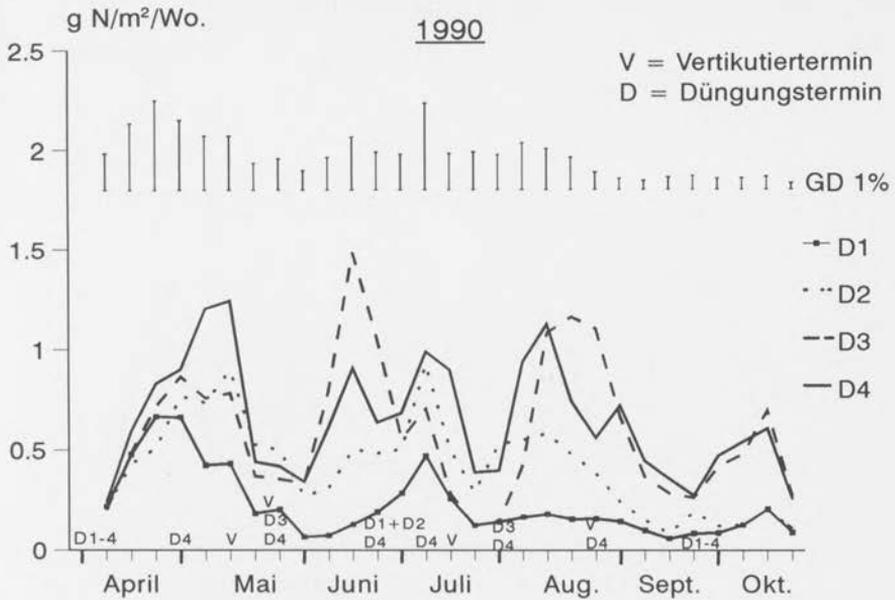


Abbildung 17: N-Entzüge über das Schnittgut (g N/m²/Wo.) der Varianten N2 in Abhängigkeit von N-Düngerform, Jahreszeit und Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

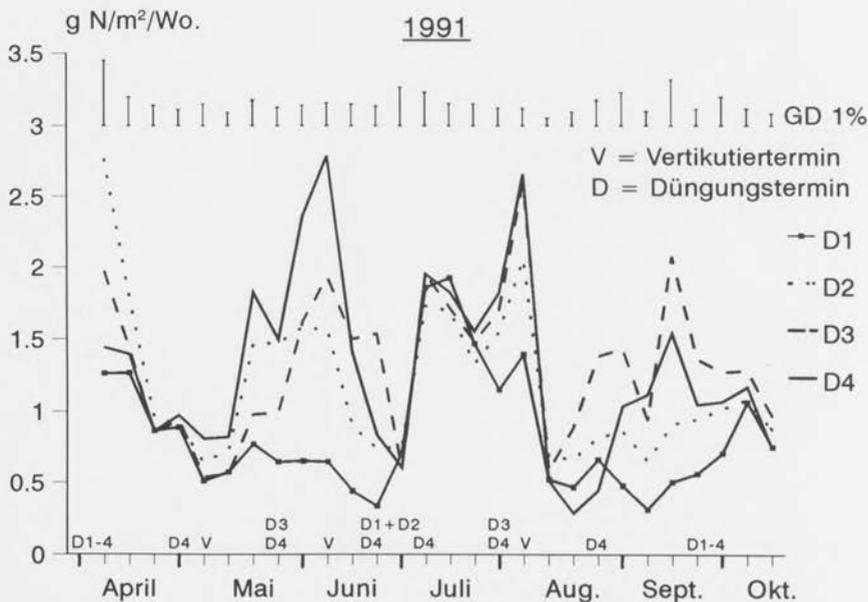
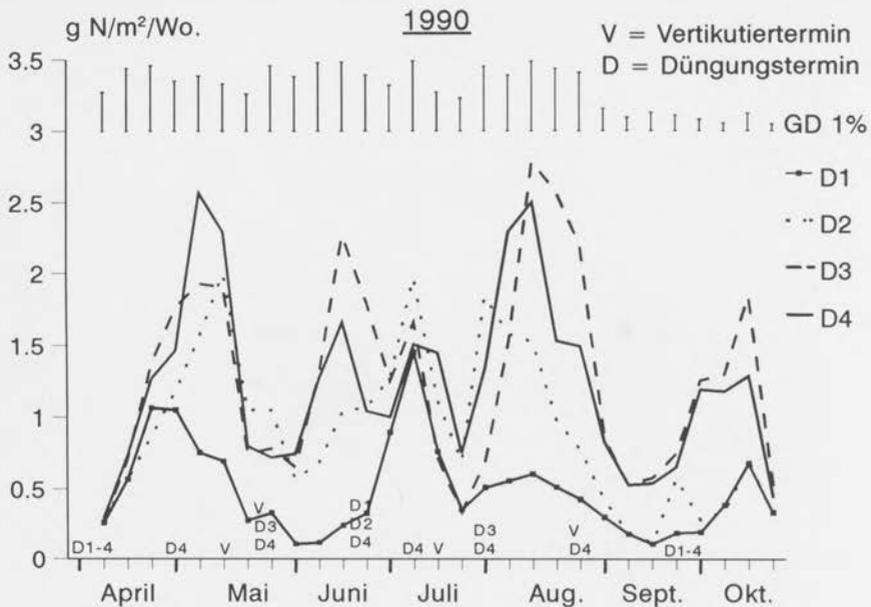


Abbildung 18: N-Entzüge über das Schnittgut (g N/m²/Wo.) der Varianten N3 in Abhängigkeit von N-Düngerform, Jahreszeit und Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

4.1.4 Vertikutiergut

Die Ermittlung des N-Entzuges über das Vertikutiergut war mit erheblichen Schwierigkeiten technischer Art verbunden. Mit Blick auf die Größe der Versuchspartellen einerseits und dem technischen Ablauf des Vertikutierens andererseits, war die herausgeschnittene Pflanzenmasse nur mit außerordentlichem Aufwand exakt erfassbar. Aus diesem Grunde mußte auf eine Massenermittlung beim Vertikutiergut je Vertikutiertermin verzichtet werden. Stattdessen wurde nur einmal je Jahr (beim 1. Vertikutiertermin) eine genaue TM-Bestimmung und anschließende N-Analyse vorgenommen (Tab. 7). Die dabei ermittelten Daten sind sodann auch auf die übrigen Vertikutiervorgänge übertragen worden. Tab. 7 faßt die auf dieser Basis berechneten N-Entzüge über das Vertikutiergut zusammen. Die N-Entzugsdaten in Tab. 7 stellen demnach keine ausschließlich gemessenen Werte dar, sondern sind als Schätzwerte zu verstehen, mit denen eine Vorstellung vom Umfang des mit dem Vertikutiergut entzogenen Stickstoffs vermittelt werden soll.

Tabelle 7: Vertikutiergutmengen (g TM/m²), N-Gehalt (% i. d. TS) des Vertikutiergutes sowie N-Entzug (g N/m²/Jahr) mit dem Vertikutiergut (Mittel aus beiden Versuchsjahren)

N-Prüfvariante	Einzelwerte je Vertikutiergang (x 1. und 2. Vj)			1. Vj	2. Vj
	Vertikutiergut g TM/m ²	N-Gehalt %	N-Entzug g/m ²	N-Entzug g/m ² /Jahr	
N1	50.3	2.7	1.4	5.6	4.2
D1 N2	60.3	3.0	1.8	7.2	5.4
N3	98.3	3.5	3.4	13.6	10.2
N1	54.3	2.5	1.4	5.6	4.2
D2 N2	78.9	2.7	2.1	8.4	6.3
N3	113.6	3.3	3.8	15.2	11.4
N1	56.3	2.7	1.5	6.0	4.5
D3 N2	91.6	3.1	2.8	11.2	8.4
N3	129.0	3.6	4.6	18.4	13.8
N1	57.6	2.4	1.4	5.6	4.2
D4 N2	70.0	2.5	1.8	7.2	5.4
N3	102.3	3.1	3.2	12.8	9.6

Analog der über das Schnittgut erfaßten Biomassezuwächse nimmt auch die Vertikutiergut-TM mengenmäßig von N1 nach N3 deutlich zu (Tab. 7). Die Zunahme ist von N2 nach N3 deutlich größer als von N1 nach N2. Mengenmäßig wurden bei N1 zwischen 50.3 bis 57.6 g TM/m²/Jahr Vertikutiergut ermittelt, bei N3 zwischen 98.3 und 129 g TM m²/Jahr. Das meiste Vertikutiergut fällt bei N2 und N3 des N-Düngertyps D3 (natürl.-org. N-Dünger) an, das niedrigste Aufkommen entfällt in allen N-Varianten wiederum auf Ureaform (D1).

Mit dem Vertikutieren werden vorwiegend ältere bzw. abgestorbene Pflanzenteile aus dem Rasen herausgeschnitten. Dadurch sind die N-Gehalte i. d. TS der Vertikutier-Biomasse entsprechend niedriger als im Grünschnittgut. Besonders deutlich wird das an Variante N3. Die N-Gehalte i. d. TS liegen hier bei allen N-Düngerformen 2% unter denen des Grün-Schnittgutes (s. Kap. 4.1.2, Abb. 13).

Entsprechend den Vertikutierhäufigkeiten ergeben sich für jede N-Prüfvariante die in Tab. 7 errechneten N-Entzüge. Die höchsten N-Entzüge über das Vertikutiergut treten demnach in beiden Jahren in allen drei N-Varianten bei D3 (natürl.-org. N-Dünger) auf. 1990 beträgt hier der N-Entzug in N1 und N2 mehr als 25%, bei N3 fast 25% der N-Zufuhr. Es folgen in der Reihenfolge der N-Entzüge D2, D1 und D4. Die N-Düngerformen D1 und D4 unterscheiden sich im N-Entzug nur unwesentlich.

4.1.5 Teilzusammenfassung zu Kap. 4.1

N-Düngerform, N-Aufwandmenge und die Interaktion beider Faktoren wirken signifikant, sowohl auf Jahres-Schnittgutmengen, als auch auf die N-Entzüge.

Die Jahres-Schnittgutmengen der untersuchten vier N-Düngerformen sind bei Variante N1 stets am geringsten, bei N3 am höchsten. Darüber hinaus treten innerhalb jeder N-Variante im Schnittgut anfall signifikante Unterschiede zwischen den N-Düngertypen auf. Gleiches gilt für die wöchentlichen Zuwachsraten, die von N-Düngerformen, N-Dünger Mengen sowie deren Wechselwirkung signifikant verschieden beeinflusst werden.

Die Zuwachsverläufe sind in den beiden Versuchsjahren verschieden. Im 1. Beobachtungsjahr liegt das Zuwachsmaximum im Frühsommer, im 2. dagegen im Hoch- bzw. Spätsommer. Der Zuwachsverlauf wird durch Bewirtschaftungsmaßnahmen wie N-Dün-

gung und Vertikutieren zusätzlich massiv beeinflusst.

Die N-Gehalte i. d. TS im Schnittgut bewegen sich je nach N-Düngerform und N-Aufwandmenge zwischen 3.5 und 7.3%.

Die N-Entzüge über den Aufwuchs sind in beiden Beobachtungsjahren und unabhängig von der Höhe der N-Zufuhr bei D1 (Ureaform) am geringsten, bei D3 (natürl.-org. N-Dünger) und D4 (leichtlösl.-min.) am höchsten. Das Maximum des N-Entzuges ergab sich im zweiten Versuchsjahr bei D3 in Variante N2. Bezogen auf die N-Zufuhr betrug hier der N-Entzug 57.8%. Analog den wöchentlichen Zuwachsverläufen ergibt sich für die entsprechenden N-Entzüge über das Schnittgut ein ähnliches Bild. Die N-Entzüge je Woche werden wiederum von N-Düngerform, N-Aufwandmenge und deren Wechselwirkung signifikant verschieden beeinflusst.

Die N-Entzüge über das Vertikutiergut nehmen absolut von N1 nach N3 zu. Sie stehen in Beziehung zum N-Düngertyp. Die höchsten N-Entzüge ergeben sich bei D3 (natürl.-org. N-Dünger), die niedrigsten bei D1 (Ureaform) und D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger).

4.2 Sickerwasser

4.2.1 Sickerwassermengen

Trotz homogener, entsprechend der gültigen Richtlinie "Bau von Golfplätzen" (FLL, 1990) aufgebauter Rasentragschicht (s. Kap. 3.3.1) und einheitlicher Wasserzufuhr (s. Kap. 3.2) variierte die Sickerwasserspende innerhalb der Prüfvarianten z. T. erheblich. Weder zur N-Düngerform (D), noch zur N-Menge (N), noch zur Wechselwirkung D x N bestehen signifikante Beziehungen (s. Tab. A 15).

Die Sickerwassermengen beider Versuchsjahre sind mit Abb. 19 dargestellt.

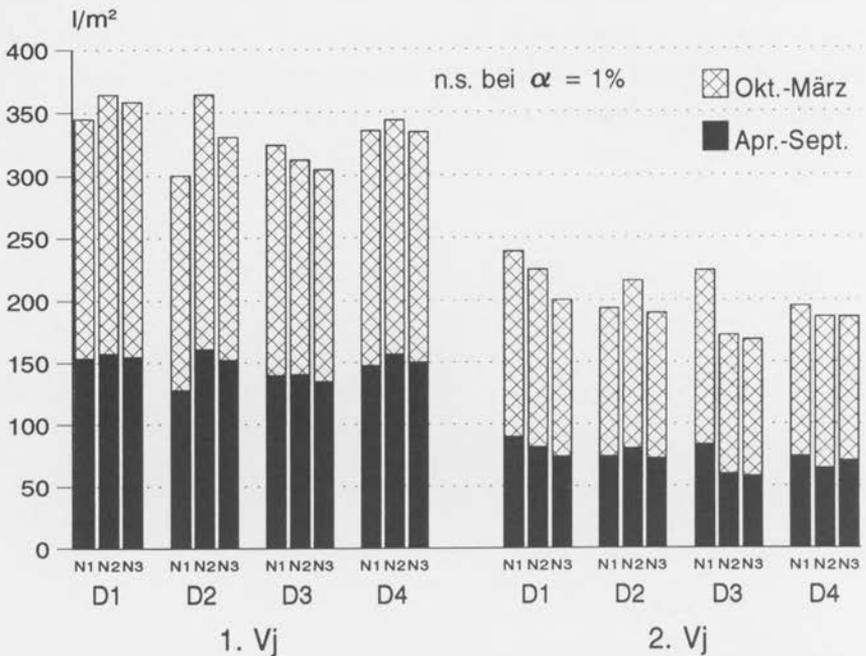


Abbildung 19: Sickerwassermengen (l/m^2) der N-Prüfvarianten getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr, 1.- und 2. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

Im 1. Versuchsjahr (Apr. 1990 bis März 1991) sind demnach je nach N-Variante Gesamtsickerwassermengen zwischen 300 (D2/N1) und 370 l/m^2 (D2/N2) angefallen, im Mittel aller N-Varianten und N-Düngerformen 334.5 l/m^2 . Letzteres entspricht bei einer Jahres-

gesamtwasserzufuhr von 882 l/m^2 (Niederschlag + Beregnung, 1. Vj) einer Sickerungsrate von annähernd 38%. Dabei entfiel mit $\bar{x} = 186.5 \text{ l/m}^2 = 55.8\%$ die Hauptmenge der Sickerung auf die Herbst-/Winterperiode Okt. 1990 bis März 1991. Während der Vegetationszeit Apr. 1990 bis Sept. 1990 sind bei allen N-Prüfvarianten nahezu gleich hohe Sickerwassermengen (ca. 150 l/m^2) angefallen. Lediglich bei der N-Düngerform D2 (Isodur) in Variante N1 liegen sie geringfügig darunter.

Entsprechend den geringen Niederschlägen 1991 (s. Kap. 3.2) und infolgedessen höherer Verdunstung sind die Sickerungen im 2. Beobachtungsjahr (Apr. 1991 bis März 1992) insbesondere in der Vegetationszeit deutlich geringer als im ersten. Die Jahressickerwassermengen bewegen sich - je nach N-Prüfvariante - zwischen 168 und 238 l/m^2 ; im Jahresmittel beträgt sie 199.3 l/m^2 . Auf die Vegetationszeit entfallen davon 73 l/m^2 . Damit liegen die Sickerungsmengen des 2. Versuchsjahres gegenüber der Jahreszufuhr von 794 l/m^2 (Niederschlag + Beregnung, 2. Vj) bei 25%.

Wie schon angeführt besteht zwischen Sickerwasserspende und N-Prüfvarianten keine Beziehung. Es muß dahingestellt bleiben, inwieweit die o. g. Unstetigkeiten im Sickerwasseranfall innerhalb einzelner Varianten den Einfluß der Behandlung auf den Wasserverbrauch überdecken. Unbeschadet davon läßt sich aber dennoch in der Sickerung eine einheitliche Tendenz in beiden Versuchsjahren erkennen, die eine Beziehung zur N-Zufuhr wenigstens andeutet. Dies wird besonders im 2. Versuchsjahr sichtbar, in dem die Gesamtsickerungsmengen bei Variante N3 stets geringer sind als bei N1 und N2.

4.2.2 NO₃-Konzentrationen

4.2.2.1 Einfluß der N-Zufuhr und Jahreszeit

Mit Abb. 20 sind die gemäß den Varianztabelle A 16 und A 17 signifikanten Beziehungen zwischen **N-Zufuhr** und NO₃-Konzentration im Sickerwasser während der Beobachtungszeit erfaßt. Die NO₃-Konzentration ergibt sich hierbei als Mittel aller vier N-Düngerformen. Zu verweisen ist, daß die Meßtermine dem Sickerwasseranfall folgen, also nicht unbedingt wöchentlich vorgenommen wurden.

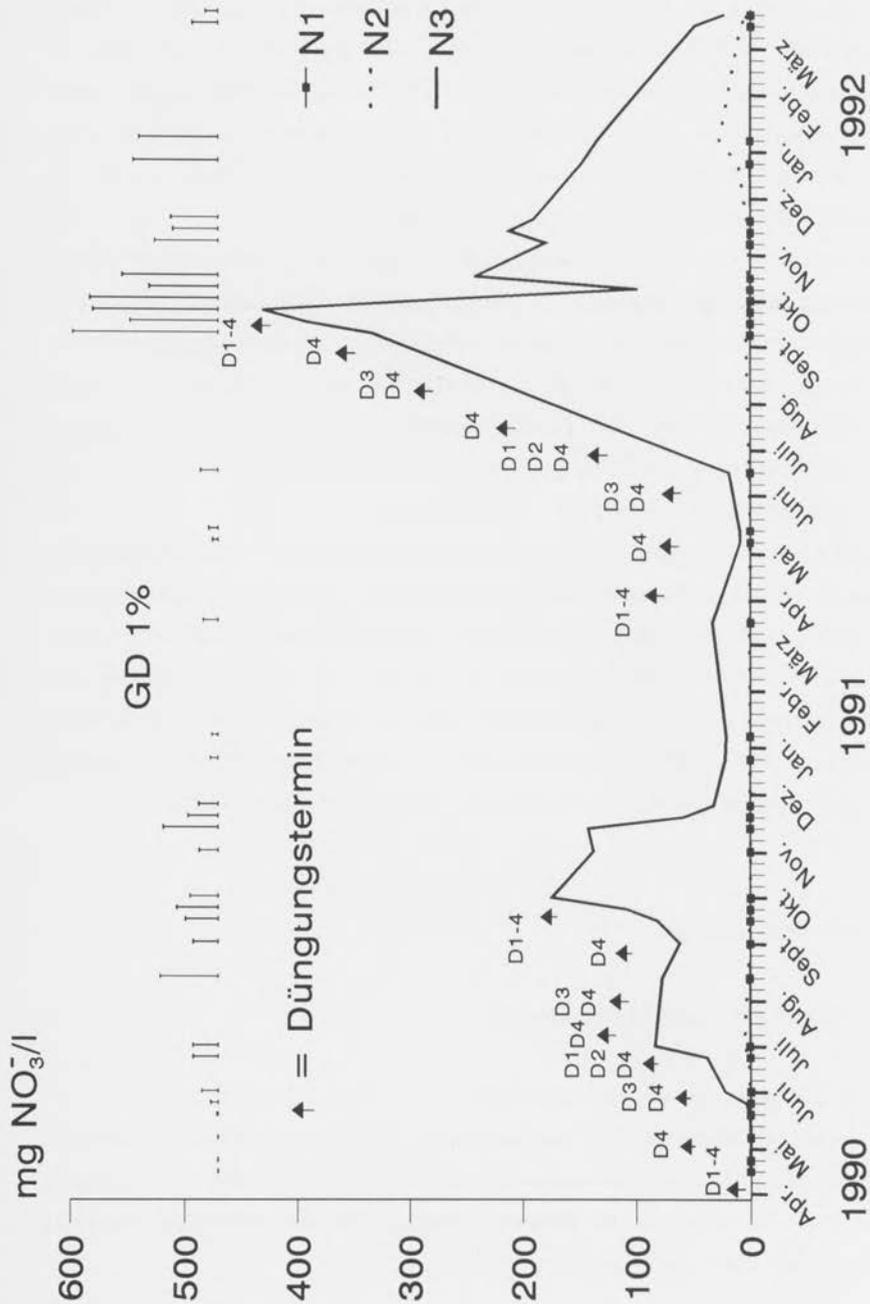


Abbildung 20: NO_3^- Konzentrationen (mg/l) im Sickerwasser in Abhängigkeit von N-Zufuhr, Jahreszeit und Düngungstermin (Mittel aus 4 N-Düngerformen u. 4 Wdh.)

Wie Abb. 20 ausweist, bestehen für die NO_3^- -Konzentrationen zwischen N1 und N2 keine signifikanten Unterschiede, wohl aber zwischen N1/N2 einerseits und N3 andererseits. Sowohl bei N1 als auch N2 liegen die NO_3^- -Konzentrationen im Sickerwasser nahezu ausschließlich unter 5 mg/l. Lediglich ab Mitte Januar 1992 erhöhen sie sich in N2 vorübergehend bis auf 27 mg/l.

Demgegenüber wechseln die NO_3^- -Konzentrationen bei N3 sehr stark und erreichen zudem erhebliche Höhe (Abb. 20). Der Wechsel der NO_3^- -Konzentrationen steht dabei in deutlicher Beziehung zur Jahreszeit. Sowohl im 1. als auch im 2. Beobachtungsjahr steigen sie jeweils ab Juni nachhaltig an, ab Ende November sinken sie ebenso deutlich wieder ab. Auf dem Höhepunkt der NO_3^- -Konzentration im Sickerwasser - jeweils im Oktober - werden im 1. Beobachtungsjahr 173 mg/l erreicht, im (sickerwasserärmeren) 2. Beobachtungsjahr bis zu 430 mg/l. Zwischen Dezember 1990 und Juni 1991 bewegt sich die NO_3^- -Konzentration unter 40 mg/l.

Der Einfluß der **N-Düngerform** auf die NO_3^- -Konzentrationen ist mit Abb. 21 für Variante N2 und Abb. 22 für N3 erfaßt. In Variante N1 liegen die NO_3^- -Konzentrationen nahe der Nachweisgrenze, so daß auf eine graphische Darstellung verzichtet wurde. Weiterhin ist ein Einfluß der N-Düngerform auf die NO_3^- -Konzentrationen im Sickerwasser weder für N1 noch N2 bei $\alpha = 1\%$ nachweisbar. Zumindest in der Tendenz erkennbare Reaktionen treten allerdings in der Variante N2 auf (s. Tab. A 18). Gegen Ende des 2. Beobachtungsjahres nehmen hier die NO_3^- -Konzentrationen ab Mitte Januar bei D2 (Isodur) auf 49 mg NO_3^- /l, bei D3 (natürl.-org. N-Dünger) auf 42 mg NO_3^- /l zu. Bis Ende März sinken sie wieder auf unter 10 mg NO_3^- /l ab. Die Erscheinung wurde im Vorjahr (1. Versuchsjahr) nicht beobachtet.

Im übrigen erhöhen sich die NO_3^- -Konzentrationen in der Variante N2 in beiden Beobachtungsjahren teilweise auch bei D1 (Ureaform) und D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger). So erreichen sie im Juli des 1. Beobachtungsjahres NO_3^- -Konzentrationen von 4.6 mg/l bei D1 und 15 mg/l bei D4.

Ein sehr deutlicher Einfluß der N-Düngerform auf die NO_3^- -Konzentrationen im Sickerwasser ergibt sich in der Variante N3 (Abb. 22). Die hier auftretenden Differenzen in der NO_3^- -Konzentration zwischen den N-Düngerformen sind bei den einzelnen Meßterminen zu großen Teilen signifikant (s. Tab. A 19).

mg NO_3^-/l

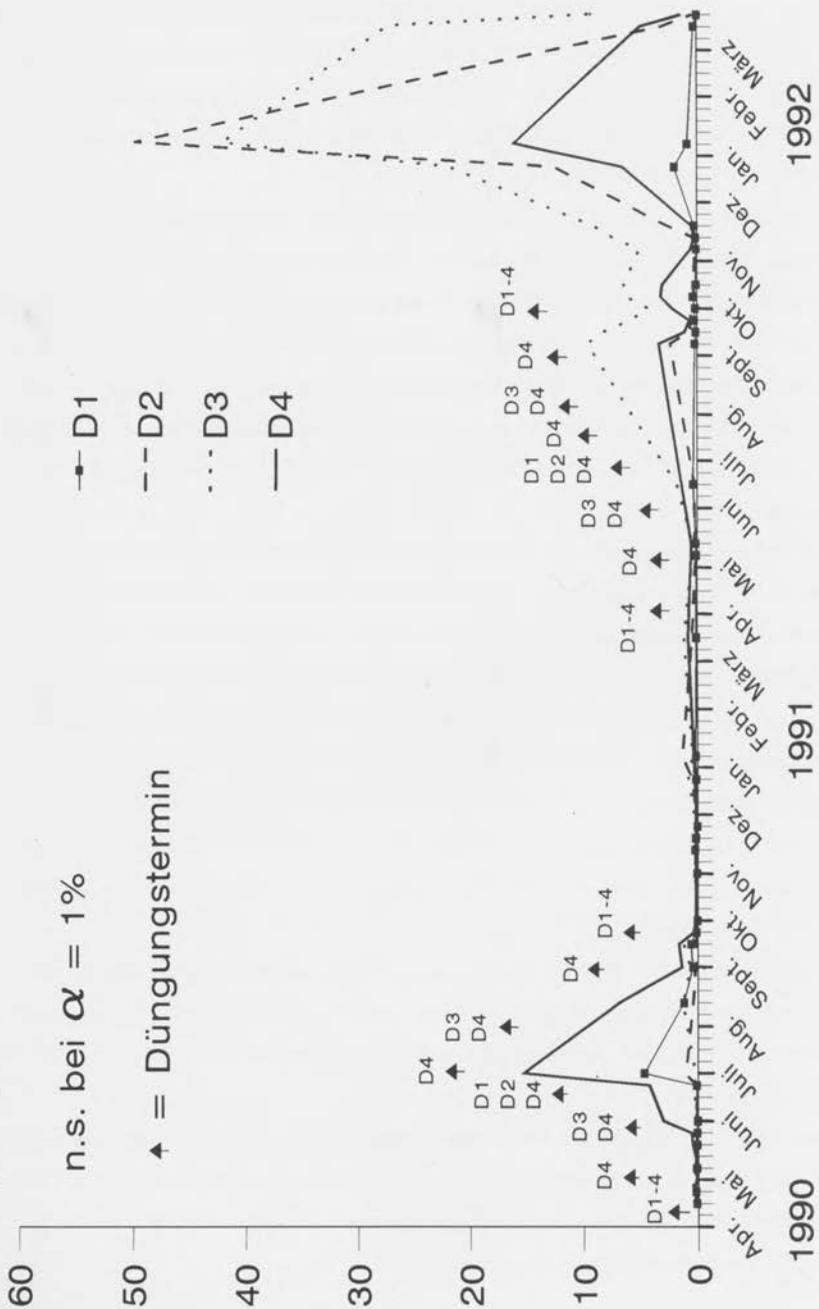


Abbildung 21: NO_3^- -Konzentrationen (mg/l) im Sickerwasser der Varianten N2 in Abhängigkeit von N-Düngerform, Jahreszeit und Düngungstermin (Mittel aus 4 Wdh.)

Wie aus Abb. 22 hervorgeht, steigen die NO_3^- -Konzentrationen im Sickerwasser in beiden Beobachtungsjahren beim leichtlös.-min. N-Dünger D4 sowie beim natürl.-org. N-Dünger D3 und - wenn auch nur sehr verhalten - bei Isodur (D2) jeweils übereinstimmend ab Juni an und erreicht gegen Ende der Vegetationsperiode ihren Höchststand. Bei D3 sind das 419 (1990) bzw. 565 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ (1991), bei D4 305 bzw. 862 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$, bei D2 105 bzw. 378 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$. Ebenfalls in beiden Jahren übereinstimmend gehen die NO_3^- -Konzentrationen im Sickerwasser nach Erreichen des höchsten Standes, der zumindest bei D3 und D4 in etwa dem Zeitpunkt folgt, zu dem die N-Düngung jeweils eingestellt wird (Oktober), sehr rasch und nachhaltig zurück. Allerdings nehmen sie bei D3 und D4 im Spätherbst des 2. Beobachtungsjahres erneut zu ($> 400 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$) und mindern sich sodann insbesondere bei D3 und D4 auch wesentlich verhaltener als im 1. Beobachtungsjahr.

Insgesamt sind die NO_3^- -Konzentrationen im Sickerwasser im 2. Beobachtungsjahr wesentlich höher als im ersten. Der Trend steigender NO_3^- -Konzentrationen setzt sich auch über das 2. Beobachtungsjahr hin fort. Jedenfalls deutet die Entwicklung jeweils zwischen Jahresende 1991 und Ende März des Folgejahres für D2, D3 und D4 darauf hin. So bewegen sich die NO_3^- -Konzentrationen ab Dezember 1990 bis April 1991 bei D3 zwischen 52 und 90 mg/l , bei D4 zwischen 6 und 16 mg/l , ab dem selben Zeitabschnitt 1991 dagegen zwischen 51 und 438 mg/l (D3) bzw. 9 und 247 mg/l (D4). Der synth.-org. N-Dünger Isodur (D2) blieb zwischen Jahresende 1990 und Juli 1991 immer unter 37 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$, 1992 überstieg die NO_3^- -Konzentration 50 mg/l dagegen deutlich (Mitte Januar bis zu 114 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$).

Bei der N-Düngung mit Ureaform (D1) blieb die NO_3^- -Konzentration im Sickerwasser während der gesamten Beobachtungszeit unter 50 mg/l , über lange Zeit (bis Juli '90, ab Aug. '90 bis Juni '91) sogar nahe Null. Die kurzzeitig gemessenen Höchtwerte lagen bei 42 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ im Juli 1990 sowie 39 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ im Januar 1992. Immerhin deutet sich zumindest in der Tendenz auch für D1 an, daß am Ende der N-Düngeperiode des 2. Beobachtungsjahres (Ende Vegetationsperiode 1991) die NO_3^- -Konzentrationen im Sickerwasser in der Variante N3 zunimmt, wenn auch vergleichsweise gering und absolut 50 mg/l noch nicht übersteigend.

