

Sonderdruck aus „Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch“, 64. Jahrgang, SH 2/1987

Maßnahmen zur Verminderung der Nährstoffverlagerung im Boden

Von Prof. Dr. F. Venter, Lehrstuhl für Gemüsebau, und Dr. R. Gutscher, Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan

Im Rahmen dieses Referates soll unter Nährstoffverlagerung der Transport von Pflanzennährstoffen durch Wasser im Bodenprofil verstanden werden. Entsprechend unserem humiden Klima also der Transport aus den oberen Bodenhorizonten in tiefere Schichten, unter Umständen bis zum Grundwasser. Auf die Nährstoffverlagerung durch Abschwemmen von Boden (Erosion) wird nicht eingegangen.

Wovon hängt die vertikale Nährstoffverlagerung im Boden vorwiegend ab?

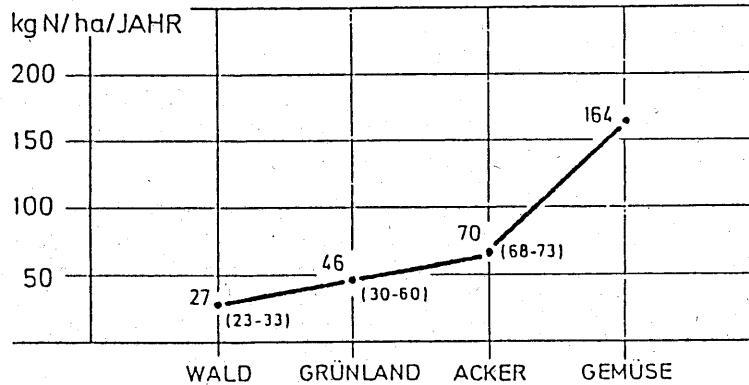
1. Von den chemisch-physikalischen Eigenschaften der einzelnen Pflanzennährstoffe, ihrer Wasserlöslichkeit und Konzentration in der Bodenlösung sowie vom Mengenangebot, ihrer Sorption oder Fixierung (Tab. 1). Phosphat und Nitrat mögen hier als Beispiel dienen. Es ist bekannt, daß Phosphat im Boden sowie z. B. auch Kalium, Ammonium oder die meisten Schwermetalle nur wenig beweglich sind und daher in den obersten Bodenschichten angereichert bleiben. Demgegenüber ist Nitrat wasserlöslich und in gelöster Form außerordentlich mobil, zumal es vom Boden auch nicht sorbiert wird. Gute Beweglichkeit im Boden haben auch Chlorid, Sulfat sowie die meisten Kationen wie Natrium, Kalzium oder Magnesium.
2. Von der Bodenart, deren Sorptionskapazität (d. h. ihrem Gehalt an Schluff, Ton, organischer Substanz). In tonmineralreichen Böden ist die Nährstoffverlagerung infolge ihrer zeitweiligen Bindung oder Fixierung weitaus geringer als in grobstrukturierten Böden mit hohem Skelettanteil. Weiterhin sind die Wasserspeicherkapazität, bedingt durch die Porengrößenverteilung im Boden, und die Tiefgründigkeit von Bedeutung.
3. Von der Mächtigkeit der Bodenschicht. So sind z. B. flachgründige Böden auf Schotter oder Sand stark auswaschungsgefährdet.
4. Von der Niederschlagshöhe und deren Verteilung, was auch die Zusatzberegnung mit einschließt (Tab. 2).
5. Vom Bewuchs der Fläche, was allgemein durch die unterschiedliche Nutzung (Grafik 1) Wald – Wiese – Feld – Intensivkultur charakterisiert wird. Dauerbegrünte Flächen haben in aller Regel geringere Sickerwassermengen zur Folge, d. h. auf ständig bewachsenem Boden ist die Nährstoffverlagerung

Tabelle 1: Jährliche Nährstoffauswaschung (kg/ha)

	Sandböden		Lehmböden	
	ungedüngt (Wald)	gedüngt (LN)	ungedüngt (Wald)	gedüngt (LN)
NO ₃ -N	17,8	68,6	3,6	26,2
PO ₄ -P	0,08	0,09	0,02	0,04
SO ₄ -S	26	81	17	31
Cl	107	193	68	148
K	5,1	35,7	1,9	4,2
Na	32	46	20	28
Ca	51	169	69	214
Mg	9,2	18,8	9,6	20,6

(nach BOYSEN, 1981)

Darstellung 1



(nach ERLNBACH, 1983). Durchschnittlicher Stickstoffeintrag an der Grundwasseroberfläche im Einzugsbereich von drei stark belasteten Wasserwerken in Nordrhein-Westfalen (errechnet nach OBERMANN)

Tabelle 2: Nährstoffauswaschung in kg/ha × Jahr

		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Acker ungedüngt		0,96	2,9	45,1	42,2
Berechnungsversuche (Zuckerrüben)	ohne N	0,30	5,7	183,3	21,8
	mit	0,69	4,6	377,9	25,2
	ohne 80/160 kg N/ha	0,39	9,9	169,2	29,5
	mit	0,87	8,8	282,0	26,1
	ohne 160/200 kg N/ha	0,34	5,7	127,0	25,1
	mit	1,1	6,7	262,3	23,6

(modifiziert nach BRAMM, 1981)

Die Stickstoffauswaschung ist vergleichsweise geringer als auf intensiv genutzten Flächen, die über längere Zeit oder gar mehrfach im Jahr keinen oder nur geringen Bewuchs aufweisen (Intensivkulturen mit geringem Bodendeckungsgrad).

Warum ist die Frage nach der Verlagerung von Pflanzennährstoffen heute von Bedeutung?

