



SCHRIFTEN

106

Verminderung des
Stickstoffaustrags aus
landwirtschaftlich genutzten Flächen
in das Grundwasser –
Grundlagen und Fallbeispiele

V. PAULBERISPIELE - PFLANZEN -
BAULICHE MASSNAHMEN -
PFLANZENBAULICHE MASSNAHMEN ZUR
VERRINGERUNG DES STICKSTOFFAUSS-
TRAGES VON LANDWIRTSCHAFTLICH
GENUTZTEN FLÄCHEN

von R. Gutscher und S. Hauck, Weihenstephan

I E I N L E I T U N G

Der Nitrataustrag kann sowohl über die anfallende Sickerwasser-
menge als auch über den Nitratgehalt des Sickerwassers
beeinflusst werden. Die Wasserwirtschaft ist verständlicher-
weise in erster Linie an einer Verminderung der Nitratgehalte
des Sickerwassers interessiert. Die Höhe des N-Austrages ist
wesentlich von der Art der Bodennutzung sowie acker- und
pflanzenbaulichen Maßnahmen abhängig. Die Intensität der orga-
nischen und mineralischen Düngung bestimmt entscheidend die
Höhe des N-Austrages. Für die Beurteilung der Umweltverträglich-
keit von Düngungsmaßnahmen kann eine einfache N-Bilanz
(Düngung minus Entzug (Abfuhr) herangezogen werden; diese
sollte im Mittel über eine Fruchtfolge weitgehend ausgeglichen
sein. Eine Verminderung des N-Einsatzes führt in der
Regel zu einem Rückgang der NO_3^- -Auswaschung.

Liegt die N-Düngung jedoch wesentlich unter dem standortge-
rechten Düngungsniveau (z. B. 120 kg N/ha.a im Lysimeterver-
such) und somit unter dem N-Entzug optimal ernährter Pflanzen-
bestände, muß längerfristig ein Ertragsverlust eingeplant
werden (Tafel 1).



Kommissionsvertrieb

Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft
Gas und Wasser mbH, Bonn

1994

Schwierigkeiten bereitet die optimale Verwertung von Wirtschaftsdüngern, insbesondere der Applikationstermin (in die Vegetationszeit bzw. zur vegetationsfreien Zeit) beeinflusst die Ausgangsverluste (Tafel 2).

Tafel 1: Lysimeter Weihenstephan 1989 - 1991

Fruchtfolge: Zuckerrüben-Getreide (Getreide)

Boden: schluffiger Lehm

Düngung kg N/ha-a	Ertrag rel.	Sickerwasser mm	Sickerwasser ϕ /a mg NO ₃ /l	Auswaschung kg N/ha-a
N ₀	57	355	48	39
N ₁₂₀ (+24) *	90	264	60	36
N ₁₆₀ (+44) *	= 100	259	76	44

* Bilanz: Düngung - Entzug (Abfuhr)

(LST Pflanzenernährung/Weihenstephan)

Tafel 2: Mittlere N-Auswaschung -Lysimeter 1983 - 1991-

Düngungssystem: KAS bzw. Güllew/KAS; 167 kg N_{ges}/ha-a

Düngung	kg N/ha	Auswaschung mg NO ₃ /l Sickerwasser
Gülle zur Zwischenfrucht	27	54
Gülle März/April	45	74
Gülle Okt./Nov.	59	97
Gülle Okt./Nov. + Didin	51	84
KAS	44	76

KAS = Kalkammonsalpeter

(Gutser, 1991)

Wird der organische Dünger auf Basis des Gesamtstickstoffs be-

wertet, treten gegenüber einem Mineraldüngersystem Ertragsverluste von ca. 10 % auf. Die NO₃-Auswaschung liegt in beiden Systemen auf gleichem Niveau (Tafel 3).

Tafel 3: Vergleich Mineraldüngung - Gülle/Mineraldüngung:

Basis Gesamt-N (Gülle); Lysimeter 1983 - 1991

Düngung kg N/ha-a	"Bilanz" * Erträge (relativ)	kg N/ha-a	Auswaschung mg NO ₃ /l Sickerw.
KAS	+ 44	= 100	44
Gülle/KAS	+ 98	92	44
			76
			73

* Düngung - Entzug

(Gutser, 1991)

Wird nur der kurzfristig verfügbare NH₄-Stickstoff der Gülle berücksichtigt, gleichen sich die Erträge weitgehend an. Gülle bewirkt dann allerdings höhere N-Verluste durch Auswaschung (ϕ 45 kg gegenüber 36 kg N/ha-a im Falle von KAS) (GUTSER, 1991).

