

**Zeitschrift:** Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

**Herausgeber:** Bundesamt für Gesundheit

**Band:** 82 (1991)

**Heft:** 2

**Artikel:** Stickstoffverluste in der Landwirtschaft : der Beitrag einer wissenschaftlich begleiteten Betriebsberatung zur Reduktion der Nitratauswaschung = Losses of nitrogen in agriculture : the contribution of scientific consultation in practice to the reduction...

**Autor:** Biedermann, R. / Leu, D. / Zehnder, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-982410>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Stickstoffverluste in der Landwirtschaft: Der Beitrag einer wissenschaftlich begleiteten Betriebs- beratung zur Reduktion der Nitratauswaschung

Losses of Nitrogen in Agriculture: The Contribution of Scientific Consultation  
in Practice to the Reduction of Washing-Out of Nitrates

R. Biedermann, D. Leu und A. Zehnder\*  
Kantonales Laboratorium, Schaffhausen

### Einleitung

Die kantonalen Vollzugsorgane der Lebensmittel- und Umweltschutzgesetzgebung in der Schweiz sind angehalten, die in den einzelnen Verordnungen festgeschriebenen Toleranz- und Grenzwerte durchzusetzen. Bezüglich der Immissionen von ökologisch relevanten Stickstoffverbindungen stehen dabei im Vordergrund:

1. ein Toleranzwert von 40 mg/l für Trinkwasser in der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (FIV) vom 27. Februar 1986 (1),
2. ein Immissionsgrenzwert von 30 µg Stickstoffdioxid/m<sup>3</sup> Luft (Jahresmittelwert) in der Luftreinhalteverordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985 (2).

Die vom Gesetzgeber zugewiesene Aufgabe zwingt die Kantone, bei Überschreitungen der entsprechenden Werte aktiv zu werden. Dabei darf es nicht bei reinen Beanstandungen bleiben, es gilt, die Ursachen der Kontamination der einzelnen Medien zu eruieren und an der Quelle die Emissionen zu reduzieren. Gefragt ist einmal mehr ein Denken in Gesamtzusammenhängen.

Betrachtet man im Zusammenhang mit den ökologisch relevanten Stickstoffverbindungen die Bodenverhältnisse der schweizerischen Landwirtschaft, zeigt es sich, dass die klassischen Stickoxide (NO<sub>2</sub>, NO), was die Luft anbetrifft, hier quantitativ kein Problem sind. Hingegen fallen die Emissionen von Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) stark ins Gewicht, beides Stoffe, die mittels Immissionsgrenzwerten schwer zu erfassen sind. Im Grundwasser geben erhöhte und vielerorts steigende Nitratwerte zu Besorgnis Anlass. Neben dem schon früh erkannten Problem der Aufsalzung von Grund- und somit Trinkwasser mit Nitraten (3) ist auch die unerwünschte Beeinflussung der Ozonschicht durch N<sub>2</sub>O schon 1978

\* Erweiterte Fassung des Vortrages gehalten an der 101. Jahresversammlung der Schweiz. Gesellschaft für Analytische und Angewandte Chemie vom 8.–9. September 1989 in Bad Ragaz

beschrieben worden (4). Sowohl immissionsseitige als auch emissionsseitige Betrachtungen führen zur Erkenntnis, den Eintrag unerwünschter Stickstoffverbindungen in das Ökosystem in Grenzen zu halten. Primär sollen hier mittels einer Strategie der Schliessung der Stoffkreisläufe und Verminderung des Stoffdurchflusses auch in der Landwirtschaft Fortschritte erzielt werden, wie dies u. a. im Biozid-Report Schweiz (5) beschrieben worden ist. Dies gebieten nicht nur der gegenwärtige Zustand unserer Umwelt, sondern auch rein ökonomische Überlegungen.

## Der Stickstoffkreislauf

Stickstoff ist ein Grundbaustein sämtlicher Lebewesen (Abb. 1). Über 99% des (bio-) chemisch relevanten Stickstoffs befindet sich als relativ inertes Gas ( $N_2$ ) in der Atmosphäre und (etwa 0,5%) gelöst im Ozean. In der organischen Substanz der Böden sind rund 0,05% der Gesamtmenge gebunden, wobei lediglich 1–3% als Nitrat ( $NO_3^-$ ) vorliegen (7). Dieses Ion stellt im engeren Produktionssystem Boden – Pflanze jedoch die Haupttransportform, die Hauptwirkform und die Haupt-Leckageform dar. Die Bedeutung des Nitrats in der Gesamtbilanz ist also quantitativ vernachlässigbar, jedoch qualitativ entscheidend für den unerwünschten Stickstofftransport ins Grundwasser und schliesslich in unser wichtigstes Lebensmittel: das Trinkwasser.

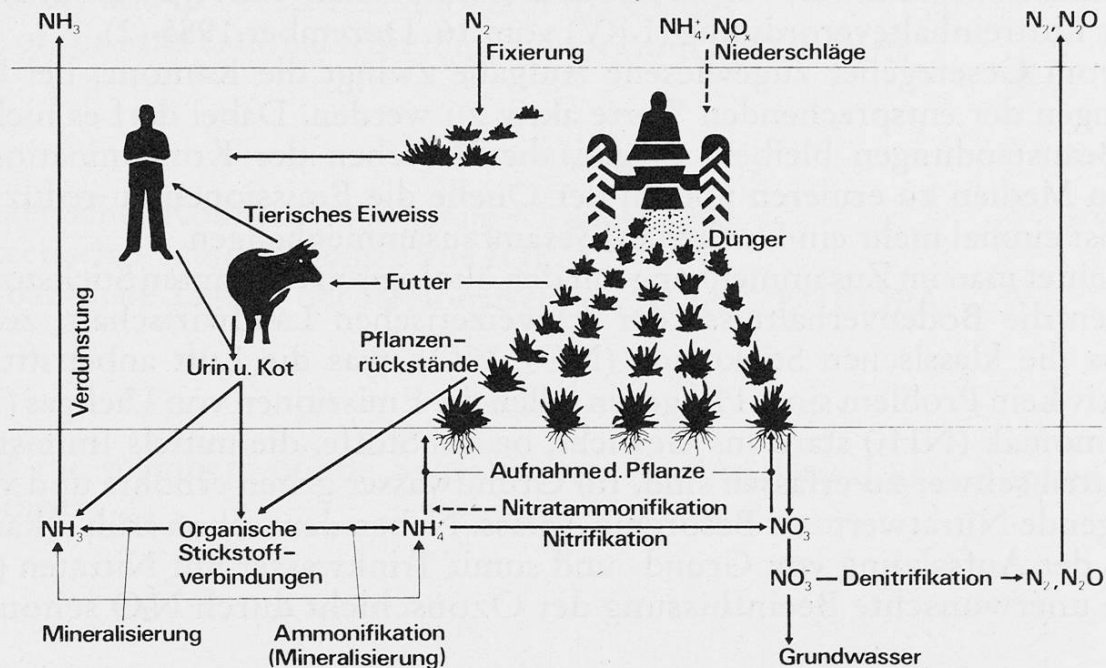


Abb. 1. Der Stickstoffkreislauf, vereinfacht, aus (3, 6)

