

# 10 Abschätzung von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen ausgehenden Gefahrenpotenzials, dargestellt am Beispiel des Stickstoffs, im Gebiet der Querfurter Platte

J. Seeger und R. Meißner

UFZ Leipzig-Halle, Sektion Bodenforschung, Lysimeterstation Falkenberg, Falkenberg

## Abstract

*Estimating the potential risk of agricultural land management to groundwater in the Querfurter Platte loess region using the example of nitrogen*

*Measuring the impact of land management practices on groundwater quality in the field and catchment scale is difficult and time-consuming. It is even more complicated in 'well naturally protected' loess areas used for intensive agriculture with an average precipitation of about 460 mm per year. Based on lysimeter experiments and the usage of conservative tracers (chloride, bromide) to simulate the movement of inorganic nitrogen compounds in loess soil, a tracer movement of 3.9 mm per mm seepage water was calculated. This result corresponds to nitrate moving velocities described in the literature based on stable isotopes measurement ( $^{15}\text{N}$ ). The results show that even in the 'naturally well protected' conditions of Querfurter Platte, groundwater resources may be contaminated if agricultural management ignores the principles of 'sustainability'. Additional research is necessary to explain the differences of tracer movement velocity in lysimeters and in the field, and to integrate mathematical models to extrapolate the results from lysimeters and the field to the catchment scale.*

## Zusammenfassung

Die Erfassung des Einflusses der Landbewirtschaftung auf die Grundwasserqualität in den Skalenebenen Feld und Kleineinzugsgebiet ist ein schwieriger und langwieriger Prozess. Noch komplizierter ist es, prognostische Aussagen über die Grundwassergefährdung der als „gut geschützt“ geltenden fruchtbaren, intensiv landwirtschaftlich genutzten Lössgebiete mit einem mittleren Jahresniederschlagsangebot von etwa 460 mm zu treffen. Basierend auf Lysimeterversuchen mit konservativen Tracern (Chlorid, Bromid) zur Simulation der Verlagerung anorganischer Stickstoffverbindungen in Lössböden konnte eine Abwärtsbewegung von 3,9 mm pro mm Sickerwasser ermittelt werden. Dieses Resultat korrespondiert mit Ergebnissen aus der Literatur, bei denen  $^{15}\text{N}$  als Marker eingesetzt wurde. Die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass auch unter den Bedingungen der Querfurter Platte eine Kontamination des Grundwassers bei nicht ordnungsgemäßer Landbewirtschaftung möglich ist.

Zur Aufklärung der ermittelten Differenzen zwischen der Tracerverlagerung im Feld- und Lysimetermaßstab sind weitere Untersuchungen notwendig. Für die Übertragung der Resultate aus Lysimeter- und Feldexperimenten auf größere Gebietseinheiten ist zukünftig die verstärkte Einbeziehung von Modellierungsarbeiten vorgesehen.

## 10.1 Einleitung

Der Zeitraum zwischen einer Kontamination (z.B. ausgelöst durch Bewirtschaftungsmaßnahmen oder Landnutzungsänderungen) und dem daraus resultierenden messbaren „Schad“stoffeintrag in das Grundwasser kann Jahre oder sogar Jahrzehnte betragen. Dabei ist die Frage nach der Abschätzung der Höhe des Stoffaustrages aus der ungesättigten Bodenzone ebenso wichtig wie die nach der Verlagerungsgeschwindigkeit im Boden. Für die ackerbaulich intensiv genutzte Querfurter Platte sollte deshalb eine Abschätzung des von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen ausgehenden Gefahrenpotenzials bezüglich der Grundwassergefährdung, speziell durch die Stickstoff-Auswaschung vorgenommen werden. Aus diesem Grund wurde basierend auf den mehrjährig vorliegenden Erfahrungen zum N-Austrag auf lehmigen Sandböden der Versuch unternommen, methodische Grundsätze auf die als „gut geschützt“ angesehenen Lössböden in der Querfurter Platte zu übertragen und Gefahrenpotenziale aufzuzeigen. Hierzu wurden neben Freilanduntersuchungen auch Lysimeterexperimente an verschiedenen Standorten durchgeführt und durch Modellierungsarbeiten ergänzt (vgl. Kap. 11).