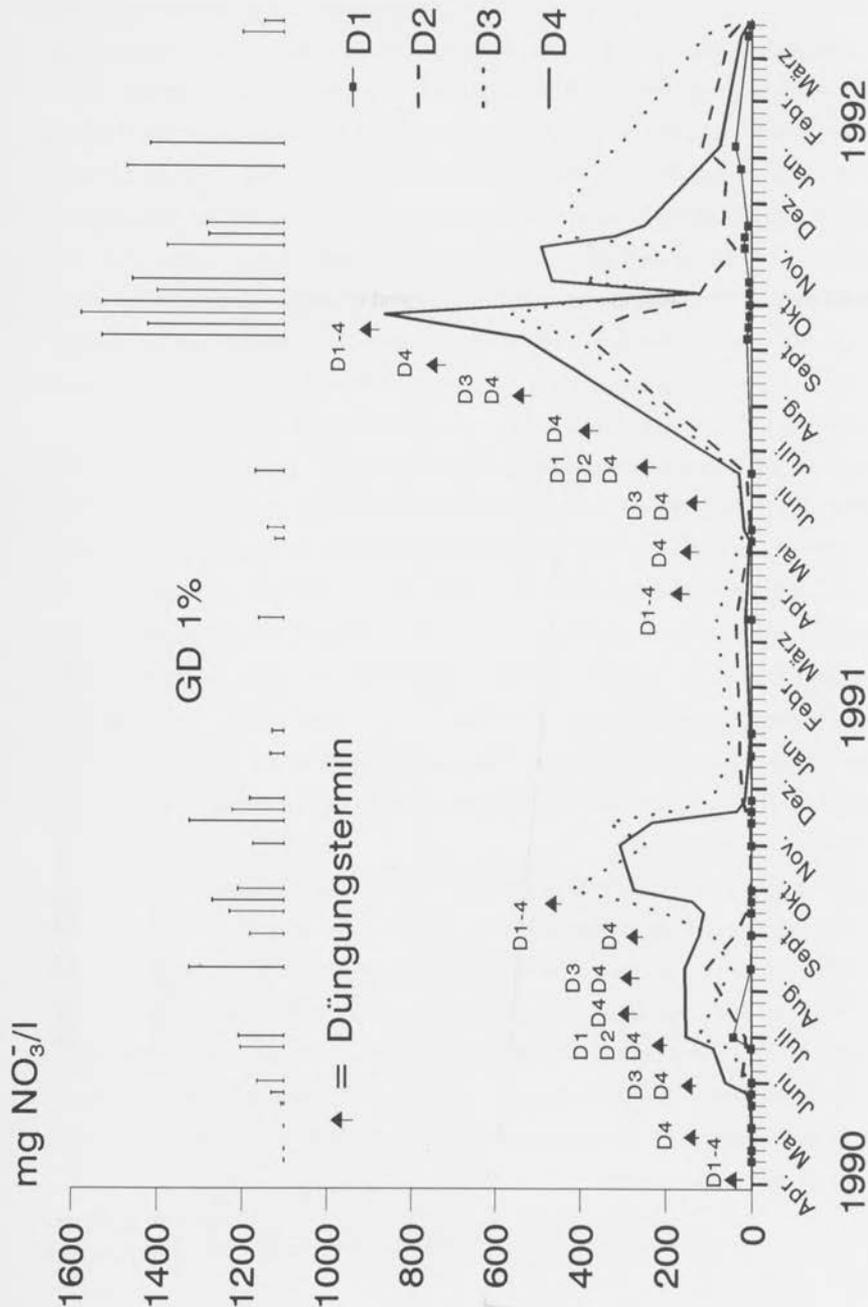


Abbildung 22: NO_3^- -Konzentrationen (mg/l) im Sickerwasser der Varianten N3 in Abhängigkeit von N-Düngerform, Jahreszeit und Düngungstermin (Mittel aus 4 Wdh.)

4.2.3 Gesamt-N-Austrag

Dem Ergebnis der Varianzanalyse (Tab. A 20) zufolge, nehmen die N-Düngerformen (D) sowie die N-Düngermengen (N), darüber hinaus die Interaktion D x N auf die N-Menge, die mit dem Sickerwasser ausgewaschen wird, signifikanten Einfluß. Von den Hauptwirkungen übt erwartungsgemäß die N-Düngermenge, insbesondere im 2. Beobachtungsjahr, durch den größeren Varianzanteil den stärksten Einfluß aus.

Die absoluten Mengen ausgewaschenen Stickstoffs sind differenziert nach Vegetationszeit (Apr. bis Sept.) und Vegetationsruhe (Okt. bis März) mit Abb. 23 dargestellt.

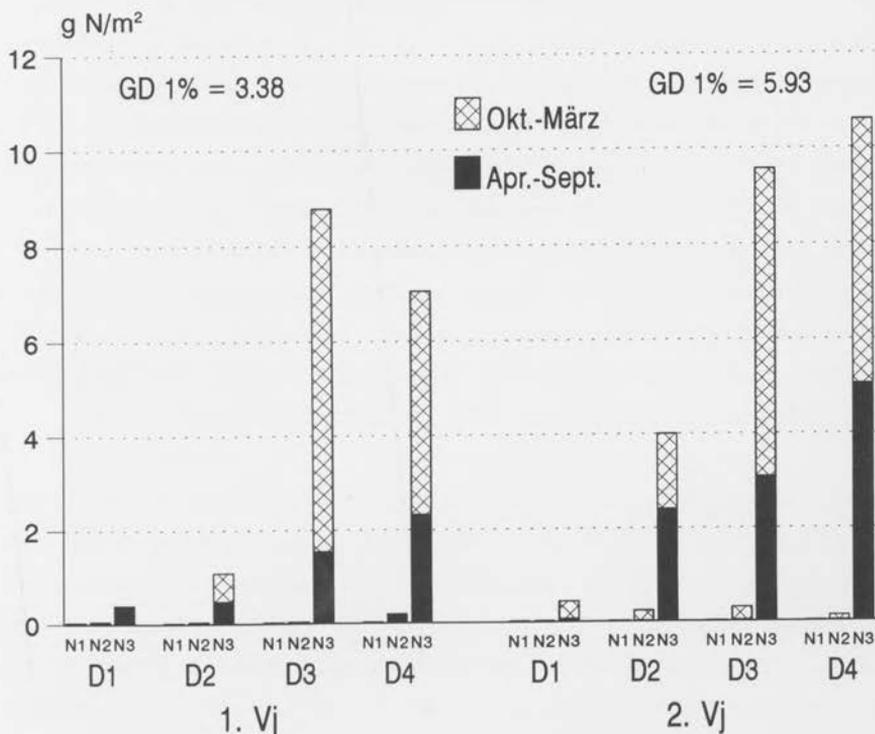


Abbildung 23: Gesamt-N-Austrag (g N/m²/Jahr): Wirkung der N-Düngerform und Höhe der N-Zufuhr, 1.- und 2. Versuchsjahr getrennt nach Jahresabschnitt (Mittel aus 4 Wdh.)

Demnach treten in den Varianten N1 und N2 zwischen den vier geprüften N-Düngerformen keine signifikanten Unterschiede auf. Die Auswaschung bewegt sich je nach N-Düngertyp zwischen 0.01 und 0.3 g N/m². Im 1. Beobachtungsjahr ist sie im übrigen ausschließlich auf die Vegetationsperiode begrenzt. Im zweiten wird Stickstoff bei D2, D3 und D4 dagegen vornehmlich während der Vegetationsruhe verfrachtet.

Die Verhältnisse ändern sich grundlegend in Variante N3. Die Auswaschung steigt bei D3 und D4 sprunghaft und vergrößert sich zudem vom 1. zum 2. Beobachtungsjahr (in dem sie auf über 9.5 bei D3 und 10.5 g N/m² bei D4 anwächst). Desgleichen steigt die N-Auswaschung aber auch bei Isodur (D2) von ca. 1 g im ersten auf 4 g N/m² im zweiten Beobachtungsjahr.

Absolut wird bei den N-Düngertypen D3 und D4 der meiste Stickstoff im Winterhalbjahr ausgewaschen. Indessen verschiebt sich das Verhältnis von Sommer- zu Winterauswaschung innerhalb beider N-Düngerformen insofern, als im 2. Beobachtungsjahr vor allem bei D4 die Sommerauswaschung deutlich zunimmt. In ähnlicher Weise, wenn auch auf niedrigerem Niveau, verschiebt sich das Verhältnis von Sommer- zu Winterauswaschung bei D2. Hier wird im 2. Beobachtungsjahr während der Vegetationsperiode absolut mehr N aus der Rasentragschicht ausgewaschen als während der Vegetationsruhe.

Wie Abb. 23 weiterhin ausweist, bleibt die N-Auswaschung bei Ureaform (D1) auch bei hoher N-Zufuhr (N3) niedrig, verändert sich zudem mengenmäßig vom 1. zum 2. Beobachtungsjahr kaum (jeweils 0.4 g N/m²). Relativ entspricht die N-Auswaschung bei D1 im 2. Beobachtungsjahr 0.5% der N-Zufuhr, bei D2 5%, D3 12% und D4 13%.

Obwohl nach gegenwärtigem Kenntnisstand nicht davon auszugehen ist, daß mit dem Sickerwasser auch NH₄⁺-N verfrachtet wird, ist die Gesamt-N-Fraktion dennoch nach NO₃⁻ und NH₄⁺-N differenziert untersucht worden. Wie dazu Abb. 24 ausweist, ist jedoch nur eine sehr geringe NH₄⁺-N-Verfrachtung gegeben. Sie wird absolut weder vom N-Aufwand noch der der N-Düngerform signifikant beeinflusst. Lediglich in Variante N3 von Ureaform (D1) wurde ein deutlich höherer NH₄⁺-N-Anteil im 1. Versuchsjahr ermittelt.

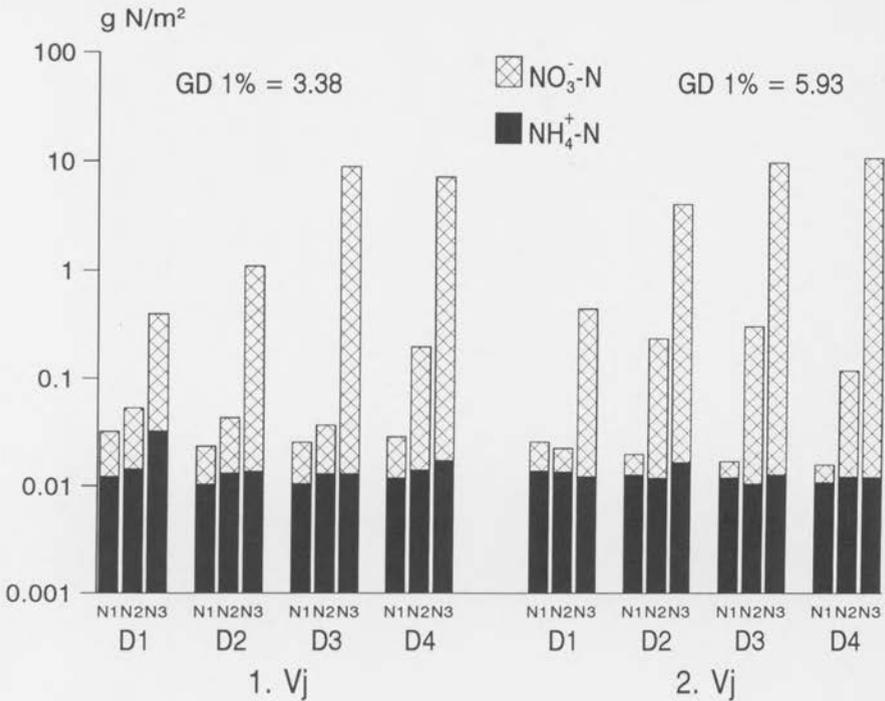


Abbildung 24: Gesamt-N-Austrag (g N/m²/Jahr): Wirkung der N-Düngerform und Höhe der N-Zufuhr, 1.- und 2. Versuchsjahr getrennt nach N-Fraktion (Mittel aus 4 Wdh.)

4.2.3.1 Einfluß der N-Zufuhr und Jahreszeit

Bereits ab dem 6. Meßtermin (Anfang Juni) des 1. Beobachtungsjahres unterscheiden sich die N-Düngerformen (D) in ihrer Wirkung auf die N-Auswaschung signifikant (Tab. A 21 und A 22). Gleiches gilt in der Mehrzahl der wöchentlichen Einzelbeobachtungen beider Versuchsjahre für den Einfluß der N-Aufwandmenge (N) sowie die Interaktion beider Hauptfaktoren. Mit Abb. 25 sind die Beziehungen zwischen N-Zufuhr und N-Austrag über das Sickerwasser während der Beobachtungszeit erfaßt. Die N-Austräge ergeben sich hierbei jeweils als Mittel aller vier N-Düngerformen.

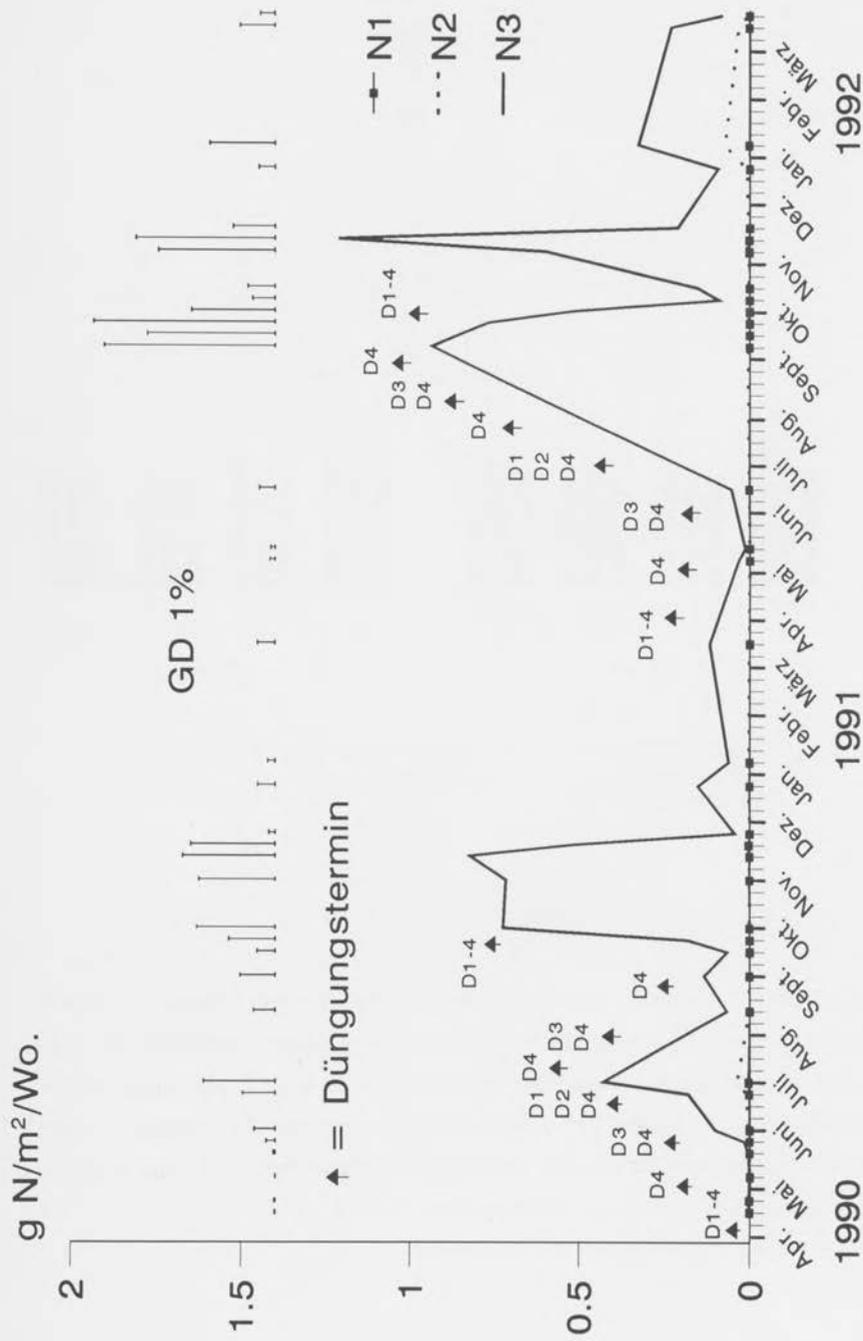


Abbildung 25: N-Austrag (g N/m²/Wo.) mit dem Sickerwasser in Abhängigkeit von N-Zufuhr, Jahreszeit und Düngungs-termin (Mittel aus 4 N-Düngerformen u. 4 Wdh.)

Entsprechend den Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (s. Kap. 4.2.2.1, Abb. 20) sind die N-Austräge bei N1 und N2 außerordentlich niedrig. Zwischen beiden N-Varianten bestehen keine signifikanten Unterschiede. Demgegenüber steigt der absolute wöchentliche N-Austrag bei N3 sehr stark an. Die wöchentlichen Höchstwerte werden jeweils Mitte November mit 0.8 (1990) bzw. bis 1.2 g N/m² (1991) erreicht.

Mit Abb. 26 sind die N-Austräge in der Variante N3 nach **N-Düngerform** spezifiziert dargestellt. Ausweislich Varianztabelle A 23 ergeben sich zwischen den vier N-Düngerformen signifikante Differenzen bei $\alpha = 1\%$ zwar nur in begrenztem Umfang. Dennoch wird die Beziehung der wöchentlichen N-Austräge zu den N-Düngerformen deutlich.

D3 und D4 weisen demnach jeweils ab Juni - also dem Höhepunkt der Vegetationsperiode - überwiegend die stärksten N-Austräge aus. Der Höhepunkt der N-Auswaschung wird jeweils gegen Ende September erreicht. Er fällt somit mit dem Ende der Düngeperiode zusammen. Im einzelnen traten bei D4 wochenbezogen N-Austräge von bis zu 1.8 g N/m² auf, bei der N-Düngerform D3 lag der gemessene Wochen-Höchstwert im November 1991 sogar bei 2.5 g N/m². Ab Ende November gehen die N-Austräge in beiden Beobachtungsjahren wieder drastisch zurück, wobei sie aber insgesamt beim natürl.-org. N-Dünger D3 in der Winterperiode des 2. Beobachtungsjahres deutlich höher bleiben als bei D4 (leicht-lösl.-min. N-Dünger)

Die niedrigste N-Auswaschung über die Vegetationsperiode hin ergibt sich bei D1 (Ureaform). Die N-Austräge tendieren überwiegend gegen Null, wengleich sich auch hier gegen Ende der Beobachtungszeit (ab Januar 1992) eine leichte Zunahme der N-Auswaschung andeutet. Ebenso tritt kurzfristig zu Beginn der Beobachtungszeit (Juli/August 1990) eine stärkere N-Auswaschung auf, sie bleibt jedoch unter 0.4 g N/m² pro Woche.

Vergleichsweise gering ist die N-Verfrachtung während der 1. Hälfte der Beobachtungszeit beim Langzeitdünger Isodur (D2), wengleich in der Regel auch höher als bei D1 und zeitweise sogar höher als bei D4 (Winterperiode 1990/91 sowie ab Januar 1992). Ab Juli 1991, also im 2. Beobachtungsjahr steigt die wöchentliche N-Auswaschung bei Isodur deutlich an. Im September 1991 erreicht sie vorübergehend 1.2 g N/m² in einer Woche.

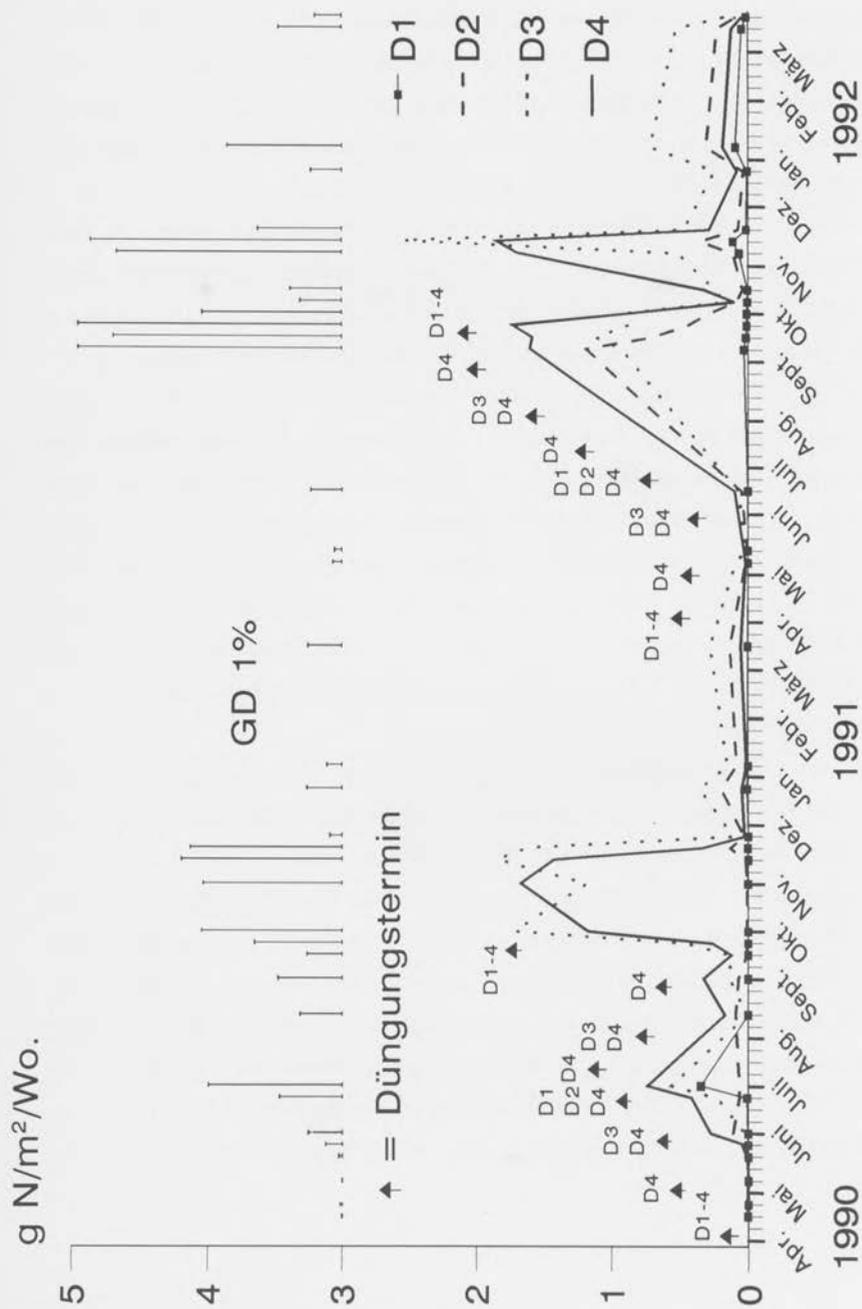


Abbildung 26: N-Austrag der Varianten N3 ($\text{g N/m}^2/\text{Wo.}$) in Abhängigkeit von N-Düngerform, Jahreszeit und Düngungs-termin (Mittel aus 4 Wdh.)

4.2.4 N-Eintrag mit dem Niederschlags- und Beregnungswasser

Mit Tab. 8 sind die N-Einträge über Niederschlags- und Beregnungswasser zusammengefaßt. Demnach variiert der über Niederschlagswasser eingetragene Stickstoff mengenmäßig sowohl nach Jahr als auch Vegetationsabschnitt ganz erheblich. Im ersten Beobachtungsjahr (Apr. 1990 bis März 1991), in dem insgesamt 0.759 g N/m^2 eingetragen wurden, entfällt die Hauptmenge (76%) des zusätzlich zugeführten Stickstoffs auf die Vegetationsperiode. Im 2. Beobachtungsjahr (Apr. 1991 bis März 1992) mit insgesamt 0.471 g N/m^2 (= 62% des im 1. Jahr zugeführten) entfallen 54% auf die Sommer-, 46% auf die Winterperiode.

Mit dem Beregnungswasser wurden 1990 ca. 39%, 1991 ca. 69% des über Niederschläge zugeführten Stickstoff's zusätzlich eingetragen. Die höheren Einträge des 2. Beobachtungsjahres sind auf die (witterungsbedingt) höhere Wasserzufuhr über Beregnung zurückzuführen (s. Kap. 3.2).

Tabelle 8: N-Eintrag (g NO_3^- bzw. $\text{NH}_4^+\text{-N/m}^2/\text{Jahr}$) mit dem Niederschlags- und Beregnungswasser, 1.- und 2. Versuchsjahr getrennt nach Jahresabschnitten (NO_3^- - und $\text{NH}_4^+\text{-N}$ -Konzentrationen siehe Kap. 3.5.1.2)

	Niederschlag		Beregnung	
	1. Jahr	2. Jahr	1. Jahr	2. Jahr
	04.'90 - 03.'91	04.'91 - 03.'92	04.'90 - 10.'90	04.'91 - 10.'91
Gesamt-N	0.759	0.471	0.295	0.326
NO ₃ ⁻ -N	0.421	0.253	0.285	0.315
NH ₄ ⁺ -N	0.338	0.218	0.010	0.011
Apr. - Sept.	0.579	0.254	0.282	0.313
NO ₃ ⁻ -N	0.324	0.126	0.273	0.302
NH ₄ ⁺ -N	0.255	0.128	0.009	0.011
Okt. - März	0.180	0.217	0.013	0.013
NO ₃ ⁻ -N	0.097	0.127	0.012	0.012
NH ₄ ⁺ -N	0.083	0.090	0.001	0.001

4.2.5 Teilzusammenfassung zu Kap. 4.2

Die Sickerwassermengen liegen im 1. Beobachtungsjahr zwischen 300 und 370 l/m², im 2. Jahr zwischen 168 und 238 l/m². Im Winter 1990/1991 (1. Beobachtungsjahr) sind höhere Sickerungen aufgetreten als im vergleichbaren Zeitraum 1991/1992.

Die NO₃-Konzentrationen im Sickerwasser sind im Mittel der Varianten N1 und N2 mit unter 5 mg NO₃/l vergleichsweise niedrig, bei N3 mit bis zu 430 mg NO₃/l (Ende September 1991) dagegen außerordentlich hoch.

Zwischen den Langzeitdüngern D1 und D2 sowie den übrigen N-Düngern (D3, D4) bestehen in der NO₃-Konzentration gesicherte Unterschiede. Für D4 wurden im Sickerwasser nach der N-Düngung in N3 bis zu 862 mg NO₃/l (September 1991) gemessen.

Die NO₃-Konzentrationen im Sickerwasser sind bei D3 und D4 jahreszeitlich verschieden ausgeprägt. Bei D3 ergeben sich höhere NO₃-Gehalte in der Winterperiode. Bei D4 fallen sie während der Vegetationsruhe 1990/1991 unter 10 mg NO₃/l.

Bei D1 (Ureaform) übersteigen die NO₃-Konzentrationen im Sickerwasser auch in der Variante N3 zu keinem Zeitpunkt (Probenahmetermin) 50 mg NO₃/l. Demgegenüber erhöhen sie sich bei Isodur (D2) insbesondere nach der Düngung nachhaltig.

Die N-Einträge mit dem Niederschlags- und Beregnungswasser während der Versuchsdauer liegen unter 1 g N/m²/Jahr. Im wesentlichen wird hierbei Stickstoff in Form von NO₃-N zugeführt.

Die durch die differenzierte N-Zufuhr bedingten Unterschiede im Gesamt-N-Austrag sind stets signifikant. Der höchste Gesamt-N-Austrag ergibt sich dabei in Variante N3 bei den N-Düngerformen D3 und D4. Im 2. Beobachtungsjahr werden bei D4 insgesamt 10.5 g N/m² ausgewaschen, was gegenüber der N-Zufuhr von 80 g N/m²/Jahr (N3) einer N-Auswaschung von 13% entspricht. Der stärkste N-Austrag fällt dabei vorwiegend in die Vegetationsruhe Oktober bis März. Der meiste Stickstoff wird erwartungsgemäß als NO₃-N ausgewaschen. Der NH₄⁺-N-Anteil im Sickerwasser bleibt dagegen stets unter 0.3 g N/m²/Jahr.

Analog den NO₃-Konzentrationen weisen die N-Austräge mit dem Sickerwasser während den Versuchsphasen sowohl für die beiden Hauptwirkungen "N-Düngerform" und "N-Zufuhr" als auch für deren Wechselwirkungen bei den wöchentlichen Probenahmeterminen signifikante Unterschiede auf. Die absolut höchsten wöchentlichen N-Austräge wurden im

Mittel der N3-Varianten Mitte November 1991 mit 1.2 g N/m^2 ermittelt. Die Auswaschung in N3 ist im 1. Versuchsjahr bei den N-Düngerformen D3 und D4 am stärksten. Im 2. Jahr werden bei D2 allerdings ähnliche Werte erreicht. Eine erhebliche Bedeutung kommt dabei dem N-Düngungstermin zu, da insbesondere nach der höchsten N-Gabe (N3) die N-Auswaschung bei den N-Düngerformen D3 und D4 deutlich anstieg.

Zwischen den Varianten N1 und N2 bestehen in der N-Auswaschung keine signifikanten Unterschiede, gegenüber N3 ist sie zudem vergleichsweise gering.

4.3 Bodenproben

4.3.1 Gesamt-N_{min}-Mengen

Ausweislich der Anhangstabellen A 24 und A 25 ergeben sich für die N_{min}-Mengen (NO₃-N + NH₄⁺-N) in den Varianten N1 und N2 sowohl innerhalb, als auch zwischen den vier N-Düngerformen keine sehr deutlichen Unterschiede. Daher wurde auf eine graphische Darstellung der N_{min}-Mengen für die genannten N-Varianten verzichtet. Erst in Variante N3 lassen sich für alle vier geprüften N-Düngerformen deutlichere Tendenzen ablesen. Die Verhältnisse bei N3 sind daher mit Abb. 27 graphisch erfaßt.

Demnach weisen in der Rasentragschicht (0 bis 25 cm) die Ureaform-Varianten zu jedem Probenahmetermin die geringsten N_{min}-Mengen auf. Der gemessene Höchstwert beträgt 2 g N_{min}/m² (Mitte Okt. 1991). Bei Isodur wurden demgegenüber während der gesamten Versuchsdauer, insbesondere aber nach den beiden Sommerdüngungen erheblich höhere N_{min}-Mengen ermittelt. Sie steigen bis Ende Juli 1991 auf 9 g N_{min}/m² an, fallen allerdings sodann bis September 1991 wieder kontinuierlich ab. Über die Wintermonate bleiben sie analog zu Ureaform niedrig.

Die höchsten N_{min}-Mengen der Variante N3 ergeben sich bei den N-Düngerformen D3 und D4. Besonders bei D4 führten Düngungsmaßnahmen unmittelbar auch zu erhöhten N_{min}-Mengen, die Mitte August 1991 bis auf 17.2 g N_{min}/m² ansteigen (zum Vergleich: 17.2 g N_{min}/m² entspricht theoretisch 172 kg N_{min}/ha, 0 bis 25 cm Bodentiefe). Sie fallen zwar sodann bis Ende September auf 1.1 g N_{min}/m² ab, erreichen jedoch nach der Herbstdüngung (24.09.1991) Mitte Oktober 1991 wieder 8.9 g N_{min}/m². Wie bei den beiden Langzeitdüngern (D1, D2) bleibt der N_{min}-Vorrat bei D3 und D4 während der Winterruhe indessen wiederum niedrig.

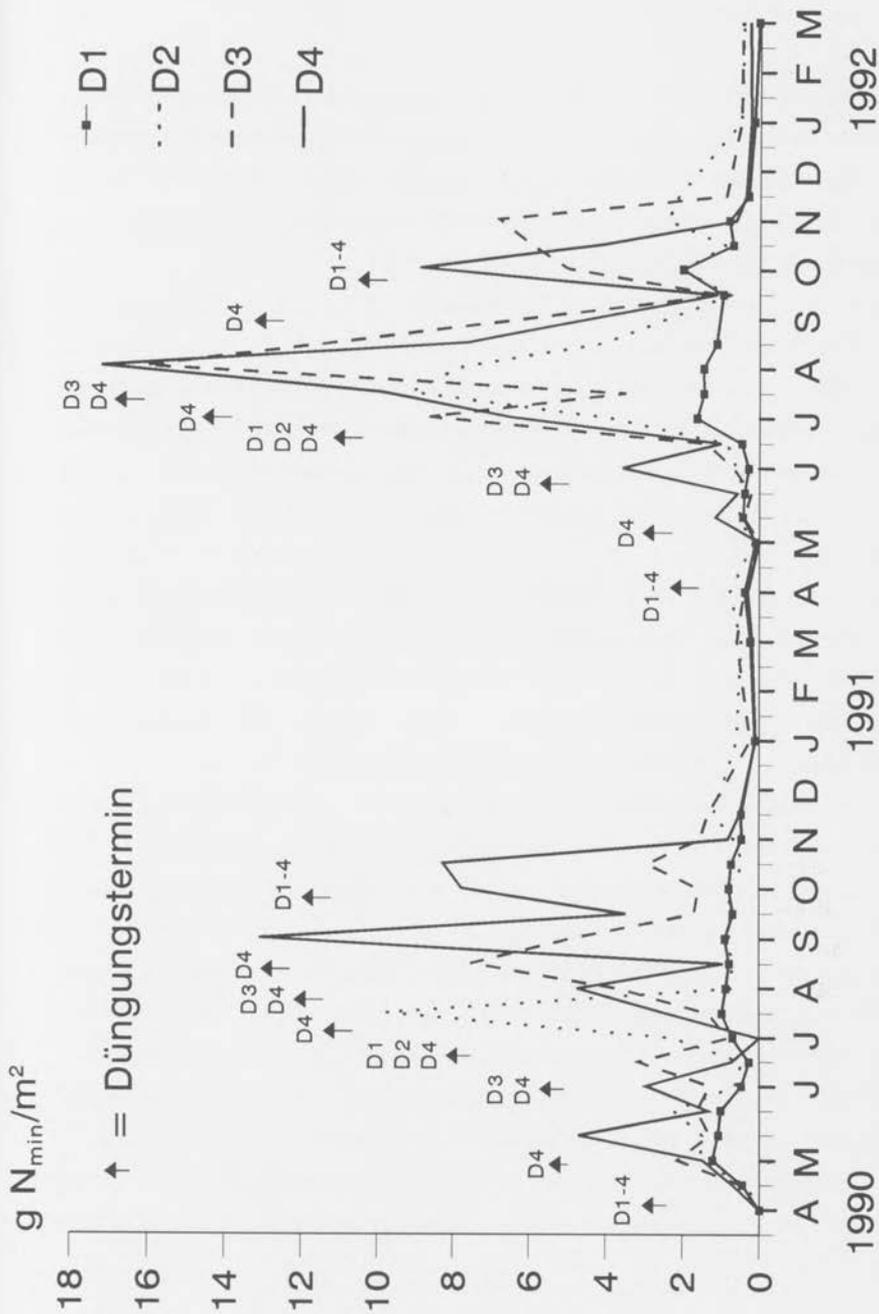


Abbildung 27: Gesamt-N_{min}-Mengen der Varianten N3 (g/m²) in Abhängigkeit von N-Düngerform, Jahreszeit und Düngungstermin (Mittel aus 4 Wdh.)

