

# Umwelt

## Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen auf die Nitratauswaschung

Werner Stauffer und Ernst Spiess, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Liebefeld, CH-3003 Bern  
Auskünfte: e-mail: werner.stauffer@iul.admin.ch, Tel. +41 (0)31 323 83 22, Fax +41 (0)31 323 84 15

### Zusammenfassung

**M**it Lysimetern (1 m<sup>2</sup> Oberfläche und 1,4 m nutzbare Tiefe; 1982 mit einem schwach humosen, lehmigen Sand eingefüllt) wurde während sieben Jahren (1993 - 1999) untersucht, wie sechs unterschiedliche Fruchtfolgen, Klee gras, Chinaschilf und Schwarzbrache die Sickerwassermenge, die Nitratkonzentration und die ins Grundwasser ausgewaschene Stickstoffmenge beeinflussen.

Die Erhebungen zeigen Unterschiede je nach Niederschlag, Kulturabfolge und Bedeckungsgrad. Fruchtfolgen mit Zwischenfrütern wiesen im Mittel von sieben Jahren mit 85 kg N/ha rund ein Drittel weniger Nitratverluste auf als solche ohne Zwischenfrüter. Im Mittel der sechs Fruchtfolgen sowie bei Schwarzbrache überschritt die Nitratkonzentration während des ganzen Jahres fast immer den Toleranzwert für Trinkwasser von 40 mg NO<sub>3</sub>/l. Verschiedene Vorkulturen können zu unterschiedlich hohen Nitratverlusten unter der folgenden Hauptkultur führen. Bezüglich der Nitratauswaschung ist deshalb den Kulturübergängen mehr Beachtung zu schenken.

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung führt vor allem in Ackerbaugebieten zu erhöhten Konzentrationen an Nitrat (NO<sub>3</sub>) im Quell- und Grundwasser und zu einer Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität (BUWAL

1994; Walter *et al.* 1991). Gemäss Fremd- und Inhaltsstoffverordnung liegt der heute geltende Toleranzwert für Trinkwasser bei 40 mg NO<sub>3</sub>/l. In der Gewässerschutzverordnung wird ein Wert von maximal 25

mg NO<sub>3</sub>/l als Anforderung an Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, angeben.

Nitrat im Grundwasser kann auch über ein Fließgewässer in Seen und ins Meer gelangen und dort zur Eutrophierung beitragen (Gächter und Furrer 1972; Vitousek *et al.* 1997).

Neben der Bodenbearbeitung und der Düngung beeinflusst vor allem die Fruchtfolge mit ihren Haupt- und Zwischenkulturen die Nitratauswaschung (Furrer und Stauffer 1986; Nievergelt 1997 und 2001; Stauffer und Enggist 1990). Deshalb wurde in einem Lysimeterversuch der Einfluss von sechs siebenjährigen Fruchtfolgen sowie drei Vergleichsvarianten (Tab. 1) auf die Sickerwassermenge, die Nitratkonzentration sowie die aus dem Boden ausgewaschene Menge an Stickstoff (N) untersucht. Der Versuch wurde zwischen 1993 und 1999 auf 26 mit einem schwach humosen Lehm gefüllten Gefässen der Lysimeteranlage in Bern-Liebefeld durchgeführt. Die Versuchsanlage, die Kulturmassnahmen (Bodenbearbeitung, Düngung), die Erträge sowie die Sickerwassermengen wurden in Stauffer (2000) beschrieben. Nachfolgend werden die Resultate zur Nitratauswaschung vorgestellt.

### Nitratkonzentration im Sickerwasser

Die Nitratkonzentration lag im Mittel der sieben Jahre zwischen 2 (Chinaschilf) und 199 mg NO<sub>3</sub>/l (Schwarzbrache, Tab. 2).

Lysimeteranlage Liebefeld. Im Gegensatz zur Schwarzbrache nehmen Kulturen in der Vegetationsperiode Wasser und Stickstoff auf, was sich in geringeren Sickerwassermengen und tieferen Nitratkonzentrationen auswirkt (Foto W. Stauffer).