Zur Bestimmung des Wanderungsverhaltens der Nitratfront im Boden wurden, sowohl auf der Lysimeter- als auch auf der Freilandebene, Versuche mit konservativen Tracern (Chlorid, Bromid) angelegt und die Ergebnisse anschließend verglichen. Parallel mit der Tracerverlagerung wurden auf den Freilandparzellen  $N_{\min}$ -Bestimmungen (mineralischer N-Gehalt im Boden) zur Abschätzung der Höhe des N-Austragspotenzials durchgeführt und Gegenüberstellungen mit unter landwirtschaftlich genutzten Lysimetern gemessenen N-Austrägen vorgenommen. Eine Auswertung sowohl der Verlagerung von Tracern im Boden als auch des N-Austragspotenzials erfolgte in Abhängigkeit von den relevanten Einflussgrößen Bodenart, Fruchtfolge und Klima.

## 10.2 Material und Methoden

Die Lysimeter- und Freilandexperimente zur Bestimmung des Wanderungsverhaltens von Tracern im Boden und des N-Austragspotenzials aus der ungesättigten Zone wurden unter den in Tab. 10.1 aufgeführten Versuchsbedingungen durchgeführt. Dabei wurden in das Lysimeterexperiment Kastenlysimeter des sog. „Bodenartenversuches“ mit einer Oberfläche von  $1 \text{ m}^2$  und einer nutzbaren Tiefe von 1,25 m integriert (MEISSNER et al. 1995).

Tab. 10.1)  
Übersicht über die Versuchsbedingungen der Lysimeter- und Freilandexperimente

<i>Versuchsbedingungen</i>	<i>Lysimeterexperiment (Standort Falkenberg)</i>	<i>Freilandexperiment (Standort Querfurter Platte)</i>
Anzahl Lysimeter/Parzellen	24 Lysimeter	10 Freilandparzellen
Bodenart	je 6 Lysimeter mit lehmigem Sand(IS), Sand(S) Lehm(L), Löss(Lö) befüllt	Lößboden (verschiedene Bodentypen)
Nutzung	12 Lysimeter Ackernutzung 12 Lysimeter Grünland	9 Parzellen Ackernutzung 1 Parzelle Grünland
<i>Tracerverlagerung</i>		
Eingesetzter Tracer	134 kg/ha Br <sub>2</sub>	134 kg/ha Br <sub>2</sub> 1000 kg/ha Cl <sub>2</sub>
Applikationstermin	4.11.1997	3.11.1997
Analysenkriterien	Sickerwassermenge Br <sub>2</sub> - Konz. im Sickerwasser	Bodenwassergehalt Br <sub>2</sub> - und Cl <sub>2</sub> - Konz. Im Bodenwasser
<i>N-Austräge bzw. Bestimmung des N-Austragspotenzials</i>		
Analysenkriterien	N- Frachten*) ( $\sum$ NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N)	NO <sub>3</sub> -, NH <sub>4</sub> -Gehalte im Boden
Auswertekriterien	bodenspezifische Kriterien Bewirtschaftung	bodenspezifische Kriterien Bewirtschaftung Heterogenität
Beprobungstermine	wöchentlich, monatlich	2x jährlich
Mittl. Jahresniederschlag	556 mm	460 mm

\*) in die Darstellungen wurden auch Ergebnisse aus Lysimeteruntersuchungen einbezogen, die nicht auf den mit Tracern beaufschlagten Lysimetern des „Bodenartenversuches“ und nicht ausschließlich im Versuchszeitraum 1997–2000 gewonnen wurden

Beim Freilandversuch erfolgte in Anlehnung an die von EULENSTEIN & DRECHSLER (1992) praktizierten Untersuchungen die Verteilung der Tracer gleichmäßig auf Parzellen mit einer Oberfläche von 4 m<sup>2</sup>. Einen Lageplan der Freilandmessflächen enthält Abb. 10.1.