## Die Stickstoffbilanz

*Stadelmann* hat für das Jahr 1987 versucht, eine N-Bilanz der schweizerischen Landwirtschaft grob abzuschätzen (8). Wir haben somit heute ein Datenmaterial, das präziser ist als noch vor fünf Jahren (5, 6). Die vorgelegte Bilanz in Tabelle 1 schliesst die produktiven Sömmerungsweiden nicht mit ein. Zu dem in Tabelle 1 ausgewiesenen Stickstoffumsatz von total 525 000 Tonnen im Jahr ist derjenige des «internen» Kreislaufes im Boden zu addieren. Pro Jahr und Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche werden durchschnittlich (je nach Klima, Boden- und Bewuchsart jedoch stark schwankend) etwa 150 kg N umgesetzt (Total in der Schweiz 150 000 t/a). Dieser Beitrag wird aus organischen Bestandteilen (Ernterückstände, Bodenumus, absterbende Organismen) mikrobiell mineralisiert und umgekehrt in Form von Biomasse (Wurzeln, Mikroorganismen) temporär immobilisiert. Bilanzmässig heben sich diese Prozesse im Normalfall in etwa auf, für ein ausgeglichenes Bodenleben (Fruchtbarkeit) sind sie aber von grosser Bedeutung, ebenso für die immer wichtiger werdenden Düngepläne für den Landwirt, der für seine Berechnungen auch den  $N_{\min}$ -Gehalt ( $N_{\min}$  = mineralisierter Stickstoff im Boden – steht der Pflanze als Nährstoff unmittelbar zur Verfügung) und die potentielle Mineralisierungsrate berücksichtigt (vgl. *Leu et al.* (6), *Rohmann et al.* (10)).

*Tabelle 1.* Die Stickstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft, nach *Stadelmann* (8)

Angaben in 1000 t N pro Jahr, entsprechend kg N pro ha landwirtschaftlicher Nutzfläche und Jahr

Input		Output	
<i>Tierproduktion</i>			
Futtermittel	25	Milch, Fleisch usw.	35
Rauhfutter, Stroh	180	Hofdünger	150
		NH <sub>3</sub> -Verluste	20
Total	205		205
<i>Pflanzenproduktion</i>			
Hofdünger	150	Rauhfutter, Stroh	180
Mineralische N-Dünger	70	Pflanzliche Nahrungsmittel	10
Klärschlamm	5	NH <sub>3</sub> -Verluste	24
Atmosphärische Deposition	40	Denitrifikation: N <sub>2</sub>	72
		N <sub>2</sub> O	18
		NO <sub>x</sub>	1
Biologische Stickstofffixierung	55	NO <sub>3</sub> -Auswaschung	15
Total	320		320
<i>Gesamtumsatz (ohne internen N-Kreislauf im Boden)</i>			
	525		525

Aus der überschlagsmässigen Darstellung des Stickstoffumsatzes in der schweizerischen Landwirtschaft (Tabelle 1) sind ein paar Zusammenhänge ersichtlich, die sowohl aus ökonomischer als auch ökologischer Sicht zu denken geben:

- Allein durch die atmosphärischen Niederschläge (Deposition) und die biologische N-Fixierung (beides kostenlos) erhält die schweizerische Landwirtschaft mehr als doppelt soviel Stickstoff, wie durch pflanzliche und tierische Produkte als Nahrungsmittel die Betriebe verlassen.
- Ebenfalls etwa doppelt so hoch wie der produktive Output (45 000 t Nahrungsmittel-N für die ganze Schweiz) ist der Anteil an zugekauftem Stickstoff in Form von importierten Futtermitteln (25 000 t N/a) und Handelsdüngern (70 000 t N/a).
- Die gasförmigen Stickstoffverluste ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ) sind rund neunmal höher als diejenigen durch Auswaschung. Rund 90% des in der Schweiz emittierten Ammoniaks und 75% des Lachgases stammen aus der Landwirtschaft (8). Dabei ist Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) an der Überdüngung (Wald) und Bodenversauerung natürlicher Ökosysteme beteiligt (über die in der Luft schnell erfolgende Umwandlung in Ammonium:  $\text{NH}_4^+$ ). Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ist ein Gas, das die von der Erde zurückgeworfene infrarote Strahlung reflektiert und somit zur Verstärkung des Treibhauseffektes beiträgt. Mit seiner atmosphärischen Lebensdauer von über 100 Jahren trägt es zudem zum schädlichen Abbau der stratosphärischen Ozonschicht bei (9).
- Der hohe Anteil an Hofdüngern kann als schweizerischer Sonderfall bezeichnet werden. In der BRD werden z. B. fast doppelt soviel Handelsdünger wie Hofdünger ausgebracht (10). Aus energetischer Sicht können diese Schweizer Verhältnisse ein Glücksfall sein, denn Produktion und Transport von Stickstoff-Handelsdüngern sind energieintensiv. Bei unsachgemässer Viehbestückung der Nutzflächen erwachsen aber andere ökologische (und ökonomische) Nachteile: Eutrophierung von Oberflächengewässern und Stickstoffverluste in Grundwasser und Atmosphäre.
- Aus ökonomischen und ökologischen Gründen drängt sich eine Reduktion des *gesamten* Stickstoffumsatzes in der landwirtschaftlichen Produktion auf, die aus Stoffflussmodellen wissenschaftlich hergeleitet werden muss. Der landwirtschaftlichen, nicht verkaufsorientierten *Betriebsberatung* kommt dabei eine Schlüsselstellung zu (6, 8). Ein ausführlicher Massnahmenkatalog ist in der Übersicht von *Leu et al.* (6) aufgelistet.

In Abbildung 2 sind die eigentlichen N-Emissionen (Auswaschung, Verflüchtigung) der landwirtschaftlichen Nettoproduktion gegenübergestellt.

## Das Nitratproblem

Nitrat ist für Pflanzen die wichtigste Form, Stickstoff aufzunehmen. *Ist mehr Nitrat in der Bodenlösung, als Pflanzen verwerten können, und liegt genügend Sickerwasser vor, dann wird dieses Nährsalz – das nicht von Bodenkomponenten adsorbiert wird – ins Grundwasser ausgewaschen* und findet sich schliesslich im

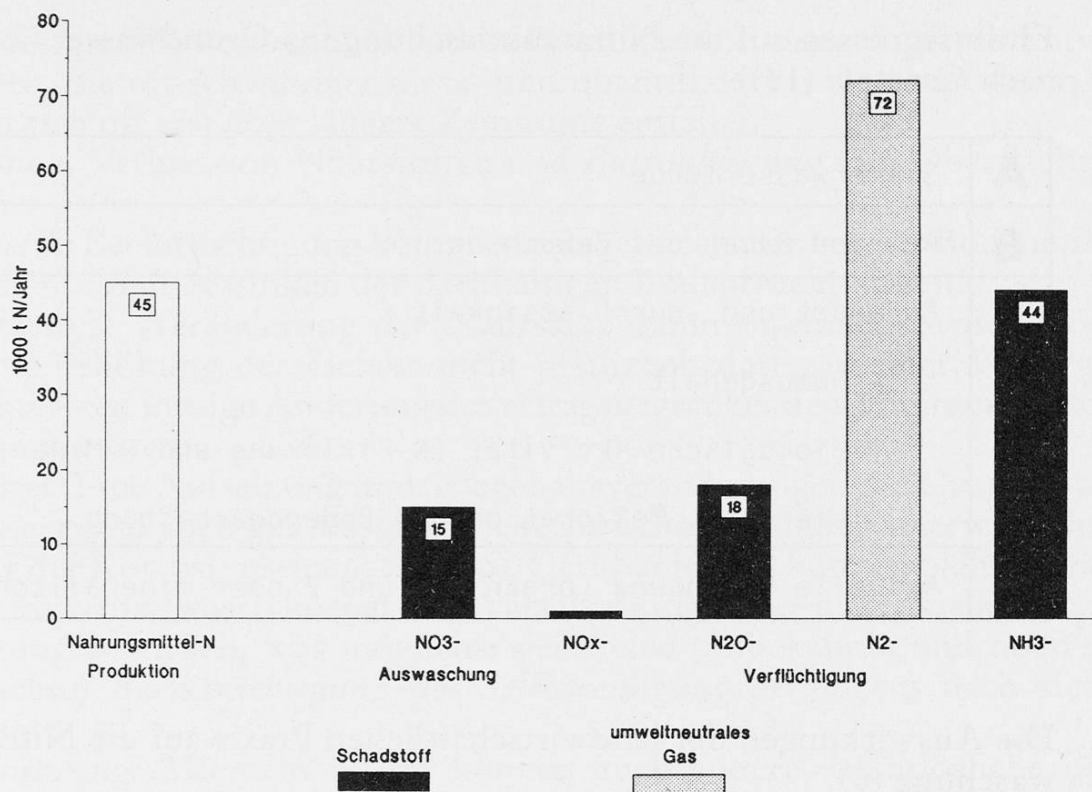


Abb. 2. Jährliche N-Emissionen der schweizerischen Landwirtschaft im Vergleich zur Produktion von Nahrungsmittel-N (nach *Stadelmann* (8))