Zur Minimierung des Nitrataustrages ist demnach ein optimaler Einsatz von organischen und mineralischen Düngern zwingend notwendig (Tierhaltungsbetrieb: Wirtschaftsdünger + Ergänzung mit Mineraldünger; Marktfruchtbetrieb: Mineraldünger).

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt jedoch nicht in der Optimierung der Düngung, sondern in der Bewertung pflanzenbaulicher Maßnahmen im Hinblick auf die Verringerung des NO₃-Austrages von landwirtschaftlich genutzten Flächen.

2 H A U P T T E I L

2.1 BODENNUTZUNG

Grundsätzlich beeinflusst die Art der Bodennutzung wesentlich den N-Austrag (Tafel 4).

Tafel 4: Nitrat im Grundwasser in Abhängigkeit von Standort und Nutzung (Mittelwerte)

	mg NO ₃ /l
Sand:	ca.
Nadelwald	10
Mähwiese	15 - 30
Acker (+Zwischenfrucht)	60 - 70
Intensivweide	60 - 90
Acker	100 - 130
LÖS:	20 - 60

(KOLENBRANDER, 1981)

Landwirtschaftliche Nutzung bringt gegenüber forstwirtschaftlicher Nutzung in der Regel einen merklichen Anstieg des N-Austrages, ebenso Acker- gegenüber Grünlandnutzung. Allerdings kann eine intensive Weidenutzung ebenfalls zu hohen N-Austrägen führen. Nur am Rande sei hinzugefügt, daß ein Umbruch von Grünland mit nachfolgender Ackernutzung extrem hohe Verluste durch Nitratauswaschung (2000 - 6000 kg N/ha) bewirkt. Die derzeit in den marktentlastenden Extensivierungsprogrammen enthaltene Grünbrache (Dauerbrache für ca. 5 - 6 Jahre) bringt ähnliche Probleme mit sich wie ein Grünlandumbruch. Für eine spätere Ackernutzung müssen geeignete Umbruchstrategien entwickelt werden (Tafel 10).

2.2 FRUCHTFOLGE

Eine ganzjährige Pflanzenbedeckung bietet die beste Voraussetzung für eine Minimierung der N-Auswaschung (geringerer Sickerwasseranfall bzw. NO₃-Gehalt des Wassers als Folge der N-Aufnahme), entsprechend liegt die N-Auswaschung unter Grünland sowie unter Ackernutzung mit Zwischenfruchtanbau (Tafel 4) bzw. Kap.2.3 meist niedrig, unter Brache (nicht Grünbrache) hoch.

Im Weihenstephaner Lysimeter führte eine übliche landwirtschaftliche Fruchtfolge zu einer mittleren jährlichen Auswaschung von 64 kg N/ha, davon 23 % im Spätherbst (Okt.-Dez.) und 47 % im Winter (Jan.-Mrz.). Unter Wintergetreide fällt weniger Sickerwasser an als unter Sommergetreide (Bild 1).

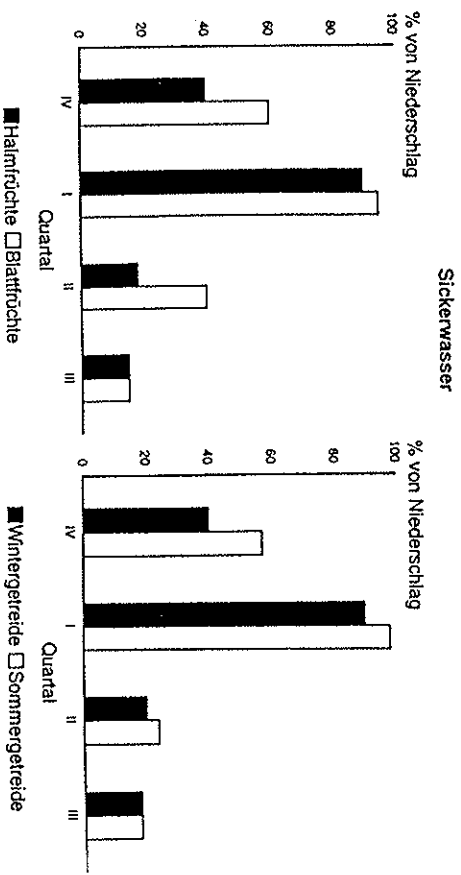


Bild 1: Sickerwasseranfall und N-Auswaschung in Abhängigkeit von der Kulturpflanze (Lysimeter Weihenstephan 1954 - 1978)