**Tab. 1. Angebaute Kulturen in den neun Verfahren**

Verfahren	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1 Fruchtfolge 1 (FF1)	SM/WW	WW/ZF	KA/WG	WG/GB	GB	GB/KA/ZF/WW	WW/ZF
2 Fruchtfolge 2 (FF2)	SM m.U.	GB	GB/KA/WG	WG/GD	HA	ZR/WW	WW
3 Fruchtfolge 3 (FF3)	SW/ZF	KA/ZF	EE/GB	GB/RA	RA/ZF	HA	GB
4 Fruchtfolge 4 (FF4)	SW/GD	KA	EE/WW	WW/RA	RA	SM/WW	WW
5 Fruchtfolge 5 (FF5)	KA/GB	GB	GB/SM	HF	KA/GB	GB/WG	WG
6 Fruchtfolge 6 (FF6)	GB/RA	RA/ZF	ZR/WW	WW	SM/WW	WW	HA
7 Klee gras (KG)	KG	KG	KG	KG	KG	KG	KG
8 Chinaschilf (CS)	CS	CS	CS	CS	CS	CS	CS
9 Schwarzbrache (SB)	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine

EE = Eiweisseerbsen, GB = Grünbrache, GD = Gründung (Sonnenblumen, Sommerwicken), HA = Hanf, HF = Hafer, KA = Kartoffeln, RA = Körnerapps, SM = Silomais, SM m.U. = Silomais mit Untersaat, SW = Sommerweizen, WG = Wintergerste, WW = Winterweizen, ZF = Zwischenfutter (Wicken, Hafer, Erbsen), ZR = Zuckerrüben

Sie unterschritt bei Chinaschilf deutlich und beim Klee gras knapp den Wert von 25 mg NO<sub>3</sub>/l, der als Anforderung an Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, gilt. Bei allen geprüften Fruchtfolgen lag der durchschnittliche Nitratgehalt des Sickerwassers klar über dem Toleranzwert von 40 mg NO<sub>3</sub>/l. Bei der Schwarzbrache wurde mit fast 200 mg NO<sub>3</sub>/l der Toleranzwert um das Fünffache überschritten. Die Unterschiede zwischen den Verfahren waren bei der Nitratkonzentration wesentlich stärker ausgeprägt als bei der Sickerwassermenge.

Im Allgemeinen nimmt die Nitratkonzentration einer Trinkwasserfassung mit steigendem Anteil der Offenen Ackerfläche im Einzugsgebiet zu (Frede *et al.* 1994). In der Schweiz wird jedoch der Toleranzwert meistens nicht überschritten, weil das Einzugsgebiet teilweise auch mit Grasland und Wald bedeckt ist. Da die Nitratkonzentrationen unter diesen Flächen bedeutend geringer und die Sickerwasser-

mengen nur wenig niedriger sind als bei ackerbaulicher Nutzung, liegen auch die Nitratgehalte im Trinkwasser wesentlich unter denjenigen im Sickerwasser unter Ackerflächen.

#### Ausgewaschene Nitratmengen

Die Nitratauswaschung war wie erwartet unter Schwarzbrache am höchsten. Der durchschnittliche Wert war mit 358 kg N/ha und Jahr (Tab. 2) sehr hoch im Vergleich zu anderen Untersuchungen (Furrer und Stauffer 1982 und 1986; Gutser *et al.* 1987), wobei erstere Versuche auf Boden gleicher Herkunft durchführten. Am geringsten fielen die N-Verluste mit 2 beziehungsweise 29 kg N/ha und Jahr beim Chinaschilf sowie beim Klee gras aus. Bei Chinaschilf ist zu beachten, dass die Kultur schon im fünften Jahr stand, als mit den Erhebungen begonnen wurde. Englische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Nitratverluste in den ersten Anbaujahren wesentlich höher sind (Christian und Riche

1998). Eine Mittelstellung nahmen die verschiedenen Fruchtfolgen mit Werten zwischen 77 und 143 kg N/ha und Jahr ein. In Fruchtfolgen ohne Zwischenfutter (FF 2 und FF 4) waren die Nitratverluste mit 123 respektive 143 kg N/ha und Jahr rund 50 % höher als in Fruchtfolgen mit Zwischenfutter. Die ausgewaschene Nitratmenge stieg im Allgemeinen mit steigender Nitratkonzentration. Im Vergleich zu Nievergelt (1997) wurden höhere N-Verluste für die Fruchtfolgen gemessen, weil keine Kunstwiesen und teilweise auch keine Zwischenkulturen in die Fruchtfolgen einbezogen wurden und die Liebefelder Ly-simeter 1 m weniger tief sind.