4.3.2 N_{\min} im Jahresverlauf

Mit den Abbildungen 28, 29, 30 und 31 sind die während der Versuchsdauer ermittelten NO_3 -N- und NH_4^+ -N-Mengen (g/m^2) der N3-Varianten spezifiziert nach der N-Düngerform dargestellt (auf die unterschiedliche Einteilung der Ordinaten wird hingewiesen!). Für jede N-Düngerform sind die Düngungstermine gesondert vermerkt. Die Einzelergebnisse sind den Anhangstabellen A 26 bis A 29 zu entnehmen.

Wie Abb. 28 erkennen läßt, wird der N_{\min} -Vorrat bei Ureaform (D1) überwiegend von dessen NH_4^+ -N-Anteil bestimmt. Insbesondere die N-Düngung zu Beginn der Versuchsphase (Anfang April 1990) sowie die jeweils Ende Juni (1990, 1991) durchgeführten N-Düngungen führen in den Folgewochen stets zu erhöhten NH_4^+ -N-Mengen. Eine Ausnahme ergibt sich lediglich nach dem letzten Applikationstermin im September 1991, zu dem NO_3 -N kurzzeitig den NH_4^+ -N-Anteil übersteigt (Mitte Okt. 1991 $1.2 g NO_3$ -N/ m^2 gegenüber $0.8 g NH_4^+$ -N/ m^2).

Bei D2, D3 und D4 (Abb. 29, 30, 31) entsprechen die NH_4^+ -N-Vorräte absolut den für D1 ermittelten, werden aber - anders als bei Ureaform (D1) - überwiegend vom NO_3 -N-Anteil übertroffen. Die höheren NO_3 -N-Anteile wurden indessen nur in der Variante N3 beobachtet. Bei N1 und N2 wird die Gesamt N_{\min} -Menge auch bei D2, D3 und D4 vorwiegend vom NH_4^+ -N-Anteil bestimmt (s. Tab. A 27 und A 29).

Extrem hohe NO_3 -N-Vorräte treten jeweils regelmäßig nach der Sommerdüngung im Juni bei Isodur (D2) auf (Abb. 29). Der Höhepunkt liegt dabei im Juli (1990 fast 9.3 , 1991 $8.1 g NO_3$ -N/ m^2). Ebenso rasch wie die NO_3 -N-Vorräte ansteigen, fallen sie andererseits wieder auf 0.2 bis $0.3 g NO_3$ -N/ m^2 ab.

Der Düngungseinfluß im Frühsommer (Juni) kann ebenso für den natürl.-org. (D3; Abb. 30) bzw. leichtlös.-min. N-Dünger (D4; Abb. 31) beobachtet werden. Bei D3 wachsen die NO_3 -N-Mengen 1991 bis Mitte August auf $15.7 g NO_3$ -N/ m^2 an, bei D4 auf $17.0 g NO_3$ -N/ m^2 . Für alle vier N-Düngerformen zeigt sich, daß die erste N-Düngung (Anfang April) weder die NO_3 -N- noch NH_4^+ -N-Vorräte im Boden wesentlich erhöht.

Insgesamt wurden bei den N3-Varianten aller vier N-Düngerformen in der Vegetationszeit 1991 höhere NO_3 -N-Mengen in der Rasentragschicht festgestellt als im vergleichbaren Zeitraum 1990.

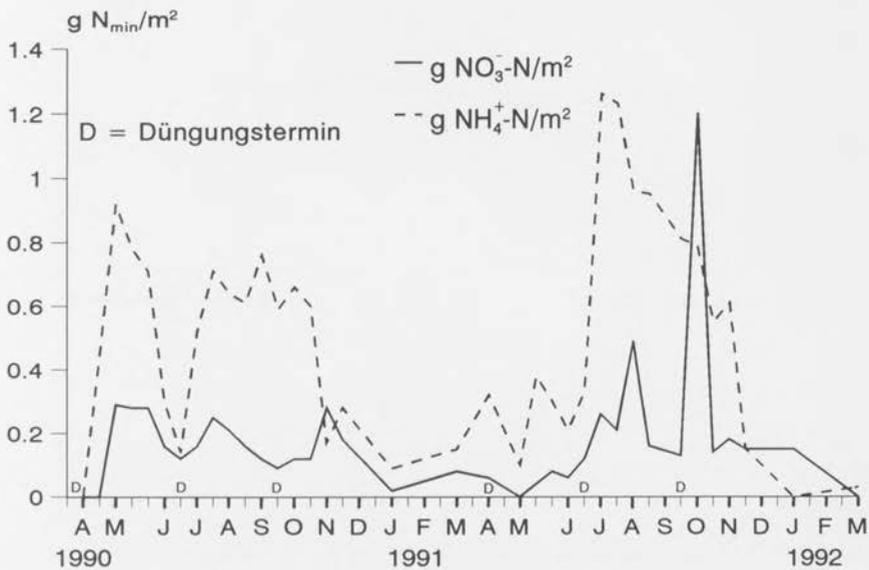


Abbildung 28: N_{min} -Mengen der Variante N3 von Ureaform ($g N_{min}/m^2$) in Abhängigkeit von Jahreszeit, N-Fraktion und Düngungstermin (Mittel aus 4 Wdh.)

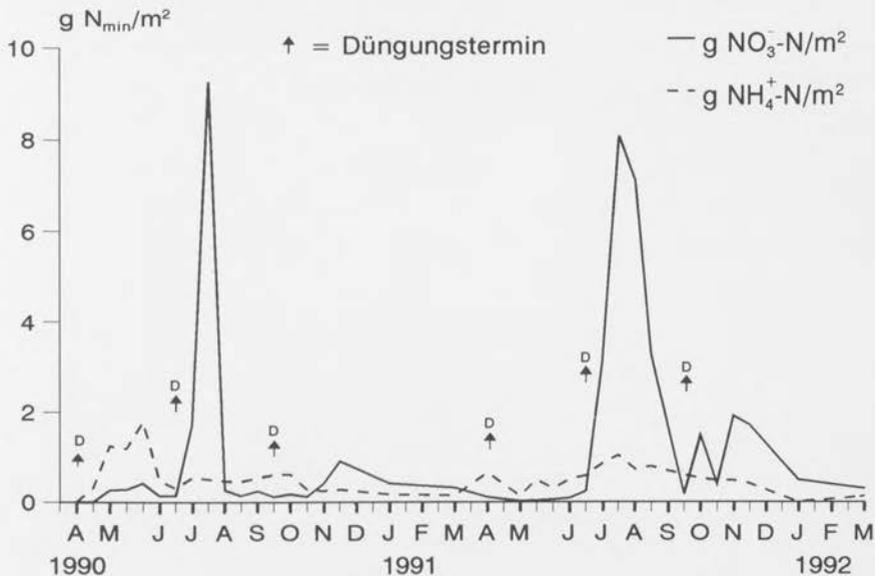


Abbildung 29: N_{min} -Mengen der Variante N3 von Isodur ($g N_{min}/m^2$) in Abhängigkeit von Jahreszeit, N-Fraktion und Düngungstermin (Mittel aus 4 Wdh.)

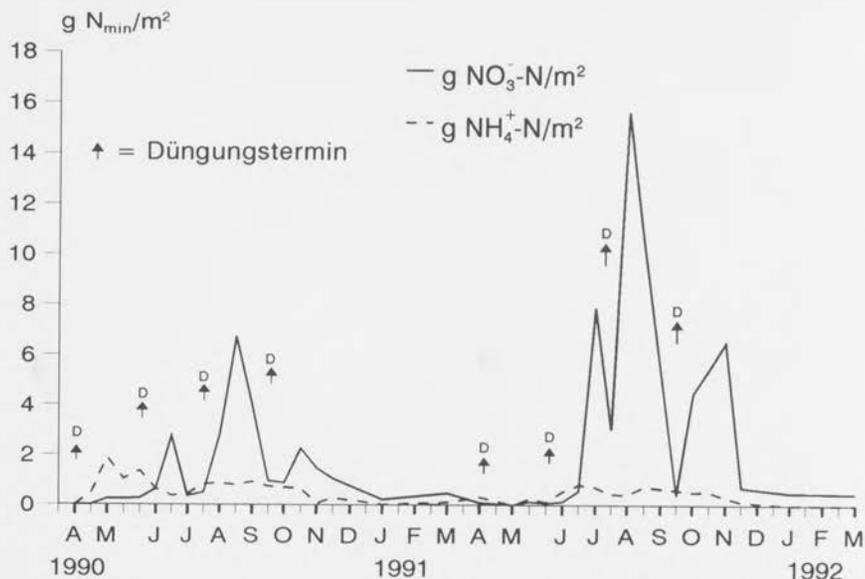


Abbildung 30: N_{\min} -Mengen der Variante N3 des natürl.-org. N-Düngers (g N_{\min}/m^2) in Abhängigkeit von Jahreszeit, N-Fraktion und Düngungstermin (Mittel aus 4 Wdh.)

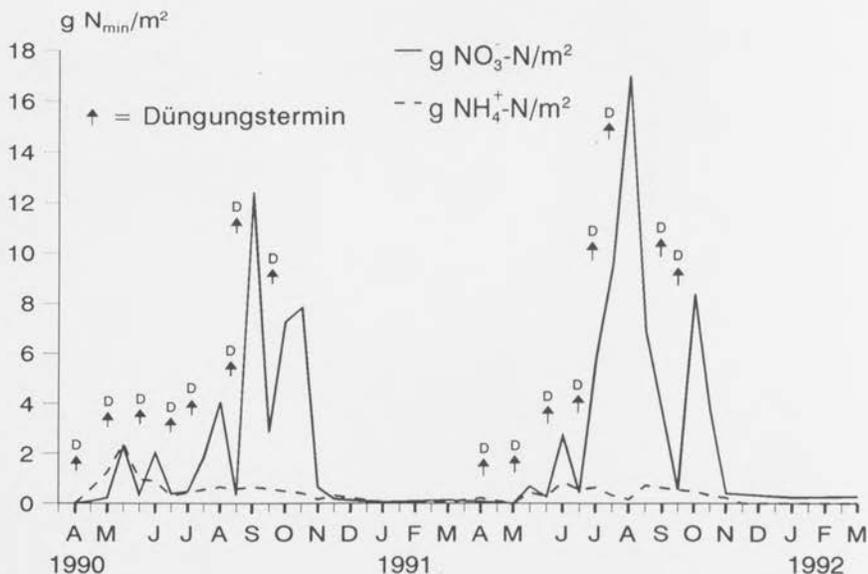


Abbildung 31: N_{\min} -Mengen der Variante N3 des leichtlös.-min. N-Düngers (g N_{\min}/m^2) in Abhängigkeit von Jahreszeit, N-Fraktion und Düngungstermin (Mittel aus 4 Wdh.)

4.3.3 Veränderungen der Bodennährstoffwerte

Mit der Tab. 9 sind die pH-, P-, K-, Mg-Werte sowie Gesamtstickstoff- und Gesamtkohlenstoff-Gehalte in der Rasentragschicht jeweils nach Abschluß eines Beobachtungsjahres bzw. vor Beginn der folgenden Vegetationsperiode zusammengestellt. Die Ausgangswerte sind mit Tab. 3 (s. Kap. 3.3.3) erfaßt.

Tabelle 9: Bodennährstoffe (0-25 cm Tiefe) in Abhängigkeit von Termin, N-Düngerform und -menge (Mittel aus 4 Wdh.)

Termin	N-Variante	pH	mg/100 g Boden			N _t %	C _t	
			P	K	Mg			
06.03.1991	D1	N1	7.4	1.7	7.9	2.8	0.07	0.37
		N2	7.4	1.8	6.6	2.8	0.06	0.36
		N3	7.4	1.8	7.1	2.6	0.06	0.38
	D2	N1	7.4	1.6	7.2	3.0	0.06	0.40
		N2	7.4	1.5	7.2	2.9	0.06	0.45
		N3	7.4	1.5	6.2	3.2	0.06	0.44
	D3	N1	7.4	2.0	8.1	3.7	0.05	0.46
		N2	7.4	1.7	7.1	3.3	0.06	0.43
		N3	7.4	1.8	5.4	3.0	0.05	0.40
	D4	N1	7.4	1.7	6.5	3.2	0.07	0.45
		N2	7.4	1.6	5.5	2.8	0.06	0.40
		N3	7.4	1.6	5.6	2.8	0.06	0.46
30.03.1992	D1	N1	7.4	2.0	7.3	3.6	0.04	0.44
		N2	7.4	1.8	7.9	3.6	0.05	0.41
		N3	7.4	1.6	6.1	3.4	0.05	0.47
	D2	N1	7.4	1.9	7.0	3.4	0.05	0.45
		N2	7.4	1.8	5.9	3.5	0.05	0.44
		N3	7.5	1.0	4.5	3.3	0.06	0.50
	D3	N1	7.4	1.8	6.2	3.7	0.04	0.46
		N2	7.4	1.7	5.8	3.4	0.05	0.43
		N3	7.5	1.6	3.1	2.5	0.05	0.38
	D4	N1	7.3	1.6	7.3	3.3	0.04	0.44
		N2	7.4	1.5	4.2	3.0	0.04	0.42
		N3	7.4	1.8	4.2	2.8	0.05	0.44

Die pH-Werte haben sich demnach gegenüber der Ausgangssituation bei Versuchsbeginn kaum verändert. Das gilt auch im Falle der Anwendung des physiologisch sauer wirkenden leichtlös.-min. N-Düngers D4.

Die P-, K-, Mg-Gehalte im Boden sind trotz erheblicher Zufuhr (s. Kap. 3.4.3) kaum oder doch nur unerheblich angestiegen. Sowohl innerhalb als auch zwischen den N-Prüfvarianten sind zumindest für P und Mg deutliche Veränderungen jedenfalls nicht zu erkennen, wenngleich sich mit zunehmender N-Zufuhr eine leichte Tendenz abnehmender Gehalte andeutet. Für K wird der stärkere Entzug mit hoher N-Zufuhr (N3) hingegen offenkundig.

Ähnlich verhält es sich mit den Gesamtstickstoff- und Gesamtkohlenstoff-Gehalten in der Rasentragschicht, die sich (noch?) nicht nachhaltig verändert haben (s. Kap. 3.3.3). Unabhängig von der N-Zufuhr sind zu Versuchsende im März 1992 N_t -Gehalte von ca. 0.05% ermittelt worden, was umgerechnet für die 25 cm tiefe Rasentragschicht einer Gesamt-N-Menge von 175 g N/m² bzw. 1750 kg N/ha entspricht. Demgegenüber schwanken die C_t -Gehalte zwischen 0.38 und 0.46 %, das entspricht einer Gesamt-C-Menge von 1300 bis 1600 g C/m² bzw. 13000 bis 16000 kg C/ha. Somit besteht, wiederum unabhängig von der N-Zufuhr, nach 3 Jahren differenzierter N-Düngung ein relativ einheitliches C:N-Verhältnis von 7 - 9:1. Nach Einbau der Rasentragschicht im April 1989 betrug es 14:1 (s. Kap. 3.3.3, Tab. 3).

4.3.4 Teilzusammenfassung zu Kap. 4.3

Zu stärkeren N_{\min} -Vorräten in der Rasentragschicht kam es während der Beobachtungszeit bei den vier geprüften N-Düngerformen nur in der Variante N3. Unter den N-Düngerformen hinterläßt Ureaform (D1) die geringsten N_{\min} -Mengen. Die ermittelten Höchtwerte lagen stets unter 2 g N_{\min} /m². Demgegenüber steigen die N_{\min} -Mengen bei D2, D3 und D4 in den Sommermonaten besonders stark an. Der Maximalwert wurde in der Variante N3 bei D4 mit 17.2 g N_{\min} /m² (Mitte August 1991) ermittelt.

Bei D1 wird der (niedrige) N_{\min} -Vorrat in der Variante N3 hauptsächlich vom NH_4^+ -N-Anteil bestimmt. Für die hohen N_{\min} -Mengen bei D2, D3 und D4 wird dagegen NO_3^- -N bestimmend. Es kann unterstellt werden, daß die N_{\min} -Vorräte bei allen N-Düngern durch

die vorausgegangene N-Düngung beeinflusst werden.

Die niedrigen P-, K-, Mg-, N_i - und C_i -Gehalte im Boden zu Beginn der Beobachtung haben sich trotz hoher Grunddüngung während der 2-jährigen Versuchsperiode überwiegend nicht erhöht. In der 25 cm tiefen, abgemagerten Rasentragschicht hat sich innerhalb von 3 Jahren der N_i -Gehalt von 0.02 auf 0.04 bis 0.06%, der C_i -Gehalt von 0.28 auf 0.38 bis 0.46% erhöht. Eine Beziehung der Bodenkennwerte zur N-Zufuhr ist nicht erkennbar.

4.4 Nährstoffbilanzierung

4.4.1 Vereinfachte N-Bilanz und N-Wiederfindungsrate

Grundlage der vereinfachten N-Bilanz bilden nur N-Zufuhr und N-Austräge sowie die ermittelten N-Depositionswerte an Gesamtstickstoff (s. Kap. 4.2.4). Die N-Austräge wurden aus den N-Entzügen über das Schnittgut (s. Kap. 4.1.3) und Vertikutiergut (s. Kap. 4.1.4) sowie den durch Auswaschung verloren gegangenen N berechnet (s. Kap. 4.2.3). Die N-Verluste durch Volatilisation bzw. Denitrifikation blieben ebenso unberücksichtigt wie umgekehrt evtl. N-Zufuhren durch N_2 -Fixierung. Die Nährstoffbilanzierung ist mithin nicht vollständig. Die errechneten Ergebnisse lassen sich daher nur als Anhaltswerte bzw. Trends werten. Mit Tab. 10 sind die Werte für die vereinfachte N-Bilanz sowie für die N-Wiederfindungsrate (N-WFR) ausgewiesen.

Die N-WFR nimmt demnach von D1 über D2 und D4 nach D3 hin zu wie umgekehrt in gleicher Reihenfolge die N-Überschüsse im Boden abnehmen. Beim natürl.-org. N-Dünger (D2) und leichtlösl.-min. N-Dünger (D4) deutet sich dabei eine Zunahme der N-WFR von N1 nach N3 hin an. Insgesamt ist die N-WFR bei D3 in den Varianten N2 und N3 nahezu doppelt so hoch wie bei D1. Ähnliches gilt für D4.

Unbeschadet davon nehmen indessen die N-Überschüsse im Boden bei allen N-Düngerformen von N1 nach N3 zu. Die Zunahme ist allerdings wiederum bei D3 am niedrigsten, bei D1 am höchsten. In den Varianten N2 und N3 beträgt der N-Überschuß bei D3 weniger als 50% des für D1 ermittelten. Gleichzeitig treten bei D1 in beiden Beobachtungsjahren und bei allen drei N-Aufwandmengen die geringsten Stickstoff-Wiederfindungsraten ($\bar{x} = 39$ bzw. $\bar{x} = 42\%$) auf. Sie sinken von N1 nach N3 zudem ab. Der Rückgang ist im 1. Beobachtungsjahr stärker ausgeprägt als im zweiten.

Bei allen vier N-Düngertypen nimmt die N-WFR vom 1. zum 2. Beobachtungsjahr in der Tendenz überwiegend zu. Die Tendenz ist bei D2 (Isodur) und D3 (natürl.-org. N-Dünger) am deutlichsten, bei D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger) am schwächsten ausgeprägt (bzw. kaum vorhanden).

Tabelle 10: N-Bilanz (g N/m²/Jahr) und N-Wiederfindungsrate (%) in Abhängigkeit von N-Düngerform und N-Zufuhr (Mittel aus 4 Wdh., Vj = Versuchsjahr)

N-Variante	N-Zufuhr		N-Austräge						N-Bilanz		N-WFR				
	Düngung u. N-Deposition g N/m ²		Schnittgut		Vertikutiertgut		N-Auswaschung		Summe		%				
	1. Vj	2. Vj	1. Vj	2. Vj	1. Vj	2. Vj	1. Vj	2. Vj	1. Vj	2. Vj	1. Vj	2. Vj			
D1	N1	21.1	20.8	4.6	5.2	5.6	4.2	0.1	0.1	10.3	9.5	+10.8	+11.3	49	46
	N2	41.1	40.8	6.6	10.5	7.2	5.4	0.1	0.1	13.9	16.0	+27.2	+24.8	34	39
	N3	81.1	80.8	14.2	23.4	13.6	10.2	0.4	0.4	28.2	34.0	+52.9	+46.8	35	42
X										17.5	19.8	+30.3	+27.6	39	42
D2	N1	21.1	20.8	5.9	7.5	5.6	4.2	0.1	0.1	11.6	11.8	+9.5	+9.0	55	57
	N2	41.1	40.8	12.2	17.6	8.4	6.3	0.1	0.2	20.7	24.1	+20.4	+16.7	50	59
	N3	81.1	80.8	26.6	34.2	15.2	11.4	1.1	4.0	42.9	49.6	+38.2	+31.2	53	61
X										25.1	28.5	+22.7	+18.9	53	59
D3	N1	21.1	20.8	7.0	9.9	6.0	4.5	0.1	0.1	13.1	14.5	+8.0	+6.3	62	70
	N2	41.1	40.8	17.3	23.1	11.2	8.4	0.1	0.3	28.6	31.8	+12.5	+9.0	70	78
	N3	81.1	80.8	36.8	37.1	18.4	13.8	8.8	9.6	64.0	60.5	+17.1	+20.3	79	75
X										35.2	35.6	+12.5	+11.9	70	74
D4	N1	21.1	20.8	8.3	9.3	5.6	4.2	0.1	0.1	14.0	13.6	+7.1	+7.2	66	65
	N2	41.1	40.8	18.8	21.8	7.2	5.4	0.2	0.1	26.2	27.3	+14.9	+13.5	64	67
	N3	81.1	80.8	35.3	36.4	12.8	9.6	7.1	10.6	55.2	56.6	+25.9	+24.2	68	70
X										31.8	32.5	+15.9	+14.9	66	67

4.4.2 Teilzusammenfassung zu Kap. 4.4

Für die Nährstoffbilanzierung ergibt sich für alle N-Prüfvarianten bei der Gegenüberstellung von N-Zufuhr und N-Austrägen eine positive N-Bilanz. Der N-Überschuß ist bei Ureaform in allen drei N-Varianten am höchsten. Dementsprechend vergleichsweise niedrig ist auch die N-WFR. Sie beträgt in jeder N-Variante weniger als 50%. Ein wesentlich geringerer N-Überschuß ergibt sich bei Anwendung der N-Düngerformen D3 (natürl.-org. N-Dünger) und D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger), was wiederum gleichbedeutend mit besserer N-WFR ist, die in den Varianten N2 und N3 bis annähernd 80% steigt. Darüber hinaus deutet sich an, daß die N-WFR bei allen N-Düngerformen vom 1. zum 2. Beobachtungsjahr ansteigt.

4.5 Bonituren

4.5.1 Gesamteindruck

Mit Tab. 11 sind die Boniturnoten für das Merkmal Gesamteindruck nach Gruppen zusammengefaßt. Die Einzelboniturnoten finden sich in den Anhangstabellen A 30 und A 31. Die Bonituren wurden während der Vegetationszeit in 14-täg. Abstand durchgeführt.

Tabelle 11: Häufigkeit der Boniturnoten für Gesamteindruck in Abhängigkeit von N-Düngerform und -menge (Mittel aus 4 Wdh.)

	Bonitur Note	Häufigkeit der Boniturnoten												
		D1			D2			D3			D4			
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	
<u>1. Vj</u>	3.0 - 3.9				1									
	4.0 - 4.9	6	2		3			1						
	5.0 - 5.9	7	6	3	6	2		5			1			
	6.0 - 6.9	2	8	4	6	7	3	10	2	1	8	1	1	
	7.0 - 7.9	1		7		6	7		7	8	7	7	4	
	8.0 - 8.9			2				5		6	7		6	8
	9.0						1		1				2	3
<u>2. Vj</u>	3.0 - 3.9	3			3									
	4.0 - 4.9	4	2		5			4					1	
	5.0 - 5.9	3	4		1	3	1	3		1	5	1	2	
	6.0 - 6.9		1	4	1	3	2	3	5	4	4	2		
	7.0 - 7.9	3	6	7	3	4	4	3	2	5	4	4	6	
	8.0 - 8.9			2		3	6		6	3		4	4	
	9.0												2	
<u>Σ 1. + 2. Vj</u>	3.0 - 3.9	3	6		4									
	4.0 - 4.9	10	4		8			5					1	
	5.0 - 5.9	10	10	3	7	5	1	8		1	6	1	2	
	6.0 - 6.9	2	9	8	7	10	5	13	7	5	12	3	1	
	7.0 - 7.9	4	6	14	3	10	11	3	9	13	11	11	10	
	8.0 - 8.9			4		4	11		12	10		10	12	
	9.0						1		1			4	3	

Der bis Versuchsbeginn einheitlich gedüngte Rasen präsentierte sich bis dahin gleichmäßig strukturiert und gut entwickelt (Boniturnote 7.0). Ausweislich Tab. 11 geht dieser Zustand in Variante N1 bei den N-Düngerformen D1 bis D3 indessen nahezu restlos verloren. Zeitweise sinken die Boniturnoten bei D1 bis auf 3.0, bei D2 bis auf 3.5 ab (s. Tab. A 30 und A 31). Es vermittelt sich dabei der Eindruck, daß die Narbenverschlechterung vom 1. zum 2. Beobachtungsjahr wächst.

Der relativ günstigste Zustand in der Variante N1 ergibt sich bei D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger). Die Narbenverschlechterung ist hier am schwächsten ausgeprägt, z. T. bleibt der Ausgangszustand erhalten oder wird sogar leicht übertroffen.

Eine deutliche Narbenverschlechterung tritt bei D1 desgleichen auch in Variante N2 ein. Demgegenüber bleibt der Ausgangszustand bei D3 und D4 in N2 überwiegend erhalten oder verbessert sich eher. In beiden Beobachtungsjahren nimmt die Häufigkeit von Boniturnoten oberhalb 7.0 nachhaltig zu. Besonders deutlich ist das beim leichtlösl.-min. N-Dünger D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger), mit dem in beiden Jahren je zweimal sogar die Höchstnote 9.0 erreicht wird.

Der synth.-org. N-Dünger D2 (Isodur) verhält sich offenkundig in Variante N2 weitgehend neutral, wenngleich die Tendenz zur Verschlechterung des Narbenzustandes etwas stärker ausgebildet ist als die zur Verbesserung.

Überwiegend z. T. sehr deutliche Verbesserungen des Narbenzustandes bringt die stärkste N-Zufuhr (N3) bei D2, D3 und D4. Bei D1 wird er in der Variante N3 teilweise erhalten oder verbessert, z. T. sinkt die Narbenqualität aber auch bei hoher N-Düngung wiederum ab.

4.5.2 Farbaspekt

Mit Tab. 12 sind die Boniturnoten für das Merkmal Farbe wiederum nach Gruppen zusammengefaßt. Die Einzelboniturnoten finden sich in den Anhangstabellen A 32 und A 33.

Zu Versuchsbeginn wies der Rasenbestand eine einheitlich gute Grünfärbung auf (Boniturnote 7.0). Im Verlauf der Beobachtungszeit trat sodann eine deutliche Differenzierung ein: in Variante N1 verschlechterte sich der Farbaspekt bei D1 und D2 generell, bei D3 und

D4 überwiegend. Auch in Variante N2 bleibt mit D1 der ursprüngliche Farbaspekt nicht erhalten, wohingegen er bei D2, D3 und D4 gehalten, z. T. bereits deutlich verbessert wird. Letzteres gilt überwiegend für Variante N3, wenngleich auch hierbei wiederum der aspektverbessernde Einfluß bei D1 am wenigsten deutlich ausgeprägt ist.

Tabelle 12: Häufigkeit der Boniturnoten für Farbaspekt in Abhängigkeit von N-Düngeform und -menge (Mittel aus 4 Wdh.)

	Bonitur Note	Häufigkeit der Boniturnoten											
		D1			D2			D3			D4		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
<u>1. Vj</u>	3.0 - 3.9	2			1						1		
	4.0 - 4.9	9	4		6			5				1	
	5.0 - 5.9	4	4	4	8	2		4	1		4	1	1
	6.0 - 6.9	1	7	4	1	8	1	7	5	1	4	3	1
	7.0 - 7.9		1	3		3	7		2	5	6	3	3
	8.0 - 8.9			5		3	5		6	8	1	4	5
	9.0						3		2	2		4	6
<u>2. Vj</u>	3.0 - 3.9	2									1		
	4.0 - 4.9	5	1		2			2			1	1	
	5.0 - 5.9		4		5			4			3		1
	6.0 - 6.9	6	5	2	6	4		2	1		6	2	
	7.0 - 7.9		2	3		8	1	4	6	2	1	2	3
	8.0 - 8.9		1	7		1	9	1	6	4	1	6	3
	9.0			1			3			7		2	6
<u>Σ 1. + 2. Vj</u>	3.0 - 3.9	4			1						2		
	4.0 - 4.9	14	5		8			7			1	2	
	5.0 - 5.9	4	8	4	13	2		8	1		7	1	2
	6.0 - 6.9	7	12	6	7	12	1	9	6	1	10	5	1
	7.0 - 7.9		3	6		11	8	4	8	7	7	5	6
	8.0 - 8.9		1	12		4	14	1	12	12	2	10	8
	9.0			1			6		2	9		6	12

4.5.3 Deckungsgrad

Der Deckungsgrad (DG) für die einzelnen Bestandesbildner wurde jeweils an vier Terminen bestimmt. Die Ergebnisse der Bonituren sind in den Abb. 32 für Variante N1, 33 für N2 und 34 für N3 zusammengefaßt.

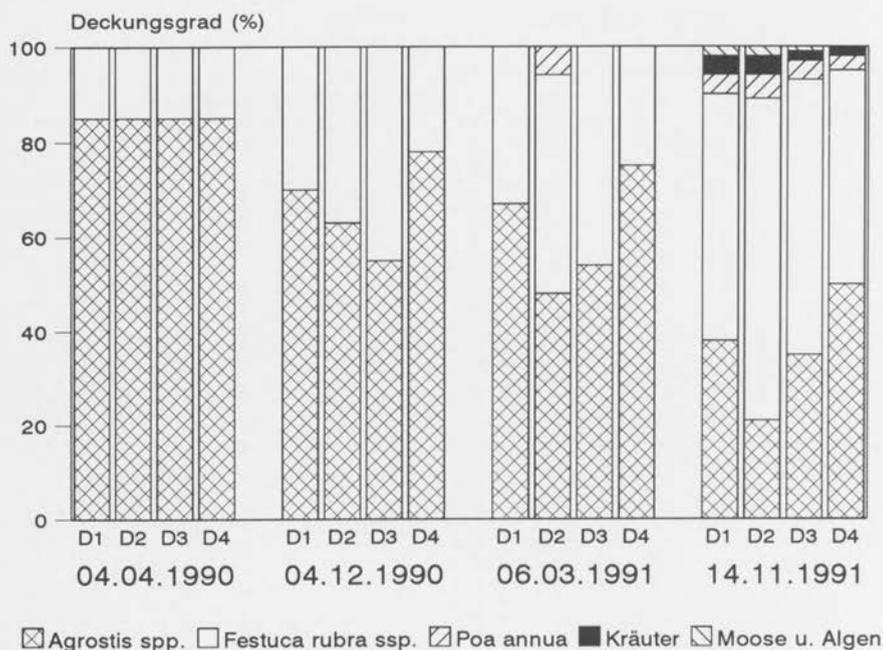


Abbildung 32: Deckungsgrad in der Variante N1 differenziert nach N-Düngerform und Termin (Mittel aus 4 Wdh.)

Zu Versuchsbeginn (04.04.1990) dominierte in den Pflanzenbeständen generell *Agrostis* spp. mit über 80% (Abb. 32). Im Verlauf der Beobachtungszeit änderte sich das Artenverhältnis in Variante N1 bei allen vier N-Düngerformen grundlegend zugunsten von *Festuca rubra* ssp. Der Rückgang von *Agrostis* spp. ist bei D2 (Isodur) am stärksten, bei D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger) am geringsten. Im ersteren Falle geht er bis zum letzten Beobachtungstermin auf 21% zurück, im letzteren auf 50%. Zugleich nahm der Anteil von *Poa annua* bei D2 am stärksten zu (DG = 5%).