Wegen der langsamen und späteren Jugendentwicklung der Blattfrüchte (Mais, Kartoffeln, Rüben) liegt die Auswaschungsge-

fahr im 2. Quartal (Apr.-Jun.) deutliche höher als unter Halmfrüchten (Bild 1), so daß sich im jährlichen Durchschnitt unter Halmfrüchten 60, unter Blattfrüchten 71 kg N/ha (gleich + 20 %) ergeben.

Leguminosen, insbesondere Körnerleguminosen, erhöhen stets das Auswaschungspotential im Boden, so daß spezielle N-konservierende Fruchtfolgestrategien notwendig werden (s. Kap. 2.6).

2.3 ZWISCHENFRUCHT

Inbesondere bei hoher Produktionsintensität kann nicht immer sichergestellt werden, daß der Boden zum Erntezeitpunkt von Nitratstickstoff entleert ist (Witterung, Wachstumsrhythmus der Pflanzen etc.). Während der Herbst- z.T. auch der Wintermonate finden im Boden zudem weiterhin Mineralisationsvorgänge statt, die besonders auf "fruchtbaren" Böden sowie nach langjähriger Zufuhr von Wirtschaftsdüngern und vor allem auch nach Anbau garefördernder Kulturen mit stickstoffreichen Pflanzenrückständen (z.B. Raps, Körnerleguminosen) oder Kulturen mit früher Erntezeit (Juli, August) zur Bildung von auswaschungsgefährdetem Nitratstickstoff im Boden führen. Für die Konservierung dieses kritischen Stickstoffs über die vegetationsfreie Zeit hinweg eignen sich Zwischenfrüchte. Zwischenfruchtanbau ohne und mit Futternutzung stellt eine sehr sichere N-konservierende Maßnahme dar (Bild 2).

Die niedrigen N-Austräge sind eine Folge verminderter Sickerwasserraten von Oktober bis April (Grundwasserneubildung) und verringerter Nitratgehalte des Wassers (Tafel 5).

Zwischenfrüchte vermindern während ihrer Wachstumszeit deutlich die Nitratgehalte des Bodens (Bild 3). Leguminosen entleeren den Boden bis Oktober wesentlich weniger als z.B. Ölrettich oder Winterrüben. Die N-Konservierung über Winter kommt in höheren N_{min} -Gehalten des Bodens im

Februar zum Ausdruck. Der Zeitpunkt des Einarbeitens der Zwischenfrüchte in den Boden bestimmt wesentlich die Mineralisation des Pflanzenmaterials und die Freisetzung von Nitratstickstoff.

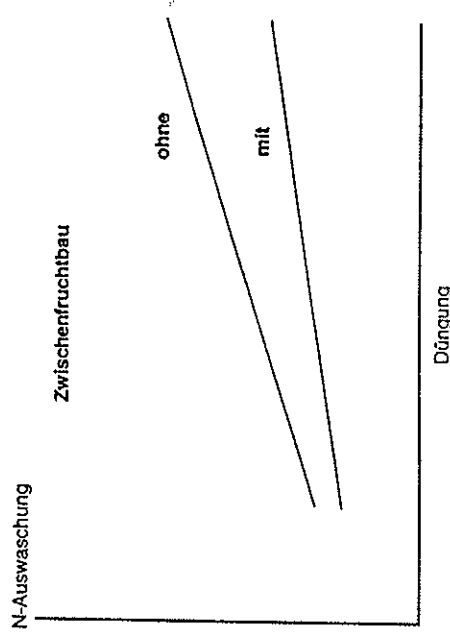


Bild 2: N-Auswaschung und Zwischenfruchtanbau (Schema)

Tafel 5: Wirkung von Zwischenfrüchten auf den N-Austrag

Lysimeter 1983 - 1991

Fruchtfolge: Zuckerrüben-Getreide- (Getreide) viermal Zwischenfrüchte (Einarbeitung Oktober /November)

Bewirtschaftung Gülle/KAS	kg N/ha-a N-Entzug	Sickerwasser mm/a	Sickerwasser mg NO ₃ /l
ohne Zwischenfrüchte	93	45	269
mit Zwischenfrüchten	95	27	221

Je später die Zwischenfrüchte eingearbeitet werden, umso langsamer verläuft die Mineralisierung (Temperatureffekt).