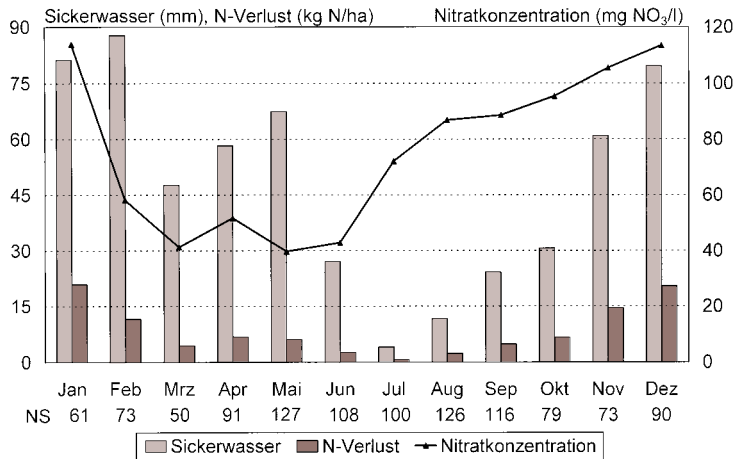
#### Jahreszeitlicher Einfluss

Im Mittel der sieben Versuchsjahre und der sechs Fruchtfolgen waren die höchsten Nitratverluste in den Monaten Dezember und Januar zu verzeichnen (Abb. 1). Dies war hauptsächlich auf die hohen Sickerwassermengen zurückzuführen. Zudem wurden mit rund 110 mg NO<sub>3</sub>/l mittlere

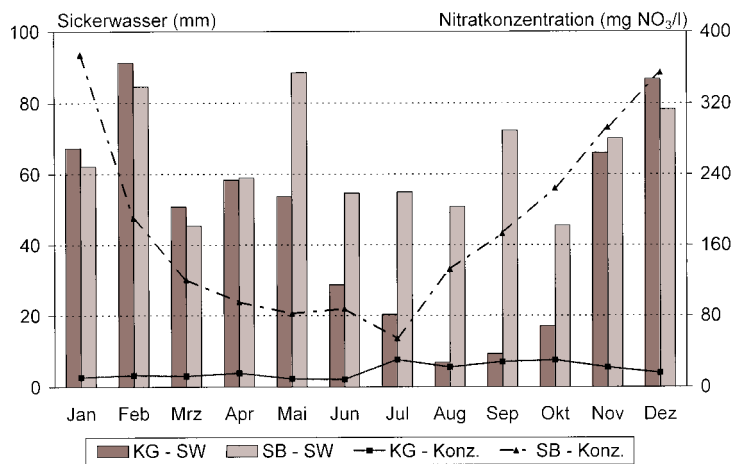
**Tab. 2: Sickerwassermenge, Nitratkonzentration und ausgewaschene Stickstoffmenge der neun Verfahren im Durchschnitt der sieben Versuchsjahre (Abkürzungen siehe Tab. 1).**

	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	KG	CS	SB
Sickerwassermenge (mm/Jahr)	510	603	539	722	620	489	590	534	794
Nitratkonzentration (mg NO <sub>3</sub> /l)	75	89	71	89	62	71	22	2	199
Ausgewaschene N-Menge (kg N/ha und Jahr)	89	123	86	143	90	77	29	2	358

**Abb 1. Sickerwassermenge, Nitratkonzentration und ausgewaschene Stickstoffmenge im Durchschnitt der sechs Fruchtfolgen und sieben Jahre (NS = Niederschlag, in mm).**



**Abb 2. Sickerwassermenge (SW) und Nitratkonzentration (Konz.) unter Kleegras (KG) und Schwarzbrache (SB) im Durchschnitt der Jahre 1994 bis 1999.**



Nitratkonzentrationen gemessen. Die niedrigsten Nitratverluste traten infolge geringerer Sickerwassermengen bei mittleren Nitratkonzentrationen im Juli auf. Zwischen März und Juni wurden die tiefsten Nitratkonzentrationen gemessen. Trotz der hohen N-Mineralisierung und der N-Düngung vermögen die Ackerkulturen den Stickstoff in ihrer Hauptwachstumszeit gut aufzunehmen. Von August an steigen die Sickerwassermengen und die Nitratkonzentrationen kontinuierlich an. Die Wasser- und N-Aufnahme geht bei vielen Kulturen in dieser Zeit zurück. Im Weiteren herrschen dank hohen Niederschlägen und Temperaturen gute Bedingungen für die N-Mineralisierung, welche durch die Ernte (z.B. bei Kartoffeln) oder die Bodenbearbeitung für die nachfolgende Kultur noch zusätzlich gefördert wird.