Nach Untersuchungsergebnissen der Wasserwerke ist der Nitratgehalt des Grundwassers in den letzten Jahren nachweislich angestiegen, über den Fortgang dieses Prozesses kann man nur Vermutungen anstellen. Gleichzeitig ist die zulässige Nitratkonzentration im Trinkwasser seit 1985 auf 50 mg NO₃/l gesenkt worden (davor lag der Grenzwert bei 90 mg NO₃/l), eine weitere Reduzierung auf 25 mg NO₃/l ist seitens der EG bereits ins Auge gefaßt (Richtwert).

Nach der Statistik ist andererseits der Düngemiteleintrag im Landbau, speziell der Einsatz von Stickstoff in organischer und anorganischer Form, in den letzten beiden Jahrzehnten deutlich angestiegen. Hieraus wird nun der Schluß gezogen, daß ein kausaler Zusammenhang zwischen beiden Entwicklungen besteht. Die Intensivierung der Düngung führte aber auch zu einem Anstieg der Entzüge sowie zum Aufbau der Bodenfruchtbarkeit, z. B. zur Erhöhung der organischen Substanz im Boden. Dadurch wurde auch das Auswaschungspotential der Böden für Stickstoff erhöht. Heute geht es vielfach nur noch um die Erhaltung, weniger um die Erhöhung des Fruchtbarkeitszustandes der Böden. Ein wichtiger Faktor für die derzeitige Diskussion scheint auch in einer gewissen Standortkonkurrenz zwischen Wassergewinnung und Nahrungsproduktion zu liegen. Ursache hierfür ist die deutliche Aus-

weitung der Siedlungsgebiete, teilweise Zersiedelung der Landschaft. Dies mag zu einer Wasserentnahme im näheren Verbraucherbereich führen, wodurch nicht immer nur die besten Qualitäten gefördert werden. Andererseits ist die kleinstrukturierte Landwirtschaft zu erhöhter Intensivierung gezwungen, wenn sie überleben will. Schließlich ist auch der Wasserverbrauch generell für technische, hygienische und Freizeitzwecke erheblich angestiegen.

Da dem Stickstoff bzw. dem Nitrat in der derzeitigen Diskussion also die Primärrolle zukommt, soll das Thema im folgenden auf die Frage der Stickstoffverlagerung eingengt werden.

Woher kommt der Nitratstickstoff im Boden?

Nitrat stellt die Endstufe der N-Mineralisierung dar. Das Nitrat im Boden stammt aus der Mineralisierung der organischen Substanz des Bodens (Tab. 3), der organischen oder mineralischen Düngung sowie zu einem geringen Teil aus den Niederschlägen.

Der Abbau der organischen Substanz wird von den Bodenmikroorganismen durchgeführt und hängt von mehreren Einflußfaktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit und pH-Wert ab. Das C/N-Verhältnis der organischen Substanz spielt ebenfalls eine erhebliche Rolle (Tab. 4). In der Regel rechnet man mit jährlichen Mineralisierungsraten von 1–3%. Zur organischen Substanz zählen sowohl der schwer abbaubare Dauerhumus als auch die mehr oder weniger leicht abbaubaren organischen Verbindungen der Wurzel- und Ernterückstände, der Gründüngung und der organischen Düngemittel.

Es gibt derzeit nur unbefriedigende analytische Methoden, das N-Nachlieferungsvermögen eines Bodens zu messen. Auch die Stickstoff-Freisetzung aus organischen Pflanzenrückständen ist sehr schwer zu erfassen, da diese ganz erheblich von dem N-Ernährungszustand der jeweiligen Pflanzen abhängig ist.

Ferner kommt Nitrat aus der minerali-

schen Nitratdüngung, aber auch als Endprodukt des Abbaues anderer mineralischer Stickstoffdünger wie Kalkstickstoff, schwefelsaures Ammoniak oder auch langsamwirkende Stickstoffdünger.

Eine weitere Nitratquelle stellen die Niederschläge (ca. 10 kg N/ha × Jahr) und das Beregnungswasser dar. Beregnungswasser aus Flachbrunnen oder offenen Gewässern kann sehr unterschiedliche Nitratgehalte aufweisen, was wiederum in Abhängigkeit von der Höhe der Beregnung zu durchaus nennenswerten N-Gaben führen kann (Tab. 5).

Welche Stickstoffmengen werden bewegt und welche Wanderungsgeschwindigkeit ist zu erwarten?

Aus Lysimeterversuchen ist von verschiedenen Autoren bekannt, daß im Verlaufe eines Jahres je nach Flächenbewuchs, Nutzungsintensität, Bodenart (Grafik 2), Niederschlagshöhe und Düngeraufwand unterschiedliche N-Mengen den Lysimeter verlassen können. Damit ist dieser Stickstoff zwar noch nicht im Grundwasser, es besteht andererseits aber auch kaum die Möglichkeit für die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, diesen Stickstoff noch nutzbar zu machen, da er aus dem Durchwurzelungsniveau herausgewandert ist (Tab. 6, Tab. 7). Eine Steigerung der N-Düngung muß so lange nicht zu einer Erhöhung der N-Auswaschung führen, wie diese noch von den Pflanzen produktiv durch besseres Wachstum und höhere Wasseraufnahme verwertet werden kann.

Die Verlagerungsgeschwindigkeit hängt außer von der Bodenart natürlich auch von der Anbauintensität ab, wie ebenfalls nachgewiesen ist. Während die Verlagerungsverluste auf den leicht dränierenden Böden nach diesen Untersuchungen um 75 kg N/ha × Jahr erreichen können, dauert die Verlagerung auf Lößböden infolge der wesentlich geringeren Sickergeschwindigkeit erheblich länger. Untersuchungen von Voss (1985) lassen erkennen, daß auch auf Löß langfristig mit einer nachweisbaren N-Verlagerung zu rechnen ist (Grafik 3, Grafik 4).