Die N-Konservierung dauert bei überwinternden Zwischenfrüchten am längsten, auch wenn diese abfrieren (oberflächlich auf den Boden liegendes Pflanzmaterial wird langsamer abgebaut als in den Boden eingemischtes Material (Bild 4)

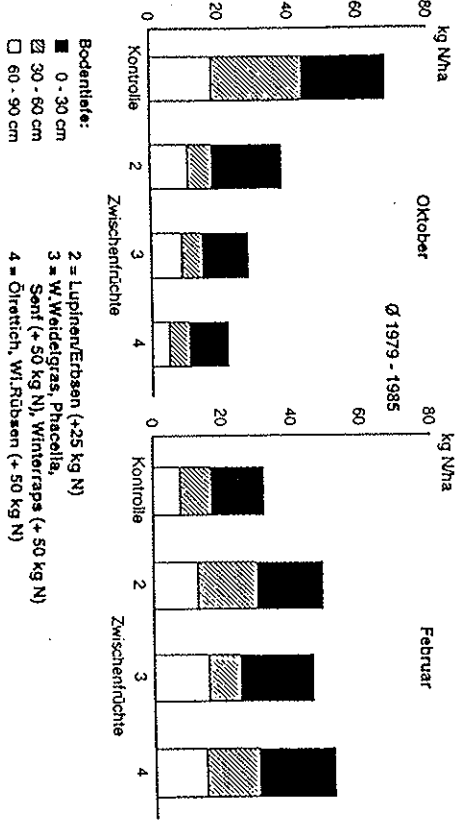


Bild 3: N_{min}-Mengen im Boden nach Anbau verschiedener Zwischenfrüchte als Gründüngung (Standort: Kleeve-Kellen, lehmiger Sand (1S); Ackerzahl (AZ): 40 - 45

Es gibt auch Mulchsaatverfahren, bei denen die Folgefrucht unmittelbar in den meist über Winter abgefrorenen Zwischenfruchtbestand (Mulchschicht) eingesät wird (z.B. Mais). Dieses Verfahren wird insbesondere zur Minderung der Bodenerosion angewandt, es eignet sich auch sehr gut für die Stickstoffkonservierung im Boden.

Die Berücksichtigung des über Zwischenfrüchte konservierten Stickstoffs in der Düngung der Folgefrüchte beruht wegen des sehr unterschiedlichen Mineralisierungsverlaufes Schwierigkeiten. Wie aus Tafel 5 zu entnehmen ist, konnten von dem im Jahresmittel durch Zwischenfrüchte vor Auswaschung geschützten Stickstoffs (18 kg N/ha) nur unwesentliche Mengen

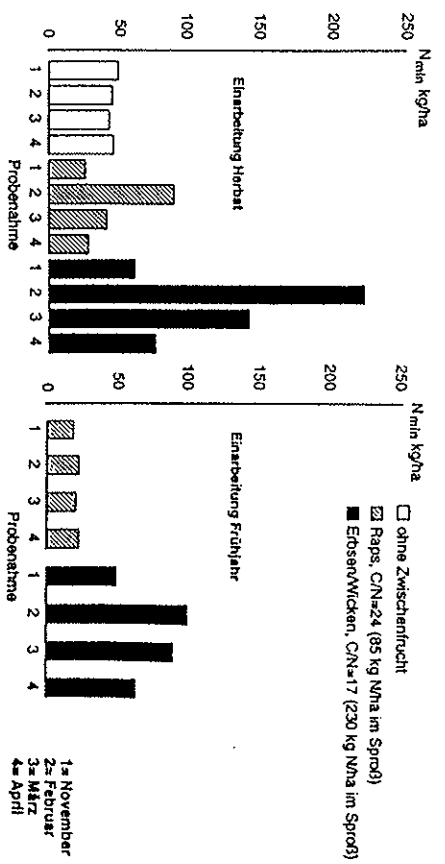


Bild 4: N_{min}-Stickstoff im Boden in Abhängigkeit vom Einarbeitungszeitpunkt der Zwischenfrüchte (kg N/ha · 90 cm Tiefe)