In Abbildung 2 wird der Einfluss der Vegetation auf die Sickerwasserbildung und die Nitratkonzentration sichtbar. Kleegras wies von Mai bis Oktober, das heisst mit einem Monat Verzögerung auf die Hauptwachstumszeit, viel geringere Sickerwassermengen auf als Schwarzbrache. Dank der Wasseraufnahme durch den Pflanzenbestand trat unter Kunstwiese weniger Sickerwasser auf. Während des ganzen Jahres stellte sich zudem unter Kleegras infolge der langen Vegetationszeit und dem hohen N-Entzug der Pflanzen eine geringe und relativ konstante Nitratkonzentration im Sickerwasser ein. Die Nitratkonzentrationen unter Schwarzbrache schwankten hingegen zwischen 80 mg NO<sub>3</sub>/l im Sommer und 360 mg NO<sub>3</sub>/l in den Wintermonaten. Die Sickerwassermengen waren durch das ganze Jahr hindurch relativ konstant, denn

die hohen Niederschläge im Sommerhalbjahr wurden durch die infolge der hohen Temperaturen grössere Verdunstung kompensiert.

### Kulturübergänge

Die Kulturübergänge und nicht die Hauptkulturen beeinflussen massgeblich die Höhe der Sickerwassermenge, die Nitratkonzentration und damit die Höhe der Nitratverluste. Eine Abfolge Winterweizen/Zwischenfutter - Kartoffeln - Wintergerste (FF 1) vermochte die Nitratverluste im Vergleich zu Grünbrache - Kartoffeln - Wintergerste (FF 2) trotz höherer Düngung um über 60 % zu vermindern (Abb. 3). Die Nitratverluste unterschieden sich bis zum November 1995 nur wenig. Danach wurde aber viel mehr Nitrat ausgewaschen, wenn den Kartoffeln eine Grünbrache vorausging, deren hohe Trockensubstanz-Menge nicht weggeführt wurde und mit einigen Monaten Verzögerung zu einer verstärkten N-Mineralisierung führte. Bei Winterweizen und Zwischenfutter als Vorkulturen wurden dagegen die Weizenkörner, das Stroh sowie das Zwischenfutter abgeführt, so dass mit den Ernterückständen nur eine geringe N-Menge im Boden verblieb. Die höheren Verluste unter Grünbrache als Vor-Vorkultur wurden mehr durch die höhere Nitratkonzentration als durch die unterschiedliche Sickerwassermenge verursacht.

Abbildung 4 zeigt, dass geringere Nitratverluste entstanden, wenn dem Sommerweizen ein Zwischenfutter (Hafer, Erbsen, Wicken; FF 3) und nicht eine Gründüngung (Sonnenblumen, Sommerwicken; FF 4) vorausging. Dies ist auf die etwas längere Vegetationszeit, die stärkere Transpiration und die dadurch viel geringeren Sickerwassermengen unter dem Zwischenfutter zurückzuführen. Die Nitratkonzentrationen unterschieden

sich dagegen in dieser Zeit nur wenig. Im Winter 1994/95 bewirkte der Zwischenfütteranbau nach Kartoffeln (FF 3) gegenüber der Winterbrache (FF 4) eine sehr starke Verminderung der Nitratverluste. Das Zwischenfutter verursachte tiefere Nitratkonzentrationen und leicht niedrigere Sickerwassermengen.

Die Vorkulturen Kartoffeln mit Zwischenfutter beziehungsweise Silomais führten beide zu Nitratverlusten von etwa 160 kg N/ha unter dem nachfolgenden Winterweizen (Abb. 5). Diese waren rund 50 kg höher als nach Zuckerrüben. Letztere sind eine günstige Vorkultur vor Winterweizen. Dank der langen Vegetationszeit verbleiben nach der späten Ernte nur geringe Mengen an mineralischem Stickstoff im Boden, was mit einer niedrigeren Nitratauswaschung im folgenden Winterhalbjahr verbunden ist. Kulturen bilden in ihrer Hauptwachstumszeit (Abb. 6) infolge der starken Transpiration nur wenig oder kein Sickerwasser, was zu geringen Nitratverlusten führt (Abb. 3 - 5).