Tabelle 3: Humusgehalte und Bodenstickstoff

Humusgehalte	Gew. %	N _T t/ha in 30 cm		N _{min} kg/ha · A*)	
		C/N = 10	= 33	= 10	= 33
schwach humos	< 2	< 4,5	< 1,5	< 45	< 15
mittel humos	2- 4	4,5- 8,4	1,5- 2,8	45- 84	15- 28
stark humos	4- 8	8,4-15,6	2,8- 5,2	84-156	28- 52
sehr stark humos	8-15	15,6-27,0	5,2- 9,0	156-270	52- 90
anmoorig	15-30	27,0-45,0	9,0-15,0	270-450	90-150
Torf	>30	>30,0	>10,0	>300	>100

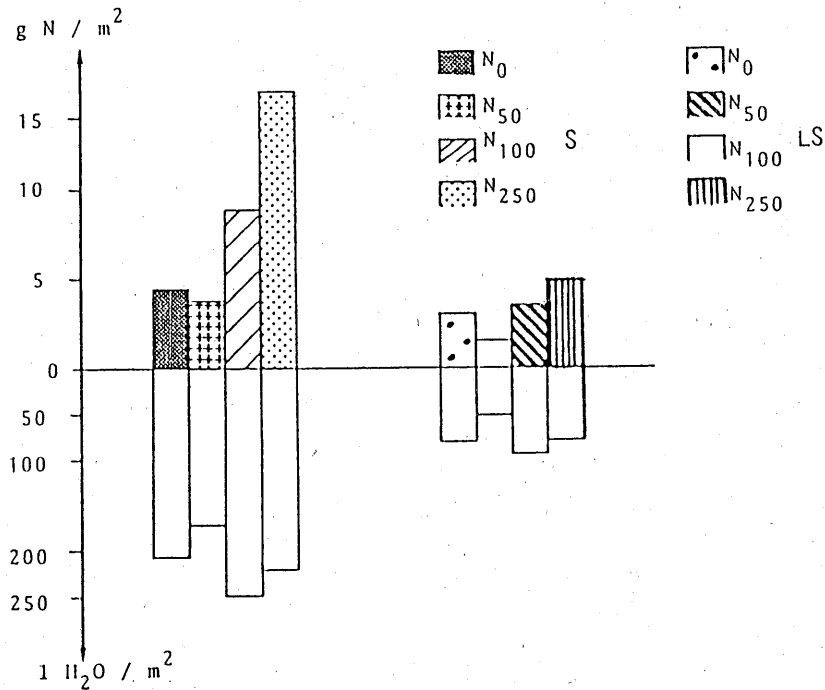
*) bei 1% jährl. N_T-Mineralisation
(nach KUNTZE, 1983)

Tabelle 4: N-Mineralisierung (kg/ha) in Abhängigkeit von Humusgehalt, C/N-Verhältnis und Mineralisierungsrate

C/N-Verhältnis	Mineralisierungsrate v. H.	Humusgehalt bei 25 cm Bodentiefe				
		1 v. H.	2 v. H.	3 v. H.	4 v. H.	5 v. H.
10:1	1	22	41	57	70	80
	2	44	82	114	140	160
15:1	1	15	27	38	47	53
	2	30	54	76	94	106

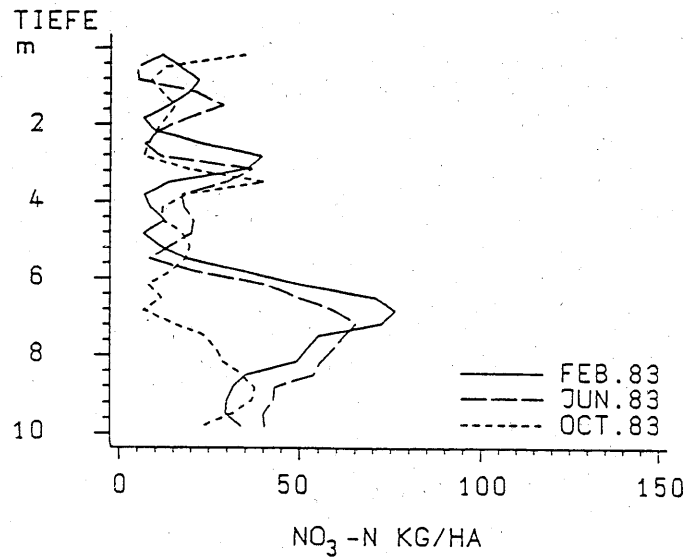
(nach WELTE, 1978)

Darstellung 2

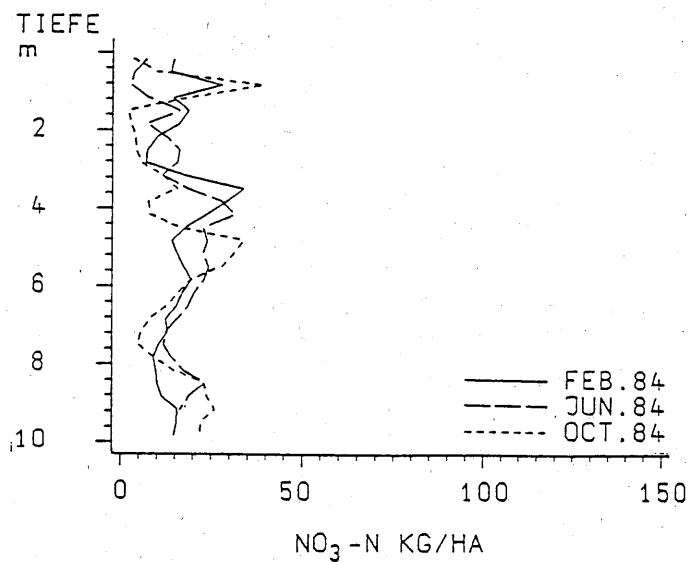


Summe des Sickerwassers und der NO₃-N-Auswaschung (gN/m²) (nach HIRSCH, 1985)

Darstellung 3



Stickstofftiefenprofil Fläche ACKER 1983



Stickstofftiefenprofil Fläche ACKER 1984

(nach Voss, 1985)

Die Stickstoff-Verlagerung ist vorwiegend in den Wintermonaten zu erwarten, da in dieser Zeit die volle Wassersättigung des Bodens nicht nur erreicht, sondern vielfach überschritten wird und außerdem

kein Wasserverbrauch und keine N-Aufnahme durch eine Vegetationsdecke stattfinden. Dies gilt ganz besonders für brachliegende Flächen.