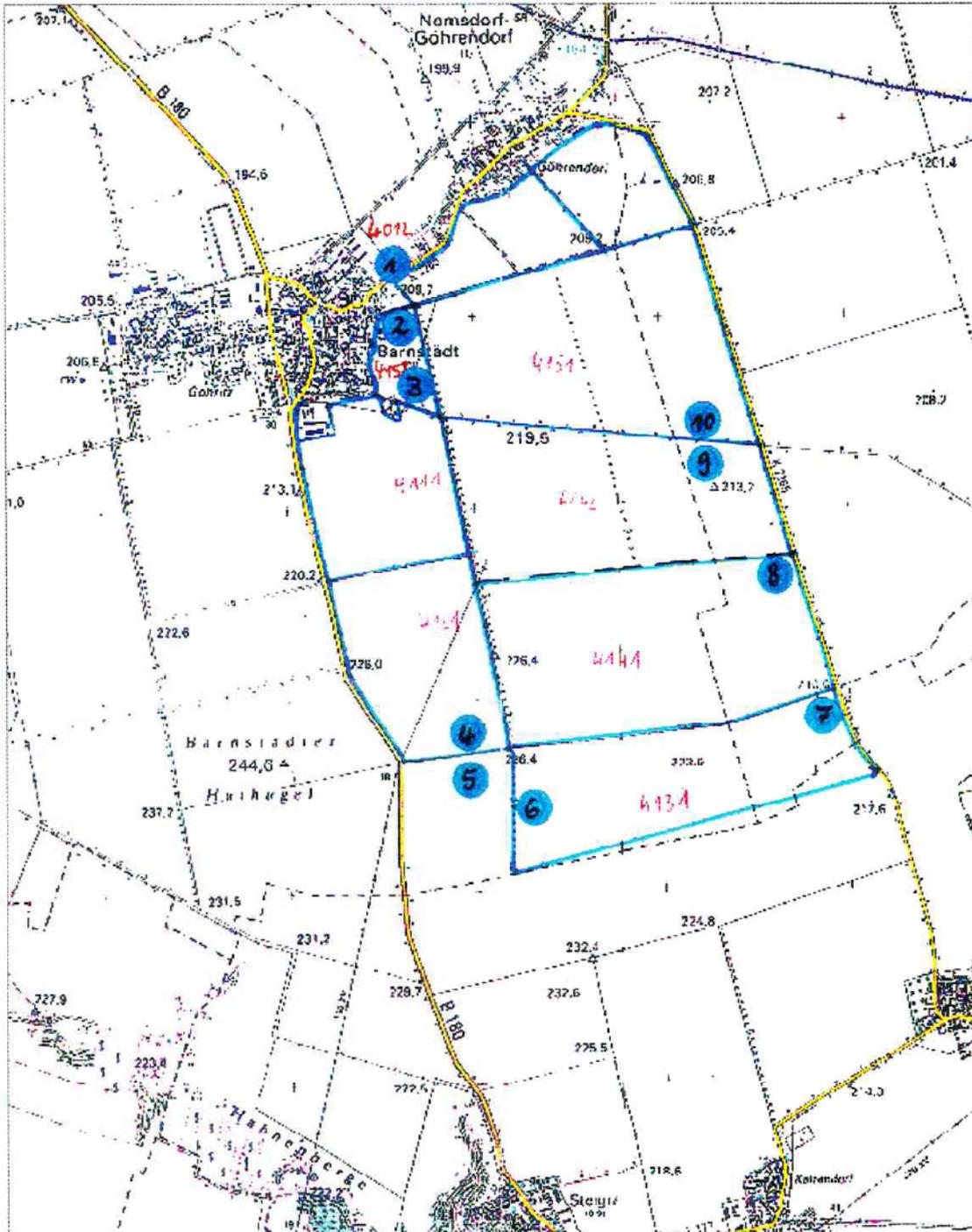


Abb. 10.1) Lageplan der Freilandparzellen im Kerngebiet der Querfurter Platte

Die im Rahmen des Lysimeterversuches im Versuchszeitraum angebauten Fruchtarten waren Bestandteil einer seit 1985 auf den Lysimetern des „Bodenartenversuches“ realisierten viergliedrigen Getreide-Feldfutter-Fruchtfolge (75 % Getreideanbau: 25 % Feldfutteranbau). Die Tracerapplikation erfolgte auf einem frisch etablierten Winterweizenbestand (Vorfrucht: Hafer+Untersaat). Im Herbst 1998 wurde Wintergerste und nach dessen Ernte Zwischenfrüchte angebaut. Vor der winterlichen Sickerungsperiode 1999/2000 wurden die Lysimeter mit einer Herbstfurche versehen. Die Fruchtfolgegestaltung der Ackerparzellen des Freilandversuches ist in Tab. 10.2 dargestellt.