Durch den Zwischenfütteranbau kann die Nitratauswaschung markant reduziert werden.

Grünbrache und Gründung verringern dank der Transpiration zwar die Sickerwassermenge gegenüber Schwarzbrache, die Pflanzenmasse mit der darin enthaltenen Stickstoffmenge verbleibt aber auf dem Feld und kann im darauf folgenden Winterhalbjahr zu höheren Nitratkonzentrationen im Sickerwasser führen.

Verschiedene Vorkulturen können zu unterschiedlich hohen Nitratverlusten unter der folgenden Hauptkultur führen. Bezüglich der Nitratauswaschung ist deshalb den Kulturübergängen mehr Beachtung zu schenken.

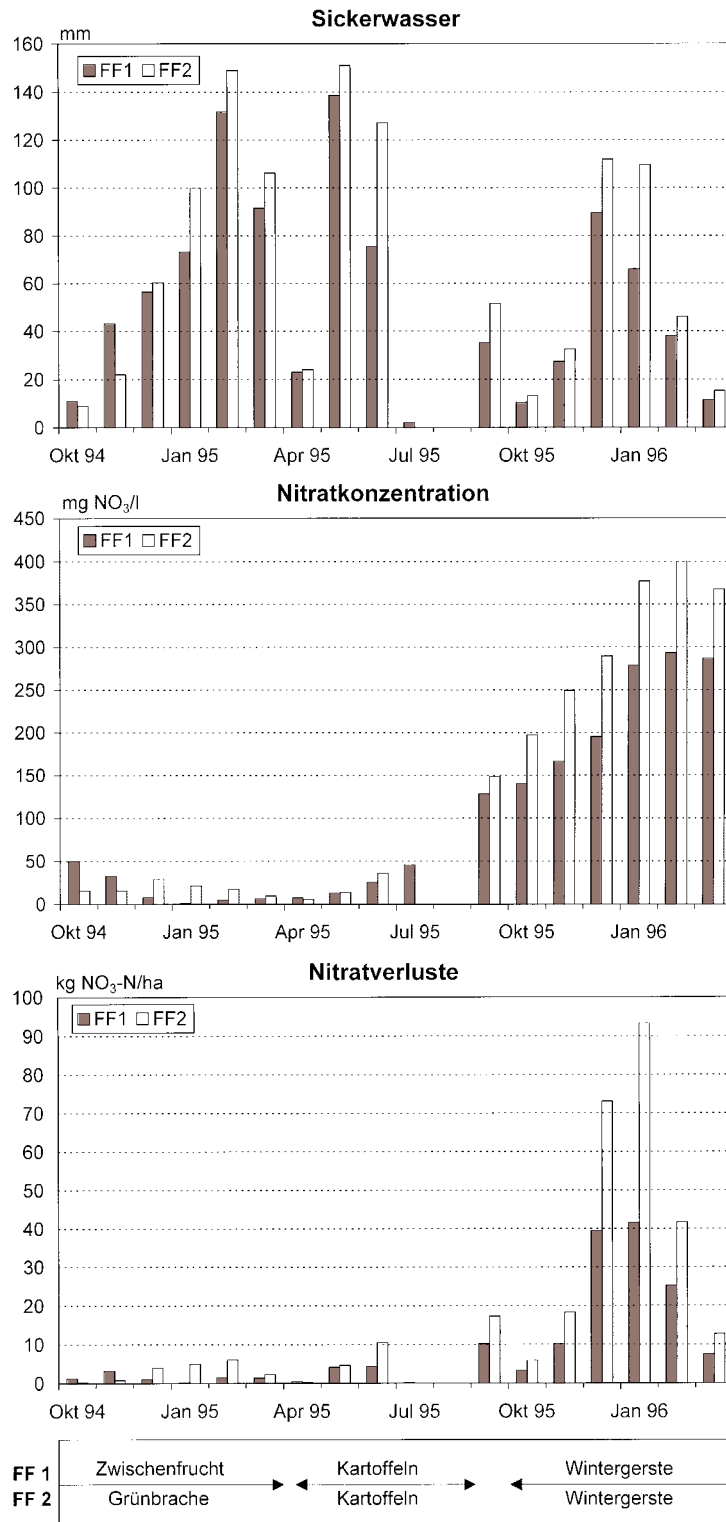


Abb. 3. Sickerwasser, Nitratkonzentration und -verluste in den Kulturabfolgen Zwischenfutter - Kartoffeln - Wintergerste (FF 1) und Grünbrache - Kartoffeln - Wintergerste (FF 2).