(2 kg N/ha) durch die Folgekulturen verwertet werden. Die N-Wirkung der Gründüngung (eingearbeitete Zwischenfrucht) zur nachfolgenden Kultur hängt wesentlich vom N-Gehalt und damit vom C/N-Verhältnis des Grünmaterials ab (Tafel 6).
 Ab C/N-Verhältnissen von ca. 20 ist mit keiner Nettofreisetzung mehr zu rechnen. Der Anbau von Zwischenfrüchten erschwert demnach die Optimierung der Folgekultur, insbesondere auch nach später Einarbeitung bzw. Überwinterung: N_{min}-Untersuchungen zum Kulturbeginn der Folgefrucht erfassen nämlich noch nicht das in der Gründüngung enthaltene N-Potential.

Tafel 6: N-Wirkung einer Zwischenfrucht Raps als Gründüngung in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis

C/N-Verhältnis	Mehrentzug der Folgefrucht (mg N/Gefäß)
29	3
17	329
12	412
7	894

(GUTSER u. VILSMEIER, 1989)

2.4 STROHDÜNGUNG

Im Gegensatz zu pflanzlichen Grünrückständen ist Stroh stickstoffarm und weist ein C/N-Verhältnis von ca. 60 - 100 auf. Während des mikrobiellen Abbaus von Stroh (Strohrotte) wird im Boden vorliegender mineralischer Stickstoff (überwiegend NO_3) biologisch festgelegt und so vor Auswaschung geschützt (Tafel 7).

Die N-Festlegung ist umso größer, je früher und vollständiger die Strohrotte im Spätsommer einsetzt (Bodenfeuchte). Im Durchschnitt können durch Stroh (ca. 60 dt/ha) etwa 30 - 50 kg N/ha festgelegt werden. Der über die Strohrotte festgelegte und damit nicht mehr auswaschungsgefährdete Stickstoff kann von der Folgekultur nur unwesentlich verwertet werden. Er geht in den N-Pool des Bodens ein und unterliegt der natürlichen Mineralisation, so daß jährliche Freisetzungsraten von 2 - 4 % gegeben sind, die allerdings in der N-Düngung kaum zu berücksichtigen sind. Die in den früheren Jahren übliche mineralische Ausgleichsdüngung als Ersatz für den durch die Strohrotte blockierten N_{min} -Stickstoff wird auf fruchtbaren Böden seit Jahren nicht mehr verabreicht.

Tafel 7: N-konservierende Wirkung einer Strohdüngung (Gefäßversuch)

Düngung	Auswaschung mg N/Gefäß	N-Konservierung mg N/g Stroh	N-Entzug Folgefrucht mg N/Gefäß
- Stroh	564	-	68
+ Stroh	164	18	67

2.5 NITRIFIKATIONSHEMMSTOFFE

In Kombination mit dem Nitrifikationshemmstoff Dicyandiamid (DCD) läßt sich die Verwertung von Gülle- und Mineraldüngersstickstoff durch die Pflanzen verbessern: DCD verzögert den Umsatz des NH_4 -Stickstoffs zum Nitrat und zwar im 1. Schritt $\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_2$; der Düngersstickstoff bleibt so mit in Form des wenig mobilen NH_4 -Stickstoffs länger im Hauptwurzelbereich der Pflanzen, insbesondere während des Jugendwachstums, er kann besser ausgenutzt und folglich auch in geringerem Maße ausgewaschen werden (AMBERGER, 1981; GUTSER, 1981). In mehrjährigen Lysimeterversuchen brachten sowohl die Reduzierung der N-Düngung als auch der Einsatz DCD-haltiger Ammoniumdünger (Alzon 25, Basamon extra 25) einen Rückgang der Nitratauswaschung im Falle "stabilisierter" Dünger, allerdings mit leichten Ertragsvorteilen (N_2) bzw. ohne so deutliche Ertragsrückgänge (N_1) (Tafel 8).