Tab. 10.2)  
Fruchtfolgegestaltung auf den Freilandparzellen in der Querfurter Platte

Parzellen-Nr. - Schlag-Nr.	Fruchtfolgegestaltung			
	1997	1998	1999	2000
1 - 4012	<u>Grünland</u>	<u>Grünland</u>	Grünland	Grünland
2 - 4152	<u>Zuckerrüben</u>	<u>Wintergetreide</u>	Kartoffeln	Wintergetreide
3 - 4152	Zuckerrüben	Wintergetreide	Kartoffeln	Wintergetreide
4 - 4121	Mais	Wintergetreide	Wintergetreide	Zuckerrüben
5 - 4131	Brache	Zuckerrüben	Wintergetreide	Wintergetreide
6 - 4131	Wintergetreide	Mais	Wintergetreide	Mais
7 - 4131	Wintergetreide	Mais	Wintergetreide	Mais
8 - 4141	Zuckerrüben	Wintergetreide	Erbsen	Wintergetreide
9 - 4142	Zuckerrüben	Wintergetreide	Zuckerrüben	Wintergetreide
10 - 4151	Wintergetreide	Mais	Wintergetreide	Wintergetreide

Die Bestimmung der Tracerverlagerung in den Lysimetern erfolgte in Anlehnung an bereits abgeschlossene Experimente mit unterschiedlichen Einsatzstoffen (Deuterium, Cl, Br und <sup>15</sup>N) zur Bestimmung der Wanderungsgeschwindigkeit von Nitrat (RUSSOW et al. 1995a, SEEGER et al. 1999). Nach der Ermittlung der Tracerdurchbruchzeiten wurde über die mittlere Verweilzeit (VWZ), als die Zeit, nach der 50 % des Tracers das Lysimeter verlassen haben und der damit korrespondierenden Sickerwassermenge, dem Verweilzeitvolumen (VWZV), die Verlagerung im Boden durch die nachfolgend aufgeführte Beziehung errechnet:

$$\text{Verlagerung (mm/l/m}^2\text{)} = \text{Bodenschicht (mm)} \times \text{Lys.Fläche (m}^2\text{)} / \text{Verweilzeitvolumen (l)}$$

(Gl.1)

Zur Bestimmung der Tracerverlagerung auf den Freilandparzellen wurden in eng gefassten Tiefenabschnitten die Tracer-Konzentrationsverläufe im Boden über einen längeren Zeitraum ermittelt und daraus der Verlauf der Wanderung durch den Bodenkörper bestimmt. Eine

Gegenüberstellung der Höhen des natürlichen Niederschlagsdargebotes, aufgeteilt in Sommer- und Winterhalbjahresmengen in beiden Versuchsgebieten sowie die Höhe der Zusatzbewässerung auf der Lysimeterstation in Falkenberg beinhaltet Tab.10.3. Dabei wurde im Rahmen des Lysimetertracerversuches der seit 1985 angelegte Versuchsplan beibehalten und um Ertragsdepressionen zu vermeiden, in den Vegetationsperioden eine bedarfsgerechte Versorgung der Pflanzen mit Bewässerungswasser realisiert.

Tab. 10.3)

Natürliches Niederschlagsdargebot (So.+Wi.Halbjahr) (mm) und Höhe der Zusatzbewässerung (mm) an den Versuchsstandorten in den 3 Versuchsabschnitten

Standort/Nutzung	natürliches Niederschlagsdargebot und Zusatzbewässerung (mm)				
	11/97 – 04/98		05/98 – 04/99		05/99 – 04/00
	Wi.Halbj.	So.- Halbj.	Wi.Halbj.	So.- Halbj.	Wi.Halbj.
<u>Falkenberg</u>					
Grünland	208	368 + 120	268	238 + 235	264
Ackernutzung	208	368 + 120	268	238 + 330	264
<u>Querfurter Platte</u>	194	430	159	304	210

### 10.3 Ergebnisse

Die Autoren konzentrieren sich in diesem Beitrag auf Vergleiche zwischen den am Standort in Falkenberg langjährig laufenden Lysimeterversuchen und den Freilanduntersuchungen in der Querfurter Platte.