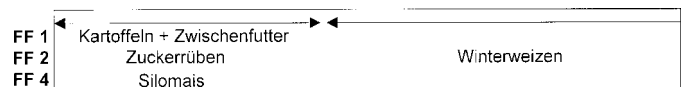
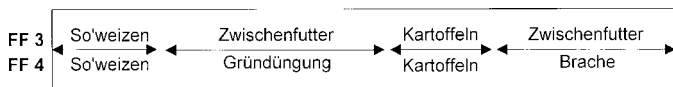
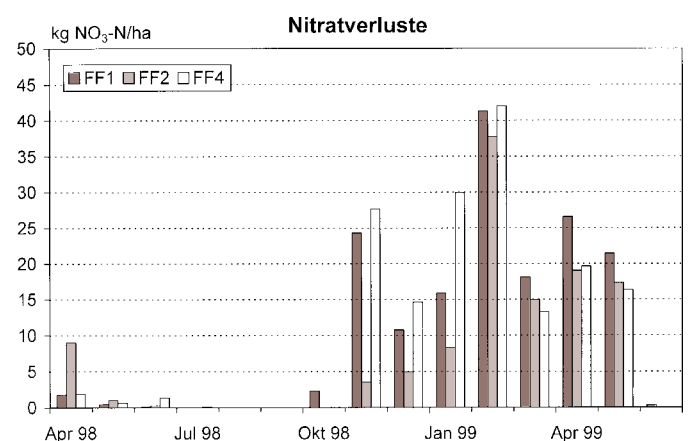
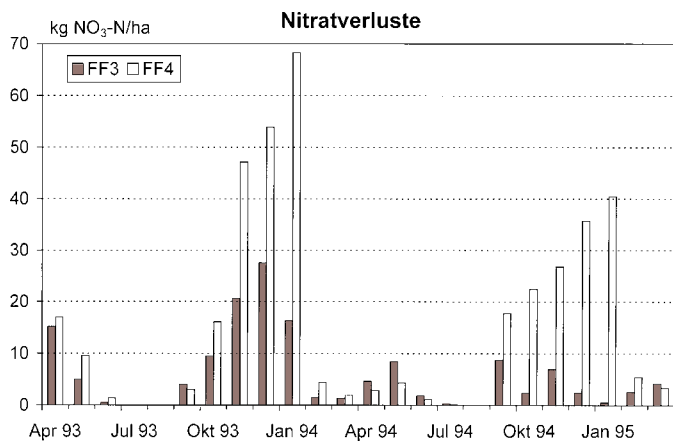