Trinkwasser, wo es unerwünscht ist. Nitratreduzierende Untergrundverhältnisse, wie sie aus der BRD reportiert wurden, sind in der Schweiz kaum zu erwarten (6). Neben der Auswaschung ist ein Problem übermässigen Stickstoff- und in der Folge Nitratangebotes (da  $\text{NO}_3^-$  das oxidative Endprodukt des Stickstoff-Kreislaufs ist), dass gewisse Nahrungs- und Futterpflanzen (Blattsalate, Rettich, Rander, Spinat usw.) dieses Ion übermässig akkumulieren. Eine zu hohe Nitrataufnahme kann beim Menschen zu Methämoglobinämie führen («Blausucht» infolge verminderter Sauerstoffaufnahme vor allem beim Säugling – in der Schweiz jedoch nicht akut) und wird in Zusammenhang gebracht mit der nitrosamininduzierten Carcinogenese an verschiedenen Organen. Auf die toxikologische Diskussion soll hier nicht weiter eingegangen werden, siehe dazu *Leu et al.* (6).

### *Einflussfaktoren*

Die für die Auswaschung von Nitrat wesentlichen Einflussgrössen werden für hiesige Verhältnisse (stark vereinfacht) wie in Tabelle 2 wiedergegeben eingestuft.

Entgegen landläufiger Meinung ist also mindestens im Durchschnitt die Düngung (die «Kunst»dünger) nicht die Hauptursache des Nitratproblems. Die von *Ceratzki* (11) vorgenommene Gewichtung ist allerdings umstritten (10), zumindest darf diese Reihenfolge nicht mechanisch interpretiert werden, denn alle obigen

**Tabelle 2.** Einflussgrößen auf die Nitratauswaschung ins Grundwasser (aus (6), nach *Ceratzki* (11))

↑ zunehmender Einfluss	<b>A</b>	Sickerwassermenge
	<b>B</b>	Art und Dauer des Bewuchses
	<b>C</b>	Bodenart und -durchlässigkeit - Humusgehalt - Biologische Aktivität (N-Fixierung und N-Mineralisierung), Melioration und Bodenbearbeitung
	<b>D</b>	Aktuelle N-Düngung (organisch und / oder mineralisch)

**Tabelle 3.** Die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Praxis auf die Nitratauswaschung (6)

abnehmende Nitratauswaschung

Brache	Mais, Reben (ohne Untersaaten) Gemüse	Hackfrucht (Kartoffeln, Rüben usw.)	Getreide	Wald Grünland
--------	---	--	----------	------------------

abnehmender Bracheanteil

abnehmende Bodenbearbeitung

im allgemeinen abnehmende Düngung

Faktoren sind in sich schon komplex strukturiert und stehen in einem dynamischen Wechselverhältnis. Das Zusammenwirken aller Faktoren auf Kulturland und Naturflächen ergibt für den Allgemeinfall in der Praxis das in Tabelle 3 aufgeführte Bild.

Wenngleich die gesundheitliche Beurteilung erhöhter Nitrataufnahme heute nicht mehr so scharf ausfällt wie in den siebziger Jahren, so bleibt ein Gefährdungspotential bestehen. Und immerhin: Stickstoff benötigt der gesunde Mensch in Form von Eiweiß und nicht in Form des Pflanzennährsalzes Nitrat. Darüber hinaus muss dem Nitratproblem auch aus anderen Gründen höchste Aufmerksamkeit geschenkt werden. Denn in der Regel sind dort, wo erhöhte Nitratgehalte im Sicker-

wasser festgestellt werden, auch andere Parameter von einer negativen Entwicklung betroffen, die oft schwieriger mess- und quantifizierbar sind und deren Auswirkungen sich oft erst über längere Zeiträume entfalten:

- *Erosion*: Verlust von Nährstoffen und *Eutrophierung* von Oberflächengewässern.
- *Kinetik*: Beeinträchtigung komplexer Regelmechanismen der Bodenmikroorganismen, somit Absinken der nachhaltigen Bodenfruchtbarkeit.
- *Nährstoffe*: Veränderung der Nährsalzzusammensetzung in den Böden und somit Erhöhung der Gefahr nicht pflanzenbedarfsgerechter Versorgung mit Nährsalzen infolge Änderung der ertragsbegrenzenden Minimumfaktoren: *Ertragseinbussen*.
- *Wasser*: Eine Aufsalzung und Salzgehaltsveränderungen des Grund- und Trinkwassers sind auch aus wasserwerkstechnischen Gründen unerwünscht (Änderung der Korrosionseigenschaften). Darüber hinaus können Nährstoffänderungen im Grundwasserkörper eine Verschiebung in der mikrobiellen Zusammensetzung bewirken, was möglicherweise eine (unbekannte und noch nicht erforschte) *Beeinträchtigung des Selbstreinigungsvermögens* nach sich ziehen könnte.
- *Monitoring*: Mit dem Nitrat können auch andere, leichtlösliche und nicht adsorbierbare Substanzen (z. B. Atrazin, Chlorid usw.) ins Grundwasser ausgewaschen werden, was meist auch dann Grund zur Aufmerksamkeit gibt, wenn diese nur im Spurenbereich vorliegen.

Diese komplexen, vernetzten – und hier nur angedeuteten Zusammenhänge – gebieten, den Nitratgehalt im Sickerwasser landwirtschaftlicher Böden weiterhin kritisch zu verfolgen. Der relativ einfach zu ermittelnde Faktor «Nitratgehalt im Sickerwasser» bietet sich somit als *Indikator* an, um Beeinträchtigungen der empfindlichen, schwer quantifizierbaren Grösse «nachhaltige Bodenfruchtbarkeit» anzuzeigen. Und dieser ökologische Hauptfaktor wird – trotz aller technischer Fortschritte (Nitrifikationshemmer, Hors-sol-Kulturen, Gentechnologie, Wasseraufbereitung usw.) – entscheidend für das menschliche Leben bleiben.

### *Massnahmen*

Aus der obigen kurzen Schilderung der Einflussfaktoren ergibt sich, dass nicht Einzelmassnahmen allein, z. B. Dünge- oder Güllevorschriften, wie das immer wieder gefordert wird, sondern nur eine kombinierte Strategie zum Ziel führt. Das beginnt bei strengen lebensmittelrechtlichen Vorgaben, führt über wissenschaftlich fundierte, von gut ausgebildeten Betriebsberatern begleitete Änderungen der Kultivierungsmethoden bis zur Schaffung wirtschaftlicher und politischer Rahmenbedingungen, welche ökologisch richtig erzeugte Produkte marktwirtschaftlich mindestens konkurrenzfähig machen (Änderung des Subventionswesens, An- und Abreizsysteme), und endet bei der Förderung gezielter Informationskampagnen für die Konsumentenschaft.