Kräuter etablierten sich besonders in D1 und D2. Es traten hier vor allem *Cerastium holosteoides* (Gemeines Hornkraut), *Plantago major* (Breitwegerich), *Plantago media* (Mittlerer Wegerich), *Stellaria media* (Vogelmiere) sowie *Taraxacum officinale* (Gemeiner Löwenzahn) auf. Moose und Algen waren bis November 1991 vorwiegend bei den N-Düngertypen D1, D2 und D3 zu beobachten.

In der Variante N2 - also mit verbesserter N-Zufuhr - fällt der Rückgang der Deckungsgrade von *Agrostis* spp. bei den N-Düngertypen D1 und D2 deutlich schwächer aus (Abb. 33). Er sinkt während der Beobachtungszeit indessen auch bei erhöhter N-Zufuhr allmählich bis auf Deckungsgrade unter 60% (14.11.1991). *Poa annua* und Kräuter (Arten wie bei N1) wandern ein.

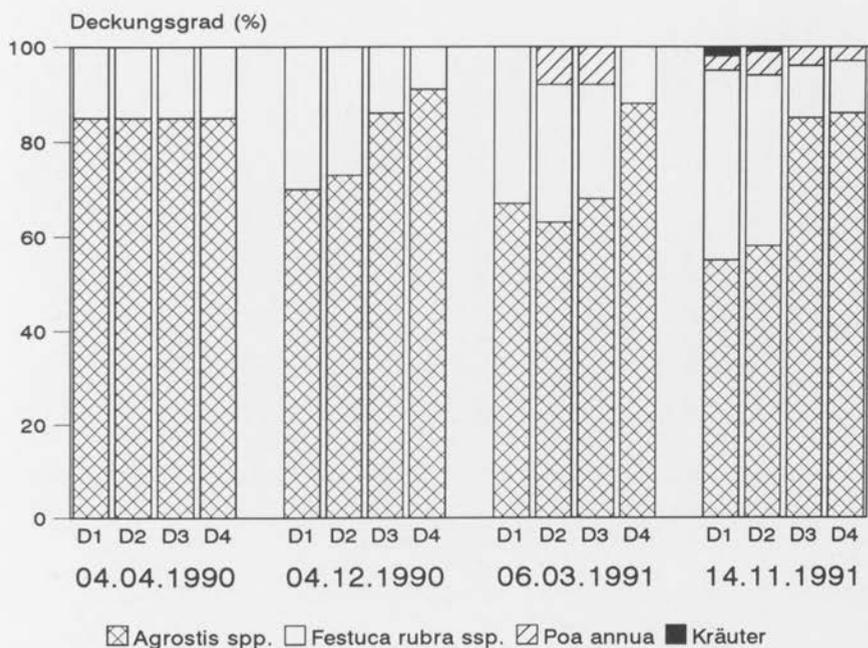


Abbildung 33: Deckungsgrad in der Variante N2 differenziert nach N-Düngerform und Termin (Mittel aus 4 Wdh.)

Bei den N-Düngerformen D3 und D4 ändert sich der DG von *Agrostis* spp. fast gar nicht. Jedenfalls haben sich die Deckungsgradanteile dieser Art bei der letzten Bonitur am 14.11.1991, gegenüber dem Zustand bei Versuchsbeginn (04.04.1990) überhaupt nicht verändert. In der dazwischen liegenden Periode waren sie lediglich im 2. Beobachtungsjahr unmittelbar nach Ende der Winterperiode bei D3 um ca. 18% gesunken. Der Vorgang könnte mit winterlichen Witterungsbedingungen in Zusammenhang stehen. Bis zum Herbst hat sich *Agrostis* spp. jedenfalls wieder vollständig regeneriert.

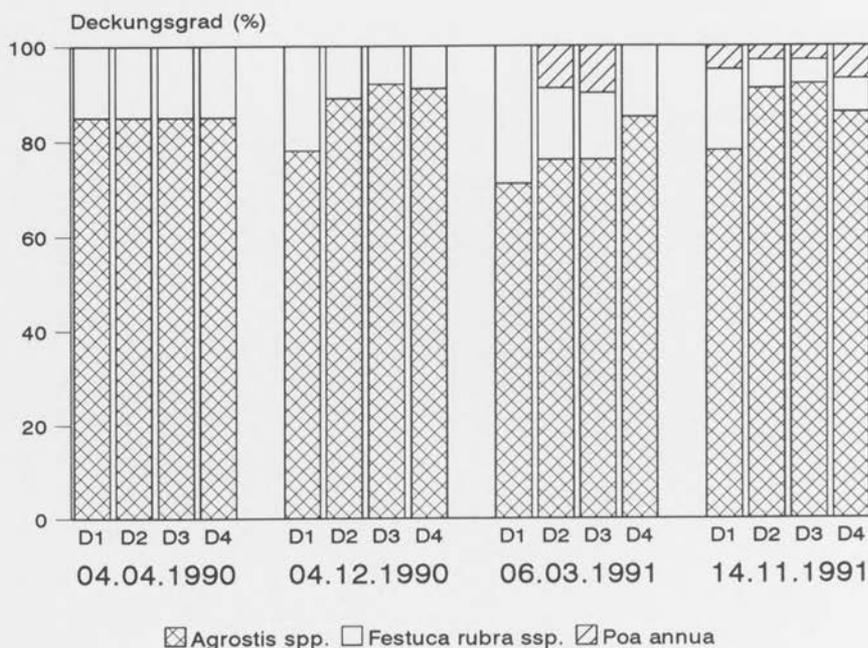


Abbildung 34: Deckungsgrad in der Variante N3 differenziert nach N-Düngerform und Termin (Mittel aus 4 Wdh.)

Unter der Einwirkung starker N-Zufuhr (N3) nimmt der Anteil von *Agrostis* spp. bei den N-Düngerformen D2, D3 und D4 insgesamt eher leicht zu (Abb. 34). Wiederum ergibt sich auch bei N3 nach der Winterperiode des 1. Beobachtungsjahres ein merklicher Rückgang vor allem bei D1, D2 und D3, der offenbar ebenfalls Witterungseinflüssen zuzuschreiben ist und durch erhöhte N-Zufuhr noch verstärkt wurde. Insgesamt erweist

sich jedoch auch für N3, daß der Langzeitdünger D1 (Ureaform) selbst bei hoher N-Anwendungsmenge offenkundig das ursprüngliche Bestandesbild zu erhalten nicht in der Lage ist.

4.5.4 Teilzusammenfassung zu Kap. 4.5

Wie die Ergebnisse der Bonituren für das Merkmal Gesamteindruck zeigen, wird bei den N-Düngerformen D3 (natürl.-org. N-Dünger) und D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger) durchaus auch bei niedriger N-Düngung der Bestandeszustand und damit die Nutzbarkeit der Rasen erhalten. Bei den beiden Langzeitdüngerformen ist ein angemessener Zustand der Rasen nur mit erhöhter oder höherer N-Zufuhr erreichbar, wobei Isodur (D2) stets besser als Ureaform (D1) abschneidet.

Das Merkmal Farbe steht erwartungsgemäß in enger Beziehung zur N-Zufuhr, wobei der leichtlösl.-min. N-Dünger D4 besonders nachhaltig und auffällig wirkt.

Die Rasen-Pflanzenbestände werden durch die N-Düngerform und -menge deutlich verändert: der Deckungsgrad von *Festuca rubra* ssp. steigt bei niedriger N-Zufuhr (N1) kontinuierlich an, der von *Agrostis* spp. sinkt umgekehrt ab; *Poa annua*, Kräuter, Moose und Algen wandern allmählich ein. Mittlere N-Zufuhr (N2) schwächt den Rückgang von *Agrostis* spp. bei D1 und D2 ab, bei den N-Düngerformen D3 und D4 bleibt der Deckungsgrad der Art völlig erhalten.

Die geringsten Veränderungen in der botanischen Zusammensetzung ergeben sich bei hoher N-Zufuhr (N3). Bei den N-Düngerformen D2 und D3 steigt der DG von *Agrostis* spp. sogar auf über 90% an. Allerdings war trotz Zunahme dieser Art die Einwanderung von *Poa annua* (DG 3 bis 7%) nicht aufzuhalten.

5. Diskussion

Mit der vorliegenden Arbeit wurden im wesentlichen zwei Ziele verfolgt: Zum einen sollte untersucht werden, inwieweit N-Düngerform und N-Aufwand bei Golfgrüns den Schnittgutanteil, dessen N-Gehalte sowie die daraus resultierenden N-Entzüge beeinflussen und insbesondere die zeitweise gegebenen, sehr unerwünschten hohen Mengen von Schnittgut zu minimieren vermögen. Gleichzeitig galt es, die Auswirkungen der unterschiedlichen N-Düngung auf Rasenqualität und botanische Zusammensetzung in die Untersuchungen mit einzubeziehen. Dazu wurden N-Dünger gewählt, die auch in der Praxis auf Strapazierrasenflächen Verwendung finden.

Zum anderen war zu klären, inwieweit N-Düngerform und N-Aufwand unter den spezifischen Bedingungen von Golfgrüns die N-Verlagerung mit dem Sickerwasser beeinflussen, um letztlich Aussagen für den Gewässerschutz abzuleiten. Letzteres ist insbesondere bei der Genehmigung bzw. Erweiterung neuer Golfanlagen von Bedeutung, da den Betreibern von Rasen- bzw. Golfsportanlagen oftmals eine zu hohe N-Düngungsintensität als Ursache einer erheblichen N-Auswaschung unterstellt wird.

5.1 Anmerkungen zur Versuchsmethodik

Für die Erfassung der Sickerungen, sowohl nach Menge als auch N-Konzentration ($\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ und $\text{mg NH}_4^+/\text{l}$), war zunächst eine geeignete **Versuchsanlage** notwendig. Mit der Errichtung eines Perkulations-Lysimeters, wie es bei WADDINGTON *et al.* (1992) beschrieben ist und das den Erfordernissen der Richtlinie "Bau von Golfplätzen" (FLL, 1990) entspricht, bot sich die Möglichkeit, die gestellte Aufgabe zu bearbeiten. Obwohl mit Lysimeteranlagen allgemein Wasserbewegungsvorgänge im Boden (z. B. Kapillaraufstieg) nicht vollständig, N-Verluste an die Atmosphäre überhaupt nicht erfaßt werden können, stellen sie dennoch ein brauchbares Hilfsmittel für Untersuchungen der N-Bewegung im Boden dar (CZERATZKI, 1973). Die in der Literatur an Lysimetern bislang gewonnenen Erkenntnisse lassen sich freilich mit den in vorliegender Arbeit ermittelten Ergebnissen nicht unmittelbar vergleichen, da hier die spezifischen Bedingungen von Golfgrüns tatsächlich weitgehend erreicht werden konnten. Das trifft für die bisherigen

Literaturbefunde überwiegend nicht zu. Lediglich der Einfluß der (bei Golfgrüns sehr hohen) Belastung durch Tritt mußte im vorliegenden Fall unberücksichtigt bleiben, da die technisch mögliche und entsprechende Behandlung (z. B. mit der Stollenwalze) eine die Aussage stark beeinflussende Narbenbeschädigung speziell der nicht optimal mit Stickstoff versorgten Varianten zur Folge gehabt hätte.

Die wissenschaftliche Literatur zum Thema wird zu einem ganz erheblichen Teil von US-amerikanischen Publikationen getragen. Hierzu ist vorweg darauf zu verweisen, daß beim Vergleich der amerikanischen Befunde mit den in dieser Arbeit gewonnenen die unterschiedliche **Normung der Rasentragschichten** zu berücksichtigen ist. Die Rasentragschicht der hier verwendeten Versuchsanlage wurde bezüglich den Anforderungen der Körnungslinie nach der deutschen Richtlinie "Bau von Golfplätzen" (FLL, 1990) aufgebaut. Diese entspricht nicht der USGA-Bauweise, die durch einen "dreischichtigen" Aufbau sowie eine von der deutschen Richtlinie abweichend verlaufende Körnungslinie gekennzeichnet ist (BEARD, 1982), was die bodenphysikalischen Eigenschaften der Rasentragschicht erheblich verändert. Welche Aussagen die Unterschiede im Bodenaufbau im Hinblick auf die Nährstoffauswaschung zulassen, ist bislang noch nicht bekannt.

Gewisse Abweichungen von den Angaben in der Literatur ergeben sich desgleichen hinsichtlich des gewählten **N-Düngeraufwandes**. Durch die jeweilige Verdoppelung der N-Mengen von 20 (N1) auf 40 (N2) und 80 g (N3) N/m²/Jahr war eine Einteilung getroffen, die eine deutliche Ergebnis-Differenzierung erwarten lassen sollte. Indessen ist dabei mit der Variante N1 ein N-Düngungsniveau gewählt worden, das für strapazierfähige Zierrasenflächen - zu denen Golfgrüns zählen - die pflanzenphysiologische Untergrenze der N-Versorgung eher schon unterschreitet. Variante N2 entspricht in etwa dem Praxisdurchschnitt für die N-Düngung von Grüns, N3 stellt dagegen andererseits eine extrem hohe N-Versorgung dar, die in der Literatur nur sehr selten Parallelen findet (ANDRE, 1986; HÄHNDEL und DRESSEL, 1987).

Die von vornherein festgelegte **Schnitthöhe** von 6 mm schließlich ist unter Praxisbedingungen als gerade noch tolerierbare obere Schnitt-Grenze für Golfgrüns anzusehen, die Regel ist sie nicht. Sie mußte jedoch eingehalten werden, um durch die Erhaltung einer widerstandsfähigen Grasnarbe streßbedingte Einflüsse (Krankheitsinfektionen u. a.) zu minimieren. Außerdem sollten die bestandesbeeinflussenden Wirkungen tieferen Schnittes ausgeschlossen werden, um die Reaktion der Ausgangsmischungspartner *Agrostis* spp. und

Festuca rubra ssp. auf N-Düngerformen und N-Aufwandmenge verfolgen zu können. Dies galt insbesondere wiederum bei den Varianten N1, da hier eine tiefere Schnitthöhe bereits zu einer unerwünscht raschen Bestandesveränderung geführt hätte.

5.2 Auswirkungen der N-Düngung auf Schnittgutaufkommen, N-Gehalt und N-Entzug

Nach den gewonnenen Ergebnissen werden die **Gesamt-Schnittgutmengen** (s. Abb. 8) sowohl von der N-Düngerform als auch der N-Düngermenge signifikant beeinflusst. Das war zunächst auch zu erwarten und bestätigt gleichzeitig für die Langzeitdünger den aus der Literatur (SKIRDE, 1986; HÄHNDEL, 1987) bekannten verhaltenen N-Effekt von Ureaform- (UF) gegenüber Isodur-Düngern (IBDH). Allgemein werden jedoch Gesamt-Schnittgutmengen beobachtet (so z. B. im Mittel der wochenbezogenen Varianten N3 bis zu 40 g TM/m², s. Abb. 9), die weitgehend mit den Befunden von SHEARD *et al.* (1985) sowie WADDINGTON *et al.* (1978) in Einklang stehen, die in der Hauptwachstumsphase ein tägliches Schnittgutaufkommen bis zu 6 g TM/m² angeben.

Unabhängig von der Höhe der N-Zufuhr fallen in beiden Beobachtungsjahren bei Isodur (D2) stets höhere Jahres-Schnittgutmengen an als bei Ureaform (D1), wenngleich für letzteren während der Vegetationsperiode im 2. Beobachtungsjahr, zumindest bei sehr hohem N-Aufwand (N3), kurzfristig Mitte Juli sogar stärkere Zuwächse gemessen wurden als bei allen anderen N-Düngerformen. Die Erscheinung dürfte auf den von SNYDER *et al.* (1976) beschriebenen Effekt der N-Nachwirkung zurückzuführen sein, die bei Ureaform offenbar besonders nachhaltig auftritt. Das bedeutet mithin, daß Ureaform unter dem Gesichtspunkt der Aufwuchsbewältigung beim Schnitt und der erleichterten Schnittgutentsorgung Isodur und darüber hinaus allen anderen geprüften N-Düngerformen gegenüber in den ersten beiden Anwendungsjahren klar überlegen ist. Ob diese Wertung langfristig Bestand hat, steht freilich dahin.

Das Schnittgutaufkommen steigt bei beiden Langzeitdüngern (D1, D2) in allen N-Aufwandstufen vom 1. zum 2. Beobachtungsjahr deutlich an. In Variante N1 und N2 sind hierbei die höchsten Zuwachsmengen zu verzeichnen. Gleiches gilt bei niedriger und mittlerer N-Zufuhr (N1 und N2) auch für den natürl.-org. (D3) und leichtlösl.-min. N-Düngertyp (D4). Es gilt dagegen nicht bei sehr hoher N-Zufuhr (N3). Hier (in N3) ist

zum einen das Schnittgutaufkommen bei Anwendung von D3 und D4 in beiden Beobachtungsjahren fast identisch, zum anderen wurden aber auch die höchsten Jahreszuwachsleistungen gemessen, die die von Ureaform und Isodur bei weitem übersteigen (s. Abb. 8). Insbesondere mit Blick auf die Übereinstimmung der Erträge (bei D3 und D4) muß mithin geschlossen werden, daß bei hoher N-Zufuhr (80 g N/m²/Jahr) sowohl beim natürl.-org. als auch leichtlösl.-min. N-Dünger in jedem Fall die höchste, am gegebenen Pflanzenbestand nicht weiter steigerungsfähige Zuwachsleistung erreicht wird. Das deutet darauf hin, daß in beiden Beobachtungsjahren übereinstimmend der Optimalbereich der N-Versorgung zumindest erreicht worden sein muß.

Das wiederum ließe weiterhin darauf schließen, daß die ermittelten Ertragsunterschiede zwischen 1. und 2. Beobachtungsjahr bei Ureaform und Isodur weniger (oder gar nicht) auf Klimafaktoren zurückzuführen sind, sondern primär eine Folge der N-Akkumulation bei Langzeitdüngern darstellen könnten, wie es auch SNYDER *et al.* (1976) beobachteten. Es ist daher zumindest nicht sicher, ob der Vorzug verhaltener Zuwachsleistung bei Langzeitdüngern, insbesondere Ureaform, langfristig tatsächlich aufrechterhalten bleibt. In diesem Zusammenhang muß allerdings auch berücksichtigt werden, daß die sehr hohen Temperaturen des 2. Beobachtungsjahres in Verbindung mit reichlicher Wasserversorgung (s. Abb. 1) günstige Mineralisationsbedingungen im Hochsommer (Juli bis Sept.) geschaffen haben, die die N-Freisetzung besonders bei Ureaform gefördert haben könnten, und zwar stärker als bei isodurhaltigen Produkten. Auf diesen Zusammenhang weisen SNYDER *et al.* (1976) hin. Die unterstellte erhöhte N-Akkumulation durch synth.-org. N-Dünger (Langzeitdünger) steht freilich in Widerspruch zu den während der Versuchsdauer ermittelten Gesamt-N_t-Gehalten im Boden. Demnach hätten insbesondere bei den hoch gedüngten Varianten N3 zu Versuchsende die N_t-Gehalte (s. Tab. 9) in der Rasentragsschicht (0 bis 25 cm) der beiden Langzeitdünger eigentlich deutlich höher sein müssen als bei den übrigen N-Düngern (D3, D4). Das trifft jedoch nicht zu.

Somit läßt sich nach 2-jähriger Beobachtungsdauer noch nicht zweifelsfrei klären, ob die stärkere N-Wirkung von Ureaform im 2. Beobachtungsjahr ein N-Akkumulationseffekt oder einen temperaturbedingten Effekt in Verbindung mit günstiger Wasser-Versorgung (durch Beregnung) darstellt oder beides gleichzeitig zutrifft. HEMMERSBACH (1980) jedenfalls schreibt dem Klima einen höheren Einfluß zu als der N-Zufuhr.

Darüber hinaus lassen die hier vorgelegten Ergebnisse Zweifel an der These aufkommen, daß die Verfügbarkeit des Stickstoffs der synth.-org. N-Dünger soweit eingeschränkt ist (PRÜN, 1981), daß sprunghafter intensiver Massenzuwachs, wie von MÜLLER-BECK (1987) für Rasen gewünscht, weitgehend vermieden werden kann. Der nach jeder N-Düngung ermittelte Zuwachsanstieg, auch bei den beiden Langzeitdüngern, der vor allem im Hochsommer des 2. Beobachtungsjahres sehr ausgeprägt ausfällt (s. Abb. 10, 11 und 12), stützt die Beobachtungen von PRÜN (1981) jedenfalls nur sehr bedingt.

Als nicht erreichbar hat sich auch die Vorstellung erwiesen, daß der typische Jahresgang des Gräserzuwachses bzw. die Ausschläge im Schnittgutanteil durch ein geeignetes Düngungsmanagement oder entsprechende N-Düngerform beeinflusst und insbesondere die Zuwachskurve geglättet werden kann (HOPE/SCHULZ, 1983). Weder war das mit Hilfe der synth.-org. Langzeitdünger (D1, D2), noch durch entsprechende Abstufung der N-Zufuhr erreichbar (s. Abb. 10, 11 und 12). Ausweislich der Beobachtungsergebnisse werden wachstumsbremsende Wirkungen offenbar sehr viel besser durch das ohnehin unumgängliche Vertikutieren ausgelöst, das in der jeweiligen unmittelbaren Folgezeit von ca. 1 Woche die Zuwachsleistung generell und ganz erheblich drückt. Wie scharf der Einfluß des Vertikutierens werden kann, zeigte sich z. B. im 2. Beobachtungsjahr für die Variante N2 (40 g N/m²/Jahr) beim leichtlösl.-min. N-Dünger D4. Die Zuwachsleistung sank von 40 g TM/m² in der ersten Augustwoche nach dem Vertikutieren auf 10 g TM/m² in der Folgewoche (s. Abb. 11).

Die Folge "vertikutieren - düngen" trägt der wünschenswerten gleichmäßigen Verteilung der Zuwächse über die Vegetationsperiode hin (BURGHARDT, 1982) und insbesondere den unerwünschten Zuwachsausschlägen demnach besser Rechnung als das Düngungsmanagement. Im übrigen wird auch bei regelmäßiger Anwendung des Vertikutierens der vermehrten und unerwünschten Rasenfilzbildung vorgebeugt, so daß ein doppelter Effekt erreicht wird.

Möglicherweise sowohl unter dem Einfluß des Vertikutierens als auch der hohen Schnittintensität allgemein hat sich erwiesen, daß die typische Zuwachsabfolge "Sommermaximum (im Frühsommer) - Sommerdepression", nicht zwingend auftreten muß. Die nach Abschluß der generativen Entwicklungsphase wirksam werdende Sommerdepression tritt nach RAPPE (1964) speziell an Gräsern auf, sei auf endogene Faktoren zurückzuführen und unvermeidbar. In grasreichen Pflanzenbeständen des Wirtschaftsgrünlandes sind mehr

oder weniger ausgeprägte Sommerdepressionen außerhalb der höheren Berglagen - in denen der Zuwachsverlauf nach dem Sommermaximum in der Regel sukzessive bis zum Ende der Vegetationsperiode abnimmt - eine geläufige Erscheinung (VOIGTLÄNDER und JACOB, 1987). Auf den intensiv geschnittenen Rasen des hier beschriebenen Versuchs ist sie in ihrem typischen Verlauf demgegenüber nicht unbedingt erkennbar. Jedenfalls lag im 2. Beobachtungsjahr eine ausgesprochene Wachstumsdepression im Frühsommer (verstärkt durch die vergleichsweise niedrigen Temperaturen im Mai), also in der eigentlichen Schoßphase, der Wachstumshöhepunkt dagegen im Hochsommer (Juli), also schon in der postgenerativen Phase. Zweifellos dürften bei diesem Phänomen Witterungseinflüsse mitbestimmend gewesen sein, da die (bei hohen Temperaturen) erhöhten zusätzlichen Beregnungsmengen von Juni bis Sept. des 2. Beobachtungsjahres (1991, s. Abb. 1) sicher gute Mineralisationsbedingungen geschaffen haben, so daß der vermehrte Graszuwachs (insbesondere bei D1 und D2) im 2. Beobachtungsjahr erklärbar wird. Das ändert indes nichts an der Tatsache, daß die typische Wachstumskurve im 2. Beobachtungsjahr nicht erkennbar wird. Offenbar kann somit das Bestockungsverhalten der in den Versuchsbeständen vorhandenen Arten (*Agrostis* spp. und *Festuca rubra* ssp.) durch die intensive Behandlung (Vertikutieren, Tiefschnitt) nachhaltig, zumindest nach den im vorliegenden Versuch gewonnenen Beobachtungen nicht vorherbestimmbar beeinflusst werden. Alles in allem bedeutet dies auf jeden Fall, daß auch aufgrund des nicht exakt vorherbestimmbaren Verlaufs der Zuwachskurve bei Strapazierrasen während der Vegetationsperiode eine Glättung über das N-Düngungsmanagement nicht erreichbar ist.

Der N-Gehalt der erfaßten Pflanzensubstanz wird erwartungsgemäß während der Vegetationszeit von der Höhe der N-Gabe überwiegend signifikant beeinflusst. Das entspricht dem aus der Literatur vielfach Bekannten (MEHNERT *et al.*, 1984; SHEARD *et al.*, 1985; WESLEY *et al.*, 1988; SKIRDE, 1990). Generell sind die N-Gehalte mit (je nach N-Zufuhr) 3 bis 7% i. d. TS sehr hoch. Vor allem in Zusammenhang mit hohem N-Aufwand dürften sie indessen nicht ausschließlich Konsequenz der starken N-Zufuhr allein sein, sondern auch mit dem Pflanzen-Bestandescharakter in Verbindung stehen, in dem *Agrostis* spp. dominieren. Nach Beobachtungen von SCHWEIZER (1974) weisen Rasenbestände, in denen *Agrostis* spp. vorherrscht, vergleichsweise höhere N-Gehalte auf als in gleicher Weise mit Stickstoff versorgten Beständen, in denen *Agrostis*-Arten nicht vorkommen oder zumindest nicht bestandesbeherrschend sind.

Andererseits dürfte die bereits von JÜRGENS-GSCHWIND (1974) erwähnte Granulatgröße der beiden synth.-org. N-Düngertypen (D1, D2) von Bedeutung sein, da auch im vorliegenden Fall nicht völlig auszuschließen ist, daß Düngergranulate mit dem Mähgut erfaßt und somit die N-Gehalte zusätzlich erhöht worden sind. Die regelmäßig unmittelbar 2 bis 3 Tage nach der N-Düngung von Ureaform und Isodur deutlich ansteigenden N-Gehalte (s. Abb. 13) könnten hierfür ein Indiz sein. Die Auflösung der Düngergranulate vollzieht sich - anders als beim leichtlösl.-min. (D4) oder dem sehr fein vermahlenden natürl.-org. N-Dünger (D3) - auch nach Beregnung nur allmählich, was sich bei intensivem täglichen Schnitt damit als erheblicher Nachteil der synth.-org. N-Düngertypen erweist. Dies ist auch ein Grund dafür, daß oftmals in der Praxis Rasenschnittgut unmittelbar nach einer N-Düngung mit entsprechenden N-Düngerformen für 1 bis 2 Schnitte auf der Grünfläche belassen wird.

Auf der Basis der Grunddaten von Biomasse und N-Gehalt errechnen sich die **N-Entzüge** über das Schnittgut, um somit eine Aussage über den Nährstoffentzug mit der oberirdischen Pflanzensubstanz zu erhalten. Auch hier zeigen sich aufgrund der Abhängigkeit von den angefallenen Schnittgutmengen deutliche Unterschiede zwischen den geprüften N-Düngerformen und N-Mengen. Wenngleich im 2. Beobachtungsjahr bei allen N-Varianten analog zu den ebenfalls angestiegenen Schnittgutmengen insgesamt höhere N-Entzüge über das Schnittgut ermittelt wurden (s. Abb. 14), treten doch bei jeweils vergleichbarer N-Aufwandmenge signifikante Unterschiede zwischen den N-Düngertypen auf. So sind im 2. Beobachtungsjahr (1991) N-Entzüge über das Schnittgut bei Variante N1 zwischen 5.2 (D1) und 9.9 g N/m²/Jahr (D3), bei N2 zwischen 10.5 (D1) und 23.1 g N/m²/Jahr (D3) und bei N3 zwischen 23.4 (D1) und 37.1 g N/m²/Jahr (D3) festgestellt worden. Während bei D3 (natürl.-org. N-Dünger) und D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger) innerhalb jeder N-Stufe annähernd gleich hohe N-Entzüge über das Schnittgut (jahresbezogen) ermittelt wurden, zeigt sich bei den Langzeitdüngern ein differenziertes Bild. In beiden Beobachtungsjahren wurden mit Isodur (D2) in allen N-Stufen höhere N-Entzüge über das Schnittgut erreicht als bei Ureaform (D1). Entgegen den Befunden von HÄHNDEL (1987) sowie SKIRDE (1990), die allerdings mit nicht vergleichbarem N-Düngungsaufwand gearbeitet haben, ergeben sich in der vorliegenden Arbeit niedrigere N-Entzüge bei den N-Düngertypen D1 und D2. Es bleibt dahingestellt, ob nach einer längeren Versuchsdauer noch höhere N-Ausnutzungsraten von über 60% für die Langzeitdüngertypen (nach Unter-

suchungen von HUMMEL und WADDINGTON, 1981 sowie MEHNERT *et al.*, 1984) erreicht worden wären.

N-Ausnutzungsgrade von über 50% sind lediglich bei den Varianten N2 des natürl.-org. (D3) und leichtlösl.-min. N-Düngertyps (D4) aufgetreten. Mit 57.8% bei D3 bzw. 54.5% bei D4 liegen hier die günstigsten N-Ausnutzungsraten im 2. Versuchsjahr vor (s. Tab. 6). Bedingt durch diese unerwartet hohen N-Entzüge bei Anwendung des natürl.-org. N-Düngers (D3) muß auch bei dieser N-Düngerform, analog D4 (leichtlösl.-min. N-Dünger), von einer schnellen N-Freisetzung ausgegangen werden. Es ist freilich zu berücksichtigen, daß der feine Vermahlungsgrad von Hornmehl günstige Mineralisierungsmöglichkeiten bietet. Dagegen sind die N-Entzüge über das Schnittgut bei N1 und N3 der N-Düngerformen D2, D3 und D4 deutlich niedriger (zwischen 40 und 50%), bei Ureaform in allen drei N-Aufwandmengen sogar unter 30%.

Bei den wochenbezogenen N-Entzügen über das Schnittgut (s. Abb. 16 bis 18), läßt sich während der Vegetationszeit ein täglicher N-Entzug über das Schnittgut je nach N-Variante zwischen 0.05 und 0.3 g N/m² errechnen. Dabei sind die N-Entzüge über das Schnittgut bei Ureaform (D1) in den Varianten N1 und N2 vergleichsweise weniger scharf, beim natürl.-org. (D3) und vor allem beim leichtlösl.-min. N-Dünger (D4) am stärksten ausgebildet. Diese Befunde, insbesondere die höheren N-Entzüge über das Schnittgut bei Einsatz leichtlösl.-min. N-Düngerformen, stehen weitgehend in Übereinstimmung mit Angaben aus der Literatur (MEHNERT *et al.*, 1984; SHEARD *et al.*, 1985; HÄHNDEL, 1987; WESLEY *et al.*, 1988, SKIRDE, 1990;).

5.3 Einfluß der N-Düngerform und -menge auf den N-Austrag mit dem Sickerwasser sowie Beziehungen zu den N_{min}-Mengen

Die ermittelten N-Austräge mit dem Sickerwasser sind unabhängig von der N-Zufuhr bei allen vier geprüften N-Düngerformen und unter den vorliegenden Voraussetzungen hinsichtlich Standort, Witterung, Bodenaufbau und Pflanzenbestand ausschließlich auf die NO₃-N-Fraktion zurückzuführen (s. Abb. 24) und reihen sich somit in die Befunde von MITCHELL *et al.*, 1978, BROWN *et al.*, 1982 sowie BRAUEN *et al.*, 1990 ein. Eine NH₄⁺-Verlagerung in das Grundwasser, die nach MANCINO (1991) auf den sorptions-

schwachen und biologisch inaktiven Sandaufbauten von Rasentragschichten nicht auszu-schließen ist, muß eher bezweifelt werden. Aufgrund des hohen Sauerstoffgehaltes in der Rasentragschicht und des folglich zu erwartenden hohen Redoxpotentials dürfte eine rasche und nahezu vollständige Umwandlung von $\text{NH}_4^+\text{-N}$ zu $\text{NO}_3\text{-N}$ eintreten.