Der Abbau des Wirkstoffs DCD ist vollständig aufgeklärt (VILSMEIER, 1980), es entstehen keine Rückstandsprobleme.

Tafel 8: Vergleich Mineraldünger auf verschiedenem N-Niveau ohne und mit DCD

Düngung	Getreide	Z.-Rüben	Ø	Auswaschung Sickerwasser	
				kg N/ha	mg NO ₃ /l
N ₂ ohne DCD	= 100	= 100	= 100	44	76
N ₂ mit DCD	108	101	105	36	62
N ₁ ohne DCD	87	94	90	36	60
N ₁ mit DCD	93	93	93	34	56

Nach HALLINGER et al. (1990) ist auch ein biologischer Abbau von DCD möglich, ebenso ein Abbau in der gesättigten Zone (Grundwasserleiter) (AMBERGER u. VILSMAYER, 1988). Aus den Ergebnissen umfassender toxikologischer Untersuchungen darf gefolgert werden, daß die Anwendung von DCD kein gesundheitliches Risiko für den Menschen mit sich bringt (ROLL, 1992). Auch die Bodenmikrobiologie wird nur kurzfristig, aber sehr spezifisch (Nitrosomonas-Bakterien) und nur bakteriostatisch beeinflusst (ZACHERL, 1985).

Besonders auf auswaschungsgefährdeten Standorten und insbesondere zu Kulturen mit langsamen Jugendentum lassen sich Vorteile für DCD-haltige Mineraldünger erwarten (siehe auch Beitrag SCHEFFER, B.: Stickstoffumsetzungen im Boden, in diesem Heft).

Im Folgenden sollen noch kurz einige allgemeingültige Aussagen zur Auswirkung der Landbewirtschaftung nach den Grundsätzen des "organischen Landbaus" sowie des Anbaus von Sonderkulturen (hier: Feldgemüse) auf den Nitrataustrag gemacht werden.

2.6 ORGANISCHER LANDBAU

Nach den Richtlinien des "organischen Landbaus" geführte landwirtschaftliche Betriebe weisen als Folge ihres Verzichtes auf Einsatz mineralischer N-Dünger ausgeglichene N-Bilanzen auf als konventionell geführte Betriebe mit Viehhaltung (Tafel 9). Dies trifft allerdings für alternativ geführte Gemüsebaubetriebe mit intensiver organischer Düngung (Wirtschafts- und Handelsdünger) nicht zu.

Daraus läßt sich grundsätzlich ein geringeres Gefährdungspotential für die N-Auswaschung ableiten. Die in diesen Betrieben stets angestrebte weitgehend ganzjährige Bedeckung der Ackerflächen ist zudem positiv herauszustellen. Eine nennenswerte Auswaschungsgefahr für Nitrat besteht im wesentlichen nur nach dem Umbruch ein- bzw. mehrjähriger Leguminosenbestände (Klee, Klee gras, z.T. auch Körnerleguminosen). Tafel 10 enthält Umbruchsstrategien für eine möglichst verlustarme Einbeziehung des über Leguminosen eingebrachten Stickstoffs in die Fruchtfolge des Betriebes.

Tafel 9: Einfache Nährstoffbilanz in Betrieben des organischen Landbaus

Mittelwerte von Bayern (Ø 1,2 GV/ha LN) - Vergleich übliche Bewirtschaftung (0,5 - 1,0 GV/ha)
 Bilanz = Zufuhr (Düngung, Leguminosen-N minus Abfuhr (Erntegut))

Form	N	kg/ha P ₂ O ₅	K ₂ O
organischer Landbau	+ 38	- 13	- 6
Vergleich	+ 83	+ 53	+ 65

(BLBP, 1990)

Tafel 10. Umbruchstrategien für Klee gras

Umbruch	Zwischenfrucht	Folgekultur	N-Auswaschung
früh (Sept.)	-	Wi-Weizen	hoch
spät (Okt./Nov)	-	Wi-Weizen	mittel
früh	Senf	Wi-Weizen	gering
früh	Gemengeanbau	So-Getreide	gering
früh	Senf (Überwinterung)	Blattfrüchte (Frühjahrlücke)	gering
Frühjahr	-	Blattfrüchte	gering

So bringt ein früher Umbruch (Aug./Sept.) des Klee grasses mit Zwischenfrucht und einer Folgekultur Winterweizen bzw. Sommergetreide oder ein Umbruch im zeitigen Frühjahr mit darauffolgender Blattfrucht (z.B. Kartoffeln) eine deutliche Verminderung der Nitratgehalte des Bodens während der auswaschungsfährenden Jahreszeit gegenüber dem bisher häufig praktizierten frühen Umbruch im August/September mit Fruchtfolge Winterweizen.