Tabelle 5: N-Zufuhr mit dem Beregnungswasser bei verschiedenen Kulturen. Beregnungsangaben nach Küter (1977)

Kultur	Beregnungsgabe in mm	N-Zufuhr durch Beregnung in kg/ha		
		Bornheim	Sechtem	Marhof
Kopfkohl	100-120	48-58	44-53	28-34
Blumenkohl	bis 120	bis 58	bis 53	bis 34
Rosenkohl	60- 80	29-39	26-35	17-23
Salat	30- 45	15-22	13-20	8-13
Sellerie	120-140	58-68	53-61	34-39
Möhren	bis 80	bis 39	bis 35	bis 23
Porree	bis 100	bis 48	bis 44	bis 28
Tomate	80-100	39-48	35-44	23-28
Bohne	um 80	um 39	um 35	um 23

(nach KLASSE, 1982)

Tabelle 6: Ausmaß der Nitratauswaschung in Abhängigkeit von Bodenart, Bewirtschaftung und Niederschlagsmenge

Autoren	Bemerkungen	Bodenart	Auswaschung (kg/ha u. Jahr)
AMBERGER und SCHWEIGER (1973)	0,03% N	Sand	74
	0,24% N	Kalklehm	103
	0,14% N	Lehm	65
CZERATZKI, BRAHM und SCHULZE (1976) JUNG (1972)	Getreide- und Zuckerrübenanbau		9-20
	trockenes,	Sand	33
	mäßig feuchtes	Sand	41
	sehr feuchtes	Sand	56
	trockenes,	Lehm	21
mäßig feuchtes	Lehm	23	
sehr feuchtes Jahr	Lehm	62	
OHLENDORF (1976)	hohe/niedrige Düngung;	Sand	32/16
	Mais	Löß	18/4
		Lehm	41:15
		Ton	35/6
PFAFF (1953)	Brache	Lehm	160
PFAFF (1958)	Gemüsebau; mit Beregnung	schwach humoser, neutraler Sand	56
	ohne Beregnung		66

(nach GOTTINGER, 1986)

Worin liegen die Ursachen für eventuelle höhere N-Verlagerung im intensiven Pflanzenbau?

In der Landwirtschaft werden die meisten Pflanzenarten (Getreide, Raps, Kartoffeln) nach dem Erreichen der Samenreife oder einer Ruhephase der Sproßknollen geerntet. Diese Pflanzen haben die Stoffsynthese in den letzten Wochen weitgehend eingestellt und reifen aus bzw. verlieren

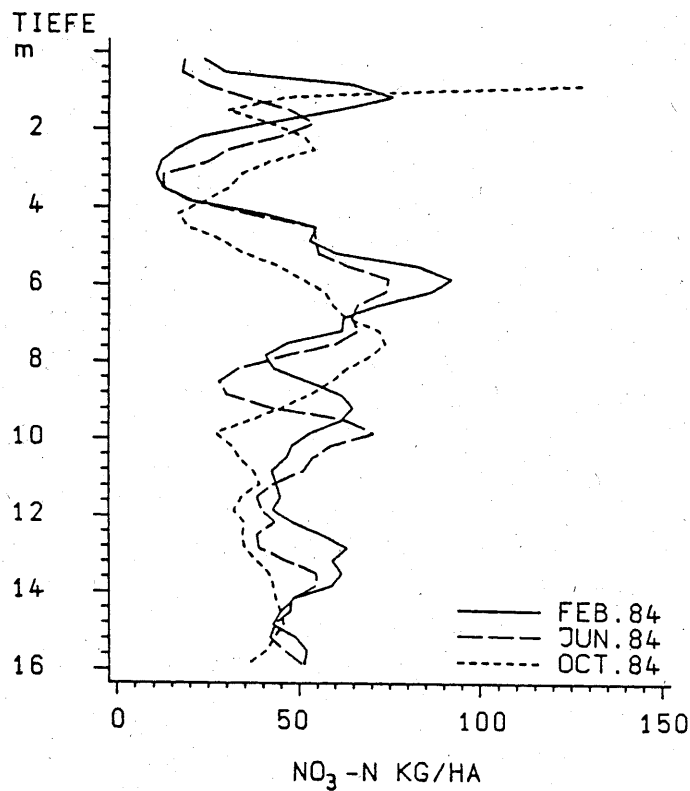
Wasser. Diese Kulturen können daher ohne Ertragsrisiko auf einem mehr oder weniger „von Stickstoff entleerten“ Boden abreifen. Ganz anders ist die Situation im Gemüsebau. Die meisten Gemüsearten werden aus der vollen vegetativen Entwicklung (z. B. Salate, Spinat, Kohlrabi) geerntet, die Pflanzen sind also noch in einer Aufbauphase, weit von der Samenreife, ja selbst von der Blütenbildung entfernt. In diesen Entwicklungsstadien be-

Tabelle 7: NO_3 -Auswaschverluste im Freiland unter verschiedenen Bedingungen

Nutzungsart	kg N/ha × Jahr		
Brache	63-278		
Ackerland	9-113		
Grünland	3- 68		
intensiv genutztes Ackerland	68-339		
Bodenart			
Sand	55		
IS - sL	21		
L - T	26		
Jahreszeiten			
	Herbst	I-II	Jahr
Sand	15	19	41
Löß	2	11	15
Ton	5	15	26