Andererseits sind in den zweijährigen Versuchen je nach N-Düngerform und N-Aufwandmenge unterschiedlich hohe **Nitratkonzentrationen** ermittelt worden. Insbesondere bei den Varianten N3 wurden im Mittel aller N-Düngertypen bis 430 mg NO_3/l Ende September 1991 gemessen (s. Abb. 20), dagegen bei N2 deutlich geringere $\text{NO}_3\text{-Konzentrationen}$ (Mitte Januar 1992 bis 27 mg NO_3/l) festgestellt. In N1 liegen die $\text{NO}_3\text{-Konzentrationen}$ nahe der Nachweisgrenze. Signifikante Unterschiede (bei $\alpha = 1\%$) zwischen den vier geprüften N-Düngern bestehen lediglich in Variante N3 (s. Abb. 22). Die beiden Langzeitdünger (D1, D2) weisen zu allen Meßterminen deutlich geringere $\text{NO}_3\text{-Konzentrationen}$ auf als der vom N-Aufwand (N3) her vergleichbare natürl.-org. (D3) und leichtlösl.-min. N-Dünger (D4). Jeweils gegen Ende der Vegetationsperiode erreichen die $\text{NO}_3\text{-Konzentrationen}$ ihren Höchststand. Bei D3 sind das 419 (1990) bzw. 565 mg NO_3/l (1991), bei D4 305 bzw. 862 mg NO_3/l . Bei Isodur (D2) sind jeweils nach der N-Düngung ebenfalls hohe $\text{NO}_3\text{-Konzentrationen}$ ermittelt worden, die 1990 bis auf 105 mg/l (Mitte Juli) und 1991 bis auf 378 mg/l (Ende Sept.) stiegen. Der Trinkwassergrenzwert von 50 mg NO_3/l wurde bei der höchsten N-Zufuhr (N3) nur durch die Ureaform-Düngung eingehalten. Analog dem Schnittgutaufkommen zeigt sich auch für die N-Auswaschung bei Ureaformstickstoff eine geringere N-Verfügbarkeit im Vergleich zu Isodur (HÄHNDEL, 1987).

Besonders deutlich wird dieser Zusammenhang bei den $\text{NO}_3\text{-Konzentrationen}$ der Varianten N2 ab Ende November 1991 (s. Abb. 21). Wenngleich keine signifikanten Unterschiede (bei $\alpha = 1\%$) zwischen den N-Düngerformen vorliegen, erreicht Isodur (D2) Mitte Januar 1992 einen Maximalwert von 49.7 mg NO_3/l , gefolgt vom natürl.-org. N-Dünger (D3) mit 42 mg NO_3/l . Aufgrund der niedrigen Temperaturen ab Ende Oktober 1991 (Bodenfrost!) dürfte nach der Herstdüngung im September 1991 nur noch ein Teil des Isodur-Stickstoffs mineralisiert worden sein, der Anfang Januar, bedingt durch kurzfristig mildere Temperaturen, schließlich ausgewaschen wurde. In diesem Fall wäre ein Verzicht bzw. eine Minimierung der N-Herbstgabe erforderlich gewesen. Dieser Sachverhalt läßt sich hingegen für die 1. Winterperiode nicht beobachten, hier führten

offenbar die noch guten Wachstumsbedingungen im Oktober 1990 dazu, daß der mineralisierte Stickstoff aus Isodur von den Graspflanzen besser verwertet wurde. Für diese Erklärung sprechen auch die im Oktober 1990 ermittelten geringen N_{\min} -Mengen von Isodur (s. Abb. 29). Andererseits sind die erhöhten NO_3 -Konzentrationen der Variante N2 des leichtlösl.-min. N-Düngers (D4) zur Juni/Juli-Wende 1990 auf die hohe Niederschlagsintensität zurückzuführen (s. Abb. 1). Somit ist die Gefahr einer raschen N-Auswaschung auch bei geringer N-Aufwandmenge gegeben.

Entsprechend den hohen NO_3 -Konzentrationen im Sickerwasser in den Varianten N3 von Isodur (D2), dem natürl.-org. (D3) und leichtlösl.-min. N-Düngertypen (D4) sind auch hier die **Gesamt-N-Austräge** (jahresbezogen) besonders hoch (s. Abb. 23). Sie betragen in beiden Beobachtungsjahren 2 bis 5% bei D2, 11 bis 12% bei D3 und 9 bis 13% bei D4. Mit Ausnahme dieser hohen, für die Sportrasendüngung nicht relevanten N-Aufwandmenge (N3) letzterer N-Düngerformen (D2, D3, D4) bestätigen die eigenen Untersuchungen die aus der Literatur bekannten Befunde von ANDRE (1986), BROWN *et al.* (1977b und 1982), ENGLISH *et al.* (1974), GROSS *et al.* (1990), MANCINO und TROLL (1990) sowie SKIRDE (1991), wonach nur geringe N-Auswaschungsraten ermittelt wurden. Allerdings muß entgegen HÄHNDEL und DRESSEL (1987) auch von den natürl.-org. N-Düngerstoffen, insbesondere Hornmehl, zumindest ab Jahres-N-Mengen von 40 g/m^2 eine ebenfalls hohe N-Auswaschungsgefahr vermutet werden. Andererseits bleibt bei hoher N-Zufuhr ($> 40 \text{ g N/m}^2/\text{Jahr}$) offen, ob möglicherweise noch häufigere Einzeldüngergaben der auswaschungsgefährdeten N-Dünger D3 und D4 das Risiko einer Verfrachtung löslicher N-Verbindungen mit dem Sickerwasser minimiert hätten.

Im Hinblick auf die **saisonale Abhängigkeit** treten erhöhte NO_3 -Konzentrationen, entsprechend den Ergebnissen von LAWSON und COLCLOUGH (1991) sowie SKIRDE (1990) vorwiegend in den späteren Herbstmonaten (November bis Dezember) auf, was letztendlich zu höheren Gesamt-N-Austrägen in der Vegetationsruhe führt. Dieser Gefahr unterliegen offenbar auch die synth.-org. N-Dünger, da bei warmen und feuchten Bodenverhältnissen im Sommer (Übergang Sommer/Herbst) noch eine entsprechende N-Freisetzung stattfindet. Demzufolge kommt der N-Düngung in diesem Zeitabschnitt (Herbstdüngung) eine besondere Stellung zu.

In Anlehnung an SKIRDE (1990) sollten demzufolge die Einzelmengen pro N-Düngung bei raschwirkenden N-Düngern 4 bis 6 g, bei reinen N-Langzeitformen (UF, IBDH) oder entsprechenden Produkten 8 bis 10 g und bei Kombinationen aus rasch- und langsamwirkenden N-Formen 6 bis 8 g N/m² nicht überschreiten. Bei dieser "sachgerechten N-Düngung" von Golfgrüns ist ein Düngungsmanagement bei synth.-org. Langzeitdüngern von mindestens 3 bis 4-maliger, bei den rascherwirkenden N-Düngerformen eine bis zu 8-malige Applikation pro Jahr empfehlenswert.

Den Ergebnissen vorliegende Untersuchungen zufolge besteht zwischen N-Austrag mit dem Sickerwasser und den N_{\min} -Mengen (g NO₃-N/m² und g NH₄⁺-N/m²) im Boden ein unmittelbarer Zusammenhang: Bei schwächerer oder mittlerer N-Zufuhr - in diesem Falle also 20 bzw. 40 g N/m²/Jahr (N1, N2) - bleiben die N_{\min} -Mengen mit stets weniger als 1.5 g/m² (= 15 kg/ha; s. Tab. A 24 und A 25) gering. HÄHNDEL und HERMANN (1990), HARDT *et al.* (1988 und 1989), SCHWEMMER (1990) sowie SKIRDE *et al.* (1990) beobachteten ähnliches. Starke N-Zufuhr (N3) führt indessen unabhängig von der N-Düngerform immer und jeweils besonders unmittelbar nach der Applikation zu erhöhten N_{\min} -Mengen, die wiederum stets auch mit entsprechend hohen N-Austrägen über das Sickerwasser gekoppelt sind. Diese Erscheinung war bei Isodur (D2) besonders deutlich ausgeprägt. In beiden Beobachtungsjahren wurden hier jeweils 4 Wochen nach der 2. N-Düngung Ende Juni - also in einer Zeit, in der aufgrund jahreszeitlich günstiger Temperaturen bei gleichzeitig reichlicher Wasserzufuhr in der Regel sehr gute Mineralisierungsbedingungen vorliegen - zwischen 8.1 und 9.3 g NO₃-N/m² (s. Tab. A 26 und A 28) in der Rasentragschicht (0 bis 25 cm) ermittelt und dementsprechend mit 105 und 378 mg NO₃/l hohe N-Austräge.

Für Ureaform (D1) wurde im 1. Beobachtungsjahr in der Variante N3 ein deutlich höherer (wenn auch nicht signifikanter) NH₄⁺-Austrag mit dem Sickerwasser beobachtet (s. Abb. 24). Es liegt die Vermutung nahe, daß dieser Vorgang mit den gleichfalls festgestellten, insgesamt hohen NH₄⁺-N-Mengen in der Rasentragschicht (s. Abb. 28) in Zusammenhang steht, die wiederum nach MENGEL (1984) auf die Prozesse der N-Freisetzung aus Ureaform zurückgeführt werden könnten.

Die Übereinstimmung von N_{\min} -Mengen und NO₃-Konzentrationen im Sickerwasser berechtigt freilich nicht, erstere zum Kriterium der Düngerbemessung oder Auswa-

schungsgefährdung (bzw. Nicht-Gefährdung) für Rasen zu erheben. Auf den hochdurchlässigen Rasentragschichten müssen vielmehr Humusgehalt, die Art des gesamten Tragschichtaufbaus, Wurzeltiefgang sowie Bewurzelungsintensität mitberücksichtigt werden (SKIRDE, 1990). Demzufolge vermögen die künstlichen Rasentragschichten erheblichen und offenbar nicht vorhersehbaren Einfluß auf die Mineralisierungsvorgänge im Boden auszuüben.

5.4 Bewertung der vereinfachten Nährstoffbilanzierung

Nach der vereinfachten N-Bilanz für die einzelnen N-Düngerformen und -mengen entsprach der in den Beobachtungsjahren mit den Aufwüchsen, dem Vertikutiergut und der Auswaschung abgeführte Stickstoff je nach N-Aufwand mengenmäßig 34 bis 79% der N-Zufuhr. Die große Spanne ist indessen offenkundig nicht nur aufwandbedingt. Wesentlich trägt hierzu auch die Schwierigkeit der Ermittlung des im Vertikutiergut enthaltenen Stickstoffs bei (s. Kap. 4.1.4), so daß insgesamt die Bilanz mit einem erheblichen Unsicherheitsfaktor versehen ist.

Dennoch fällt auf, daß zumindest tendenziell in allen drei N-Aufwandstufen bei Ureaform (D1) die niedrigsten (34 bis 49%), beim natürl.-org. (D3) und leichtlösl.-min. N-Dünger (D4) die höchsten N-Wiederfindungsraten (62 bis 79%) auftreten. Auf die N-Aufwandmengen bezogen erreichen die Varianten N3 mit Ausnahme von Ureaform die jeweils insgesamt besten N-Wiederfindungsraten, die beim natürl.-org. (D3) und leichtlösl.-min. N-Dünger (D4) zwischen 70 und 80% betragen. Allerdings muß bei der Beurteilung der Aufwandmengen N3 gegenüber N1 und N2 der höhere positive N-Überschuß berücksichtigt werden, was unter ökologischen Gesichtspunkten letztlich zu einer günstigeren Bewertung der N-Aufwandmengen von 20 (N1) und 40 g N/m²/Jahr (N2) führt. Für Ureaform hingegen ergibt sich bei N3 mit 35% im ersten und 42% im zweiten Beobachtungsjahr eine insgesamt ungünstige N-Wiederfindungsrate, was vorwiegend auf die unzureichend schlechte N-Ausnutzung über das Pflanzenmaterial zurückzuführen ist.

Unter Berücksichtigung der bis zum Versuchsende z. T. hohen N-Überschüsse muß die Erklärung über den Verbleib dieser Stickstoffmengen zunächst mit der N-Immobilisierung durch die organische Substanz des Bodens in Verbindung gebracht bzw. für deren Aufbau

eine nicht zu unterschätzende Bedeutung beigemessen werden. Beobachtungen von HÄHNDEL und HERMANN (1990) sowie SKIRDE (1989 und 1991) stützen diesen Erklärungsversuch. Folglich müßte zumindest bei den Varianten N3 der beiden Langzeitdünger der über die N-Düngung zugeführte hohe N-Überschuß von 31 (D2) bis 53 g/m²/Jahr (D1) in der Grasnarbe und im Humus der Rasentragschicht (0 bis 25 cm) immobilisiert worden sein.

Nach den vorliegenden Ergebnissen läßt sich jedoch während der eigentlichen Beobachtungsperiode bei keiner N-Düngerform oder -menge eine Zunahme der N_t- und C_t-Mengen in der Rasentragschicht beobachten (s. Tab. 9). Lediglich im Ansaatjahr (1989) erhöhte sich der N_t- und C_t-Gehalt der Rasentragschicht. Während der Versuchsperiode blieben die N_t-Mengen mit 1400 bis 2450 kg/ha (140 bis 245 g/m²) sowie die C_t-Mengen mit 12000 bis 16000 kg/ha (1200 bis 1600 g/m²), analog zu den Befunden von SKIRDE (1984), nahezu konstant. Die Beantwortung der an dieser Stelle zu erwartenden Frage nach der Herkunft der gemessenen hohen N_t- und C_t-Mengen vor Versuchsbeginn im Anlagejahr muß dahingestellt bleiben. Eine zusätzliche N-Zufuhr durch N₂-Fixierung ist bei derartigen Rasenbeständen auf jeden Fall nicht gegeben. Nicht auszuschließen ist, daß der nach Einbau der Rasentragschicht (April 1989) ermittelte N_t-Gehalt (0.02%) aufgrund von Probenahmetechnik oder eines Analysefehlers nicht korrekt ist.

Ebenso bleibt offen, wo die hohen N-Überschüsse, die aufgrund der vereinfachten N-Bilanz errechnet wurden, tatsächlich verbleiben. Die Akkumulation solch hoher N_t- und C_t-Mengen in der abgemagerten Rasentragschicht deutet unter den genannten Gesichtspunkten eher auf eine bisher unerwartet hohe biologische Aktivität solcher Flächen hin, wengleich eine solche Wertung zunächst Spekulation ist. Immerhin spricht auch das während der Versuchszeit enge C/N-Verhältnis von 7-9/1, das nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1982) den Mikroorganismen günstige Abbaubedingungen der organischen Substanz bietet, für diese Theorie.

Angesichts dieser unerwartet nicht angestiegenen N_t- und C_t-Mengen in der Rasentragschicht während der zwei Versuchsjahre weist auch diese Arbeit auf den von SKIRDE (1989) ermittelten Tatbestand hin, daß selbst sandreiche, sogar feinsandreiche Vegetationsschichten eine relativ geringe Anreicherungs-fähigkeit besitzen. Dazu sind auch Langzeitdünger verschiedenster Zusammensetzungen mittelfristig offensichtlich nicht imstande.

Aufgrund dieser Zusammenhänge kann im vorliegenden Fall ein gewisser Teil des verabreichten Düngernstickstoffs im Boden offenkundig als organisch gebundenes "ruhend" N-Depot angesehen werden. Es ist davon auszugehen, daß sich in diesen noch im Aufbau befindlichen Rasentragschichten in Abhängigkeit von den einzelnen Prüfvarianten ein tragschichtspezifischer Nährstoffpegel sowie eine entsprechende biologische Bodenaktivität erst nach Jahren einstellt, so daß mit der Zeit eine Senkung des Düngerbedarfs zu erwarten ist. Die Mobilisierung dieser "ruhend" lokalisierten N_f - und C_f -Mengen stellt dann freilich auf älteren Grüns ein unkalkulierbares Risiko dar, das es durch sachgerechte Behandlung zu verringern gilt (SKIRDE, 1991).

Dieses Phänomen wird auch bei der Beurteilung der Veränderungen der sonstigen **bodenchemischen Verhältnisse** in der ursprünglich abgemagerten Rasentragschicht deutlich. Hier ergab sich trotz zweijährig überhöhter P-, K-, Mg-Grunddüngung nur eine geringfügige Zunahme, so daß die P-, K- und Mg-Bodengehalte die von BÜRING (1984) geforderten Richtwerte noch gar nicht erreicht haben. Desgleichen hat die physiologisch sauer wirkende N-Düngung mit der leichtlösl.-min. N-Düngerform (D4), selbst bei der N-Aufwandmenge N3, zu keiner erkennbaren Absenkung des pH-Wertes geführt, was vermutlich dem hohen pH-Wert des Beregnungswassers (pH = 7.8) zuzuschreiben ist.

5.5 N-Düngung und Narbenqualität

Unter den gegebenen Versuchsbedingungen üben die geprüften N-Düngerformen auf die Merkmale "Gesamteindruck" und "Farbaspekt" differenzierte Wirkung aus. So erwies sich, daß ein zufriedenstellender "Sommer-Gesamteindruck" nach der Definition von GANDERT und BUREŠ (1991) speziell bei Ureaform (D1) in der Mehrzahl der Beobachtungsfälle erst ab N2, also 40 g N/m²/Jahr zu erwarten ist (s. Tab. 11), bei den natürl.-org. (D3) und insbesondere beim leichtlösl.-min. N-Dünger (D4) dagegen bereits ab N1 (20 g N/m²/Jahr). Die für die einzelnen N-Düngertypen nicht einheitlichen Applikationstermine hatten offenkundig keinen Einfluß auf den Gesamteindruck. Maßgebender war, daß aufgrund reichlicher Beregnung während der Sommerperiode das Wachstum zu keinem Zeitpunkt behindert war. Die einen guten "Sommer-Gesamteindruck" garantierenden N-Aufwandmengen gewährleisteten gleiches in der Periode der Winterruhe

indessen nur bei Isodur (D2), bei allen anderen geprüften N-Düngerformen dagegen nicht. In allen diesen Fällen bedarf es hoher N-Aufwandmengen ($80 \text{ g N/m}^2/\text{Jahr}$), sofern ein angemessener Gesamteindruck auch über die Winterperiode erhalten werden soll.

Eine nicht einheitliche Wirkung ergibt sich auch für den **Farbaspekt** (s. Tab. 12). Bei dem natürl.-org. (D3) sowie dem leichtlösl.-min. N-Dünger (D4) erwies sich, daß Farbveränderungen, speziell Farbvertiefungen während der Vegetationsperiode, unabhängig von der N-Aufwandmenge sofort nach der Applikation auftreten. Bei den synth.-org. N-Düngern (D1, D2) war eine rasche Farbwirkung dagegen nur bei höchster N-Aufwandbemessung (N3) zu beobachten. Zu ähnlichen Wirkungen hinsichtlich Gesamteindruck und Farbaspekt kommen im übrigen auch BURGHARDT (1982), HEMMERSBACH (1980), MÜHLSCHLEGEL und MEHNERT (1974), OPITZ von BOBERFELD (1980) sowie SKIRDE (1986 und 1989), was den Aussagegehalt der hier beschriebenen Beobachtungen insgesamt unterstreicht.

Hinsichtlich der **Deckungsgrade** (s. Abb. 32 bis 34) wird deutlich, daß zunehmende N-Gaben erwartungsgemäß Narbendichte und Farbtiefe fördern, übermäßigen Besatz mit Kräutern verhindern und ebenso den Artenanteil von *Agrostis* spp. ansteigen lassen. Ähnliches berichten auch EGGENS *et al.* (1989), GANDERT und BUREŠ (1991) sowie LODGE *et al.* (1991). Vor der damit zugleich zunehmenden Konkurrenzfähigkeit von *Agrostis* spp. weichen *Festuca rubra* ssp. zurück, wie auch von OPITZ von BOBERFELD *et al.* (1979) und SKIRDE (1986) beobachtet. Dieser Effekt tritt bei den natürl.-org. (D3) und leichtlösl.-min. N-Düngerformen (D4) bereits ab $40 \text{ g N/m}^2/\text{Jahr}$ (N2), bei den beiden Langzeitdüngern nachhaltig indessen erst bei $80 \text{ g N/m}^2/\text{Jahr}$ (N3) ein. Infolgedessen muß bei Ureaform (D1) und Isodur (D2) damit gerechnet werden, daß selbst bei mittlerem N-Aufwand (N2) *Poa annua*, unerwünschte Kräuter, Moose und Algen verstärkt einzuwandern vermögen.

Niedrige N-Düngergaben ($N1 = 20 \text{ g N/m}^2/\text{Jahr}$) haben bei allen geprüften N-Düngerformen zu steter Zunahme der Anteile von *Festuca rubra* ssp. geführt. Bei Isodur (D2) traten schon im 2. Beobachtungsjahr (Nov. 1991) für *Festuca rubra* ssp. Deckungsgrade bis zu 68% auf. OPITZ von BOBERFELD *et al.* (1979), die ähnliches beobachteten, begründen diese Erscheinung mit abnehmenden pH-Wert. Eine Reaktionsänderung ist im vorliegenden Fall jedoch nicht eingetreten (s. Tab. 9), so daß für diesen Vorgang die N-Versorgung als primär wirksame Einflußgröße angesehen werden muß.

Ursache vermehrter Einwanderung unerwünschter Kräuter dürfte bei vorliegenden Untersuchungen darüber hinaus zumindest bei den gering versorgten Varianten von N1 eher die schwach alkalische Reaktion in der Rasentragschicht sein, wie es auch von DEN ENGELSE (1970), HEMMERSBACH (1980), SCHÖNTHALER (1974) und SKIRDE (1970) beobachtet wurde. Für den natürl.-org. N-Dünger (D3) - im vorliegenden Fall Hornmehl - haben bereits SIEBER (1970) und SKIRDE (1970) ermittelt, daß fortgesetzte Anwendung dieses N-Düngers zur Verunkrautung strapazierter Rasennarben führt.

Die Ausbreitung der Art *Poa annua*, die ohnehin höhere Boden pH-Werte bevorzugt, wird nach Untersuchungen von OPITZ von BOBERFELD *et al.* (1979) und SKIRDE (1970) durch hohe N-Düngung begünstigt. In den vorliegenden Beobachtungen trat dieser Prozeß ebenfalls ein. Dabei ist offenbar die N-Düngerform von untergeordneter Bedeutung. Jedenfalls ergaben sich bei hohem N-Aufwand (N3) hohe *Poa annua*-Anteile zwischen 4 und 8% am Gesamtdeckungsgrad bei allen N-Düngerformen gleichermaßen. *Poa annua* war dabei selbst durch hohe *Agrostis* spp.-Anteile nicht zu verdrängen.

5.6 Zusammenfassende Wertung

Für die Erhaltung stapazier- und regenerationsfähiger Grasnarben ist intensive Pflege und Bewirtschaftung bekanntermaßen zwingend. Der N-Düngung kommt dabei besonderer Stellenwert zu. Die Untersuchungen weisen dazu aus, daß vergleichsweise "niedrige" N-Zufuhr von 20 g N/m²/Jahr (= 200 kg N/ha/Jahr) die Funktionsfähigkeit von Grünsnarben (zumindest bei Neuanlagen) unabhängig von der N-Düngerform nicht erhalten kann. Keine der geprüften N-Düngertypen erwies sich geeignet, niedriges N-Angebot von 20 g N/m²/Jahr zu kompensieren. Die N-Düngerform wird den gewonnenen Ergebnissen zufolge jedoch zu einem maßgeblichen Kriterium der N-Aufwandsbemessung im Hinblick auf den Schnittgutanfall. Ab mittleren N-Gaben (N2 = 40 g N/m²/Jahr) sind hier Langzeitdünger, insbesondere Ureaform den übrig geprüften N-Düngern insofern überlegen, als das (entsorgungsbedürftige) Schnittgutaufkommen deutlich gesenkt werden kann. Freilich bedeutet geringeres Schnittgutaufkommen bei annähernd gleichen N-Gehalten in der Pflanzensubstanz andererseits auch geringeren N-Entzug. Das wiederum wirft die Frage nach dem Verbleib des dann über den Aufwuchs nicht entzogenen Stickstoffs auf, der sich

weder im Boden der Rasentragschicht noch im Sickerwasser wiedergefunden hat.

Auf das N-Auswaschungsverhalten bezogen ist hohe N-Zufuhr (N3), wie sie ausweislich gewonnener Versuchsergebnisse für die Erhaltung der Funktionsfähigkeit von Grünsnarben eigentlich erforderlich wäre, über die hier geprüften und in der Praxis üblichen (preisgünstigen) leichtlösl.-min. N-Düngerform nicht tolerierbar. Die Zufuhr muß in diesem Falle und aus ökologischen Gründen auf Jahresaufwandmengen bis max. 40 g N/m² (N2) begrenzt bleiben, um zu verhindern, daß die NO₃-Gehalte im Sickerwasser 50 mg/l übersteigen. Gleiches gilt für den hier geprüften natürl.-org. N-Dünger.

Die aus arbeitswirtschaftlichen Gründen vorteilhafte, jedoch kostenaufwendige Applikation synth.-org. N-Dünger bietet sich im Hinblick auf die hier - auch bei hoher N-Zufuhr (80 g N/m²/Jahr) - gemessenen sehr niedrigen N-Austräge, geringen N_{min}-Mengen und geringen Aufwuchsmengen an, setzt andererseits mit Blick auf die Rasennarbenqualität aber sehr hohe N-Aufwandmengen, die im übrigen nicht narbenschädigend wirken, voraus. Die Frage nach dem Verbleib des dabei zugeführten Stickstoffs ist jedoch bei diesen N-Düngertypen nicht vollständig geklärt. Da hier, wie vorliegende Untersuchungen zeigen, wesentlich geringere N-Austräge mit dem Sickerwasser wiedergefunden wurden, der N-Export über das Schnittgut gering ist sowie die N_r-Vorräte während der Versuchsdauer annähernd konstant blieben, sind bei diesen N-Düngerformen gasförmige N-Verluste nicht auszuschließen.

Denitrifikation und Volatilisation wurden freilich in keinem Fall geprüft. Das Langfristverhalten synth.-org. N-Dünger ist deshalb nach zweijähriger Beobachtung noch nicht endgültig abschätzbar, permanenter Einsatz solcher Langzeitdünger ist nach derzeitigem Kenntnisstand noch mit Vorsicht zu bewerten. Gleiches gilt für die Applikation synth.-org. N-Düngerformen im Spätherbst, in den unvorhersehbare Mineralisationsbedingungen nach Eintritt der Vegetationsruhe (erhöhte Temperaturen) zu Auswaschungsverlusten führen können. Entgegen allgemeiner Empfehlung erscheinen deshalb hier wie bei den anderen N-Düngerformen auch geringere aber dafür mehrmalige Teilgaben pro Jahr angeraten zu sein. Denkbar ist auch der Einsatz kombinierter N-Dünger. Dies wäre in der Form praktikabel, daß die jeweils erste (Mitte März/Anfang April) und letzte N-Düngung im Jahr (Mitte/Ende Sept.) mit einem leichtlösl.-min. N-Dünger und die Sommerdüngungen mit einem Langzeitdünger ausgebracht werden. Um die ökologischen Wirkungen der Langzeitdünger endgültig abschätzen zu können, bedarf es weiterer Untersuchungen.

6. Zusammenfassung

Bei einer normgemäß aufgebauten Rasentragschicht eines Golfgrün-Rasens sollte der Einfluß von vier N-Düngerformen und differenzierter N-Aufwandhöhe auf die N-Umsetzung in der Pflanze und im Boden beobachtet werden. Verfolgt wurden die N-Entzüge über das Schnittgut, die NO_3 -Verfrachtung mit dem Sickerwasser sowie die Veränderungen im C/N-Verhältnis in der Rasentragschicht. Geprüft wurden zwei schwerlösl. synth.-org. N-Dünger (Ureaform, 38% N; Isodur, 32% N), ein natürl.-org. N-Dünger (Hornmehl, 10% N) sowie ein leichtlösl.-min. N-Dünger (Ammonsulfatsalpeter, 26% N). Der N-Aufwand war gestaffelt. Er betrug auf Teilgaben verteilt 20 (N1), 40 (N2) und 80 g N/m²/Jahr (N3). Die über zwei Jahre geführten Untersuchungen (April 1990 bis März 1992) wurden an einer speziell erbauten, in 48 Einzelparzellen zu je 3 m² gegliederten Golfgrün-Lysimeteranlage durchgeführt. Die Grasnarbe war aus einer Ansaatmischung hervorgegangen, die aus ausgewählten Sorten von *Agrostis* spp. und *Festuca rubra* ssp. zusammengesetzt war. Das Schnittgut wurde mittels eines handgeführten Grünmähers parzellenweise in 2-tägigem Rhythmus bei einer Schnitthöhe von 6 mm entfernt, getrocknet und auf den N-Gehalt analysiert. Die Sickerwasserentnahme erfolgte wöchentlich, die Probenahme zur N_{\min} -Bestimmung (NO_3 -N und NH_4^+ -N) in der Rasentragschicht (0 bis 25 cm) in 14-tägigem Abstand. Ergänzend sollte die Wirkung der unterschiedlich hohen N-Aufwandmengen der N-Düngerformen auf den Zuwachsverlauf des Pflanzenbestandes, die Bestandeszusammensetzung sowie auf die Rasenmerkmale "Gesamteindruck" und "Farbaspekt" geprüft werden. Ziel war es, Daten für die N-Düngung von Golfgrüns und die Zweckmäßigkeit der Anwendung insbesondere der synth.-org. N-Dünger zu erhalten.

Die Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

- Die N-Düngerform nimmt signifikanten Einfluß auf das Schnittgutaufkommen. Die niedrigsten Schnittgutmengen ergaben sich beim Einsatz der Langzeitdünger und hier vorrangig bei Ureaform. Sowohl bei den Langzeitdüngern als auch beim natürl.-org. und leichtlösl.-min. N-Düngertyp erhöhte sich das Schnittgutaufkommen im 2. Beobachtungsjahr deutlich, so daß hier ein Kumulationseffekt in der N-Wirkung zu unterstellen ist.

- Unabhängig von N-Aufwandbemessung und N-Düngertyp steigt der Graszuwachs unmittelbar nach der N-Düngung stets deutlich an. Vertikutieren führt dagegen regelmäßig und sprunghaft zum Rückgang der Schnittgutmenge in der Folgewoche.
- Im Mittel aller vier N-Düngerformen und beider Beobachtungsjahre betragen die N-Gehalte i. d. TS. des Schnittgutes bei N1 4%, bei N2 4.5%, bei N3 5.5%.
- N-Entzüge über das Schnittgut werden vorrangig vom Schnittgutaufkommen bestimmt. Die Unterschiede zwischen den N-Düngertypen innerhalb einer N-Stufe sind z. T. signifikant. Größenordnungsmäßig entspricht der N-Entzug im Mittel aller N-Varianten bei Anwendung von Ureaform 23%, bei Isodur 36%, beim natürl.-org. N-Dünger 46% und beim leichtlösl.-min. N-Düngertyp 47% der mit der Düngung zugeführten N-Menge.
- Die Sickerwassermenge im 1. Versuchsjahr betrug ca. 38%, im 2. 25% der Jahressumme aus Niederschlags- und Beregnungswasser. Trotz künstlicher Beregnung in den Sommermonaten fallen die Hauptmengen der Sickerungen in der Vegetationsruhe an.
- Bei einer N-Zufuhr von 80 g/m²/Jahr (N3) treten N-Auswaschungen > 50 mg NO₃/l Wasser auf.
- Die NO₃-Konzentrationen im Sickerwasser sind beim natürl.-org. N-Dünger und leichtlösl.-min. N-Düngertyp signifikant höher als bei den beiden geprüften synth.-org. N-Düngern. Die NO₃-Konzentrationen im Sickerwasser werden mit Ausnahme des Langzeitdüngers Ureaform regelmäßig durch die einzelnen N-Düngungsmaßnahmen unmittelbar beeinflusst.
- Der Gesamt-N-Austrag mit dem Sickerwasser ist bei den Varianten N3 der natürl.-org. und leichtlösl.-min. N-Düngerformen am höchsten. Er beträgt bis zu 10 g N/m²/Jahr (= 13% der zugeführten N-Menge). Die Hauptmengen der N-Austräge fallen vorwiegend in der Vegetationsruhe an und werden fast ausschließlich vom NO₃-N-Anteil bestimmt.
- Die N_{min}-Mengen der Rasentragschicht werden von der N-Düngerform beeinflusst. Die Einflüsse werden jedoch erst bei starker N-Zufuhr (80 g N/m²/Jahr) deutlich. Bei Ureaform werden die N_{min}-Mengen in Variante N3 hauptsächlich vom NH₄⁺-N-Anteil bestimmt, bei den übrigen N-Düngertypen vom NO₃-N. Bei allen vier N-Düngern steigen die N_{min}-Mengen nach einer N-Düngung gleichermaßen an.