2.7 SONDERKULTUREN

Nach Sonderkulturen werden häufig höhere NO_3 -Gehalte im Boden festgestellt als nach landwirtschaftlichen Kulturen. Dies trifft insbesondere auch für den Gemüsebau zu (Tafel 11). Eine wesentliche Ursache für diesen Befund stellt sicherlich eine nicht sachgemäße N-Düngung dar. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß ein erfolgreicher Gemüsebau in der Regel mit höheren N-Restmengen im Boden zum Zeitpunkt der Ernte verbunden ist als z.B. der Anbau landwirtschaftlicher Kulturen (Bild 5).

Tafel 11. Nitratmengen des Bodens zur Erntezeit (kg N/ha - durchwurzeltes Profil) Braunerden, Hannover

Kultur	kg N/ha
Weizen	30
Zuckerrüben	30
Spinat	70 (20 - 400)
Kohl	150 (20 - 600)
Sellerie	190 (40 - 500)
Kopfsalat	250 (70 - 650)

(WEHRMANN u. SCHARPF, 1983)

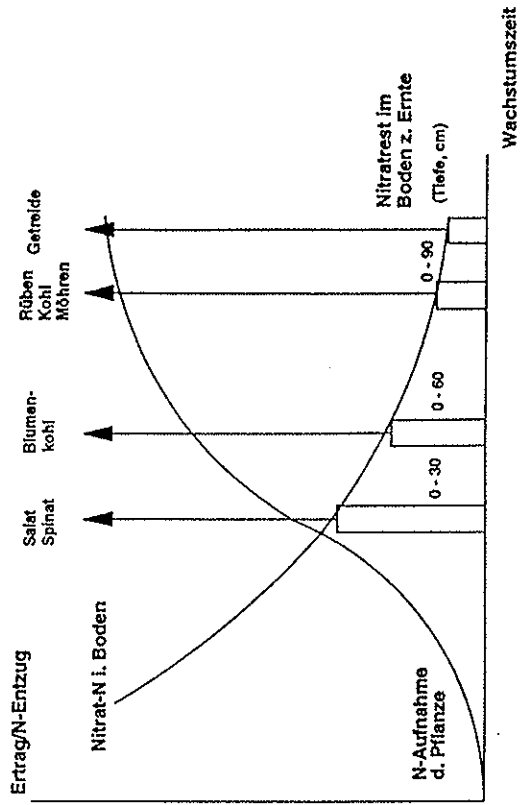


Bild 5. Nitratmengen im Boden zum Erntezeitpunkt verschiedener Kulturen (Schema)

So wird z.B. Blattgemüse mitten in der Hauptwachstumsphase geerntet, zu der höhere N_{min} -Mengen im Boden vorliegen müssen.

Eine Optimierung der N-Düngung (z.B. durch Kulturbegleitende N_{min} -Untersuchung), unterstützt durch günstige Fruchtfolgen (z.B. Herbstkultur mit tiefwurzelnden Pflanzenarten wie z.B. Kohl) lassen den Nitratreib im Boden beachtlich vermindern. Dem Zeitpunkt der Einarbeitung der meist N-reichen Rückstände kommt daher eine große Bedeutung zu (Kap. 2.3).