(modifiziert nach JAGNOW, SÖCHTIG, 1981)

Darstellung 4



Nitrattiefenprofil Fläche Gemüse 1, 1984
(nach Voss, 1985)

nötigen die Pflanzen ein volles Nährstoffangebot, Gemüse mit Hungersymptomen (klein, blaßgrün) ist nicht vermarktungsfähig. Es heißt nicht ohne Grund, daß Gemüse – und ganz besonders solche mit kurzer Vegetationszeit – „aus dem vollen schöpfen“ können müssen, wenn sie eine gute Marktqualität bringen sollen. Hieraus geht hervor, daß landwirtschaftlich genutzte Flächen nach der Ernte wesentlich weniger Nitrat enthalten als Gemüseland (Tab. 8). Während der Vegetationszeit lassen sich diese Restmengen oder Überhänge für die Folgekultur nutzen, sie müssen dazu aber auch unbedingt bei der Bedarfsberechnung berücksichtigt werden.

Tabelle 8: Mittlere N_{min} -Restmenge zur Erntezeit (in kg N/ha)

Art	Profiltiefe	kg N/ha
Winterweizen*)	0–90 cm	30
Zuckerrüben*)	0–90 cm	30
Kopfkohl	0–60 cm	100
Sellerie	0–60 cm	187
Kopfsalat	0–60 cm	255
Blumenkohl	0–60 cm	210
Kohlrabi	0–30 cm	96
Spinat	0–30 cm	71

*) nach WEHRMANN, SCHARPF (1983)

Problematisch kann diese Restmenge im Boden bei den Arten werden, die erst zum Spätherbst erntereif sind, denen aus Termingründen dann keine weitere Kultur folgt. Das Niveau der Restmengen nach verschiedenen Gemüsekulturen ist außerordentlich unterschiedlich, und dies sowohl nach der jeweils angebauten Kultur als natürlich auch von Betrieb zu Betrieb (Tab. 9). Hier liegt wohl das Kernproblem überhaupt.

Tabelle 9: Streubreite der N_{min} -Restmenge zur Erntezeit (in kg N/ha)

Art		Min.	Max.	n	Ø
Kopfsalat	(0–60 cm)	72	656	23	255
Blumenkohl	(0–60 cm)	15	623	16	210
Sellerie	(0–60 cm)	43	494	21	187
Spinat	(0–30 cm)	14	395	36	71
Kohlrabi	(0–30 cm)	16	234	45	96

Was kann die Praxis tun, um Restmengen an mineralischem Stickstoff im Boden zum Zeitpunkt der Ernte zu minimieren?

In erster Linie ist das Nährstoffangebot, hier also speziell die N-Düngung, dem Bedarf der Kultur besser anzupassen. Zu diesem Zweck sollte man nicht nur den jeweiligen Nährstoffentzug einer Art mit einem gewissen Sicherheitszuschlag berücksichtigen, vielmehr muß der zu Kulturbeginn im durchwurzelbaren Bodenprofil vorliegende leichtlösliche mineralische Stickstoff (N_{min}) in der Düngerbilanz berücksichtigt werden. Darüber hinaus muß auch die durch Mineralisation während der Kulturzeit zu erwartende Stickstoffmenge (Tab. 10, Grafik 5) mit in die Kalkulation einbezogen werden. Dies ist um so schwieriger, je kürzer die Vegetationszeit der Nachkultur ist. Die Erfassung der Stickstoff-Nachlieferung ist äußerst schwierig, da diese nicht nur vom N-Potential des Bodens, sondern von physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften (z. B. Bodenstruktur) sowie insbesondere von der Witterung (Temperatur, Feuchte) abhängig ist. Es wird zur Zeit versucht, das Nährstoffpotential durch spezielle Bodenuntersuchungsmethoden (z. B. EUF-Methode) zu erfassen. Über den Zeitpunkt der Freisetzung kann hingegen wenig ausgesagt werden. Ungefähre, pauschale Richtwertgrößen sind bekannt.

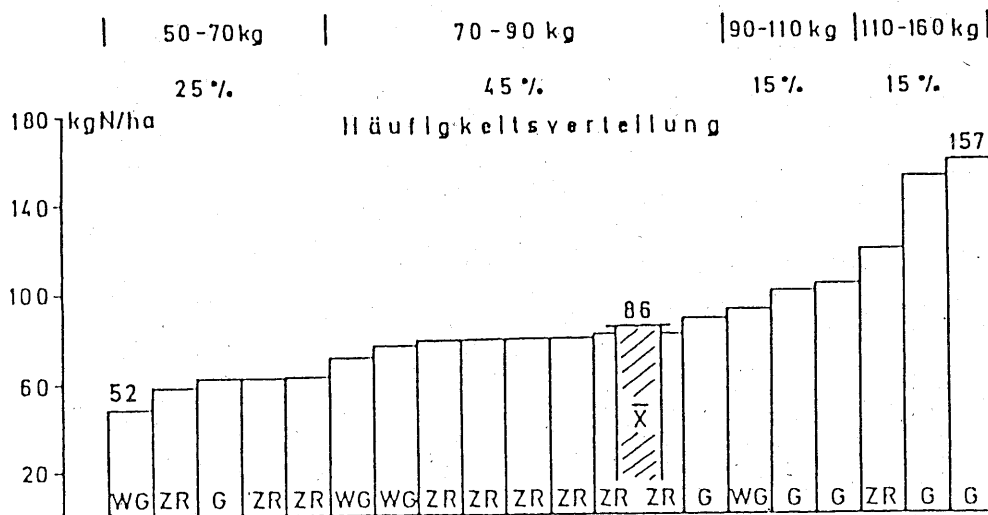
In vielen Fällen können und müssen die Düngungsmaßnahmen zurückgenommen werden, wenn die Stickstoffsituation vor dem Anbau anhand von Schnellmethoden abgeschätzt werden kann. Forderungen nach absoluter Analysengenauigkeit sind in diesem Fall wenig hilfreich. Die Feststellung, ob die verfügbare N-Menge 50, 100