An dieser Stelle sollen nur kurz die *agronomischen Massnahmen* erwähnt werden. Eine ausführliche Auflistung und Wertung aller Massnahmen, die durch unzählige Modellversuche und unter Praxisbedingungen erhobene Forschungsergebnisse erläutert sind, findet sich bei *Leu et al.* (6) und *Rohmann et al.* (10). Die vordringlichste und wirksamste Massnahme zur Vermeidung von Nitratverlusten ins Grundwasser ist eine der Bodenart angepasste, möglichst *lückenlose Begrünung* des Bodens durch Zwischenfütteranbau, Gründüngungen und Untersaaten. Danach folgt die Beachtung des richtigen Zeitpunkts und die Beschränkung der *mechanischen Bodenbearbeitung* auf das absolut Notwendige und schliesslich eine *pflanzen- und bodengerechte Düngung* in richtiger Menge und Form (Wirkungsdynamik) und zum richtigen Zeitpunkt. Ferner ist auf die *Fruchtwahl und -folge* zu achten sowie auf eine *Nutztierzahl*, die den pflanzenbaulichen Bedürfnissen und der Bodenbelastbarkeit der bewirtschafteten Fläche angepasst ist. Rein technische Symptombekämpfung, wie der Einsatz von Nitrifikationshemmern, Mischung von Wässern verschiedener Qualitäten und Wasseraufbereitungsmassnahmen, schafft meist neue Probleme und höhlt das Verursacher-, Vorsorge- und Sorgfaltsprinzip aus (Gewässerschutzgesetz 1971, Umweltschutzgesetz 1983). Gerechtfertigt ist Symptombekämpfung lediglich als Überbrückungsmassnahme.

Viele Massnahmen bedürfen noch beträchtlicher Forschungsarbeit, damit sie im Einklang von Ökologie *und* Ökonomie unter den unterschiedlichsten Betriebsverhältnissen eingesetzt werden können. Bedingt durch die hohe Komplexität aller einwirkenden Faktoren ist – es sei wiederholt – ein rigoroser Ausbau der einzelbetrieblichen Beratung von seiten der eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten und kantonalen landwirtschaftlichen Beratungsstellen geboten. Selbstverständlich muss der zeitliche und finanzielle Mehraufwand der Landwirte über richtig gesteuerte Produktpreise und/oder gestaffelte Flächenbeiträge (Direktzahlungen) abgegolten werden.

## Lösungsansätze im Kanton Schaffhausen

### *Naturlabor Buechberg*

Wie andernorts (vgl. 6) wurde auch im Kanton Schaffhausen versucht, Erkenntnisse aus Modellversuchen im Feldmasstab unter Praxisbedingungen zu erhärten (12). Während vier Jahren (1980–1984) wurde mittels Lysimetern und Quellwassermessungen ein hydrogeologisch abgegrenztes Gebiet von 69 Hektaren untersucht, das ackerbaulich und graswirtschaftlich konventionell genutzt wurde. Mit Hilfe von fein differenzierten Dünge- und Ertragsprotokollen, die von den Landwirten ausgefüllt wurden, konnten jährlich N-Bilanzen für das ganze Gebiet erstellt werden. Diese stimmten mit den gemessenen Werten gut überein; die N-Vorräte im Boden blieben dabei über die ganze Untersuchungszeit hin konstant.

Das Quellwasser im Einzugsgebiet unter Ackerflächen wies durchschnittliche Konzentrationen von 70 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$  auf, während unter Naturwiesen 30 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$

gemessen wurden. Je nach Niederschlagsmenge wurden unter Ackerflächen zwischen 70 und 130 kg N/ha und Jahr und unter Natur- und Kunstwiesen ca. 20 kg N/ha und Jahr ausgewaschen. Die Vergleichsgrößen aus den Lysimeterparzellen lauten:  $105 \pm 20$  kg N/ha und Jahr Auswaschung unter Brache und 20 kg N/ha und Jahr unter Klee/Gras-Mischung.

Durch zusätzliche Stickstoffbestimmungen in Bodenproben wurden weitere Aspekte der Stickstoffdynamik erhellt: Unter brachliegenden Flächen wurden allein im Zeitraum Dezember 1982 bis Anfang Mai 1983 ca. 80 kg N/ha mobilisiert.

### *Erfolge durch einzelbetriebliche Beratung in der Region Klettgau*

Seit 1985 werden auf einem Areal von 24 km<sup>2</sup> im acker- und rebbaulich intensiv bewirtschafteten Klettgau, zuerst im Rahmen eines Projektes des Forschungsinstitutes für biologischen Landbau, Oberwil (BL) und des Kantons Schaffhausen («Projekt Klettgau»), seit 1988 durch einen vom Landwirtschaftsamt hauptamtlich angestellten Agronomen, Einzelbetriebsberatungen durchgeführt. Die Erfolgskontrolle wird wissenschaftlich vom Kantonalen Laboratorium Schaffhausen begleitet.

### *Material und Methoden*

In 30 Parzellen bei 24 Bewirtschaftern wurden insgesamt 120 Sauglysimeter eingebaut (Abb. 3). Die Versuchspartellen wurden so ausgewählt, dass je zwei benachbarte Felder (gleiche Bodenart und Topographie) mit unterschiedlicher Bewirtschaftungsart (viehlos, Rindermast usw.) mit vier bis acht Sauglysimetern in 120 cm Tiefe ausgestattet wurden. Die Probenahme erfolgte vierzehntäglich, jeweils ab Auftreten des Sickerwassers im Herbst bis zum Ende der Sickerwasserbildung im darauffolgenden Sommer.

Die Nitratanalysen wurden mit einer HPLC-Methode durchgeführt. Folgende Arbeitsbedingungen wurden eingehalten:

HPLC-Apparatur: Perkin-Elmer Series 3B LC, Autosampler ISS-100,  
UV-Detektor LC 55 (Messung bei 210 nm)  
Integrator: Hitachi D-2000  
Säule: Nucleosil 120-7 NH<sub>2</sub> (ET250/8/4), Macherey-Nagel  
Eluent: KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 10 g/l, mit verdünnter H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> auf pH 3,07 eingestellt  
und über Millipore 0,45 µm filtriert  
Flow: 1,7 ml/min  
Einspritzmenge: 10 µl unverdünnt, 3fach Messung pro Probe  
Laufzeit: 7 min  
Standard: 10 ppm NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