- Die P-, K-, Mg-Gehalte in der ursprünglich abgemagerten Rasentragschicht erhöhen sich unter dem Einfluß der mineralischen Grunddüngung nur leicht. Der N_t-Gehalt liegt nach 3 Beobachtungsjahren bei 0.06%, der C_t-Gehalt ist auf 0.38 bis 0.48% angestiegen.
- Die vereinfachte N-Bilanz weist für alle N-Varianten der vier N-Düngerformen in beiden Versuchsjahren einen deutlichen N-Überschuß (= positive N-Bilanz) aus. Er entspricht größenordnungsmäßig in allen drei N-Aufwandmengen bei Ureaform über 50%, bei Isodur knapp unter 50% und bei dem natürl.-org. und leichtlösl.-min. N-Düngertyp lediglich 22 bis 32% des zugeführten Stickstoffs.
- Die Rasenmerkmale "Gesamteindruck" und "Farbe" werden mit steigendem N-Aufwand verbessert. Bei den Langzeitdüngern wirkt Isodur besonders begünstigend. Er ist Ureaform überlegen. Der natürl.-org. und der leichtlösl.-min. N-Dünger reagieren nach jeder N-Düngung mit einer rasch verbesserten Merkmalsausprägung.
- In den Varianten N1 aller vier N-Dünger nahm gegenüber dem Ausgangsbestand der Anteil von *Festuca rubra* ssp. bis zur Dominanz zu. Außerdem wanderten insbesondere *Poa annua*, bei Ureaform, Isodur und dem natürl.-org. N-Dünger darüberhinaus unerwünschte Kräuter, Algen und Moose ein. Der ursprünglich hohe Anteil von *Agrostis* spp.(80%) ließ sich beim natürl.-org. und leichtlösl.-min. N-Düngertyp erst ab N2 (40 g N/m²/Jahr), bei den Langzeitdüngern erst ab N3 (80 g N/m²/Jahr) erhalten.

Aus den Untersuchungen läßt sich folgern:

- Niedrige N-Zufuhren (20 g/m²/Jahr) beeinträchtigen unabhängig von der N-Form die Funktionsfähigkeit einer Grünsnarbe.
- Bei hohen N-Aufwandmengen (40 g/m²/Jahr und höher) wird die N-Düngerform im Hinblick auf das Schnittgutaufkommen zum maßgeblichen Kriterium der N-Aufwandsbemessung. Langzeitdünger (synth.-org. N-Dünger) sind hier anderen N-Düngerformen überlegen. Allerdings ist die N-Ausnutzung über das Schnittgut und damit der N-Export deutlich niedriger.

- Die N-Auswaschung steigt bei den natürl.-org. und leichtlösl.-min. N-Düngern bei hoher N-Zufuhr sehr stark an. Die N-Gaben müssen bei diesen Düngerformen daher auf max. 40 g N/m²/Jahr begrenzt bleiben.
- Die N-Auswaschungsverluste der synth.-org. N-Dünger sind selbst bei hohem N-Aufwand (bis 80 g N/m²/Jahr) sehr gering. Eine Mengenbegrenzung auf weniger als 80 g N/m²/Jahr erscheint somit zumindest im Hinblick auf Auswaschungsverluste nicht zwingend. Allerdings erscheinen auch bei den Langzeitdüngern geringere aber dafür mehrmalige Teilgaben sinnvoll.
- Aufgrund unvorhersehbarer Mineralisationsbedingungen in der Vegetationsruhe kann eine Spätherbstgabe bei allen N-Düngertypen nicht bedenkenlos empfohlen werden.
- Da Denitrifikation sowie Volatilisation nicht untersucht wurden, andererseits die Stickstoff-Wiederfindungsraten der synth.-org. N-Düngerformen jedoch deutlich geringer waren als die der natürl.-org. und leichtlösl.-min. N-Düngertypen, wird den gasförmigen Verlusten hohe Bedeutung beigemessen.

7. Summary

The effects of 4 different types of nitrogen fertilizer at different application rates on both the nitrogen content of turf grass and nitrogen leaching into soil were examined. This was accomplished by measuring the nitrogen content of grass clippings, by determining the NO_3 losses in the leached water, and by measuring the changes in the C/N ratio in the root zone layer. Two slow release fertilizers (Ureaform: 38% N, IBDU: 32% N), one natural organic fertilizer (horn meal: 10% N) and one quick release fertilizer (ammonium nitrate: 26% N) were tested. The application rates used were 20 (N1), 40 (N2) and 80 g N $\text{m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ (N3). The experiment was conducted over a two year period (April 1990 until March 1992) on a specially designed research golf green. The golf green was subdivided into 48 3 m^2 plots. The plots were seeded with a mixture of selected varieties of *Agrostis* spp. and *Festuca rubra* ssp. The clippings were collected every 2 days with a hand operated lawn mower adjusted to a clipping height of 6 mm. The clippings were dried and analyzed for nitrogen content. Weekly samples of leached water were collected. Soil cores to determine N_{\min} ($\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4^+\text{-N}$) in the root zone layer (0 - 25 cm) were taken every second week. Qualitative assessments of turf characteristics such as "general impression" and "colour aspect", in addition to determining the composition of grass species within each treatment plot were also made. The overall aim of this study was to establish optimum dates for the application of nitrogen fertilizers, particularly slow release fertilizers, to golf greens.

The results of the study are as follows:

- The form of nitrogen fertilizer significantly affected the quantity of clippings. The application of slow release fertilizers resulted in the lowest quantity of clippings, especially when Ureaform was applied. The quantity of clippings in these plots was significantly higher in the second year of observation, which suggests that there was an accumulation of nitrogen in the slow release fertilizer treated plots.
- Regardless of the application rate and type of nitrogen fertilizer used, there was a pronounced growth spurt in the grass immediately after nitrogen application. However, there was a consistent drop in the quantity of clippings the week after verticutting.

- For all 4 types of fertilizer, the mean nitrogen content of the dried clippings was 4% for N1, 4.5% for N2 and 5.5% for N3, over the two years of observation.
- Nitrogen losses through the clippings were dependent upon the quantity of the clippings. Significant differences between the types of fertilizer within application rates were detected in some cases. Nitrogen losses also corresponded, on average, to the amount of fertilizer applied during fertilization. This was true for all 3 application rates. The mean percent of initial nitrogen added that was recovered in the clippings, averaged over the 3 application rates, was 23% for Ureaform treated plots, 36% for IBDU treated plots, 46% for natural organic fertilizer treated plots and 47% for the quick release fertilizer treated plots.
- The quantity of leachate amounted to 38% of the total rainfall and irrigation water in the first experimental year, and to 25% in the second experimental year. In spite of artificial irrigation during the summer months, the highest quantities of leachate occurred during the non-growing season.
- When nitrogen application rates of $80 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (N3) were used, the leachate yielded more than $50 \text{ mg NO}_3/\text{l}$ water.
- The NO_3 levels in the leachate were significantly higher for plots which were treated with natural organic fertilizer and the quick release fertilizers. The levels of NO_3 in the leachate were always influenced by previous applications of nitrogen fertilizers, except when the slow release fertilizer Ureaform was applied.
- Natural organic and quick release nitrogen fertilizers applied at the highest rate (N3) resulted in the highest total losses of nitrogen in the leachate. Concentrations as high as $10 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (= 13% of initial nitrogen applied) were detected. The greatest losses of nitrogen occurred mainly during the non-growing season. Almost all of the nitrogen recovered in the leachate was in the form of $\text{NO}_3\text{-N}$.
- The N_{\min} levels in the root zone layer were influenced by the type of nitrogen fertilizer. However, the effects were only significant at the highest application rate (N3). When Ureaform was applied at N3 rates, the N_{\min} recovered in the root zone layer was mostly in the form of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, whereas $\text{NO}_3\text{-N}$ was the main form of nitrogen found in plots treated with the other nitrogen fertilizers. For all 4 nitrogen fertilizers there was an equal increase in the N_{\min} levels after the application of fertilizer.

- Over the course of the 3 year research period, levels of P, K and Mg in the root zone layer increased only slightly. At the end of the research period the N_i content in the root zone layer was 0.06%, and the C_i content increased to 0.48%.
- The simplified N balance showed a definite nitrogen surplus for all application rates of the 4 nitrogen fertilizers over the two year period. For the 3 application rates, the surplus amounted to over 50% of initial nitrogen applied for Ureaform treated subplots, slightly less than 50% for IBDU treated subplots and between 22 and 32% for natural organic and quick release fertilizer treated plots.
- The turf characteristics such as "general impression" and "colour" were improved when increasing quantities of nitrogen were applied. IBDU, being a slow release fertilizer, was especially effective and was superior to Ureaform. The application of natural organic and quick release fertilizers resulted in a rapid improvement in these characteristics.
- The application of all 4 fertilizers at N1 application rates lead to a population shift in the grass species that favoured *Festuca rubra* ssp. *Poa annua* invaded when Ureaform was applied, and subplots treated with IBDU and organic fertilizers were invaded also by weeds, algae and mosses. It was possible to maintain the originally high proportion of *Agrostis* spp. (80%) by applying natural organic fertilizers and quick release fertilizers at N2 rates ($40 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) or higher, or by applying slow release fertilizers at N3 rates ($80 \text{ g N m}^{-1} \text{ yr}^{-1}$).

The following can be concluded from the investigations:

- Low applications of nitrogen ($20 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) were not effective in promoting growth and vigour of turf grass, regardless of the type of nitrogen fertilizer.
- To keep the amount of clippings as little as possible, the nitrogen form becomes an essential criterion, especially when the amount of nitrogen increases to $40 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ and more. In this case slow release fertilizers are superior to other forms of nitrogen fertilizers. The nitrogen recovery in the clippings and thus the N-export are obviously lower.

- The leaching of nitrogen increased considerably when large quantities of natural organic and quick release fertilizers were applied. Therefore application rates of these types of fertilizers should not exceed $40 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$.
- The nitrogen losses through leaching of slow release fertilizers were low even at the highest application rate ($80 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$). Thus it is apparently not necessary to limit application rates of these fertilizers to less than $80 \text{ g N m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, at least in terms of nitrogen leaching. Nonetheless, slow release fertilizers should be applied several times in smaller quantities to be most effective.
- Since the conditions for mineralization cannot be predicted in the non-growing period, late fall nitrogen fertilization cannot be recommended.
- Even though denitrification and volatilization rates were not measured in this study, the low nitrogen recovery rates of the slow release fertilizers compared to those of natural organic and quick release types suggest that losses due to these processes may be of great importance.

8. Literaturverzeichnis

- AGNEW, M.L., 1992: Natural organic nitrogen sources. *Golf Course Management*, März 1992, 70-75.
- ALEXANDER, A., 1989: Modern trends in the application of slow release fertilizers. *Proceedings from the Golf Course Europe, Wiesbaden, Germany.* 04.-06. 10. 1989.
- ALEXANDER, A. und H.-U. HELM 1990: Ureaform as a Slow Release Fertilizer: A Review. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 153, 249-255.
- ANDRE, W., 1986: Nitratausträge aus einer Rasentragschicht gemäß DIN 18035 T 4 nach Einsatz verschiedener Düngemittel. *Rasen-Turf-Gazon* 17, 38-43.
- AUFHAMMER, W., K.-G. FEDEROLF, H. KEMPF, E. KÜBLER und H. STÜTZEL, 1989: Variabilitätsursachen und Aussagemöglichkeiten der N_{min} -Methode. *Landwirtsch. Forschung* 42, 281-292.
- BARRACLOUGH, D., E.L. GREENS, G.P. DAVIES and J.M. MAGGS, 1985: Fate of fertilizer nitrogen. III. The use of single and double labelled ^{15}N ammonium nitrate to study nitrogen uptake by ryegrass. *J. Soil Sci.* 36, 593-603.
- BEARD, J.B., 1973: *Turfgrass: Science and Culture*. Verlag Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., USA, 658 S.
- BEARD, J.B., 1982: *Turf Management for Golf Courses*. Macmillan Publ. Co., New York, USA, 642 S.
- BENEDIKT, H., 1982: Organische Rasendüngung. *Neue Landschaft* 27, 615-616.
- BOCKSCH, M., 1992: Rasenschnittgutanfall und dessen Wirkung auf Sportrasen, in Abhängigkeit der N-Zufuhr. Diplomarbeit, Univ. Hohenheim.
- BOEKER, P., 1964: Die Verbreitung der wichtigsten Grünlandpflanzen Nordrhein-Westfalens in Abhängigkeit vom pH-Wert. *Forsch. u. Ber. Reihe B.*, H. 10, 211-230.
- BOEKER, P., 1974: Die Wurzelentwicklung unter Rasengräserarten und -sorten. *Rasen-Turf-Gazon* 5, 1-3, 44-47, 100-105.
- BOEKER, P., 1982: Rasen oder Wiese. *Rasen-Turf-Gazon* 13, 55-59.
- BOWMANN, D.C., J.L. PAUL, W.B. DAVIS and S.H. NELSON, 1987: Reducing ammonia volatilization from Kentucky bluegrass turf by irrigation. *Hortic. Sci.* 22, 84-87.

- BOWMANN, D.C. and J.L. PAUL, 1992: Foilar absorption of urea, ammonium, and nitrate by Perennial ryegrass turf. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117, 75-79.
- BRAUEN, S.E. and J.L. NUS, 1989: Influence of nitrogen source on nitrogen recovery and quality of creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera* 'pennncross'). 205-207. In H. Takatoh (ed.) *Proc 6th Int. Turfgrass Research Conf.*, Tokyo, Japan. 31.July-05.August.
- BRAUEN, S.E., J.L. NUS, R.L. GROSS and G.K. STAHNKE, 1990: Testing nitrate leaching from turfgrass sand lysimeters. *Agronomy Abstracts*, Okt., S. 170.
- BROWN, K.W., R.L. DUBLE and J.C. THOMAS, 1977a: Nitrogen losses from golf greens. *USGA Green Section Record* 15 (1), 5-8.
- BROWN, K.W., R.L. DUBLE and J.C. THOMAS, 1977b: Influence of management and season on fate of N applied to golf greens. *Agron. J.* 69, 667-671.
- BROWN, K.W., J.C. THOMAS and R.L. DUBLE, 1982: Nitrogen source effect on nitrate and ammonium leaching and runoff losses from greens. *Agron. J.* 74, 947-950.
- BRÜGELMANN, J., 1991: Golf auf dem Wege zum Sport für alle? Vortrag anlässlich der Parallelveranstaltung "Informationsbörse Golf - Anlage und Pflege" im Rahmen des 12. Internationalen Kongresses "Freizeit, Sport- und Bäderanlagen", Köln. 06. bis 09.11. 1991.
- BSA (Bundessortenamt), 1992: Beschreibende Sortenliste für Rasengräser. Verlag Alfred Strothe, 104 S.
- BÜRING, W., 1979: Folgerungen aus Bodenuntersuchungsergebnissen für die Nährstoffversorgung belasteter Rasenflächen. *Z. für Vegetationstechnik* 2, 52-59.
- BÜRING, W., 1984: Bewertung der Nährstoffgehalte von Sportrasenböden in der Bundesrepublik Deutschland 1973-1982. *Z. für Vegetationstechnik* 7, 47-55.
- BURGHARDT, H., 1982: Terminfragen bei der Rasendüngung. *Rasen-Turf-Gazon* 13, 22-27.
- BURGHARDT, H., 1984: Qualitätskriterien für Rasendüngemittel. *Rasen-Turf-Gazon* 15, 40-47.
- BURGHARDT, H. und K. ELLERING, 1987: Einfluß von Düngerform und Jahreswitterung auf die Nährstoffversorgung des Rasens. *Rasen-Turf-Gazon* 18, 72-77.
- CARROLL, M.J. and A.M. PETROVIC, 1991: Nitrogen, potassium, and irrigation effects on water relations of Kentucky bluegrass leaves. *Crop Sci.* 31, 449-453.

- CHRISTIANSON, C.B., M.F. CARTER and L.S. HOLT, 1988: Mineralization and nitrification of ureaform fertilizers. *Fertilizer Research* 17, 85-95.
- CISAR, J.L., R.J. HULL, D.T. DUFF and A.J. GOLD, 1985: Turfgrass nutrient use efficiency. S. 115. In *Agronomy abstracts*. ASA, Madison, WI.
- COHEN, S.Z., S. NICKERSON, R. MAXEY, A. DUPUY Jr. and J.A. SENITA, 1990: A ground water monitoring study for pesticides and nitrates associated with golf courses on Cape Cod. *Ground Water Monitoring Review* 10, 160-173.
- COLBOURN, P., 1985: Fertilizer N: Where does it all go? - Paper presented to National Agric. Conf. "Better use of nitrogen - the prospects for winter cereales", 23. Januar, 1-6. Zitiert in: Jürgens-Gschwind, S. und T.R. Owen, 1986.
- CZERATZKI, W., 1973: Die Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. *Landbauforsch. Völkenrode* 23, 1-18.
- DEN ENGELSE, R., 1970: Fragen der Rasendüngung - eine Literaturübersicht. *Rasen-Turf-Gazon* 1, 54-55.
- DGV (Deutscher Golf Verband e. V.), 1992: Mitgliederbestandserhebung am 30.09.1992.
- DNA (Deutscher Normenausschuss), 1974: DIN 18035, Blatt 4, "Sportplätze - Rasenflächen." Beuth-Verlag, Berlin und Köln.
- DRESSEL, J. und S. JÜRGENS-GSCHWIND, 1985: Zur Nitratmobilität im Boden anhand von Lysimeterergebnissen und Profiluntersuchungen. *Landwirtsch. Forsch.* 41, Kongreßband 1984, 315-325.
- DUBLE, R.L., K.W. BROWN and J.C. THOMAS, 1978: Increase fertilizer efficiency and reduce nutrient loss. *The Golf Superintendent* 46, 28-31.
- EGGENS, J.L., C.P.M. WRIGHT and K. CAREY, 1989: Nitrate and ammonium nitrogen effects on growth of Creeping bentgrass and Annual bluegrass. *HortScience* 24, 952-954.
- ENGLISH, K.R., P.R. HENDERLONG and R.H. MILLER, 1974: The effects of nitrogen source, rate, and frequency of application on Creeping bentgrass (*Agrostis palustris* L., var. Pennncross). *Research Summary 79*, Ohio Agricultural Research and Development Center, Wooster. Sept., 13-17.
- EPPEL, J. und R. TRUNK, 1992: Nährstoffauswaschung bei Rasensportflächen. *Deutscher Gartenbau* 46, 412-417.
- FINCK, A., 1979: Dünger und Düngung - Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. Verlag Chemie, Weinheim, New York, 442 S.

- FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.), 1990 : Richtlinie "Bau von Golfplätzen". Bonn, 20 S.
- FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.), 1992: "RSM 92 Regel-Saatgut-Mischungen Rasen 92". Bonn, 14. Aufl., 32 S.
- FRÜCHTENICHT, K., J. HEYN, H. KUHLMANN, L. LAURENZ und S. MÜLLER, 1993: Pflanzenernährung und Düngung. In: Faustzahlen für die Landwirtschaft und Gartenbau, Verlagsunion Agrar, Münster, 12. Aufl., 254-295.
- GANDERT, K.-D., F. BUREŠ, 1991: Handbuch Rasen. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin. 1. Aufl., 364 S.
- GERON, C.A. and T.K. DANNEBERGER, 1990: Influence of cultural practices on movement of nitrate in turf. Agronomy Abstracts, Okt., S. 174.
- GOLD, A.J., W.M. SULLIVAN and R.J. HULL, 1989: Influence of fertilization and irrigation practices on waterborne nitrogen losses from turfgrass. United States Environmental Protection Agency. Integrated Pest Management For Turfgrass and Ornamentals, 143-152
- GROSS, C.M., J.S. ANGLE and M.S. WELTERLEN, 1990: Nutrient and sediment losses from turfgrass. J. Environ. Qual. 19, 663-668.
- HÄHNDEL, R., 1986: Langsamwirkende Stickstoffdünger - ihre Eigenschaften und Vorteile. BASF-Mitteilungen für den Landbau 4/86, 1-78.
- HÄHNDEL, R., 1987: Stickstoff-Wirkung und Verwertung bei Rasendüngung mit IBDH- und Ureaform-Stickstoff. Z. für Vegetationstechnik 10, 139-145.
- HÄHNDEL, R. und J. DRESSEL, 1987: N-Aufnahme von Rasen und N-Auswaschung bei Verwendung verschiedener Langzeitdünger im Gefäßversuch. Rasen-Turf-Gazon 18, 48-50.
- HÄHNDEL, R. und P. HERMANN, 1990: Nitratgehalte in Unterböden von Rasenflächen. Z. für Vegetationstechnik 13, 21-24 und S.165.
- HALEVY, J., 1987: Efficiency of isobutylidene diurea, sulfur-coated urea, and urea plus nitrapyrin, compared with divided dressing of urea, for dry matter production and nitrogen uptake of ryegrass. Exp. Agric. 23, 167-179.
- HARDT, G., H. SCHULZ und H. JACOB, 1988: N_{\min} -Gehalte unter Golffrasen. Rasen-Turf-Gazon 19, 47-53, 80-87.
- HARDT, G. und H. SCHULZ, 1989: Vergleichende N_{\min} -Untersuchungen unter einer Sportrasenfläche. Z. für Vegetationstechnik 12, 59-62.

- HARTGE, K.H., 1989: Die physikalische Untersuchung von Böden. Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart, 2. Aufl., 175 S.
- HEMMEBSBACH, E.A., 1980: Einfluß mehrjähriger Anwendung von Rasendüngern auf Gebrauchsrasen. I. Allgemeines und Wirkung herbizidhaltiger Düngemittel. Rasen-Turf-Gazon 11, 22-31. II. Wirkung organischer Düngemittel. Rasen-Turf-Gazon 11, 50-57. III. Wirkung synthetisch-organischer Düngemittel. Rasen-Turf-Gazon 11, 78-84.
- HESKETH, E.S., R.J. HULL and A.J. GOLD, 1986: Estimates of nitrate-nitrogen leached from a Kentucky bluegrass turf. Agronomy Abstracts, Nov., 134-135.
- HOPE, F., H. SCHULZ, 1983: Rasen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 216 S.
- HULL, R.J., H. LIU and H.J. BROWN, 1989: The use efficiency of fall-applied nitrogen by turf. Agronomy Abstracts, Okt., S. 159.
- HUMMEL, N.W., Jr. and D.V. WADDINGTON, 1981: Evaluation of slow-release nitrogen sources on Baron Kentucky bluegrass. Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 966-970.
- HUMMEL, N.W., Jr. and D.V. WADDINGTON, 1984: Sulfur-coated urea for turfgrass fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J. 48, 191-195.
- HUMMEL, N.W. and A.M. PETROVIC, 1985: Nitrogen source effects on nitrate leaching from late fall nitrogen applied to turfgrass. Agronomy Abstracts, Dez., S. 120.
- ISERMANN, K. and G. HENJES, 1990: Potentials for biological denitrification in the (un-)saturated zone with different soil managements. Mitteilungen der Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 60, 271-276.
- JOO, Y.K., N.E. CHRISTIANS and J.M. BREMNER, 1989: Effectiveness of urease inhibitors and cationic materials for reduction of ammonia volatilization from turf-grasses treated with urea. In H. Takatoh (ed.) Proc. 6th Int. Turfgrass Research Conf., Tokio, Japan. 31.July - 05.August, 209-211.
- JÜRGENS-GSCHWIND, S., 1974: Langsamwirkende Stickstoffdünger - ihre Eigenschaften und Vorteile. Mitteilungen für den Landbau 4/74, 1-67.
- KAVANAGH, T., T.P. CORMICAN and P. NEWBURN, 1980: Suitability of urea-based slow release nitrogen fertilizers for turfgrass. Scientific Horticulture 31, 89-93.
- KEENEY, D, 1986: Sources of nitrate to ground water. Crit. Rev. Environ. Control 16, 257-304.
- KÖHLER, W., G. SCHACHTEL and P. VOLESKE, 1984: Biometrie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 255 S.

- KRAFFCZYK, J., 1987: Rasenneuanlagen in Wasserschutzgebieten. Aus der Sicht der Pflege und Unterhaltung. *Rasen-Turf-Gazon* 18, 43-48.
- LANDSCHOOT, P.J. and D.V. WADDINGTON, 1987: Response of turfgrass to various nitrogen sources. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 225-230.
- LAWSON, D.M. and T.W. COLCLOUGH, 1991: Fertilizer nitrogen, phosphorus and potassium leaching from fine turf growing on three different rootzone materials. *J. Sports Turf Res. Inst. Bingley* 67, 145-152.
- LEYER, C. und W. SKIRDE, 1980: Belastbarkeit von Sportrasen unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffdüngung. *Z. f. Vegetationstechnik* 3, 25-31.
- LODGE, T.A., S.W. BAKER, P.M. CANAWAY and D.M. LAWSON, 1991: The construction, irrigation and fertilizer nutrition of golf greens. I. Botanical and reflectance assessments after establishment and during the first year of differential irrigation and nutrition treatments. *J. Sports Turf Res. Inst. Bingley* 67, 32-52.
- MANCINO, C.F., 1991: Nitrate and ammonium concentrations in soil leachate and N leaching losses from fertilizers applied to turfgrass. *Golf Course Management* 59, 66-72.
- MANCINO, C.F., W.A. TORELLO and D.J. WEHNER, 1988: Denitrification losses from Kentucky bluegrass sod. *Agron. J.* 80, 148-153.
- MANCINO, C.F. and J. TROLL, 1990: Nitrate and ammonium leaching losses from N fertilizers applied to 'Penncross' Creeping bentgrass. *HortScience* 25, 194-196.
- MAZUR, A.R. and C.B. WHITE, 1983: Mineralization of N from several sources and establishment of 'Penncross' Creeping bentgrass on putting green media. *Agron. J.* 75, 977-982.
- MEHNERT, C., 1986: Düngung von Golfgrasflächen - so ökologisch wie möglich. *Rasen-Turf-Gazon* 17, 84-88.
- MEHNERT C. und F. MÄDEL, 1982: Der Einfluß verminderter N-Düngung auf Pflanzenbestand, Schnittgutertrag und Mineralstoffentzüge einer Gebrauchsrasenmischung. *Rasen-Turf-Gazon* 13, 28-33.
- MEHNERT, C., G. VOIGTLÄNDER und F. MÄDEL, 1984: Auswirkungen der N-Form von Handelsdüngemitteln auf die N-Aufnahme einer Rasendecke. *Z. für Vegetationstechnik* 7, 17-23.
- MENGEL, K., 1984: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Verlag Gustav Fischer, Stuttgart, 6. Aufl., 431 S.

- MITCHELL, W.H., A.L. MOREHART, L.J. COTNOIR, B.B. HESSELTINE and D.N. LANGSTON, 1978: Effect of soil mixtures and irrigation methods on leaching of N in golf greens. *Agron. J.* 70, 29-35.
- MORTON, T.G., A.J. GOLD and W.M. SULLIVAN, 1988: Influence of overwatering and fertilization on nitrogen losses from home lawns. *J. Environ. Qual.* 17, 124-130.
- MOSDELL, D.K. and R.E. SCHMIDT, 1985: Temperature and irrigation influences on nitrate losses of *Poa pratensis* L. turf. 487-494. In F.L. Lemaire (ed.) Proc. 5th Int. Turfgrass Research Conf., Avignon, France. 1.- 5.July. INRA Paris, France.
- MÜHLSCHLEGEL, F. und C. MEHNERT, 1974: Untersuchungen zur Ermittlung des Phosphat- und Kalibedarfs von Gebrauchsrasen. *Rasen-Turf-Gazon* 5, 52-55.
- MÜLLER-BECK, K.G., 1977: Sportplätze aus der Sicht des Bodenaufbaues und des Pflanzenbestandes. Diss., Univ. Bonn.
- MÜLLER-BECK, K.G., 1987: Praxisgerechte Rasendüngung. *Deutscher Gartenbau* 41, 1646-1649.
- NELSON, K.E., A.J. TURGEON and J.R. STREET, 1980: Thatch influence on mobility and transformation of nitrogen carriers applied to turf. *Agron. J.* 72, 487-492.
- OPITZ von BOBERFELD, W., 1980: Zur Wirkung verschiedener Harnstoff-Aldehyd-Kondensations-Produkte in Abhängigkeit vom N-Aufwand auf Gebrauchsrasen. *Rasen-Turf-Gazon* 11, 86-92.
- OPITZ von BOBERFELD, W. und P. BOEKER, 1975: Einsatz verschiedener Düngemittel auf Gebrauchsrasen. *Rasen-Turf-Gazon* 6, 13-20.
- OPITZ von BOBERFELD, W., M. WEBER und H. WOLF, 1979: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf die Zusammensetzung einer Rasennarbe. *Rasen-Turf-Gazon* 10, 83-89.
- PÄTZOLD, H. und W. SKIRDE, 1978: Golfsportanlage und Landschaftsentwicklung. *Das Gartenamt* 27, 63-69.
- PETERSEN, M., 1970: Besondere Aspekte der N-Düngung zu *Poa pratensis*. *Rasen-Turf-Gazon* 1, 61-63.
- PETROVIC, A.M., 1990: The fate of nitrogenous fertilizers applied to turfgrass. *J. Environ. Qual.* 19, 1-14.
- PORTER, K.S., D.R. BOULDIN, S. PACENKA, R.S. KOSSACK, C.A. SHOEMAKER and A.A. PUCCI, Jr., 1980: Studies to assess the fate of nitrogen applied to turf: Part I. Research project technical complete report. OWRT Project A-086-NY. Cornell Univ., Ithaca, NY.

- PRÜN, H., 1981: Zur Rasendüngung mit Langzeitdüngern. *Rasen-Turf-Gazon* 12, 96-104.
- RAPPE, G., 1964: A yearly rhythm in production capacity of gramineous plants B I. *Oikos* 15, 140-161.
- RIEKE, P.E. and B.G. ELLIS, 1974: Effects of nitrogen fertilization on nitrate movements under turfgrass. 120-130. In E.C. Roberts (ed.) Proc. 2nd Int. Turfgrass Res. Conf. ASA, Madison, WI. 19-21 Juni 1972, Blacksburg, VA.
- ROEBERS, F. und P. LANGE, 1968: Über den Einfluß der Düngerform auf die Qualität von Zierrasen. *Neue Landschaft* 13, 59-70.
- RUZICKA, J. and E.H. HANSEN, 1981: Chemical Analysis Vol. 62: Flow Injection Analysis. Verlag John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- SAS., 1987: SAS Institute Inc. SAS/STAT™ Guide for Personal Computers, Version 6 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1028 S.
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL, 1982: Lehrbuch der Bodenkunde. Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart, 11. Aufl., 442 S.
- SCHÖNTHALER, K.E., 1974: Wirkung einiger Dünger auf Rasenräsler. *Rasen-Turf-Gazon* 5, 75-77.
- SCHULZ, H. und H. JACOB, 1987: Aufgabe und Eignung von Dauergrünland und Rasen in Verdichtungsgebieten. In: Hohenheimer Arbeiten: Ökologische Probleme in Verdichtungsgebieten; Tagung über Umweltforschung an der Universität Hohenheim. Verlag Eugen Ulmer, 115-128.
- SCHWEIZER, E.W., 1974: Erhebungen über den Nährstoffentzug verschiedener Rasenräsler und Rasengrasmischungen im Verlaufe der Vegetationsperiode. *Rasen-Turf-Gazon* 5, 65-68.
- SCHWEMMER, E., 1990: Untersuchungen zur Nährstoffversorgung von Sportrasenflächen in Baden-Württemberg. *Z. für Vegetationstechnik* 13, 8-11.
- SELLECK, G.W., R.S. KOSSACK, C.C. CHU and K.A. RYKBOST, 1980: Studies on fertility and nitrate pollution in turf on Long Island. 165-172. In Long Island Hortic. Res. Lab. Rep. Cornell Univ., Ithaca, NY.
- SHEARD, R.W., M.A. HAW, G.B. JOHNSON and J.A. FERGUSON, 1985: Mineral nutrition of bentgrass on sand rooting systems. 469-485. In F.L. Lemaire (ed.) Proc 5th Int. Turfgrass Research Conf., Avignon, France. 1-5 July. INRA Paris, France.