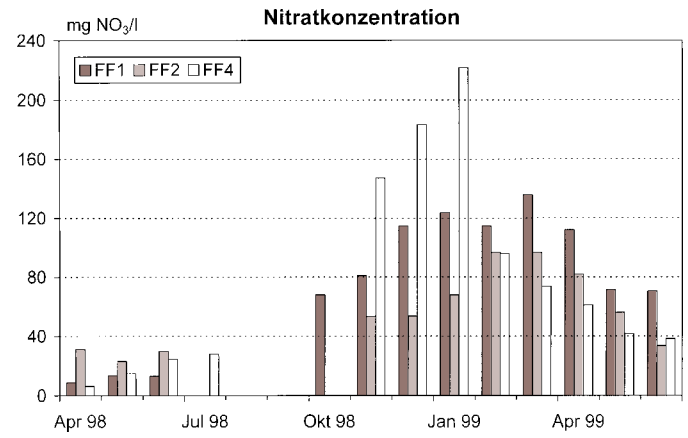
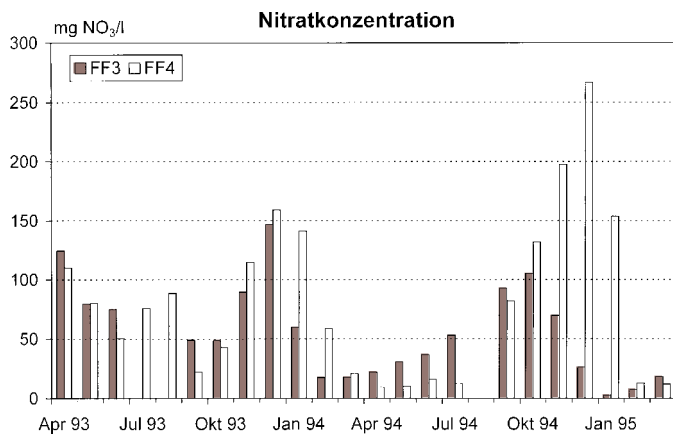
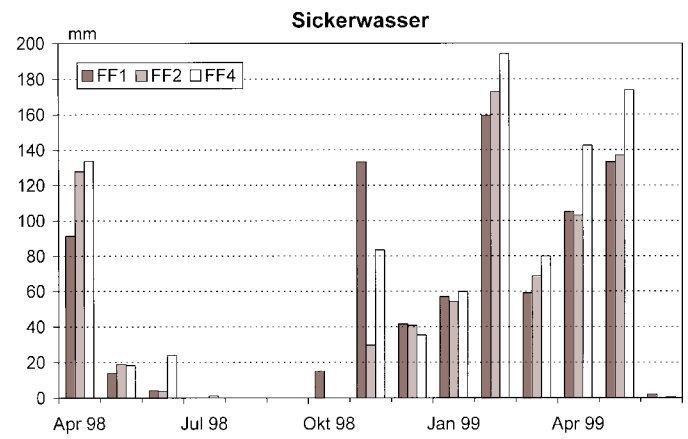
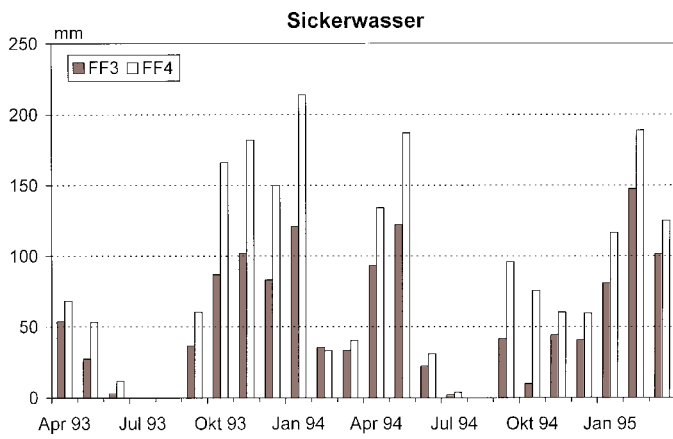