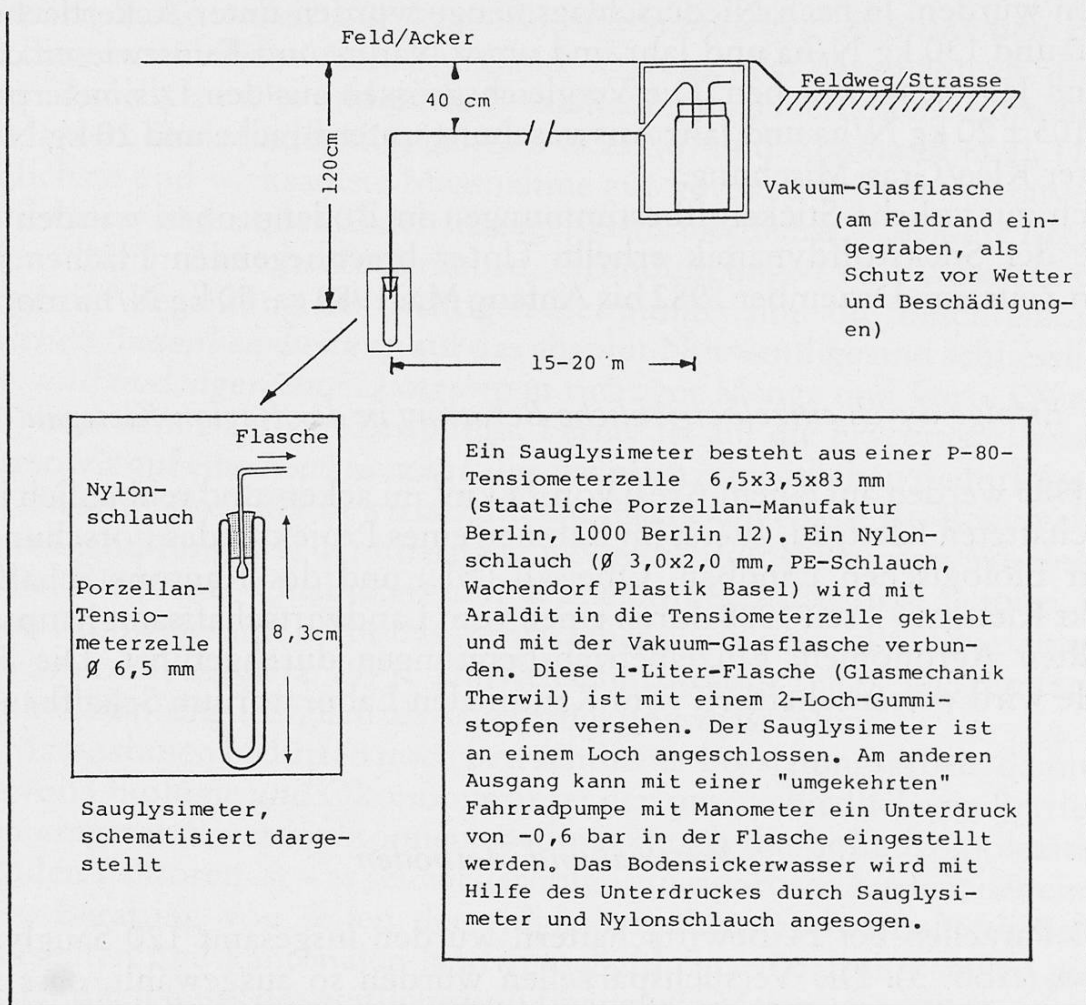


Abb. 3. Schema einer im Projekt Klettgau verwendeten Lysimeteranlage

## Resultate

Die Ergebnisse der Nitratuntersuchungen werden graphisch aufgezeichnet, so dass über mehrere Fruchtfolgeperioden hinweg ein optisches Bild der Nitratbewegung im Sickerwasser entsteht. Zusammen mit den Angaben der Bewirtschafter über Bodenbedeckung, Düngermenge (Stickstoff) und Düngerarten sowie den Boden- und Wetterfaktoren ergeben sich dadurch klare Aussagen über die Interaktionen von Kulturmassnahmen und Umweltfaktoren in der Dynamik der Nitratenauswaschung.

Ein erstes Beispiel (Abb. 4) zeigt die Nitratkonzentration unter einer Parzelle, die zu einem *intensiven Rindermastbetrieb* gehört. Der Boden ist *sehr durchlässig* und weist einen hohen Skelettgehalt auf. Die Messungen im Jahr 1985 zeigen sehr hohe Werte, was auf die im Winter ausgebrachte (Gülle-)Düngung auf das brache Feld zurückgeführt werden muss. Auch 1986 finden sich hohe Nitratwerte im Sickerwasser. Dies hat folgende Gründe:

- Winterweizen nimmt mit seinem noch schwachen Wurzelwerk, gerade im Winter und auf durchlässigem Boden, nur wenig Nitrat auf. Die Düngergabe (Gülle) zu Beginn der Weizenkultur konnte von den Pflanzen nicht verwertet werden. Ein grosser Teil des Stickstoffs wurde mikrobiell mobilisiert und ging in Form von Nitrat durch Auswaschung verloren.
- Es waren noch Reststickstoffmengen von der Vorkultur vorhanden, welche der Weizen nicht aufzunehmen vermochte.

Die Winterbegrünung 1986/87 brachte eine starke Reduktion der Nitratwerte im Sickerwasser, da der Boden vollständig bewachsen war. Die Winterbrache 1987/88 führte erneut zu einem leichten Anstieg der Nitratwerte, die aber nicht mehr so hoch waren wie drei Jahre zuvor, da die Düngung zur Vorkultur dem Bedarf der Pflanzen eher angepasst war.

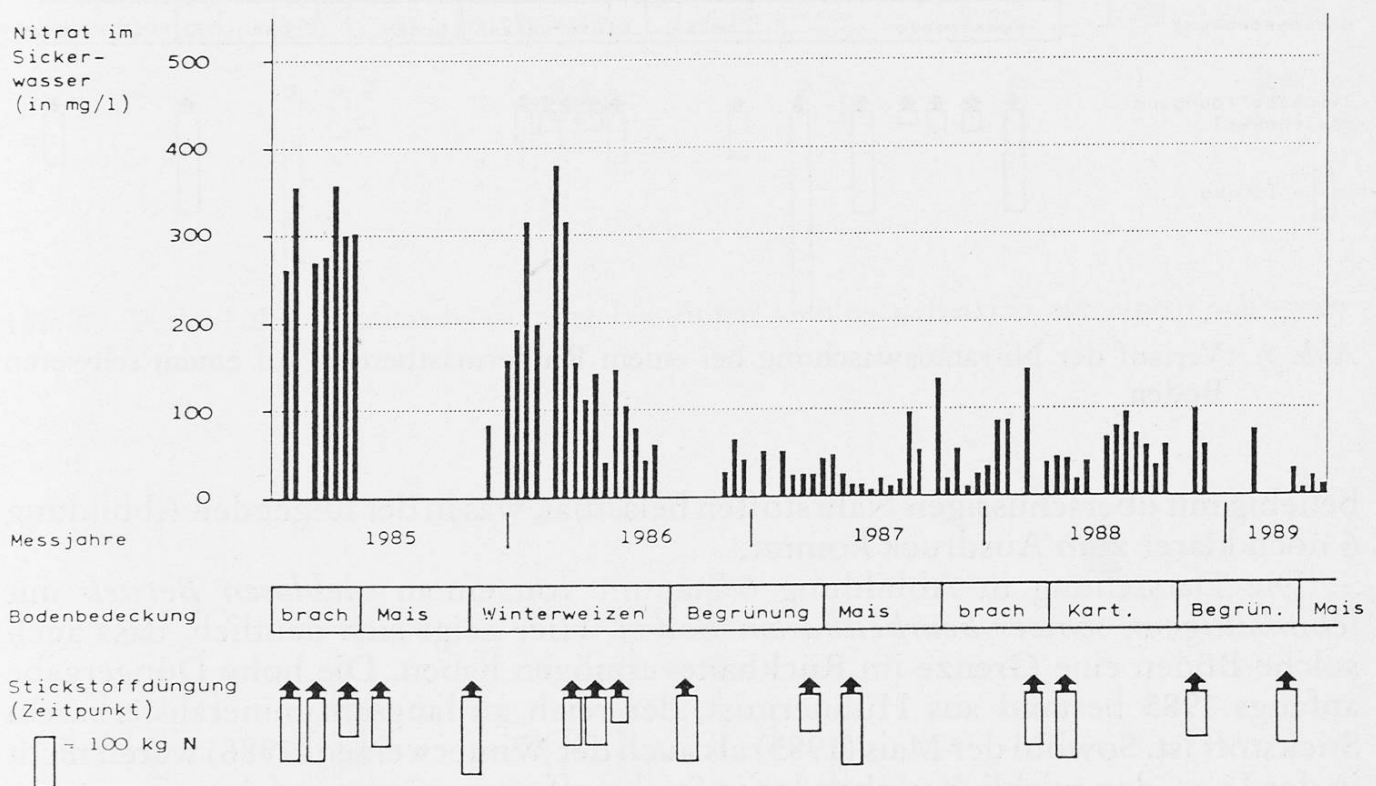


Abb. 4. Verlauf der Nitratauswaschung bei einem Rindermastbetrieb auf sehr durchlässigem Boden