Tabelle 10: Stickstoffnachlieferung in Abhängigkeit von Bodenart und Vorkultur

Autor	Bodenart	Vorkultur	Nachlieferung (kg/ha)
AMBERGER (1979)	- Podsole und stickstoffarme Braunerden - Parabraunerden - stickstoffreiche Braunerden Gleye, Pseudogleye - Schwarzerden		20- 50
			50- 75
			60- 90
			75-160
BÖHMER (1980)	Lößböden	Gemüse Zuckerrübe Getreide	112 79 75 Mittelwerte
BÖHMER, SCHARPF und WEHRMANN (1977)	Lößböden	Gemüse	50-150
KÖHLER (1983)	Lößböden	Winterweizen mit Strohdüngung	125-131
		Zuckerrübe mit Rübenblatt	108-115

(nach GÖTTINGER, 1986)

Darstellung 5



(nach BÖHMER, 1980). Anhäufung von Mineral-N in 20 Lößböden in Niedersachsen von März bis August 1977 auf überdachten Brache-parzellen mit unterschiedlicher Vorkultur (G = Gemüse, ZR = Zuckerrüben, WG = Wintergetreide) sowie die Häufigkeitsverteilung

oder 150 kg/ha beträgt, ist wichtiger als die Genauigkeit, daß es 47, 105 oder 148 kg N/ha sind. Ein nicht zu übersehender Nachteil der Untersuchung liegt natürlich in ihrem Arbeitsaufwand. Der Betrieb hat in der Hauptvegetationszeit sowieso mehr Ar-

beit, als die wenigen AK bewältigen können. Es muß daher ein Weg gefunden werden, daß diese Untersuchungen auf Abruf von Spezialkräften der Ämter, der Erzeugerringe oder von privaten Firmen durchgeführt werden. In der Schweiz wird diese Art der Zusammenarbeit bereits er-

folgreich praktiziert. Bei einer weiteren Verfeinerung der Analysenmethode müßten die Probenehmer auch in der Lage sein, dem Betrieb bereits vor der Ernte durch Probenuntersuchung Aussagen über den Nitratgehalt im Gemüse zu liefern, d. h. in gewissem Sinne eine Ernteberatung durchzuführen. Funktionieren kann so ein Unternehmen allerdings nur bei vertrauensvoller Zusammenarbeit und ausreichender Beweglichkeit beider Seiten.

Schließlich kann man durch Optimierung der mineralischen Düngung, durch deren Anpassung an die Pflanzenentwicklung in Form geteilter N-Gaben die Höhe des im Boden frei verfügbaren Nitratgehaltes deutlich vermindern. Auch hier ist die Kenntnis des Überhanges unbedingte Voraussetzung für bedarfsgerechte Termination. Die Empfehlung, einen hohen Anteil der Düngung als Grunddüngung vorab auszubringen, ist aus arbeitswirtschaftlichen Gesichtspunkten sicher richtig. Wenn man allerdings den geringen Anfangsbedarf der Pflanzen und das Verlagerungsrisiko in dem zunächst ja weitgehend unbedeckten Boden in Erwägung zieht, dann ist in sehr vielen Fällen eine Stickstoff-Düngung erst zu einem späteren Zeitpunkt sinnvoll und nötig. Mehrmalige Düngergaben in kleiner Dosierung sind natürlich sehr arbeitsaufwendig und ab dem Schließen der Bestände auch nur über Berechnung durchführbar.

Darüber hinaus ist der Einsatz langsam wirkender Stickstoffdünger zu überdenken. Sinn dieser Depotdünger ist die langsame Freisetzung von Ammonium bzw. Nitrat. Die neuerdings im Handel befindlichen Didin-haltigen Ammoniumdünger

lassen günstige Einsatzmöglichkeiten zu Kulturen mit längerer Vegetationszeit erwarten. Der Einsatz älterer Depotdünger scheiterte vielfach an deren Preis.

Konservierung von Nitratstickstoff im Boden

Dieses Problem stellt sich nach dem oben Gesagten vorwiegend für herbsträumende Gemüsearten, die aber auch mehr oder weniger große Restmengen mineralischen Stickstoffs im Boden zurücklassen. Diese können entweder durch nachfolgende Gründüngung aufgenommen oder durch mikrobielle Fixierung (z. B. Strohdüngung) vor der Verlagerung bewahrt werden.

Die Aussaat schnellwüchsiger Gründüngungsarten mit einem hohen Stickstoffaneignungsvermögen ist im Gemüsebau nicht in jedem Falle möglich. EHLERS und HARTMANN (1986) berichteten über Gründüngungsversuche mit verschiedenen Pflanzenarten zu verschiedenen Saatterminen unter Geisenheimer Bedingungen. Sie stellten fest, daß bis etwa zum 13. 9. ausgesäte Gründüngung noch nachhaltig N_{min} verarbeiten kann. Spätere Saattermine brachten nur noch geringe N-Ausnutzung. Die besten Konservierungserfolge wurden in diesen Versuchen mit Winterrübsen, Ölrettich und Winter-Gerste erzielt (Tab. 11). Diese Grünmassebestände sollten über Winter möglichst nicht eingearbeitet werden. Je später die Einarbeitung, desto mehr verzögert sich die Mineralisierung und desto besser ist der Konservierungseffekt (Tab. 12). Im zeitigen Frühjahr ist die Umsetzung der eingearbeiteten Grünmasse auf Grund der relativ niedrigen

Tabelle 11: Stickstoffentzug durch oberirdische Pflanzenmasse (in kg N/ha)

	15. VIII		Saattermin 1. IX		15. IX	
	1984	1985	1984	1985	1984	1985
Winterrübsen	149	109	80	81	48	79
Ölrettich	127	106	79	86	52	58
Wintergerste	75	83	58	86	50	65
Spinat	89	109	78	100	38	77