#### 10.3.1 Bestimmung der Tracer

In der Lysimeterstation in Falkenberg werden Tracerexperimente durchgeführt. Galten sie zunächst ausschließlich der Abschätzung der Verlagerungsgeschwindigkeit von gelösten Stickstoffverbindungen im Boden, d.h. der exakten Zuordnung von Ursache und Wirkung einer Kontamination, sind sie seit 1994 in erster Linie Hilfsmittel bei der Überprüfung der Vergleichbarkeit des Wanderungsverhaltens in Lysimetern und auf Freilandparzellen (MEISSNER et al. 1999). Hierbei stellt eine ausreichend genaue Beschreibung der bodenhydrologischen Zustände von Freilandflächen durch Lysimeter eine wichtige Voraussetzung dar, um in Lysimeterexperimenten unterschiedlichster Versuchsbedingungen gewonnene Erkenntnisse über die Höhe des Stoffaustrages aus der ungesättigten Bodenzone anstelle häufig fehlender Gebietsdaten auf Freilandbedingungen zu übertragen. Die Bestimmung der Höhe des sicklerwassergebundenen Stoffaustrages aus der ungesättigten Bodenzone erfolgt in Abhängigkeit

von differenzierten landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsregimes und aktuellen Entwicklungstendenzen in der Landbewirtschaftung. Seit der politischen Wende steht besonders die Wirkung von Landnutzungsänderungen auf den Stoffaustrag im Mittelpunkt des Interesses.

### 10.3.2 Wirkung relevanter Einflussfaktoren auf die Tracerverlagerung

#### *Bodenspezifische Kriterien*

Ein relevanter Einflussfaktor der Wanderungsgeschwindigkeit von Nitrat in der ungesättigten Bodenzone ist die Bodenart. Mit der im November 1997 durchgeführten Br-Applikation auf vier verschiedenen Bodenarten konnte eine Tracerverlagerung in der auf Grund der Bindigkeit erwarteten Reihenfolge: „S>IS>L>Lö“ ermittelt werden, die am Beispiel der Tracerverlagerung

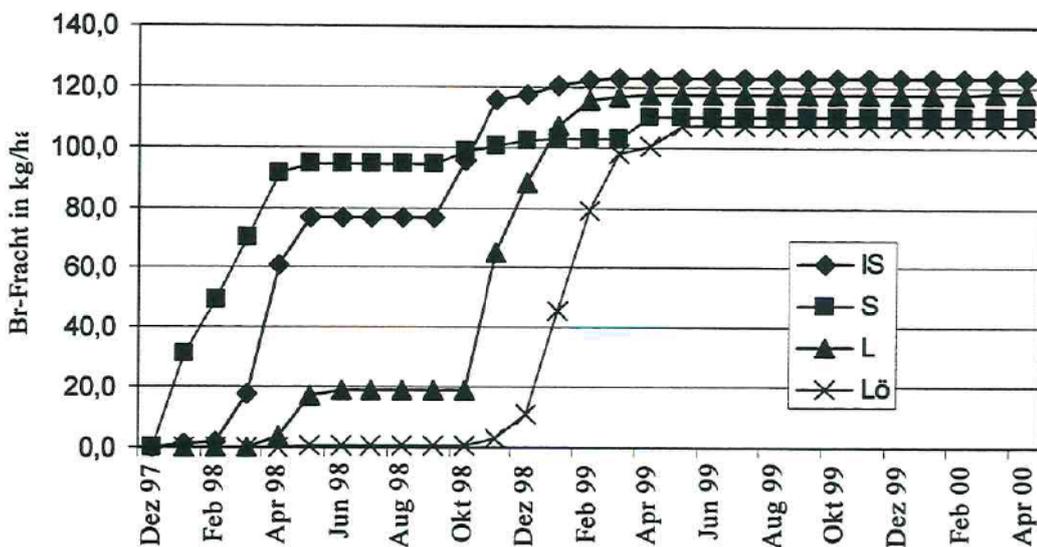


Abb. 10.2) Vergleich des zeitlichen Verlaufes der Br<sub>2</sub>-Summenkurve in ackerbaulich genutzten Lysimetern unterschiedlicher Bodenart