Abbildung 5 stammt ebenfalls von einem *intensiven Rindermastbetrieb*, dessen Boden aus skelettfreiem, humusarmem Lehm besteht und demzufolge *sehr undurchlässig* ist. Diese Bodenart hat ein hohes Wasserrückhaltevermögen. Somit kann Stickstoff, auch wenn er im Überschuss vorhanden ist (1985) und zu Nitrat mineralisiert wird, kaum ausgewaschen werden. Aber selbst auf diesem Boden zeigt sich, im Vergleich der Jahre 1985/86 und 1987/88, der Einfluss des Bewuchses auf die Nitratauswaschung. Mit anderen Worten: Auch «schwere» Böden sind nicht

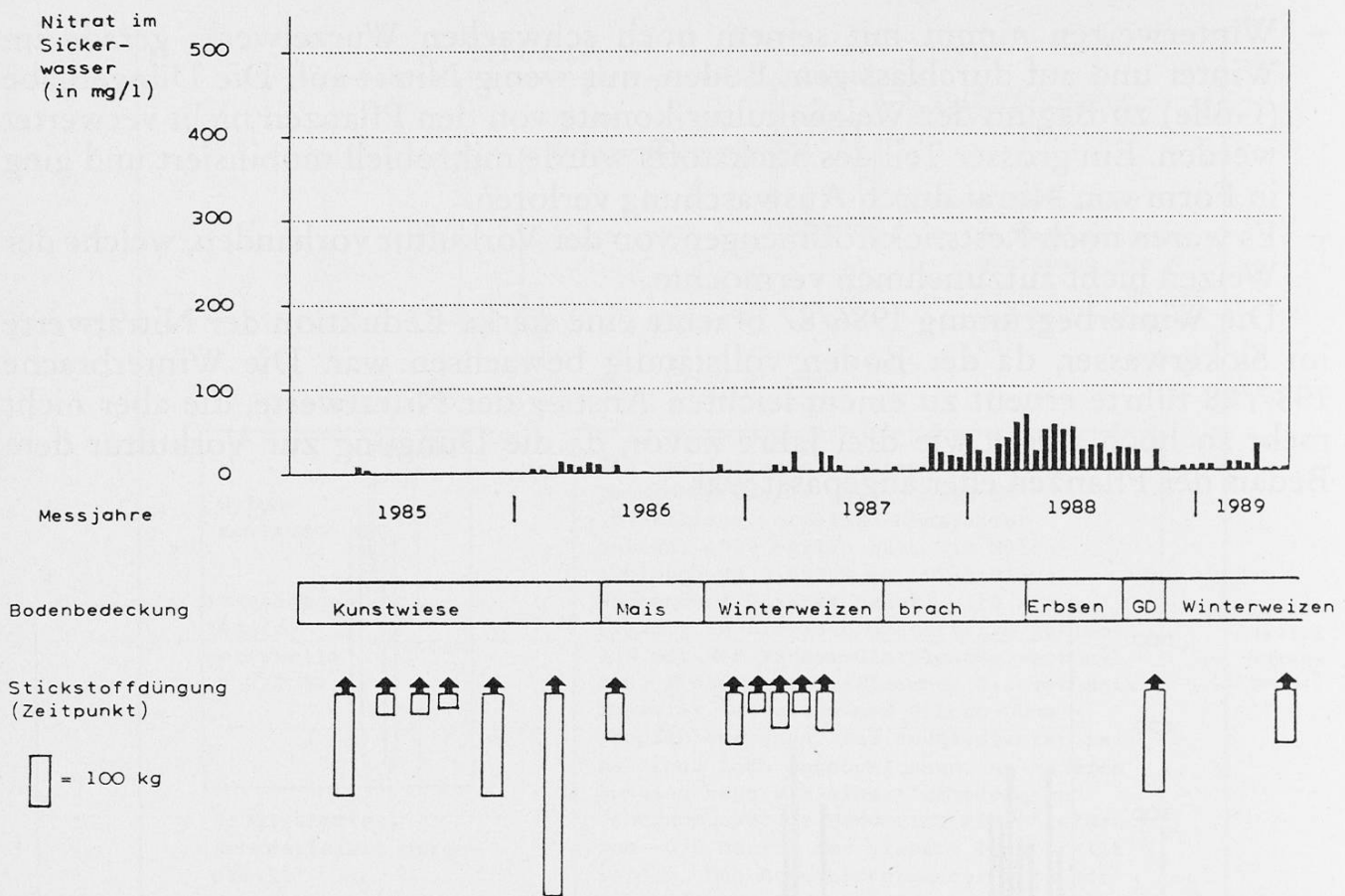


Abb. 5. Verlauf der Nitratauswaschung bei einem Rindermastbetrieb auf einem schweren Boden

beliebig mit überschüssigen Nährstoffen belastbar, was in der folgenden Abbildung 6 noch klarer zum Ausdruck kommt.

Die Darstellung in Abbildung 6 stammt von einem *viehlosen Betrieb* mit *lehmhaltigem, schwer bearbeitbarem Boden*. Hier zeigt sich deutlich, dass auch solche Böden eine Grenze im Rückhaltevermögen haben. Die hohe Düngergabe anfangs 1985 bestand aus Hühnermist, der reich an langsam mineralisierbarem Stickstoff ist. Sowohl der Mais (1985) als auch der Winterweizen (1986) waren nicht in der Lage, den reichlich vorhandenen Stickstoff auszunützen, so dass ein grosser Teil des Stickstoffes durch Verlagerungen in tiefere Bodenschichten verloren gegangen ist. Erneut zeigt sich auch, dass Winterweizen zur Vermeidung der Nitratauswaschung ungeeignet ist. Hingegen bewirkten die Nachfolgekulturen Wintergerste und Raps, beides gute Bodenbedecker, ein drastisches Absinken der Nitratwerte; dieser Effekt wurde zusätzlich begünstigt durch eine bedarfsgerechte Düngung.