(nach HARTMANN, EHLERS, 1986)

Bodentemperatur grundsätzlich langsamer als im Herbst. Für ausgesprochene Frühlkulturen (Folienanbau) eignet sich diese möglichst lange aufliegende Gründüngung natürlich nicht, sie sollte aber für spätere Pflanzgemüse ausprobiert werden. Wie bereits früher angesprochen, bereitet es erhebliche Schwierigkeiten, den über Gründüngung konservierten Stickstoff in der N-Bilanz der Folgekultur zu berücksichtigen. Die N-Freisetzung aus dem organischen Pflanzenmaterial ist in erster Linie abhängig vom Ernährungszustand der Gründüngung mit Stickstoff. Das C/N-Verhältnis spielt nicht nur zwischen den verschiedenen Arten, sondern auch innerhalb einer Art eine wesentliche Rolle. Trotzdem stellt die Gründüngung eine brauchbare Maßnahme dar, Nitratstickstoff des Bodens vor der Verlagerung zu schützen.

Ferner kann durch Einarbeiten von Stroh der vorhandene Reststickstoff konserviert werden (Tab. 13). Die Wirkung dieser Maßnahme ist im August am besten und läßt mit späterem Termin nach. Wichtig ist die

Feststellung, daß der über Stroh konservierte Stickstoff für die Folgekultur nicht unbedingt verfügbar ist. Dieser Stickstoff wird in den organischen „N-Pool“ des Bodens überführt und unterliegt folglich der üblichen N-Mineralisierung (1–3%) des Bodens. Strohdüngung dient somit nicht einer gezielten N-Versorgung der Kultur, sondern der Konservierung des Reststickstoffes und der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.

Soweit im Laufe der Vegetationszeit Getreidestroh zwischen den verschiedenen Gemüsearten in der Fruchtfolge eingesetzt wird, läßt sich damit ohne Beeinflussung des Ertragsniveaus der Nitratgehalt des Erntegutes, z. B. bei Endivien, nachhaltig mindern (Grafik 6).

Verzögerung der Nitratfreisetzung aus Ernterückständen

Während die bisher genannten Maßnahmen alle das Ziel hatten, den Gehalt an mineralischem Stickstoff (vorwiegend Nitrat) zu konservieren, sollte geprüft werden, ob die Freisetzung von Nitrat aus

Tabelle 12: *Einfluß des Einarbeitungstermines einer Gründüngung auf den N_{min} -Gehalt des Bodens (kg N/ha, 0–90 cm)*

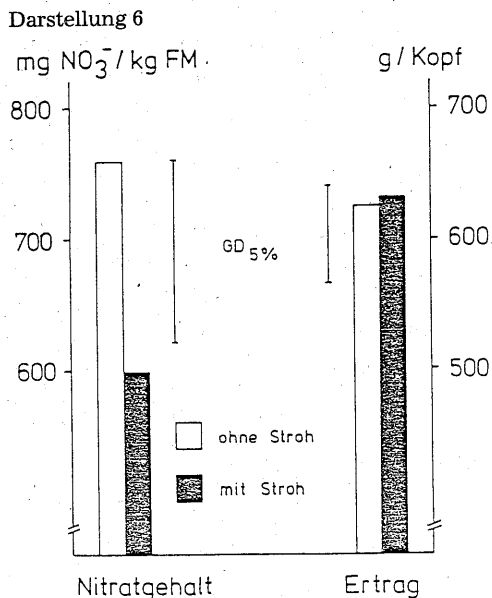
	25. 11. 1985		Probenahme 20. 1. 1986		11. 3. 1986	
	I	II	I	II	I	II
ohne Gründüngung	47	30	49	45	35	29
Grünraps						
50 kg N/ha	24	17	79	24	47	17
100 kg N/ha	29	13	76	26	88	16
Phacelia						
50 kg N/ha	25	26	72	32	50	44
100 kg N/ha	34	44	88	58	134	51

I = 28. 10. gepflügt; II = überwintert
(nach GUTSER, VILSMEIER, 1986)

Tabelle 13: *Stickstoffkonservierung durch Stroh (Gefäßversuch mit Rindergülle)*

Zeitpunkt der N-Gabe	N-Auswaschung (in mg N/Gefäß)		
	ohne Stroh	mit Stroh	% von ohne Stroh
August	564	164	29
September	434	280	65
Oktober	264	109	41
Kontrolle (ohne N)	160	15	9

(nach AMBERGER, GUTSER, VILSMEIER, 1982)



(nach ZÜRHAKE, 1984). Einfluß von in den Boden eingearbeitetem Getreidestroh auf den Nitratgehalt und den Ertrag von Endivien

Ernterückständen insbesondere nach der Herbstkultur vermindert werden kann. Mit dem Rückgang der Bodentemperatur im Spätherbst nimmt zwar die Mineralisation im Boden ebenfalls merklich ab, doch wird in der Regel noch ein Großteil bis zum Nitrat umgesetzt, das dann auswaschungsbereit im Boden vorliegt.

Wenn man die organischen Abfälle im Herbst nicht einarbeitet, sondern möglichst lange auf dem Boden beläßt, wird man die Umsetzung zwar nicht völlig unterbinden können (das wäre nur durch ein Abfahren der organischen Masse möglich), sie wird aber sicher verzögert und auch nicht die ganze Masse erfassen, außerdem werden durch die Bedeckung des Bodens die Verlagerungsrisiken vermindert.