- SHEARMAN, R.C., 1982: Nitrogen balance in turfgrass ecosystems. Symposium on Turfgrass Fertility: Advances in Turfgrass Fertility, 1-16.
- SHEARMAN, R.C., 1984: Ammonia volatilization from liquid and granular fertilizers. Proceedings of the 54th Annual Michigan Turfgrass Conference 13, 66-67.
- SIEBER, J., 1970: Wirkungen mineralischer und organischer Rasendünger. Rasen-Turf-Gazon 1, 56-58.
- SKIRDE, W., 1970: Reaktion von Rasenmischungen auf physiologisch saure und physiologisch alkalische Düngung. Rasen-Turf-Gazon 1, 58-60.
- SKIRDE, W., 1976: Nährstoffverwertung und Nährstoffauswaschung verschieden aufgebauter und verschieden gedüngter Rasenflächen. Rasen-Turf-Gazon 7, 99-105.
- SKIRDE, W., 1977: Nährstoffverwertung und Nährstoffauswaschung verschieden aufgebauter und verschieden gedüngter Rasenflächen. II. Nährstoffauswaschung und Nährstoffbilanzierung. Rasen-Turf-Gazon 8, 2-10.
- SKIRDE, W., 1978: Vegetationstechnik Rasen und Begrünungen. Schriftenreihe Landschafts- und Sportplatzbau, Bd. 1. Patzer Verlag GmbH u. Co KG, Berlin-Hannover, 240 S.
- SKIRDE, W., 1982: Probleme bei der Düngung von Sport- und Freizeitflächen. Neue Landschaft 27, 597-608.
- SKIRDE, W., 1984: Wirkungen verschiedener N-Träger bei hoher Nährstoffanreicherung der Rasentragschicht. Z. für Vegetationstechnik 7, 5-13.
- SKIRDE, W., 1986: Wirkungs- und Nachwirkungsvergleich von Düngern mit IBDU- und UF-Stickstoff im Langzeitversuch. Z. f. Vegetationstechnik 9, 61-69.
- SKIRDE, W., 1988: Untersuchungen über den Einfluss des Nährstoffverhältnisses auf die Belastbarkeit der Rasennarbe. I. Vegetationseigenschaften. Z. f. Vegetationstechnik 11, 16-26.
- SKIRDE, W., 1989: Vergleich von Nährstoffträgern mit verschiedenen konstellierte N-Langzeitwirkungen unter besonderer Berücksichtigung natürlich-organischer Produkte. II. Resistenzeigenschaften, Nachwirkungen und Bodenbeeinflussung. Z. für Vegetationstechnik 12, 121-127.
- SKIRDE, W., 1990: Ergebnisse zur Nährstoff- und Wasserverwertung bei verschieden konstruierten Rasenflächen. II. N-Einlagerung, N-Austrag und Wasserverwertung. Z. für Vegetationstechnik 13, 93-98.
- SKIRDE, W., 1991: Erkenntnisstand zum N-Austrag bei Sportrasenflächen. Das Gartenamt 40, 721-733.

- SKIRDE, W. und J. KERN, 1971: Untersuchungen über Zuwachs, Nährstoffgehalt und Bestandsumbildung von Rasenansaatn unter dem Einfluß verschieden hoher Stickstoffgaben. *Rasen-Turf-Gazon* 2, 118-123.
- SKIRDE, W., B. EURICH, C. HILGER, F.W. INGENHORST, R. MÜLLEJANS und S. SAUER, 1990: Nitratgehalte in Bodenschichten von Rasensportplätzen und Grünanlagen. *Z. für Vegetationstechnik* 13, 12-20.
- SKIRDE, W. und M. KANNENBERG, 1991: Ergebnisse zur Wirkung von Nährstoffträgern mit natürlich-organischen Stickstoffquellen. *Das Gartenamt* 40, 671-681.
- SNYDER, G.H., E.O. BURT and B.J. JAMES, 1976: Nitrogen fertilization of Bermudagrass turf in South Florida with urea, UF and IBDU. *Proc. Florida Hortic. Soc.* 89, 326-330.
- SNYDER, G.H., E.O. BURT and J.M. DAVIDSON, 1981: Nitrogen leaching in Bermudagrass turf: Effect of nitrogen sources and rates. 313-324. In R.W. Shead (ed.) *Proc. 4th Int. Turfgrass Res. Conf., Univ. Guelph, Ontario. 19-23 July. Univ. of Guelph, Guelph, Canada, and Int. Turfgrass Society.*
- SNYDER, G.H., B.J. AUGUSTIN and J.M. DAVIDSON, 1984: Moisture sensor-controlled irrigation for reducing N leaching in Bermudagrass turf. *Agron. J.* 76, 964-969.
- STARR, J.L. and H.C.DEROO, 1981: The fate of nitrogen applied to turfgrass. *Crop Sci.* 21, 531-536.
- STEVENSON, F.J., 1986: *Cycles of soil - Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients.* John Wiley & Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 380 S.
- TORELLO W.A., D.J. WEHNER and A.J. TURGEON, 1983: Ammonia volatilization from fertilized turfgrass stands. *Agron. J.* 75, 454-456.
- TURGEON, A.J., 1991: *Turfgrass Management.* Verlag Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., USA, 418 S.
- VDLUFA, (Verband deutscher landwirtschaftl. Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 1991: *Methodenbuch Band 1, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.*
- VOIGTLÄNDER, G. und H. JACOB, 1987: *Grünlandwirtschaft und Futterbau.* Ulmer Verlag, Stuttgart, 480 S.
- VOLK, G.M., 1959: Volatile loss of ammonia following surface applications of urea to turf or bare soil. *Agron. J.* 51, 746-749.
- WADDINGTON, D.V., T.R. TURNER, J.M. DUICH and E.L. MOBERG, 1978: Effect of Fertilization on Penncross Creeping Bentgrass. *Agron. J.* 70, 713-718.

- WADDINGTON, D.V., R.N. CARROW and R.C. SHEARMAN, 1992: Turfgrass. American Society of Agronomy, Inc., Segoe Road, Madison, WI 53711, USA, 805 S.
- WATSON, C.J., 1987: The comparative effects of ammonium nitrate, urea, or a combination of nitrate/urea granular fertilizer on the efficiency of nitrogen recovery by Perennial ryegrass. *Fert. Res.* 11, 69-78.
- WEBSTER, C.P. and R.J. DOWDELL, 1986: Effect of drought and irrigation on the fate of nitrogen applied to cut permanent grass swards in lysimeter: nitrogen balance sheet and the effect of sward destruction and ploughing on nitrogen mineralization. *J. Sci. Food Agri.* 37, 845-854.
- WEHRMANN, J. und H.C. SCHARPF, 1986: The N_{min} -method - an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 149, 428-440.
- WESELY, R.W., R.C. SHEARMAN and E.J. KINBACHER, 1982: Foliar uptake of liquid applied fertilizers. Symposium on Turfgrass Fertility: Advances in Turfgrass Fertility, 41-50.
- WESELY, R.W., R.C. SHEARMAN and E.J. KINBACHER, 1988: 'Park' Kentucky bluegrass response to foliarly applied urea. *Hortic. Sci.* 23, 556-559.
- WILL, H. und R. HÄHNDEL, 1987: N-Aufwandmengen und Verträglichkeit verschiedener Rasendünger bei unbelasteten und belasteten Flächen. *Z. f. Vegetationstechnik* 10, 48-53.

Tabellenanhang

Tabelle A 1: Varianztabelle für die Schnittgutmengen (g TM/m²) 1990 und 1991 (MQ-Werte)

Jahr	1990	1991
Variationsursache		
D	99695.36**	58421.57**
N	473409.01**	573033.10**
D x N	13447.98**	2376.62**
Block	470.77	34.25
Rest	340.03	49.35

Tabelle A 2: Varianztabelle für die wöchentlichen Schnittgutmengen (g TM/m²) 1990
(MQ-Werte)

Jahr		1990				
Varianzursache		D	N	D x N	Block	Rest
Woche	1	0.32	7.10	2.09	3.24	2.58
	2	2.50	53.40**	4.80	8.73	7.21
	3	18.53	434.14**	13.65	5.95	10.37
	4	46.07**	675.70**	17.65**	4.33	4.63
	5	348.04**	1579.25**	75.35**	4.33	2.54
	6	358.08**	1606.32**	71.04**	7.03	2.37
	7	86.05**	258.18**	13.34**	2.02	1.17
	8	70.65**	397.39**	17.88**	6.23	3.55
	9	65.00**	159.04**	12.98**	2.74	1.29
	10	308.19**	456.72**	53.27**	4.55	2.02
	11	852.29**	959.56**	99.08**	4.70	3.17
	12	390.28**	510.20**	42.04**	1.57	1.48
	13	45.99**	606.00**	12.08**	0.98	1.36
	14	58.29**	1713.39**	22.57**	4.17	3.37
	15	148.55**	626.53**	13.29**	0.22	1.57
	16	56.92**	213.45**	8.00**	2.33	1.75
	17	235.73**	1059.33**	72.27**	2.60	2.82
	18	537.57**	2446.78**	119.04**	2.26	2.44
	19	621.58**	2301.97**	113.24**	7.13	2.44
	20	551.27**	1289.17**	82.57**	0.51	1.66
	21	475.81**	1030.95**	78.14**	1.05	0.94
	22	134.00**	142.07**	7.81**	0.19	0.24
	23	85.49**	47.65**	2.52**	0.41*	0.10
	24	107.03**	78.93**	10.26**	0.08	0.07
	25	76.82**	136.44**	13.57**	0.07	0.09
	26	244.96**	373.45**	57.80**	0.12	0.07
	27	247.66**	540.02**	40.65**	0.09	0.05
	28	248.62**	1065.72**	39.03**	0.19**	0.04
	29	22.13**	170.96**	2.47**	0.05	0.04

Tabelle A 3: Varianztabelle für die wöchentlichen Schnittgutmengen (g TM/m²) 1991 (MQ-Werte)

Jahr		1991				
Varianzursache		D	N	D x N	Block	Rest
Woche	1	486.08**	3078.67**	177.97**	0.43	0.19
	2	38.89**	1820.82**	27.97**	0.09	0.49
	3	23.21**	1004.61**	18.52**	0.44	0.44
	4	13.67**	848.75**	9.70**	0.14	0.33
	5	21.09**	272.25**	4.25**	0.07	0.40
	6	42.47**	292.84**	6.62**	0.19	0.28
	7	205.29**	1104.48**	18.54**	0.41	0.35
	8	196.40**	1289.18**	23.97**	0.59	0.42
	9	423.53**	2075.97**	50.00**	1.41*	0.45
	10	575.14**	2327.54**	91.83**	0.80	0.41
	11	206.18**	763.52**	26.68**	0.89*	0.30
	12	226.27**	393.91**	32.55**	0.51	0.33
	13	4.89**	63.83**	16.19**	0.23	0.46
	14	113.10**	2153.69**	66.89**	0.79	0.49
	15	106.37**	1987.00**	117.28**	0.65	0.31
	16	19.42**	915.07**	21.31**	0.09	0.32
	17	49.78**	823.93**	20.84**	0.36	0.33
	18	557.23**	2395.91**	59.02**	0.62	0.37
	19	5.92**	33.25**	2.55**	0.03	0.08
	20	98.97**	32.69**	7.59**	0.37	0.17
	21	334.71**	161.93**	8.27**	0.22	0.28
	22	181.74**	338.28**	6.06**	0.26	0.22
	23	97.01**	290.28**	15.79**	0.33	0.14
	24	331.63**	717.62**	53.74**	2.80	3.54
	25	111.42**	275.10**	5.78**	0.12	0.25
	26	95.22**	369.56**	3.79**	0.06	0.34
	27	86.55**	554.66**	18.85**	0.21	0.29
	28	35.28**	206.30**	7.47**	0.17	0.25

Tabelle A 4: Varianztabelle für die wöchentlichen Schnittgutmengen (g TM/m²) der Variante N1 1990 und 1991 (MQ-Werte)

Jahr		1990			1991		
Varianzursache		D	Block	Rest	D	Block	Rest
Woche	1	3.62	2.66	2.07	25.84**	0.29*	0.06
	2	3.27	8.04	5.59	16.78**	0.46	0.15
	3	3.74	9.69	9.86	8.76**	0.22	0.11
	4	1.58	4.42	4.79	5.86**	0.38**	0.05
	5	13.46**	0.24	0.67	5.01**	0.29	0.11
	6	14.70**	4.71*	1.04	10.13**	0.04	0.19
	7	4.26**	0.55	0.36	24.22**	0.26	0.17
	8	1.01	2.48	0.89	11.98**	0.22	0.18
	9	1.49**	0.25	0.18	27.03**	0.17	0.26
	10	7.68**	0.46	0.18	28.02**	0.24	0.29
	11	37.72**	1.37	0.80	17.54**	0.14	0.22
	12	21.16**	0.98	0.49	8.09**	0.05	0.43
	13	6.00**	0.28	0.25	11.13**	0.18	0.45
	14	9.54**	0.31	0.40	3.97**	0.23	0.17
	15	10.68**	0.12	0.67	13.61**	0.44	0.17
	16	2.28*	0.14	0.43	16.45**	0.06	0.52
	17	2.29**	0.25	0.21	12.27**	0.26	0.31
	18	8.15**	0.48	0.31	28.46**	0.37	0.48
	19	18.58**	0.07	0.55	5.06**	0.02	0.11
	20	17.89**	1.02	0.34	24.85**	0.13	0.18
	21	13.99**	0.17	0.28	87.52**	0.17	0.25
	22	17.53**	0.07	0.21	34.17**	0.05	0.19
	23	14.73**	0.21	0.12	19.98**	0.07	0.08
	24	7.64**	0.02	0.07	43.60**	1.70	1.08
	25	3.58**	0.02	0.06	22.10**	0.19	0.15
	26	4.90**	0.06	0.04	18.86**	0.03	0.28
	27	8.06**	0.02	0.04	31.16**	0.07	0.34
	28	10.28**	0.10*	0.02	18.81**	0.06	0.39
	29	2.37**	0.04	0.03			

Tabelle A 5: Varianztabelle für die wöchentlichen Schnittgutmengen (g TM/m²) der Variante N2 1990 und 1991 (MQ-Werte)

Jahr		1990			1991		
Varianzursache		D	Block	Rest	D	Block	Rest
Woche	1	0.77	1.67	2.34	255.46**	0.36	0.17
	2	6.06	4.67	7.40	97.64**	0.48	0.43
	3	18.85	2.99	10.33	46.47**	0.83	0.34
	4	10.37	4.05	6.48	25.57**	0.32	0.14
	5	89.22**	3.35	3.24	13.33**	0.73	0.26
	6	118.40**	7.62	2.46	36.82**	0.07	0.42
	7	24.08**	1.92	0.59	55.45**	0.10	0.36
	8	20.27**	0.92	1.63	61.10**	0.08	0.33
	9	19.30**	0.98*	0.23	138.02**	0.22	0.22
	10	116.40**	1.74	0.74	164.33**	0.37	0.53
	11	400.45**	6.93	2.50	69.93**	0.31	0.51
	12	169.59**	1.45	1.33	140.69**	0.64	0.34
	13	35.48**	1.94	1.12	19.93**	0.45	0.57
	14	63.73**	2.74	5.38	225.57**	0.32	0.68
	15	91.62**	1.27	1.91	284.65**	0.45	0.27
	16	23.62**	1.94	1.60	25.82**	0.17	0.26
	17	53.13**	2.57	1.33	44.29**	0.38	0.32
	18	165.87**	2.86	1.95	348.74**	0.30	0.36
	19	213.51**	1.93	1.62	2.96**	0.04	0.04
	20	213.41**	1.19	1.08	33.94**	0.17	0.14
	21	187.13**	0.54	0.28	143.93**	0.28	0.29
	22	91.51**	0.36	0.18	50.46**	0.06	0.17
	23	40.46**	0.27**	0.03	14.58**	0.22	0.12
	24	42.02**	0.10	0.04	53.26**	10.16	3.86
	25	18.96**	0.11	0.13	27.83**	0.08	0.17
	26	60.57**	0.06	0.07	49.92**	0.46	0.27
	27	81.50**	0.02	0.07	91.00**	0.47	0.27
	28	91.29**	0.03	0.05	26.71**	0.12	0.21
	29	17.11**	0.03	0.04			

Tabelle A 6: Varianztabelle für die wöchentlichen Schnittgutmengen (g TM/m²) der Variante N3 1990 und 1991 (MQ-Werte)

Jahr		1990			1991		
Varianzursache		D	Block	Rest	D	Block	Rest
Woche	1	0.11	0.99	4.36	560.73**	0.05	0.36
	2	2.76	4.77	10.52	25.43**	0.22	0.85
	3	23.24	7.09	13.22	5.03**	0.90	0.66
	4	69.05**	2.94	3.34	1.63*	0.85	0.54
	5	396.07**	6.17	3.60	11.26**	0.53	0.61
	6	367.07**	5.85	2.79	8.77**	0.44	0.31
	7	84.40**	2.46	2.36	162.69**	1.00	0.42
	8	85.13**	6.44	9.28	171.26**	1.33	0.67
	9	70.18**	4.62	3.28	358.47**	2.18	0.79
	10	290.64**	5.82	5.32	566.45**	0.53	0.58
	11	612.28**	2.45	6.31	172.07**	0.55	0.33
	12	263.61**	0.96	2.99	142.59**	0.45	0.24
	13	28.67**	1.19	2.82	6.22**	0.52	0.06
	14	30.17**	4.04	5.61	17.35**	1.06	0.68
	15	72.83**	0.10	2.75	42.67**	0.21	0.54
	16	47.03**	6.47	2.30	19.77**	0.14	0.31
	17	324.85**	10.71	5.15	34.91**	0.13	0.44
	18	601.61**	3.21	5.27	298.06**	0.12	0.47
	19	615.96**	9.69	5.25	3.00**	0.02	0.13
	20	485.12**	1.62	3.57	55.35**	0.47	0.17
	21	430.97**	2.86	2.03	119.80**	0.28	0.31
	22	40.57**	0.02	0.41	109.22**	0.43	0.36
	23	35.35**	0.21	0.13	94.03**	0.35	0.20
	24	77.90**	0.04	0.13	342.25**	2.95	4.04
	25	81.43**	0.02	0.13	73.06**	0.40	0.40
	26	295.10**	0.06	0.13	34.02**	0.18	0.50
	27	239.41**	0.08	0.07	2.09**	0.31	0.24
	28	225.12**	0.08	0.07	4.70**	0.36	0.20
	29	7.57**	0.12	0.04			

Tabelle A 7: Varianztabelle für die wöchentlichen N-Gehalte (%N) im Schnittgut 1990 (MQ-Werte)

Jahr		1990				
Varianzursache		D	N	D x N	Block	Rest
Woche	1	0.30	1.68**	0.32	0.20	0.17
	2	0.59**	3.44**	0.10**	0.01	0.01
	3	1.14**	5.55**	0.18**	0.06*	0.02
	4	0.70**	7.33**	0.18**	0.13**	0.02
	5	3.50**	7.65**	0.23**	0.12*	0.03
	6	4.02**	9.56**	0.34**	0.01	0.02
	7	3.10**	6.12**	0.35**	0.01	0.03
	8	2.48**	4.79**	0.24**	0.07**	0.02
	9	9.14**	7.21**	0.37**	0.14**	0.03
	10	4.63**	4.36**	0.38**	0.03	0.01
	11	6.20**	6.49**	0.41**	0.01	0.01
	12	4.55**	9.54**	0.45**	0.15	0.06
	13	0.17**	10.22**	0.05*	0.03	0.02
	14	0.51**	10.65**	0.17**	0.04	0.03
	15	3.77**	13.13**	0.09**	0.08	0.03
	16	2.55**	11.40**	0.27**	0.08	0.04
	17	2.50**	10.99**	0.27**	0.02	0.03
	18	2.39**	4.88**	0.38**	0.03	0.02
	19	5.19**	11.13**	0.62**	0.03	0.02
	20	5.08**	10.14**	0.56**	0.02	0.02
	21	4.84**	7.74**	0.71**	0.02	0.02
	22	7.31**	6.60**	0.51**	0.02	0.02
	23	4.25**	3.27**	0.42**	0.09*	0.03
	24	4.30**	3.22**	0.82**	0.01	0.04
	25	35.31**	17.18**	1.42*	0.05	0.45
	26	1.70**	8.39**	0.41**	0.04	0.08
	27	1.88**	9.94**	0.38**	0.02	0.01
	28	1.18**	4.88**	0.53**	0.03	0.04
	29	0.50**	3.30**	0.27**	0.02	0.03

Tabelle A 8: Varianztabelle für die wöchentlichen N-Gehalte (%N) im Schnittgut 1991 (MQ-Werte)

Jahr		1991				
Varianzursache		D	N	D x N	Block	Rest
Woche	1	2.83**	17.70**	1.17**	0.37*	0.12
	2	0.59**	17.00**	0.17**	0.02*	0.01
	3	0.22**	7.51**	0.06**	0.01	0.01
	4	0.54**	9.05**	0.11**	0.02	0.01
	5	1.62**	10.31**	0.14**	0.01	0.01
	6	1.93**	10.22**	0.17**	0.06*	0.02
	7	2.36**	10.04**	0.27**	0.03	0.02
	8	1.34**	9.15**	0.22**	0.04*	0.01
	9	3.43**	14.47**	0.53**	0.01	0.01
	10	5.07**	16.42**	0.68**	0.03	0.02
	11	3.85**	12.48**	0.61**	0.01	0.02
	12	6.19**	15.22**	0.78**	0.03	0.04
	13	1.86**	22.86**	1.15**	0.50	0.20
	14	0.31**	10.77**	0.21**	0.03	0.02
	15	0.70**	7.31**	0.19**	0.02	0.02
	16	0.62**	8.52**	0.10*	0.11*	0.04
	17	1.16**	11.68**	0.28**	0.11**	0.02
	18	2.19**	7.47**	0.15**	0.08*	0.03
	19	1.70**	4.11**	0.09**	0.08**	0.02
	20	2.22**	6.04**	0.07**	0.02	0.02
	21	2.29**	6.94**	0.25**	0.01	0.03
	22	3.53**	10.58**	0.33**	0.04	0.03
	23	2.36**	6.67**	0.50**	0.02	0.02
	24	3.52**	11.36**	0.57**	0.01	0.01
	25	5.34**	18.36**	0.60**	0.03	0.06
	26	1.08**	13.17**	0.13	0.05	0.06
	27	1.25**	12.23**	0.25**	0.01	0.05
	28	1.60**	13.47**	0.14**	0.12**	0.02

Tabelle A 9: Varianztabelle für die N-Entzüge (g N/m²) über das Schnittgut 1990 und 1991 (MQ-Werte)

Jahr	1990	1991
Variationsursache		
D	401.43**	262.28**
N	1964.24**	2485.94**
D x N	81.42**	22.86**
Block	3.25	1.96
Rest	1.15	0.35

Tabelle A 10:

Varianztabelle für die wöchentlichen N-Entzüge (g N/m^2) über das Schnittgut 1990 (MQ-Werte)

Jahr		1990				
Varianzursache		D	N	D x N	Block	Rest
Woche	1	0.01	0.03**	0.01	0.01	0.01
	2	0.03	0.28**	0.01	0.01	0.01
	3	0.15**	1.81**	0.06*	0.02	0.02
	4	0.24**	2.96**	0.11**	0.03	0.01
	5	1.83**	7.05**	0.46**	0.03*	0.01
	6	1.68**	7.04**	0.41**	0.02	0.01
	7	0.36**	1.05**	0.08**	0.01	0.01
	8	0.26**	1.12**	0.08**	0.01	0.01
	9	0.27**	0.67**	0.06**	0.01	0.01
	10	1.18**	1.91**	0.24**	0.02	0.01
	11	3.40**	4.14**	0.53**	0.02	0.01
	12	1.50**	2.40**	0.26**	0.01	0.01
	13	0.15**	3.09**	0.06**	0.01	0.01
	14	0.27**	7.51**	0.10**	0.01	0.01
	15	0.70**	2.65**	0.08**	0.01	0.01
	16	0.19**	0.74**	0.04**	0.01	0.01
	17	0.92**	4.23**	0.36**	0.01	0.01
	18	1.58**	7.48**	0.44**	0.01	0.01
	19	3.10**	11.04**	0.84**	0.04*	0.01
	20	2.66**	5.81**	0.63**	0.01	0.01
	21	2.14**	4.29**	0.51**	0.01	0.01
	22	0.62**	0.63**	0.05**	0.01	0.01
	23	0.27**	0.17**	0.02**	0.01	0.01
	24	0.29**	0.21**	0.04**	0.01	0.01
	25	0.18**	0.80**	0.05**	0.01	0.01
	26	0.88**	1.69**	0.29**	0.01	0.01
	27	0.81**	1.99**	0.21**	0.01*	0.01
	28	1.02**	3.97**	0.26**	0.01**	0.01
	29	0.06**	0.45**	0.01**	0.01	0.01

Tabelle A 11: Varianztabelle für die wöchentlichen N-Entzüge (g N/m²) über das Schnittgut 1991 (MQ-Werte)

Jahr		1991				
Varianzursache		D	N	D x N	Block	Rest
Woche	1	2.81**	14.23**	1.52**	0.07	0.03
	2	0.28**	6.59**	0.08**	0.01	0.01
	3	0.05**	2.26**	0.02**	0.01	0.01
	4	0.05**	2.55**	0.01	0.01	0.01
	5	0.09**	0.96**	0.01	0.01	0.01
	6	0.16**	1.05**	0.01	0.01	0.01
	7	0.83**	4.12**	0.15**	0.01	0.01
	8	0.57**	3.90**	0.12**	0.01	0.01
	9	1.59**	7.64**	0.39**	0.01*	0.01
	10	2.43**	9.81**	0.65**	0.01**	0.01
	11	0.82**	3.08**	0.19**	0.01*	0.01
	12	1.18**	1.94**	0.22**	0.01	0.01
	13	0.04**	0.57**	0.04**	0.01	0.01
	14	0.45**	9.67**	0.21**	0.01*	0.01
	15	0.53**	7.80**	0.39**	0.01*	0.01
	16	0.13**	3.97**	0.05**	0.01*	0.01
	17	0.36**	4.50**	0.09**	0.01**	0.01
	18	2.23**	10.07**	0.26**	0.02**	0.01
	19	0.06**	0.21**	0.01**	0.01**	0.01
	20	0.40**	0.27**	0.03**	0.01	0.01
	21	1.24**	0.89**	0.04**	0.01	0.01
	22	0.74**	1.80**	0.07**	0.01	0.01
	23	0.40**	1.30**	0.09**	0.01*	0.01
	24	1.52**	3.73**	0.37**	0.01	0.01
	25	0.51**	2.02**	0.05**	0.01	0.01
	26	0.38**	2.21**	0.03**	0.01	0.01
	27	0.38**	2.81**	0.06**	0.01	0.01
	28	0.19**	1.23**	0.02**	0.01*	0.01

Tabelle A 12:

Varianztabelle für die wöchentlichen N-Entzüge (g TM/m²) über das Schnittgut der Variante N1 1990 und 1991 (MQ-Werte)

Jahr		1990			1991		
Varianzursache		D	Block	Rest	D	Block	Rest
Woche	1	0.01	0.01	0.01	0.03**	0.01	0.01
	2	0.01	0.01	0.01	0.02**	0.01	0.01
	3	0.01	0.02	0.01	0.01**	0.01	0.01
	4	0.01	0.01	0.01	0.01**	0.01**	0.01
	5	0.05**	0.01	0.01	0.01**	0.01	0.01
	6	0.05**	0.01*	0.01	0.02**	0.01	0.01
	7	0.01**	0.01	0.01	0.04**	0.01	0.01
	8	0.01	0.01	0.01	0.02**	0.01	0.01
	9	0.01**	0.01	0.01	0.04**	0.01	0.01
	10	0.02**	0.01	0.01	0.05**	0.01	0.01
	11	0.10**	0.01	0.01	0.03**	0.01	0.01
	12	0.05**	0.01	0.01	0.02**	0.01	0.01
	13	0.02**	0.01	0.01	0.02**	0.01	0.01
	14	0.03**	0.01	0.01	0.01**	0.01	0.01
	15	0.03**	0.01	0.01	0.03**	0.01	0.01
	16	0.01**	0.01	0.01	0.04**	0.01	0.01
	17	0.01**	0.01	0.01	0.03**	0.01	0.01
	18	0.02**	0.01	0.01	0.09**	0.01	0.01
	19	0.04**	0.01	0.01	0.02**	0.01	0.01
	20	0.04**	0.01	0.01	0.07**	0.01	0.01
	21	0.03**	0.01	0.01	0.19**	0.01	0.01
	22	0.05**	0.01	0.01	0.08**	0.01	0.01
	23	0.03**	0.01	0.01	0.04**	0.01	0.01
	24	0.02**	0.01	0.01	0.09**	0.01	0.01
	25	0.01**	0.01	0.01	0.07**	0.01	0.01
	26	0.01**	0.01	0.01	0.04**	0.01	0.01
	27	0.01**	0.01	0.01	0.07**	0.01	0.01
	28	0.02**	0.01	0.01	0.05**	0.01	0.01
	29	0.01**	0.01	0.01			

Tabelle A 13: Varianztabelle für die wöchentlichen N-Entzüge (g TM/m²) über das Schnittgut der Variante N2 1990 und 1991 (MQ-Werte)

Jahr		1990			1991		
Varianzursache		D	Block	Rest	D	Block	Rest
Woche	1	0.01	0.01	0.01	0.59**	0.01	0.01
	2	0.02	0.01	0.01	0.21**	0.01	0.01
	3	0.07	0.01	0.02	0.07**	0.01*	0.01
	4	0.05	0.02	0.01	0.06**	0.01	0.01
	5	0.41**	0.02	0.01	0.04**	0.01	0.01
	6	0.45**	0.03	0.01	0.10**	0.01	0.01
	7	0.09**	0.01	0.01	0.18**	0.01	0.01
	8	0.06**	0.01	0.01	0.13**	0.01	0.01
	9	0.07**	0.01	0.01	0.36**	0.01	0.01
	10	0.40**	0.01	0.01	0.51**	0.01	0.01
	11	1.35**	0.02	0.01	0.22**	0.01	0.01
	12	0.51**	0.01	0.01	0.60**	0.01	0.01
	13	0.11**	0.01	0.01	0.08**	0.01	0.01
	14	0.22**	0.01	0.02	0.82**	0.01	0.01
	15	0.35**	0.01	0.01	1.22**	0.01*	0.01
	16	0.07**	0.01	0.01	0.15**	0.01	0.01
	17	0.15**	0.01	0.01	0.17**	0.01	0.01
	18	0.41**	0.01	0.01	1.29**	0.02*	0.01
	19	0.80**	0.01	0.01	0.03**	0.01**	0.01
	20	0.72**	0.01	0.01	0.12**	0.01	0.01
	21	0.65**	0.01	0.01	0.50**	0.01	0.01
	22	0.34**	0.01*	0.01	0.18**	0.01	0.01
	23	0.11**	0.01*	0.01	0.05**	0.01	0.01
	24	0.09**	0.01	0.01	0.23**	0.02	0.01
	25	0.03**	0.01	0.01	0.11**	0.01	0.01
	26	0.16**	0.01	0.01	0.18**	0.01*	0.01
	27	0.20**	0.01	0.01	0.38**	0.01*	0.01
	28	0.27**	0.01	0.01	0.14**	0.01	0.01
	29	0.04**	0.01	0.01			

Tabelle A 14:

Varianztabelle für die wöchentlichen N-Entzüge (g TM/m²) über das Schnittgut der Variante N3 1990 und 1991 (MQ-Werte)

Jahr		1990			1991		
Varianzursache		D	Block	Rest	D	Block	Rest
Woche	1	0.01	0.01	0.01	5.23**	0.15	0.08
	2	0.03	0.01	0.02	0.20**	0.01	0.01
	3	0.20*	0.03	0.04	0.01*	0.01	0.01
	4	0.41**	0.02	0.01	0.01*	0.01	0.01
	5	2.29**	0.05	0.02	0.07**	0.01	0.01
	6	2.00**	0.02	0.01	0.06**	0.01	0.01
	7	0.41**	0.01	0.01	0.91**	0.01	0.01
	8	0.35**	0.01	0.02	0.67**	0.01	0.01
	9	0.32**	0.02	0.02	1.97**	0.02*	0.01
	10	1.25**	0.03	0.03	3.16**	0.01	0.01
	11	3.01**	0.01	0.03	0.97**	0.01	0.01
	12	1.45**	0.01	0.02	1.00**	0.01	0.01
	13	0.14**	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
	14	0.21**	0.02	0.03	0.04**	0.02*	0.01
	15	0.48**	0.01	0.01	0.05**	0.02*	0.01
	16	0.19**	0.02	0.01	0.04**	0.01*	0.01
	17	1.50**	0.03	0.02	0.34**	0.02**	0.01
	18	2.04**	0.02	0.02	1.38**	0.01**	0.01
	19	3.95**	0.07	0.03	0.02**	0.01	0.01
	20	3.17**	0.02	0.02	0.27**	0.01	0.01
	21	2.48**	0.02	0.02	0.64**	0.01	0.01
	22	0.32**	0.01	0.01	0.63**	0.01	0.01
	23	0.16**	0.01	0.01	0.49**	0.01	0.01
	24	0.26**	0.01	0.01	1.94**	0.01	0.01
	25	0.24**	0.01	0.01	0.44**	0.01	0.01
	26	1.30**	0.01	0.01	0.22**	0.01	0.01
	27	1.03**	0.01*	0.01	0.04**	0.01	0.01
	28	1.25**	0.01**	0.01	0.05**	0.01**	0.01
	29	0.04**	0.01	0.01			

Tabelle A 15: Varianztabelle für die Sickerwassermengen (l/m^2), 1.- und 2. Versuchsjahr (MQ-Werte)

Jahr	1. Vj	2. Vj
Variationsursache		
D	3638.64	2845.53
N	1671.94	2877.05
D x N	1095.24	1139.20
Block	22176.92	14939.93
Rest	18968.66	6863.32

Tabelle A 16:

Varianztabelle für die NO₃-Konzentrationen (mg/l) im Sickerwasser, 1. Versuchsjahr (MQ-Werte)