Abbildung 7 zeigt die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser einer *Rebparzelle*, welche wechselweise begrünte und unbegrünte Reihen aufwies. Es zeigen sich erwartungsgemäss deutliche Unterschiede zwischen begrünten und unbegrünten Flächen, was erneut die wichtige Rolle des Bewuchses zur Verhinderung der Nitratauswaschung beweist. Frühere Feldversuche werden bestätigt (13). Eine

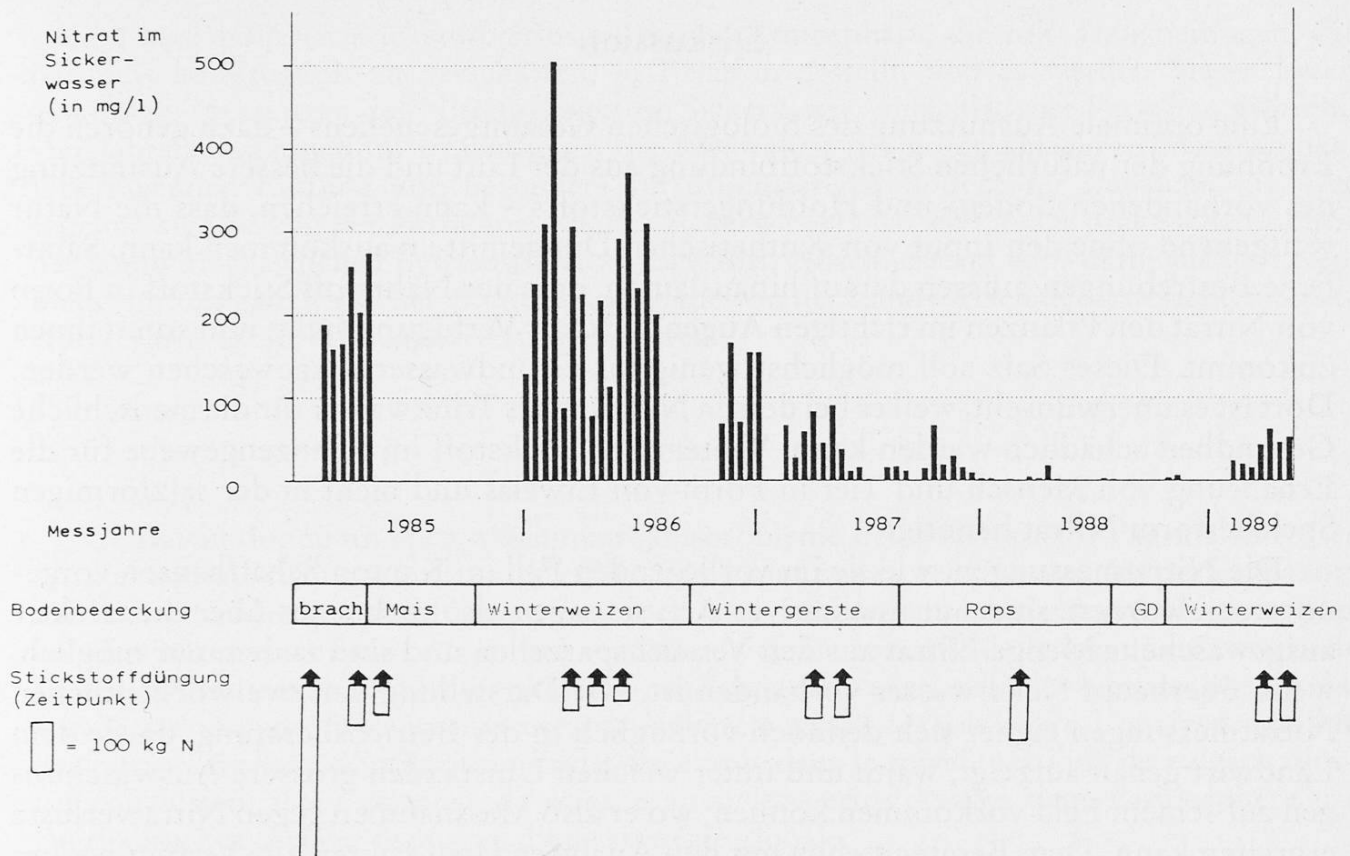


Abb. 6. Verlauf der Nitratauswaschung bei einem viehlosen Betrieb auf einem schweren Boden

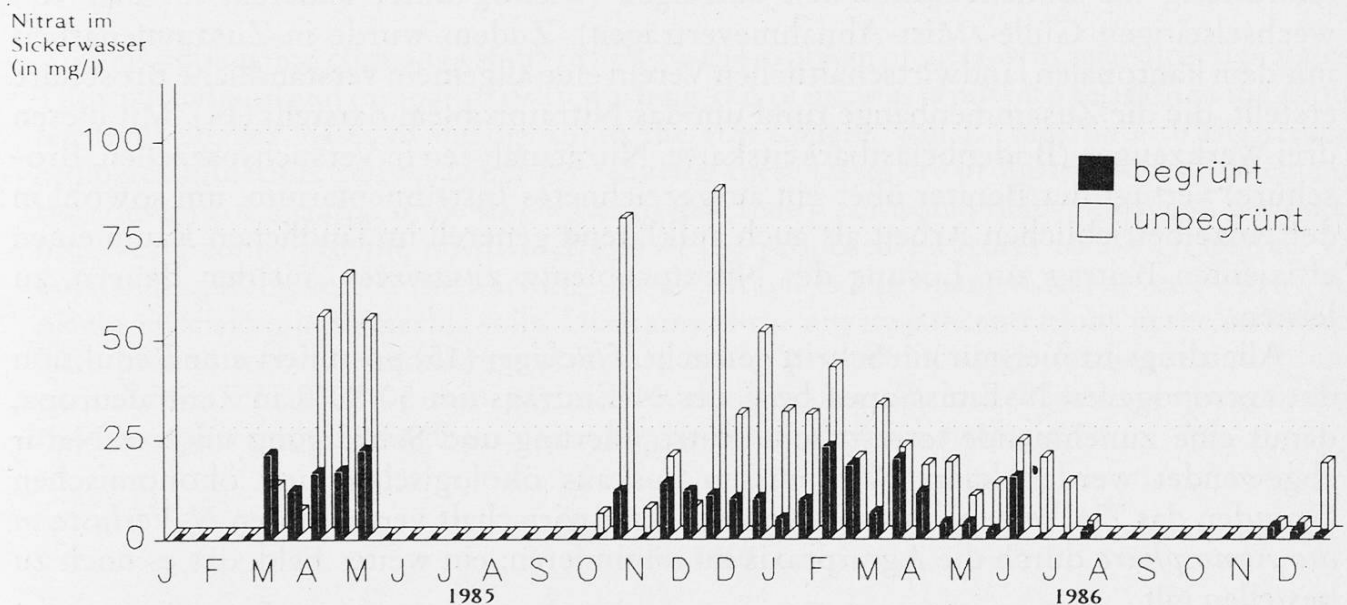


Abb. 7. Nitrat im Sickerwasser von begrünten und unbegrüntem Rebparzellen

differenzierte, den Böden und den Nährstoffbedürfnissen der Pflanzen angepasste Kulturtechnik im Rebbau kann somit viel dazu beitragen, die Stickstoffverluste zu minimieren.

## Diskussion

Eine optimale Ausnutzung des biologischen Gesamtgeschehens – dazu gehören die Erhöhung der natürlichen Stickstoffbindung aus der Luft und die bessere Ausnutzung des vorhandenen Boden- und Hofdüngerstickstoffs – kann erreichen, dass die Natur weitgehend ohne den Input von synthetischen Düngemitteln auskommen kann. Sämtliche Bestrebungen müssen darauf hinauslaufen, dass der Nährstoff Stickstoff in Form von Nitrat den Pflanzen im richtigen Augenblick zur Verfügung steht, und somit ihnen zukommt. Dieses Salz soll möglichst wenig ins Grundwasser ausgewaschen werden. Dort ist es unerwünscht, weil es bei dessen Nutzung als Trinkwasser für die menschliche Gesundheit schädlich werden kann. Weiter wird Stickstoff im Pflanzengewebe für die Ernährung von Mensch und Tier in Form von Eiweiss und nicht in der salzförmigen Speicherform Nitrat benötigt.