3 Z U S A M M E N F A S S U N G

Der Stickstoffaustrag aus landwirtschaftlichen Flächen wird wesentlich von der Art der Bodennutzung und insbesondere auch von der Intensität der organischen und mineralischen Düngung bestimmt. Eine ganzjährige Pflanzenbedeckung bietet beste Voraussetzungen für die Minimierung der N-Auswaschung. Entsprechend kommt in diesem Zusammenhang dem Anbau von Zwischenfrüchten eine große Bedeutung zu. Schwierigkeiten bereitet es allerdings, den durch Zwischenfrüchte konservierten Stickstoff den Folgekulturen zur Verfügung zu stellen. Auch die Verfügbarkeit des durch Strohhölle blockierten N_{min} -Stickstoffs ist allgemein gering. Durch den Einsatz des Nitrifikationshemmstoffes Dicyandiamid (DCD) läßt sich die Effizienz der Düngung weiter verbessern und der N-Austrag zusätzlich minimieren. Kulturfächen, die nach den Richtlinien des organischen Landbaus bewirtschaftet werden, weisen grundsätzlich ein geringeres Gefährdungspotential für N-Auswaschung auf. In Betrieben mit Sonderkulturen sind Düngungs- und Fruchtfolgestrategien weiter zu optimieren. Erfolgreicher Gemüsebau beinhaltet aber trotzdem eine höhere N-Auswaschungsgefahr als landwirtschaftliche Fruchtfolgen (kulturspezifisch notwendig höhere Nitrarmengen im Boden zum Erntezeitpunkt, z.T. sehr hoher Anfall an N-reichen Ernterückständen).

4 S C H R I F T U M

- [1] AMBERGER, A. (1981): Dicyandiamid ("Didin") als Nitrifikationshemmstoff, Bayer. Land. Jb., 58, 845 - 853.
- [2] AMBERGER, A. und K. VILSMAYER (1988): Untersuchungen zur Auswaschung von Dicyandiamid und dessen Abbau in überstauten Böden, Wasser-Abwasser-Forschung, 21, 140 - 144.
- [3] BERENDONK, C. (1985): Winterübren binden den Stickstoff am besten, Top agrar, 7, 42 - 45.
- [4] BUBB (1990): Beratungsschrift "Fachliche Leitlinie Stickstoff", Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising.
- [5] GUTSER, R. (1981) Gefäß- und Feldversuche zur N-Wirkung von Gülle mit Dicyandiamid ("Didin"), Bayer. Landw. Jb., 58, 872 - 879.
- [6] GUTSER, R. (1991): Wirkung des Nitrifikationshemmstoffes Dicyandiamid auf den Nitrataustrag landwirtschaftlich genutzter Flächen - Lysoimeterversuch-, Fachtagung über "Stabilisierte Stickstoffdünger - ein Beitrag zur Verminderung des Nitratreibproblems", Kompendium 15./16.Okt. 1991, Würzburg (BASF AG sowie SKW Trostberg AG), 95 - 101.
- [7] GUTSER, R. und K. VILSMAYER (1989): Wieviel Stickstoff hinterlassen Zwischenfrüchte? DLG-Mitt., 104, 66 - 68.
- [8] HALLINGER, S., H. GOLDBACH, P. WALLNÖFER und A. AMBERGER (1990): Untersuchungen zum biologischen Abbau des Nitrifikationshemmstoffes Dicyandiamid ("Didin"), VDLUFA-Schriftent., 32, 665 - 670.
- [9] KOLMERRANDER, G.J. (1981): Leaching of Nitrogen in Agriculture, in: BROGAN, J.C. (Ed): Nitrogen Losses and Surface run-off, 199 - 216.
- [10] LEHRSTUHL für Pflanzenernährung der TU München in Freising/Weihenstephan, Unveröff. Versuchsergebnisse.
- [11] ROLL, R. (1992): Zur Toxikologie von Dicyandiamid, Fachtagung über "stabilisierte Stickstoffdünger - ein Beitrag zur Verminderung des Nitratreibproblems", Kompendium 15./16. Okt. 1991 Würzburg (BASF AG sowie SKW Trostberg

- AG), 77 - 82.
- [12] VILSMEIER, K. (1980): Dicyandiamidabbau im Boden in Abhängigkeit von der Temperatur, Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkde., 143, H. 1, 113 - 118.
- [13] WEHRMANN, J. und H.C. SCHARPF (1983): Stickstoffausttrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität in Intensivkulturen, Arbeiten der DLG, Bd., 177, 95 - 113.
- [14] ZACHERL, B. (1985): Mikrobiologische Untersuchungen zur Wirkung von Nitrifikationshemmstoffen auf ausgewählte Bakterien des Stickstoffkreislaufes, Diss. TU München/Weihenstephan.