Jahr		1. Versuchsjahr				
Varianzursache		D	N	D x N	Block	Rest
Meßtermin	1	0.08	0.02	0.01	0.02	0.03
	2	0.11	0.06	0.06	0.33*	0.08
	3	0.02	0.05	0.03	0.15**	0.03
	4	1.25	2.30	0.96	0.79	1.39
	5	39.36	82.58	38.89	31.76	34.77
	6	1125.14**	2538.45**	974.82**	240.78	169.70
	7	2237.55**	7441.95**	1954.14**	506.87	401.88
	8	6399.60**	34303.03**	5415.60**	383.23	412.40
	9	6347.70*	30321.57**	5793.71*	2860.90	2145.94
	10	3875.37**	19819.33**	3784.58**	1113.68	400.44
	11	12060.07**	34489.06**	11796.36**	995.78	684.60
	12	24996.91**	61781.84**	24919.65**	1204.13	1095.40
	13	57812.17**	160386.34**	57763.85**	747.54	504.17
	14	34033.33**	100129.66**	33982.98**	319.55	224.50
	15	37305.66**	106474.73**	37293.59**	2106.02	1916.48
	16	9959.65**	17905.20**	9945.25**	658.71	579.25
	17	2170.76**	5395.72**	2166.10**	216.30	239.17
	18	764.62**	2467.25**	736.05**	24.35	36.30
	19	826.76**	2304.16**	808.69**	6.62	24.62
	20	1663.42**	5652.27**	1609.12**	192.06	142.27

Tabelle A 17: Varianztabelle für die NO₃-Konzentrationen (mg/l) im Sickerwasser, 2. Versuchsjahr (MQ-Werte)

Jahr		2. Versuchsjahr				
Varianzursache		D	N	D x N	Block	Rest
Meßtermin	1	182.44**	419.51**	178.90**	35.30	19.34
	2	110.76	429.17**	105.60	54.31	559.30
	3	345.29	1772.01**	300.30	262.49	192.27
	4	68935.01**	585571.97**	66978.00**	6076.39	13363.98
	5	117233.81**	820228.66**	115610.03**	9269.63	4884.92
	6	181128.72**	983882.66**	179976.64**	16434.41	9932.21
	7	69391.71**	380256.20**	68029.49**	9951.81	10376.91
	8	5517.12	50049.70**	5075.79	1492.22	3017.42
	9	67277.38**	308898.64**	65187.64**	10727.92	5828.38
	10	63741.76**	169776.79**	63748.26**	1189.93	2554.36
	11	59252.00**	235787.08**	56934.69**	1782.51	1303.32
	12	52024.16**	189339.31**	49503.85**	1728.67	1413.31
	13	37525.82**	106647.78**	32847.61**	1784.35	4590.37
	14	24338.62**	79172.28**	17467.55**	2007.94	3993.25
	15	4142.36**	10654.20**	2110.24**	167.69	417.40
	16	861.85**	2476.82**	538.91**	143.96	99.02

Tabelle A 18: Varianztabelle für die NO₃-Konzentrationen (mg/l) im Sickerwasser der Variante N2, 1.- und 2. Versuchsjahr (MQ-Werte)

Jahr		1. Vj			2. Vj		
Varianzursache		D	Block	Rest	D	Block	Rest
Meßtermin	1	0.03	0.02	0.04	0.18	0.35	0.20
	2	0.10	0.33	0.12	0.13	0.44	0.12
	3	0.04	0.04	0.04	2.26	6.22	2.46
	4	0.13	0.11	0.07	65.11	49.70	29.07
	5	0.22	0.16	0.12	57.56	21.74	19.05
	6	8.61*	1.78	1.73	28.19	8.09	8.03
	7	16.18	6.29	6.39	13.48	1.39	7.21
	8	190.82*	67.55	35.25	31.61	8.33	18.78
	9	34.86	51.93	41.91	34.67	6.77	12.56
	10	1.07	1.26	0.41	22.61*	3.61	3.89
	11	1.81	3.66	2.06	51.38	19.51	20.43
	12	0.07	0.12	0.07	67.79	32.55	38.78
	13	0.01	0.01	0.02	294.83	81.22	136.51
	14	0.02	0.02	0.01	2064.63	1626.67	1341.52
	15	0.01	0.02**	0.01	609.17*	190.18	104.46
	16	0.01*	0.01	0.01	75.20*	12.01	11.77
	17	0.01	0.01	0.01			
	18	0.35	0.43	0.37			
	19	1.07	0.59	0.32			
	20	0.83	0.48	0.61			

Tabelle A 19:

Varianztabelle für die NO₃-Konzentrationen (mg/l) im Sickerwasser der Variante N3, 1.- und 2. Versuchsjahr (MQ-Werte)

Jahr		1. Vj			2. Vj		
Varianzursache		D	Block	Rest	D	Block	Rest
Meßtermin	1	0.03	0.02	0.03	540.04**	92.69	51.39
	2	0.02	0.01	0.03	321.81	151.61	172.33
	3	0.03	0.17*	0.04	943.58	787.95	525.06
	4	3.02	2.34	4.39	202825.84*	19620.90	44440.63
	5	116.92	97.34	105.43	348396.31**	28065.61	11619.75
	6	3066.16*	746.43	451.34	541053.80**	48756.03	25633.49
	7	6129.64*	1342.77	1186.42	205437.18*	29952.73	31374.01
	8	17036.57**	890.06	1279.99	15637.08	4494.21	10040.62
	9	17899.77	9358.54	5642.67	197617.97**	31724.10	14357.17
	10	11443.42**	3327.24*	729.54	191215.28**	3784.20	8507.60
	11	35650.74**	2979.87	1845.02	173069.98**	5461.31	3525.63
	12	74836.13**	3638.35	3204.93	150964.05**	6024.94	3700.39
	13	173339.85**	2252.68	1346.86	102925.81*	5544.88	15413.44
	14	101999.26**	957.98	610.34	57207.77*	6673.63	11200.77
	15	111892.83**	6312.38	5624.95	7753.67**	1111.06	1048.15
	16	29850.13**	1977.25	1684.38	1864.47**	471.34	238.16
	17	6502.94**	645.67	733.82			
	18	2236.36**	73.40	116.23			
	19	2443.07**	20.25	85.22			
	20	4880.81**	564.72	396.66			

Tabelle A 20: Varianztabelle für den N-Austrag (g N/m²) im Sickerwasser, 1.- und 2. Versuchsjahr (MQ-Werte)

Jahr	1. Vj	2. Vj
Variationsursache		
D	23.99**	31.31**
N	97.58**	195.83**
D x N	23.53**	30.16**
Block	1.66	3.02
Rest	1.32	4.06

Tabelle A 21: Varianztabelle für die N-Austräge (g N/m²) im Sickerwasser, 1. Versuchsjahr (MQ-Werte)

Jahr		1. Versuchsjahr				
Varianzursache		D	N	D x N	Block	Rest
Meßtermin	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	4	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	6	0.02**	0.05**	0.02**	0.01	0.01
	7	0.05**	0.16**	0.04**	0.01	0.01
	8	0.14*	0.88**	0.10*	0.01	0.04
	9	0.01	0.02**	0.01	0.01	0.01
	10	0.03*	0.09**	0.02*	0.01	0.01
	11	0.01	0.02**	0.01*	0.01	0.01
	12	0.06*	0.17**	0.06**	0.01	0.02
	13	0.98**	2.78**	0.98**	0.06	0.04
	14	0.95**	2.71**	0.95**	0.05	0.04
	15	1.21**	3.58**	1.21**	0.10	0.06
	16	0.74**	1.44**	0.74**	0.07	0.05
	17	0.01**	0.01**	0.01**	0.01	0.01
	18	0.03**	0.12**	0.03**	0.01	0.01
	19	0.01**	0.02**	0.01**	0.01	0.01
	20	0.02**	0.07**	0.02**	0.01	0.01

Tabelle A 22: Varianztabelle für die N-Austräge (g N/m²) im Sickerwasser, 2. Versuchsjahr (MQ-Werte)

Jahr		2. Versuchsjahr				
Varianzursache		D	N	D x N	Block	Rest
Meßtermin	1	0.01**	0.01**	0.01**	0.01	0.01
	2	0.01	0.01**	0.01	0.01	0.01
	3	0.01	0.01**	0.01	0.01	0.01
	4	0.59	4.62**	0.59*	0.12	0.21
	5	0.59**	3.85**	0.59**	0.16	0.12
	6	0.72*	3.11**	0.72*	0.19	0.23
	7	0.26**	1.41**	0.25**	0.09	0.05
	8	0.01	0.04**	0.01	0.01	0.01
	9	0.03**	0.12**	0.03**	0.01	0.01
	10	0.77**	1.88**	0.77**	0.06	0.10
	11	1.87**	7.74**	1.81**	0.17	0.14
	12	0.06**	0.23**	0.06**	0.01	0.01
	13	0.02**	0.04**	0.01**	0.01	0.01
	14	0.13*	0.46**	0.10*	0.01	0.03
	15	0.08**	0.24**	0.05**	0.01	0.01
	16	0.01**	0.03**	0.01**	0.01	0.01

Tabelle A 23: Varianztabelle für die N-Austräge (g N/m²) im Sickerwasser der Variante N3, 1.- und 2. Versuchsjahr (MQ-Werte)

Jahr		1. Vj			2. Vj		
Varianzursache		D	Block	Rest	D	Block	Rest
Meßtermin	1	0.01	0.01	0.01	0.01**	0.01	0.01
	2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	3	0.01	0.01*	0.01	0.01	0.01	0.01
	4	0.01	0.01	0.01	1.76	0.37	0.68
	5	0.01	0.01	0.01	1.75*	0.47	0.32
	6	0.06**	0.02	0.01	2.14	0.57	0.73
	7	0.13*	0.02	0.02	0.77*	0.27	0.12
	8	0.33	0.06	0.11	0.02	0.01	0.01
	9	0.02	0.01	0.01	0.09*	0.01	0.02
	10	0.07	0.03	0.03	2.31**	0.19	0.31
	11	0.02	0.01	0.01	5.50**	0.52	0.39
	12	0.18*	0.04	0.05	0.17*	0.01	0.04
	13	2.95**	0.17	0.12	0.04**	0.01	0.01
	14	2.84**	0.14	0.12	0.30	0.02	0.08
	15	3.62**	0.29	0.16	0.17**	0.02	0.02
	16	2.21**	0.19	0.14	0.02*	0.01	0.01
	17	0.01**	0.01	0.01			
	18	0.10**	0.01	0.01			
	19	0.02**	0.01	0.01			
	20	0.06**	0.01	0.01			

Tabelle A 24: N_{min} -Mengen ($\text{g NO}_3\text{-N/m}^2 + \text{g NH}_4\text{-N/m}^2$) der Rasentragschicht, 1. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh., unterbrochene Linien markieren den Düngungszeitpunkt)

Düngerform N-Variante Termin	synth.-org. N-Dünger Ureaform			synth.-org. N-Dünger Isodur			natürl.-org. N-Dünger			leichtlös.-min. N-Dünger		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
	03.04.1990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.04.	0.24	0.48	0.44	0.20	0.24	0.32	0.24	0.24	0.44	0.36	0.41	0.69
03.05.	0.99	1.21	1.21	1.18	1.26	1.52	1.12	1.32	2.12	0.89	1.39	1.47
17.05.	0.86	1.11	1.06	0.83	1.16	1.47	0.84	1.08	1.27	1.37	1.15	4.70
29.05.	1.15	1.49	0.99	1.23	1.06	2.21	0.83	0.93	1.62	0.93	1.11	1.31
12.06.	0.48	0.46	0.46	0.60	0.54	0.62	0.44	0.90	1.26	0.54	0.74	2.94
26.06.	0.45	0.34	0.26	0.29	0.57	0.45	0.22	0.30	3.13	0.20	0.35	0.70
10.07.	0.32	0.52	0.68	0.44	0.64	2.24	0.34	0.20	0.79	0.38	0.48	0.90
31.07.	0.20	0.20	0.96	0.47	0.99	9.77	0.63	0.55	1.32	0.58	0.30	2.41
14.08.	0.51	0.55	0.85	0.42	0.50	0.74	0.50	0.56	3.70	0.17	0.65	4.74
28.08.	0.72	0.66	0.77	0.68	0.58	0.60	0.70	0.75	7.53	0.57	0.83	0.92
11.09.	0.77	0.76	0.88	0.62	0.68	0.79	0.65	0.75	4.94	0.66	0.76	13.08
25.09.	0.76	0.68	0.68	0.66	0.51	0.73	0.55	0.66	1.69	0.56	0.64	3.47
10.10.	0.69	0.85	0.78	0.59	0.69	0.80	0.60	0.51	1.58	0.57	0.69	7.78
23.10.	0.16	0.64	0.72	0.51	0.58	0.40	0.36	0.57	2.92	0.49	0.74	8.27
06.11.	0.00	0.25	0.45	0.26	0.22	0.66	0.19	0.43	1.53	0.00	0.42	0.81
20.11.	0.32	0.42	0.46	0.41	0.29	1.19	0.21	0.32	1.33	0.43	0.29	0.50
14.01.1991	0.04	0.14	0.11	0.13	0.34	0.59	0.02	0.09	0.24	0.07	0.03	0.01
06.03.	0.14	0.28	0.23	0.16	0.30	0.47	0.15	0.21	0.58	0.06	0.21	0.18

Tabelle A 25: N_{\min} -Mengen (g NO_3 -N/m² + g NH_4 -N/m²) der Rasentragschicht, 2. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

Düngerform N-Variante Termin	synth.-org. N-Dünger Ureaform			synth.-org. N-Dünger Isodur			natürl.-org. N-Dünger			leichtlös.-min. N-Dünger		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
	02.04.1991	0.35	0.22	0.38	0.15	0.36	0.76	0.27	0.37	0.40	0.24	0.36
02.05.	0.00	0.14	0.10	0.00	0.24	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16.05.	0.24	0.26	0.42	0.24	0.36	0.54	0.06	0.12	0.40	0.00	0.27	1.14
29.05.	0.04	0.06	0.38	0.19	0.37	0.37	0.17	0.19	0.20	0.10	0.19	0.56
13.06.	0.80	0.21	0.27	0.17	0.25	0.59	0.09	0.45	0.66	0.18	0.11	3.56
25.06.	0.24	0.12	0.45	0.10	0.38	0.83	0.14	0.47	1.37	0.14	0.20	0.99
09.07.	0.85	0.66	1.62	0.90	0.80	3.91	0.58	0.71	8.63	0.40	0.80	6.46
30.07.	1.15	1.12	1.44	0.82	1.14	9.12	0.70	0.72	3.48	0.23	0.47	9.89
13.08.	0.68	1.03	1.45	1.04	1.03	7.83	0.58	1.61	16.07	0.32	0.62	17.18
28.08.	0.86	0.94	1.11	0.69	0.85	4.06	0.85	1.05	10.97	0.72	0.81	7.64
24.09.	0.52	0.79	0.94	0.56	0.73	0.77	0.59	0.93	0.99	0.62	0.74	1.10
10.10.	0.54	0.87	1.99	0.58	0.73	2.00	0.59	0.85	5.00	0.56	0.90	8.89
23.10.	0.39	0.49	0.69	0.38	0.38	0.88	0.46	0.53	5.99	0.55	0.53	4.09
06.11.	0.48	0.57	0.79	0.44	0.64	2.39	0.52	0.43	6.81	0.40	0.45	0.62
26.11.	0.12	0.16	0.30	0.14	0.42	2.11	0.15	0.62	0.82	0.13	0.26	0.36
14.01.1992	0.02	0.07	0.15	0.06	0.09	0.49	0.05	0.09	0.49	0.07	0.15	0.24
11.03.	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.43	0.06	0.05	0.46	0.06	0.00	0.26

Tabelle A 26: Nitratstickstoff-Mengen (g NO₃-N/m²) der Rasentragschicht, 1. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

Düngerform N-Variante Termin	synth.-org. N-Dünger Ureaform			synth.-org. N-Dünger Isodur			natürl.-org. N-Dünger			leichtlösl.-min. N-Dünger		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
	03.04.1990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.04.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03.05.	0.22	0.31	0.29	0.25	0.29	0.27	0.25	0.25	0.24	0.25	0.25	0.23
17.05.	0.20	0.22	0.28	0.22	0.20	0.28	0.22	0.22	0.24	0.30	0.24	2.29
29.05.	0.28	0.42	0.28	0.33	0.22	0.42	0.18	0.24	0.26	0.27	0.25	0.36
12.06.	0.16	0.22	0.16	0.17	0.14	0.14	0.12	0.30	0.63	0.17	0.16	2.04
26.06.	0.14	0.12	0.12	0.10	0.12	0.14	0.08	0.10	2.76	0.12	0.12	0.39
10.07.	0.14	0.20	0.16	0.14	0.18	1.70	0.18	0.08	0.36	0.12	0.14	0.48
31.07.	0.10	0.08	0.25	0.07	0.19	9.26	0.23	0.11	0.50	0.13	0.11	1.85
14.08.	0.08	0.12	0.21	0.06	0.11	0.27	0.06	0.06	2.83	0.00	0.08	4.08
28.08.	0.24	0.13	0.16	0.23	0.13	0.14	0.15	0.11	6.74	0.12	0.19	0.33
11.09.	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.25	0.08	0.12	4.02	0.12	0.17	12.42
25.09.	0.18	0.08	0.09	0.11	0.12	0.12	0.10	0.10	0.95	0.12	0.12	2.87
10.10.	0.12	0.12	0.12	0.08	0.12	0.18	0.12	0.07	0.88	0.12	0.12	7.28
23.10.	0.04	0.17	0.12	0.12	0.17	0.12	0.12	0.12	2.26	0.12	0.20	7.85
06.11.	0.00	0.21	0.28	0.18	0.18	0.41	0.13	0.24	1.46	0.00	0.27	0.65
20.11.	0.14	0.14	0.18	0.14	0.11	0.91	0.07	0.11	1.05	0.11	0.11	0.18
14.01.1991	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.42	0.02	0.03	0.22	0.05	0.03	0.05
06.03.	0.05	0.06	0.08	0.03	0.09	0.32	0.06	0.09	0.47	0.03	0.10	0.13

Tabelle A 27: Ammoniumstickstoff-Mengen (g $\text{NH}_4\text{-N/m}^2$) der Rasentragschicht, 1. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

Düngerform N-Variante Termin	synth.-org. N-Dünger Ureaform			synth.-org. N-Dünger Isodur			natürl.-org. N-Dünger			leichtlös.-min. N-Dünger		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
	03.04.1990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.04.	0.24	0.48	0.44	0.20	0.24	0.32	0.24	0.24	0.44	0.36	0.41	0.60
03.05.	0.77	0.90	0.92	0.93	0.97	1.25	0.87	1.07	1.88	0.64	1.14	1.24
17.05.	0.66	0.89	0.78	0.61	0.96	1.19	0.62	0.86	1.03	1.07	0.91	2.41
29.05.	1.23	1.07	0.71	0.90	0.84	1.79	0.65	0.69	1.36	0.66	0.86	0.95
12.06.	0.32	0.24	0.30	0.43	0.40	0.48	0.32	0.60	0.63	0.37	0.58	0.90
26.06.	0.31	0.22	0.14	0.19	0.45	0.31	0.14	0.20	0.37	0.08	0.23	0.31
10.07.	0.18	0.32	0.52	0.30	0.46	0.54	0.16	0.12	0.43	0.26	0.34	0.42
31.07.	0.10	0.12	0.71	0.40	0.80	0.51	0.40	0.44	0.82	0.45	0.19	0.56
14.08.	0.43	0.43	0.64	0.36	0.39	0.47	0.44	0.50	0.87	0.17	0.57	0.66
28.08.	0.48	0.53	0.61	0.45	0.45	0.46	0.55	0.64	0.79	0.45	0.64	0.59
11.09.	0.65	0.64	0.76	0.50	0.56	0.54	0.57	0.63	0.92	0.54	0.59	0.66
25.09.	0.58	0.60	0.59	0.55	0.39	0.61	0.45	0.56	0.74	0.44	0.52	0.60
10.10.	0.57	0.73	0.66	0.51	0.57	0.62	0.48	0.44	0.70	0.45	0.57	0.50
23.10.	0.12	0.47	0.60	0.39	0.41	0.28	0.24	0.45	0.66	0.37	0.54	0.42
06.11.	0.00	0.04	0.17	0.08	0.04	0.25	0.06	0.19	0.07	0.00	0.15	0.16
20.11.	0.18	0.28	0.28	0.25	0.18	0.28	0.14	0.21	0.28	0.32	0.18	0.32
14.01.1991	0.02	0.12	0.09	0.11	0.29	0.17	0.00	0.06	0.02	0.02	0.00	0.05
06.03.	0.09	0.22	0.15	0.13	0.21	0.15	0.09	0.12	0.11	0.03	0.11	0.05

Tabelle A 28: Nitratstickstoff-Mengen (g NO₃-N/m²) der Rasentragschicht, 2. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

Düngerform N-Variante Termin	synth.-org. N-Dünger Ureaform			synth.-org. N-Dünger Isodur			natürl.-org. N-Dünger			leichtlösl.-min. N-Dünger		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
	02.04.1991	0.08	0.04	0.06	0.06	0.08	0.11	0.05	0.08	0.09	0.06	0.06
02.05.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16.05.	0.06	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.02	0.14	0.00	0.02	0.70
29.05.	0.04	0.04	0.08	0.04	0.08	0.06	0.04	0.04	0.08	0.08	0.04	0.27
13.06.	0.08	0.04	0.06	0.02	0.04	0.09	0.02	0.04	0.13	0.00	0.02	2.70
25.06.	0.12	0.04	0.12	0.08	0.08	0.24	0.08	0.08	0.56	0.04	0.10	0.43
09.07.	0.18	0.14	0.36	0.16	0.16	3.06	0.12	0.10	7.90	0.10	0.14	5.81
30.07.	0.16	0.10	0.21	0.08	0.14	8.08	0.08	0.11	3.04	0.06	0.16	9.56
13.08.	0.16	0.22	0.49	0.16	0.28	7.10	0.12	0.71	15.66	0.16	0.14	17.02
28.08.	0.08	0.06	0.16	0.04	0.08	3.27	0.08	0.16	10.24	0.11	0.11	6.91
24.09.	0.04	0.08	0.13	0.06	0.08	0.17	0.06	0.10	0.39	0.08	0.12	0.56
10.10.	0.06	0.04	1.20	0.06	0.10	1.48	0.06	0.14	4.48	0.09	0.12	8.40
23.10.	0.06	0.06	0.14	0.06	0.06	0.40	0.06	0.08	5.46	0.06	0.10	3.77
06.11.	0.06	0.06	0.18	0.06	0.10	1.91	0.06	0.08	6.50	0.12	0.08	0.39
26.11.	0.10	0.12	0.15	0.10	0.12	1.70	0.12	0.20	0.70	0.10	0.21	0.36
14.01.1992	0.02	0.07	0.15	0.06	0.09	0.49	0.05	0.09	0.49	0.07	0.15	0.24
11.03.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.06	0.05	0.46	0.06	0.00	0.26

Tabelle A 30: Boniturnoten für Gesamteindruck, 1. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh., unterbrochene Linien = Düngungszeitpunkte)

Düngerform N-Variante Termin	synth.-org. N-Dünger Ureaform			synth.-org. N-Dünger Isodur			natürl.-org. N-Dünger			leichtlösl.-min. N-Dünger		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
04.04.1990	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
18.04.	6.8	6.8	7.3	6.8	6.8	7.5	6.8	7.0	7.8	6.3	7.3	7.8
02.05.	6.8	6.8	7.3	6.3	7.3	8.0	6.8	7.3	8.0	6.5	7.0	8.0
16.05.	7.0	6.8	7.0	6.0	7.3	7.3	6.0	7.0	7.5	7.0	8.0	8.0
29.05.	5.5	5.5	6.3	6.0	6.8	6.5	5.5	7.0	7.3	6.0	7.0	7.0
12.06.	4.5	4.5	5.3	5.3	6.0	6.0	5.0	7.3	6.0	5.5	6.8	7.0
26.06.	4.0	4.5	5.8	5.0	7.0	7.8	5.5	7.8	7.8	6.3	7.5	7.8
10.07.	5.0	5.5	6.8	5.8	7.5	8.0	6.0	8.0	8.5	6.0	7.8	8.0
31.07.	4.8	5.3	7.5	5.0	6.5	8.0	5.3	6.5	7.0	6.0	8.3	9.0
14.08.	5.5	6.0	7.5	6.0	7.3	9.0	6.5	8.3	8.5	7.0	9.0	9.0
28.08.	5.5	6.3	8.3	6.5	8.0	8.8	6.8	9.0	8.8	7.5	8.8	9.0
11.09.	5.5	6.3	7.5	5.8	7.0	7.5	6.8	8.3	7.8	7.8	9.0	8.0
25.09.	5.0	5.5	6.8	5.3	6.8	7.0	6.8	8.0	8.0	7.3	8.8	8.3
10.10.	4.5	6.0	7.5	4.8	6.5	7.5	6.8	8.3	8.3	7.5	8.8	8.5
23.10.	4.0	6.0	8.0	4.3	6.8	8.3	6.0	8.3	8.0	7.8	8.8	8.8
04.12.	4.0	5.0	6.5	4.3	5.0	7.5	5.0	7.0	7.3	6.5	7.5	8.0
06.03.1991	5.0	5.3	5.8	3.5	5.0	6.8	4.8	6.3	7.0	6.3	7.0	6.8

Tabelle A 31: Boniturnoten für Gesamteindruck, 2. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

Düngerform N-Variante Termin	synth.-org. N-Dünger Ureaform			synth.-org. N-Dünger Isodur			natürl.-org. N-Dünger			leichtlös.- min. N-Dünger		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
02.04.1991	4.0	5.3	8.0	3.8	8.0	8.3	5.0	8.3	8.5	6.5	8.3	7.5
17.04.	3.3	4.8	6.8	3.3	5.0	7.3	4.3	6.0	6.8	5.3	7.8	7.8
30.04.	3.5	4.5	6.8	3.3	5.0	7.0	4.0	6.0	6.5	5.3	7.8	7.8
29.05.	4.0	5.0	7.0	4.0	6.0	8.0	4.3	6.5	7.5	6.5	8.3	8.8
14.06.	4.0	5.8	7.0	4.8	6.3	8.5	5.0	8.5	8.8	6.8	8.5	8.8
09.07.	5.0	7.3	8.0	4.8	8.0	6.3	6.8	8.3	7.0	7.3	9.0	8.3
30.07.	7.0	7.8	7.5	7.3	8.5	7.0	7.3	8.5	7.3	7.8	9.0	8.3
13.08.	7.3	7.3	6.5	7.5	7.0	5.5	7.8	6.0	5.5	7.0	5.8	4.8
28.08.	7.8	7.5	7.5	7.0	7.8	7.0	7.8	8.3	6.5	7.0	6.5	5.5
24.09.	5.5	7.5	7.8	6.0	7.5	8.0	6.3	8.5	7.8	6.3	8.5	7.3
24.10.	5.0	7.0	7.5	5.3	7.3	8.0	6.3	7.8	8.0	5.8	7.8	7.5
22.11.	4.0	6.0	7.5	4.5	5.8	8.0	5.0	7.5	7.0	5.3	7.8	7.0
11.03.1992	3.7	5.0	6.5	4.0	6.2	6.5	4.7	6.5	6.5	5.2	6.2	5.2

Tabelle A 32: Boniturnoten für Farbaspekt, 1. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

Düngerform N-Variante Termin	synth.-org. N-Dünger Ureaform			synth.-org. N-Dünger Isodur			natürl.-org. N-Dünger			leichtlös.-min. N-Dünger		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
	04.04.1990	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
18.04.	5.8	6.3	6.8	5.5	6.3	6.8	5.5	6.8	7.8	5.8	6.8	7.5
02.05.	4.8	5.0	6.0	5.0	5.8	7.0	4.8	6.0	8.0	5.0	6.0	8.0
16.05.	4.8	5.0	6.0	5.0	6.0	7.5	4.3	6.0	7.8	6.0	7.0	7.8
29.05.	4.0	4.5	5.0	4.8	5.8	7.0	4.5	5.8	6.0	5.0	5.5	6.0
12.06.	4.0	4.0	5.0	4.8	6.3	7.3	6.0	7.8	7.0	6.5	7.3	8.0
26.06.	3.0	4.0	5.0	3.0	7.0	8.0	6.0	8.0	8.3	6.0	7.0	8.0
10.07.	6.0	7.5	8.3	6.0	8.0	8.3	6.3	8.3	8.8	7.0	8.3	8.5
31.07.	4.5	6.5	8.0	5.5	8.0	9.0	4.3	6.5	8.5	6.3	8.0	9.0
14.08.	5.0	6.0	7.5	5.8	7.3	9.0	6.3	9.0	8.0	7.0	9.0	9.0
28.08.	5.0	6.3	8.0	5.5	8.0	8.8	6.8	9.0	9.0	7.0	8.8	9.0
11.09.	5.3	6.3	7.3	5.5	7.0	7.8	6.8	8.3	8.0	8.0	9.0	8.5
25.09.	4.0	5.0	6.0	4.5	6.0	7.0	6.5	8.0	9.0	7.3	8.5	9.0
10.10.	4.0	6.5	8.3	4.0	6.3	8.3	5.8	8.3	8.5	7.3	9.0	9.0
23.10.	4.0	6.5	8.8	4.0	6.8	9.0	5.8	8.8	8.3	7.5	9.0	9.0
04.12.	4.0	5.8	7.0	5.0	6.8	8.0	5.8	7.3	7.0	5.3	6.0	7.0
06.03.1991	3.8	4.3	5.3	4.5	6.0	7.3	4.5	6.3	7.0	3.8	4.3	5.8

Tabelle A 33: Boniturnoten für Farbaspekt, 2. Versuchsjahr (Mittel aus 4 Wdh.)

Düngerform N-Variante Termin	synth.-org. N-Dünger Ureaform			synth.-org. N-Dünger Isodur			natürl.-org. N-Dünger			leichtlösl.-min. N-Dünger		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
02.04.1991	4.0	5.8	7.3	5.5	7.8	8.0	5.8	7.8	8.0	5.5	7.0	7.0
17.04.	3.8	5.8	9.0	4.8	7.3	8.8	5.0	7.5	9.0	5.8	8.8	9.0
30.04.	4.0	6.0	8.5	4.8	6.8	8.5	4.5	7.3	8.5	5.5	8.0	9.0
29.05.	4.5	6.3	8.0	5.0	7.5	9.0	5.0	7.8	9.0	6.5	8.5	9.0
14.06.	4.5	5.8	7.3	5.0	7.0	8.8	6.0	8.8	9.0	7.5	9.0	8.8
09.07.	6.3	8.0	8.5	6.0	8.0	8.5	7.0	8.5	9.0	8.0	8.8	8.5
30.07.	6.0	6.8	8.5	6.5	7.8	8.3	6.3	8.8	9.0	6.5	9.0	9.0
13.08.	6.5	6.5	6.8	6.5	6.8	8.0	7.0	7.3	7.8	6.5	7.3	7.8
28.08.	6.8	7.3	8.5	6.8	7.3	9.0	8.0	8.3	9.0	6.0	6.3	8.8
24.09.	6.0	6.8	8.3	6.0	7.5	9.0	7.0	8.5	9.0	6.3	8.3	9.0
24.10.	6.5	7.5	8.8	6.0	7.3	8.8	7.0	8.3	8.0	6.0	8.8	9.0
22.11.	4.8	5.8	7.5	5.5	6.8	8.8	5.8	7.0	8.5	4.5	6.0	7.0
11.03.1992	3.0	4.2	6.0	5.0	6.7	7.0	4.0	6.2	7.0	3.2	4.2	5.0

Lebenslauf

geboren am	20.09.1959 in Regensburg
Familienstand	ledig
Schul- und Berufsausbildung	
09/65 - 07/75	Grund- und Hauptschulbesuch, zuletzt in Arnstein, Ufr.
09/75 - 07/77	staatl. Berufsfachschule f. Landwirtschaft in Ochsenfurt, Abschluß: Fachschulreife
09/77 - 09/79	landwirtschaftliche Lehre in Oberbayern, Abschluß: Gehilfenprüfung
09/79 - 06/81	staatl. Berufsoberschule f. Landwirtschaft in Landshut, Abschluß: fachgebundene Hochschulreife
Studium	
WS 81/82 - WS 87/88	Studium der Allgemeinen Agrarwissenschaften, Fachrichtung Pflanzenproduktion, an der Universität Hohenheim, Abschluß: Dipl.-Ing. agr.
berufl. Tätigkeit	
04/88 - 04/89	freier Mitarbeiter bei der Deutschen Golf Consult
seit 04/89	Doktorand am Institut für Pflanzenbau und Grünland, Lehrstuhl für Grünlandlehre der Universität Hohenheim, gleichzeitig Ausbilder bei der DEULA Kempen im Rahmen der Greenkeeper-Lehrgänge

CENTER FOR RESEARCH LIBRARIES



3 1949 02331 4355