Eine weitere Möglichkeit könnte schließlich auch im Einsatz von Nitrifikationshemmern liegen. Ähnlich wie in Kombination mit Gülle, Jauche oder auch mineralischem N-Dünger könnte ein Zusatz des Nitrifikationshemmstoffes Didin (Dicyandiamid) die Umsetzung des aus organischen Ernterückständen freigesetzten Ammoniums zum Nitrat verzögern und damit die Auswaschungsfahr mindern. Diese

Frage wird zur Zeit in Modell- und Gefäßversuchen sowie im Freiland in Zusammenarbeit der Lehrstühle für Pflanzenernährung und Gemüsebau der TUM bearbeitet. Dazu müssen offene Fragen über die richtige Applikation des Hemmstoffes (Lösung oder feste Substanz) sowie Einsatzzeitpunkt und Aufwandmenge überprüft werden.

Zusammenfassung

Stickstoff-Verluste lassen sich durch bedarfsgerechte Düngung und deren Aufteilung in Einzelgaben, durch bedarfsgerechte Bewässerung und durch kontinuierliche Bodenbedeckung verringern, da diese Maßnahmen zu einer Verminderung des mobilen Stickstoff-Restes im Boden zum Erntetermin beitragen.

Der Reststickstoff (NO₃) nach der Ernte sollte in der N-Bilanz einer Folgekultur berücksichtigt oder durch Gründüngung bzw. Stroh konserviert werden.

Zur Verhinderung der Nitrifikation im Spätherbst sollten Ernteabfälle oder Gründüngung erst möglichst spät, am besten erst im Frühjahr, eingearbeitet werden.

Summary

Nitrogen losses can be reduced by levels of fertilization and irrigation adapted according to the requirements of the crop, by appropriately partitioned fertilization, and by keeping the soil continuously covered; doing so will help to reduce the mobile nitrogen present in the soil at harvesting time.

The rest of the nitrogen (NO₃) present in the soil after harvesting should be included in the N balance of the following crop, or be conserved by green manure or straw.

In order to prevent nitrification in late autumn, crop residues or green manure should be ploughed in as late as possible, most favourably not before spring.

Literaturverzeichnis

- Amberger, A., 1979: Pflanzenernährung. UTB Verl. E. Ulmer, Stuttgart.
 -, R. Gutser u. K. Vilsmeier, 1982: N-Wirkung von

- Rindergülle unter Zusatz von Dicyandiamid bzw. Stroh in Gefäß- und Lysimeterversuchen. Ztschr. Pflanzenernähr., Bodenkunde 145, 337-346.
- Böhmer, M., H. C. Scharpf u. J. Wehrmann, 1977: Mineralstickstoffvorrat und -nachlieferung im Boden, Komponenten der Stickstoffversorgung der Pflanzen. Landw. Forsch., SoH 34/II, 45-54.
- , 1980: Der Mineralstickstoffgehalt von Böden mit Feldgemüsebau und seine Bedeutung für die Stickstoffernährung der Pflanzen. Diss. TU Hannover.
- Boysen, P., 1981: Belastung der Gewässer durch Bodennutzung, insbesondere durch Düngung. Ber. ü. Landw., Neue Folge, SoH 197, 146-151.
- Bramm, A., 1981: Einfluß der Landbewirtschaftung auf die Gewässerqualität. Ber. ü. Landw., Neue Folge, SoH 197, 162-186.
- Ehlers, B., H. D. Hartmann, 1986: Biologische Konservierung von Nitrat über Winter. Ref. Wiss. Arbeitstagung d. DGG, 19./22. 3. 1986, Neustadt a. d. Weinstraße.
- Erlenbach, K. H., 1983: Nitrataustrag ins Grundwasser. Nitrat in Gemüse und Grundwasser. Vortragstagung Bad Honnef 6./7. 4. 1983, 78-82.
- Gottinger, F., 1986: Möglichkeiten und Grenzen der Steuerung des Stickstoffangebotes im intensiven Gemüsebau. Diplomarbeit Lehrst. f. Gemüsebau d. TU München-Weihenstephan.
- Gutser, R. u. K. Vilsmeier, 1986: Mineralisation verschiedener Zwischenfrüchte nach N-Verwertung durch die Pflanzen (in Vorber.).
- Hartmann, D. u. B. Ehlers, 1986: Persönliche Mitteilung.
- Hirsch, C., 1985: Die Stickstoffernährung des Spargels (*Asparagus officinalis* L.). Diss. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Jagnow, G., H. Söchtig, 1981: Stickstoffverluste aus dem Boden in die Atmosphäre und das Grundwasser - Möglichkeiten ihrer Begrenzung. Ber. ü. Landw., Neue Folge, SoH 197, 223-233.
- Klasse, H. J., 1982: Die Nitratanreicherung im Grundwasser und die daraus resultierende Stickstoffzufuhr bei der Beregnung von Obst und Gemüse. Dipl.-Arbeit Inst. f. Obstbau u. Gemüsebau d. Rhein. Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn.
- Kuntze, H., 1983: Zur Stickstoffdynamik in landwirtschaftlichen Böden. Arbeiten der DLG, Bd. 177, 25-37.
- Köhler, J., 1983: Eignung von Methoden der Bodenanalyse zur Erfassung der N-Nachlieferung von Lößböden und der Bemessung der Stickstoffspätgaben zu Winterweizen. Diss. Universität Hannover.
- Voss, G., 1985: Zur Nitratverlagerung in mächtigen Lößdecken des Vorgebirges bei Bonn. Diss. Rhein. Friedrich-Wilhelm-Univ. Bonn.
- Wehrmann, J. u. H. C. Scharpf, 1983: Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität in Intensivkulturen. Arbeiten d. DLG, Bd. 177, 95-113.
- Welte, E., 1978: Düngen wir richtig im Blick auf Reinhaltung des Wassers? Landw. Forsch., SoH 35, 133-151.
- Zurhake, F., 1984: Erhebungen zum Mineräldüngereinsatz in ausgewählten Regionen Nordrheins und Untersuchungen zur Nitratanreicherung in Grundwasser und Gemüse. Diss. Rhein. Friedrich-Wilhelm-Univ. Bonn.