Abb. 4. Sickerwasser, Nitratkonzentration und -verluste in den Kulturabfolgen Sommerweizen - Zwischenfutter - Kartoffeln - Zwischenfutter (FF 3) und Sommerweizen - Gründüngung - Kartoffeln - Winterbrache (FF 4).

Abb. 5. Sickerwasser, Nitratkonzentration und -verluste bei Winterweizen mit verschiedenen Vorkulturen (Kartoffeln und Zwischenfutter in FF 1; Zuckerrüben in FF 2 und Silomais in FF 4).

## Literatur

- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1994. Daten zum Gewässerschutz in der Schweiz. Umwelt-Materialien Nr. 22, Bern, 88 pp.
- Christian D.G. and Riche A.B., 1998, Nitrate leaching losses under *Miscanthus* grass planted on a silty clay loam soil. *Soil Use and Management* **14**, 131-135.
- Frede H.G., Gäth S. und Bach M., 1994. Ursachen und Ausmass der Nitratbelastung im Kreis Hersfeld-Rotenburg. In: Verminderung des Stickstoffaustrags aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in das Grundwasser - Grundlagen und Fallbeispiele. Schriftenreihe des DVWK, Heft 106, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn, 179-193.
- Furrer O.J. und Stauffer W., 1982. Einfluss von Schweinegülle und Hühnermist auf Pflanzen, Boden und Sickerwasser in Lysimeterversuchen. In: Bericht über die 7. Arbeitstagung «Fragen der Gülle- rei», 29.9.-2.10.81, Irdning. Bundesversuchsanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irdning, 659-675.
- Furrer O.J. und Stauffer W., 1986. Stickstoff in der Landwirtschaft. *Gas - Wasser - Abwasser* **66**, 460-472.
- Gächter R. und Furrer O.J., 1972. Der Beitrag der Landwirtschaft zur Eutrophierung der Gewässer in der Schweiz. 1. Ergebnisse von direkten Messungen im Einzugsgebiet verschiedener Vorfluter. *Schweiz. Z. Hydrol.* **34**, 41-70.
- Gutser R. und Hauck S., 1994. Pflanzenbauliche Massnahmen zur Verringerung des Stickstoffaustrages von landwirtschaftlich genutzten Flächen. In: Verminderung des Stickstoffaustrags aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in das Grundwasser - Grundlagen und Fallbeispiele. Schriftenreihe des DVWK, Heft 106, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn, 345- 362.
- Gutser R., Heyn J., Amberger A. und Brüne H., 1987. Zur Stickstoff- und Mineralstoffauswaschung aus Lössböden. *Landw. Forschung* **40**, 312-325.
- Nievergelt J., 1997. Lysimeter- versuch 1981 bis 1996: N-Auswaschung in Fruchtfolgen. *Agrarfor- schung* **4**, 209-212.
- Nievergelt J., 2001. Dem Nitrat und Sulfat auf der Spur. *Agrarfor- schung* (in Vorbereitung).
- Stauffer W. und Enggist A., 1990. Einfluss von Gülleausbringtermin, Kultur und Wiesenumbruch auf die Nitratauswaschung in einem Lysimeterversuch. *Landw. Schweiz* **3**, 373-379.
- Stauffer W., 2000. Sickerwasser und Erträge verschiedener Fruchtfolgen. *Agrarforschung* **7** (11-12), 535-540.
- Vitousek P.M., Aber J.D., Howarth R.W., Likens G.E., Matson P.A., Schindler D.W., Schlesinger W.H. and Tilman D.G., 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications* **7**, 737-750.
- Walter E., Lienhard U. und Müller U., 1991. Verunreinigungen im Trinkwasser. In: Stähelin B.H.; Lüthy J.; Casabianca A.; Monnier N.; Müller H.-R.; Schutz Y.; Sieber R. (Eds.): Dritter Schweizerischer Ernährungsbericht, EDMZ, Bern, 197-210.

## RÉSUMÉ

### Influence de différents assolements sur le lessivage des nitrates

A l'aide de lysimètres (1 m<sup>2</sup> de surface et 1,4 m de profondeur exploitable, remplis en 1982 avec un sol sablo-argileux présentant une faible teneur en humus) il a été examiné comment six différents assolements, du trèfle, du roseau de chine et une jachère nue influencent la quantité d'eaux d'infiltration, la concentration de nitrates et la quantité d'azote dans les eaux souterraines. Les investigations montrent des différences d'après les précipitations, l'ordre des cultures et le degré de couverture. Les assolements avec des cultures dérobées ont montré en moyenne des sept ans, avec 85 Kg N/ha, environ un tiers de moins de pertes de nitrate que de semblables assolements sans cultures dérobées. En moyenne, les six assolements et la jachère nue ont dépassé durant l'année entière presque toujours la valeur de tolérance de la concentration de nitrate pour l'eau potable de 40 mg NO<sub>3</sub>/l. Selon les précultures, les pertes de nitrate dans la culture principale peuvent être plus ou moins élevées. C'est pourquoi il doit être porté plus d'attention à la transition de culture concernant le lessivage des nitrates.

## SUMMARY

### Influence of different crop rotations on nitrate leaching

The difference in the effects of six crop rotations, grass-clover ley, *Miscanthus*, and bare fallow on the amount of drainage runoff, nitrate concentration, and the amount of nitrate leached to groundwater was investigated during seven years (1993-1999) using lysimeters (1 m<sup>2</sup> surface and 1.4 m usable depth, filled in 1982 with a low humus, loamy sand). The results revealed differences depending on precipitation, rotation, and degree of vegetation cover. Seven-year average nitrate losses of rotations involving cover crops were 85 kg N/ha and thus one third lower than those of rotations without cover crops. Averaged over all six rotations and bare fallow, nitrate concentration during the whole year exceeded the tolerance level for drinking water of 40 mg NO<sub>3</sub>/l. Different types of pre-cultivation can lead to different nitrate losses during the main cropping period. Thus, with respect to nitrate leaching, the sequence of crops should receive more attention.

**Key words:** lysimeter, crop rotation, nitrat leaching, water balance, water percolation