Die Nitratmessungen, wie sie im vorliegenden Fall im Kanton Schaffhausen vorgenommen wurden, sind nur qualitativer Art: sie sagen also nichts aus über die effektiv ausgewaschene Menge Nitrat aus den Versuchspartellen und sind zudem nur möglich, wenn überhaupt Sickerwasser vorhanden ist. Die Darstellung der zweiwöchentlichen Nitratmessungen eignet sich dennoch vorzüglich in der Betriebsberatung, da sie dem Landwirt genau aufzeigt, wann und unter welchen Umständen grössere Auswaschungen auf seinem Feld vorkommen können, wo er also Massnahmen gegen Nitratverluste ergreifen kann. Dem Berater stehen mit den Analysendaten Fakten zur Verfügung, um letztendlich zu überzeugen. Im Klettgau wurden die Nitratanalysen ergänzt durch hydrogeologisch/pedologische Abklärungen («Bodenkartierung Klettgau SH»), die feinrastrig die Bodenbelastbarkeit aufzeigen (wichtig unter anderem im Fall von wechselseitigen Gülle-/Mist-Abnahmeverträgen). Zudem wurde in Zusammenarbeit mit dem kantonalen landwirtschaftlichen Verein eine allgemein verständliche Broschüre erstellt, die die Zusammenhänge rund um das Nitratproblem darstellt (14). Mit diesen drei Werkzeugen (Bodenbelastbarkeitskarte, Nitratanalysen in Versuchspartellen, Broschüre) verfügt der Berater über ein ausgezeichnetes Instrumentarium, um sowohl in der einzelbetrieblichen Arbeit als auch aufklärend generell im ländlichen Raum einen effizienten Beitrag zur Lösung des Nitratproblems, *zusammen* mit den Bauern, zu leisten.

Allerdings ist hier nur ein Schritt gemacht. *Flückiger* (15) postuliert eine Reduktion der antropogenen N-Emissionen bzw. des N-Eintrags um 50-80% in Zentraleuropa, damit eine zunehmende terrestrische Eutrophierung und Schädigung unserer Natur abgewendet werden kann. Wir müssen uns aus ökologischen und ökonomischen Gründen das Ziel setzen, auch die von der Landwirtschaft verursachten *N-Verluste in die Atmosphäre* durch die Agrarpraxis zu minimieren: ein weites Feld, das es noch zu bestellen gilt.

## Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird ein kurzer Überblick über das Nitratproblem in der Landwirtschaft gegeben. Die gesundheitlich und ökologisch bedenkliche Nitratauswaschung wird zu den

rund 10mal höheren Stickstoffverlusten in der Atmosphäre, die mit dazu beitragen, die ökologische Situation zu verschärfen, in Relation gestellt, und es werden Massnahmen diskutiert. Messungen des Nitratgehaltes im Sickerwasser verschiedener Parzellen während vier Jahren bestätigen im wesentlichen die Richtigkeit der vorgeschlagenen Massnahmen. Übereinstimmenden Einfluss übt, besonders auf durchlässigen Böden, der Bewuchs aus. Der regelmässige Beizug der Nitratanalytik des Sickerwassers hat sich in der praktischen Arbeit der landwirtschaftlichen Betriebsberatung bewährt. Abschliessend wird dafür plädiert, vermehrt mittels ganzheitlichen Strategien auch die von der Landwirtschaft verursachten Stickstoffverluste in die Atmosphäre zu minimieren.

### *Résumé*

Ce travail donne un aperçu sommaire du problème des nitrates dans l'agriculture. Les nitrates comme risque pour la santé et l'écologie sont mis en relation avec les pertes d'azote dans l'atmosphère qui sont 10 fois plus importantes et aggravent la situation écologique. Des mesures nécessaires dans ce contexte sont discutées. Le contrôle de la teneur en nitrates de l'eau d'infiltration de différentes parcelles pendant quatre ans justifie les mesures proposées. La végétation a une influence majeure, particulièrement sur des sols légers. L'analyse régulière des nitrates de l'eau d'infiltration s'est avérée utile dans le travail pratique de vulgarisation. En conclusion, il est proposé de réduire aussi les pertes d'azote dans l'atmosphère par l'agriculture et ceci par le moyen d'une stratégie globale.

### *Summary*

This publication contains a short review on the problem of nitrates in agricultural practice. The toxicological and ecological risky washing-out of nitrates is put into relation to the about ten times higher losses of nitrogen into the atmosphere, which contribute to the critical ecological situation, and measures for reducing these losses are proposed. Measurements of the contents of nitrates in the soil-water in differently cultivated field-lots over a period of four years confirmed the positive effects of the proposed measures to a high degree. Of outstanding influence on the leaching-out of nitrates is a permanent soil cover by growing plants, specially on permeable soils. Diagrams of the nitrate concentrations in the soil water have proved to be an excellent instrument in the practice of single-farm instruction and consultation. Finally it is proposed to reduce the agriculturally caused losses of nitrogen into the atmosphere not by single measures but by comprehensive strategies.

### *Literatur*

1. Eidg. Departement des Innern: Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (FIV) vom 27. Februar 1986. Eidg. Drucksachen- und Materialverwaltung, Bern 1986.
2. Schweiz. Bundeskanzlei (Hrsg.): Luftreinhalteverordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1985.
3. Biedermann, R., Leu, D. und Vogelsanger, W.: Nitrate in Nahrungsmitteln. Eine Standortbestimmung. Deut. Lebensm. Rdschau 76, 149–156 und 198–207 (1980).



4. National Academy of Sciences: Nitrates: an environmental assessment. A report prepared by the panel on nitrates of the coordinating committee for scientific and technical assessment of environmental pollutants. Washington, D. C. 1978.
5. *Biedermann, R., Halder, U., Kasser, U., Keller, L., Leu, D., Martin, C. und Nierhaus-Wunderwald, D.*: Biozid-Report Schweiz, Schadstoffe in unserer Umwelt: Situation und Lösungsansätze. Sauerländer, Aarau 1984.
6. *Leu, D., Biedermann, R., Dettwiler, J., Hoigné, J. und Stadelmann, F. X.*: Bericht über Nitrate im Trinkwasser – Standortbestimmung 1985. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 77, 227–315 (1986).
7. *Kickuth, R.*: Nitrate in der Stickstoffbilanz. In: Nitrat in Gemüsebau und Landwirtschaft. Gottlieb-Duttweiler-Institut, Rüschlikon/Zürich 1981.
8. *Stadelmann, F. X.*: Stickstoff in der Landwirtschaft: Kreislauf, Probleme, Verluste, Synthese, Schlussfolgerungen. In: FAC-Oktobertagung 1988: Stickstoff in Landwirtschaft, Luft und Umwelt. Schriftenreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern Nr. 7, 1990.
9. *Fabian, P.*: Atmosphäre und Umwelt, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1989.
10. *Rohmann, U. und Sontheimer, H.*: Nitrat im Grundwasser – Ursachen, Bedeutung, Lösungswege. DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der TH Karlsruhe. Karlsruhe 1985.
11. *Ceratzki, W.*: Die Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Landbauforschung Völkenrode 23, 1–18 (1973).
12. *Bosshart, U.*: Einfluss der Stickstoffdüngung und der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweise auf die Nitratauswaschung ins Grundwasser (am Beispiel Naturlabor Buechberg). Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie Nr. 32. Kommissionsverlag Kümmerly & Frey, Bern 1985.
13. *Darimont, Th.*: Analyse und Bewertung von Nitrat im Trinkwasser. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1983.
14. DI, VD und KLV Schaffhausen (Hrsg.): Nitrate im Trinkwasser, ein Gesundheits- und Umweltproblem. Schaffhausen 1988.
15. *Flückiger, W.*: Stickstoff und Stickstoffverbindungen in der Luft und ihre ökologische Bedeutung. *Chimia* 42, 41–56 (1988).

Dr. R. Biedermann  
 Dr. D. Leu  
 A. Zehnder  
 Kantonales Laboratorium  
 Postfach 37  
 CH-8204 Schaffhausen