unter Ackernutzung in Abb. 10.2 dargestellt ist. Zu einer vergleichbaren Aussage führte ein bereits zwischen 1985 und 1987 durchgeführter Laborgefäßversuch auf identischen Bodenarten unter Einsatz von Cl<sub>2</sub> als Tracersubstanz (Tab. 10.4). Sowohl im idealisierten Labormodellversuch als auch im Lysimetermaßstab für den Untersuchungszeitraum 1997 bis 2000 lagen die ermittelten VWZV annähernd in der Höhe der Wasserkapazitäten der Gefäße, und die bekannte Gleichung zur Abschätzung des kapillaren Wasserflusses im Freiland

$$\text{Verlagerungsgeschwindigkeit} = \text{Sickerwassermenge/Feldkapazität} \quad (\text{Gl.2})$$

konnte auch unter den Versuchsbedingungen in den Lysimetern bestätigt werden. Für die Bodenart IS wurde die Tracerverlagerung von 4,8 mm pro mm Sickerwasser mit Werten zwischen 4,5 und 5 mm pro mm Sickerwasser bereits in zahlreichen abgeschlossenen Experimenten unter differenzierten Versuchsbedingungen ermittelt. Die im Bereich des mitteldeutschen

Schwarzerdegebietes bei einem durchgeführten  $^{15}\text{N}$ -Feldversuch gemessene Verlagerung für Nitrat von 4 mm pro mm Sickerwasser (RUSSOW et al. 1995b) ist ebenfalls nahezu identisch mit dem hier erzielten aktuellen Wert von 3,9 mm pro mm Sickerwasser für Löß.

Tab. 10.4)

Gegenüberstellung der in einem Gefäß- und dem aktuellen Lysimeterversuch erzielten Tracerverlagerung

Bodenart	Wasserkapazität (mm)	VWZV (mm)		Verlagerung (mm/l/m <sup>2</sup> )	
		Gefäß	Lysimeter	Gefäß	Lysimeter
LS	223	213	208	4,7	4,8
S	131	173	135	5,8	7,4
L	233	229	200	4,4	5,0
Lö	295	278	255	3,6	3,9

### Bewirtschaftung und hydrologische Bedingungen

Sowohl die Art der Bewirtschaftung als Grünland bzw. Ackerland als auch die Wahl der in der Fruchtfolge angebauten Fruchtarten beeinflussen die Tracerwanderung. Eine Darstellung der in den 3 winterlichen Sickerungsperioden des Versuchszeitraumes auf der Basis der Sickerwassermengen berechneten Verlagerungstrecken unter Lößlysi-metern mit Grünland- und Ackernutzung enthält Abb. 10.3.

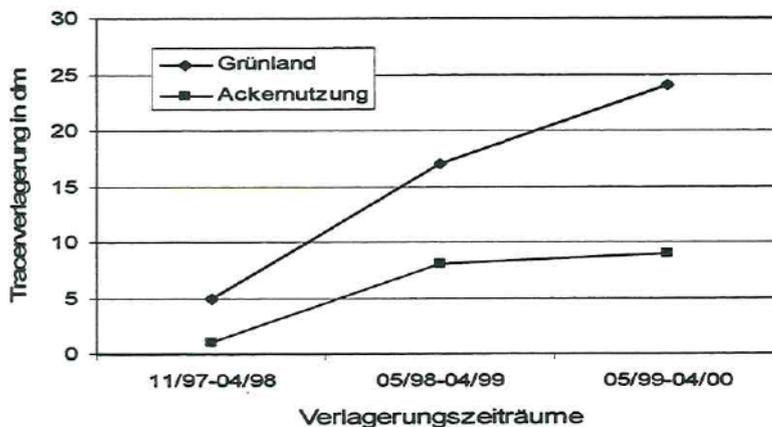


Abb. 10.3)

Vergleich der Verlagerungstrecken von Tracern unter Lysimetern mit Grünland- und Ackernutzung

Unter den vorliegenden Versuchsbedingungen mit einer auf den Wasserbedarf der Pflanzen auf den leichtbindigen Böden ausgerichteten, für alle Böden egalisierten Zusatzbewässerung, erfolgte die Tracerverlagerung unter dem Grünlandbestand erheblich schneller als unter Ackernutzung. Darüber hinaus wird aus der Abbildung der erhebliche Einfluss der hydrologischen Bedingungen in den 3 Messperioden deutlich. Die Höhe der Niederschläge beeinflusste signifikant die Höhe der Sickerwassermengen als Trägermedium für die Tracerfront, deren Abhängigkeit darüber hinaus von der Bodenart und der Nutzung in Tab. 10.5 dargestellt ist.

Tab. 10.5)

Vergleich der Sickerwassermengen (mm) in Lysimetern mit unterschiedlicher Bodenart und Nutzung während des Versuchszeitraumes

Bodenart	Sickerwassermenge (mm)					
	11/97-04/98		05/98-04/99		05/99-04/00	
	Grünland	Acker	Grünland	Acker	Grünland	Acker
LS	135	41	254	223	145	66
S	138	116	306	252	169	103
L	155	54	323	253	190	74
Lö	136	20	301	189	190	36

So resultierte aus dem mit 14 % über dem Normaljahr liegenden Niederschlagsdargebot im Versuchsjahr 1998/99 sowohl bei der Grünland- als auch bei der Ackernutzung eine hohe Sickerwassermengenbildung, die mit ebenfalls hohen Tracertiefenverlagerungen verbunden war. Sowohl in der 1.winterlichen Sickerungsperiode mit Sickerwassermengen unter Grünlandnutzung von 45 % und unter Ackernutzung von 10 % als auch im Versuchsjahr 1999/2000 mit Sickerwassermengen in Höhe von 63 % unter Grünlandnutzung und 19 % unter Ackernutzung - jeweils bezogen auf das Versuchsjahr 1998/99- wurde dagegen nur eine Verlagerung auf niedrigem Niveau gemessen. Bei einem Vergleich der Verlagerungsstrecken in den ackerbaulich genutzten Lysimetern unter dem Aspekt der Abhängigkeit von den Ackerfrüchten (Winterweizen und Wintergerste+Zwischenfruchtanbau) sind die vorhandenen fruchtartenspezifischen Einflüsse (größerer Wasserverbrauch des Wintergerste-Anbaues mit anschließender Etablierung von Zwischenfrüchten) durch die unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen überlagert und somit nicht quantifizierbar.

### 10.3.6 Wirkung relevanter Einflussfaktoren auf die sickerwassergebundenen N-Austräge

#### *Bodenspezifische Kriterien*

Ähnlich wie beim Wanderungsverhalten ist auch das N-Austragsverhalten von der Bodenart abhängig. Das als Vorteil der bindigeren Böden gegenüber den leichtbindigen S- und IS-Böden geltende relativ hohe Wasserspeichervermögen und die damit verbundene Möglichkeit, nitrathaltige Bodenlösung länger im Wurzelraum zu binden und so auch Pflanzen nachfolgender Vegetationsperioden nutzbar zu machen, sollte geringere N-Austräge zur Folge haben. Die zuvor aufgeführten ermittelten Tracerverlagerungszeiten bestätigten die unterschiedlichen Aufenthaltszeiten in der Wurzelzone. Eine Gegenüberstellung von mittl. N-Austrägen (2 Fruchtfolgezyklen im Zeitraum 1991 bis 1998) im Rahmen des „Bodenartenversuches“ zeigt zunächst erwartungsgemäß Unterschiede zwischen den Bodenarten (Tab. 10.6).

Tab. 10.6)

Darstellung mittl. N-Austräge (Zeitraum von 1991 bis 1998) aus Lysimetern in Abhängigkeit von der Bodenart und dem Bewuchs

Bodenart	mittl. jährlicher N-Austrag (kg/ha)	
	Grünland	Ackernutzung
IS	9,9	27,6
S	20,4	38,4
L	13,2	28,5
Lö	48,2	22,5

Allerdings ist ein N-austragsvermindernder Einfluss durch die bessere Ausschöpfung des Bodenpools der Lößlysimeter unter den vorliegenden Versuchsbedingungen (egalisierte Zusatzbewässerung) nur bei den ackerbaulich genutzten Versuchsgefäßen messbar und führt dort zu geringeren N-Austrägen gegenüber den anderen Bodenarten (18 % geringere N-Austräge gegenüber IS). Der Grünlandbestand hat durch die sich bildenden hohen Sickerwassermengen und der damit verbundenen zügigen Nitrat-Verlagerung nicht die Möglichkeit, den Bodenpool entsprechend auszuschöpfen, es kommt zu ca. 5fach höheren N-Austrägen gegenüber den IS-Lysimetern.

#### Bewirtschaftung und hydrologische Bedingungen

Der Einfluss des Niederschlagsdargebotes auf den N-Austrag bei unterschiedlichen Bodenarten und differenzierter Nutzung ist deutlich in Abb. 10.4 sichtbar.

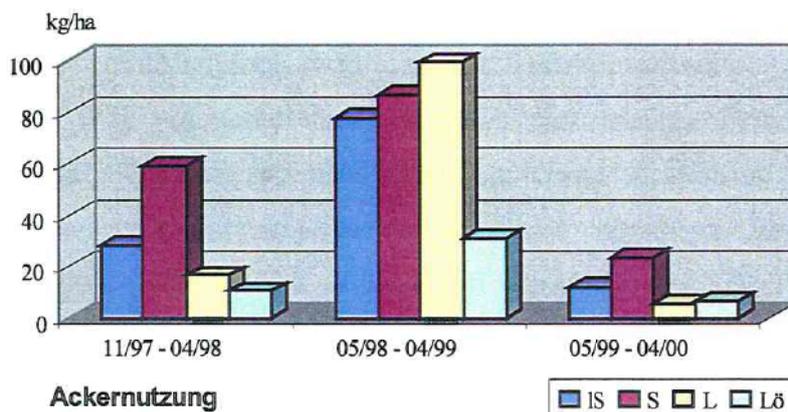


Abb. 10.4)

Vergleich der N-Austräge in Lysimetern mit unterschiedlicher Bodenart und Nutzung

So führte das überdurchschnittlich feuchte Jahr 98/99 auf allen Ackerlysimetern zu mehrfach höheren N-Austrägen. Bei den Lößlysimetern wurden mit 30 kg/ha im 2. Versuchsabschnitt ca. dreifach höhere N-Mengen ausgewaschen als in der 1. und 3. Sickerungsperiode mit 10 bzw. 6 kg/ha. Gemessen an der N-Auswaschung unter den IS-Lysimetern wurden im Versuchszeitraum

etwa 40 % dieser Menge unter Lößlysimetern ausgetragen. Diese anteilige N-Auswaschung unter Löss gegenüber IS deckt sich gut mit gemessenen Relationen in anderen Versuchsjahren, die sich entsprechend dem natürlichen Niederschlagsdargebot in 3 Gruppen einteilen lassen (Tab. 10.7). Neben den bei einem hohen Niederschlagsdargebot bereits erläuterten hohen N-Austrägen unter Grünland konnte also auch ein starker Anstieg unter den ackerbaulich genutzten Lysimetern bei Niederschlägen >700 mm gemessen werden.

Tab. 10.7)

*Darstellung von N-Austragsgruppen in Abhängigkeit vom natürlichen Niederschlagsdargebot und der gebildeten Sickerwassermenge bei ackerbaulich genutzten Lösslysimetern und Vergleich mit N-Austrägen unter IS-Lysimetern gleicher Nutzung*

Natürliches Niederschlagsdargebot	Höhe der Sickerwassermenge unter Lößlysimetern	N-Austrag Lößlysimeter	N-Austrag IS Lysimeter	N-Austrag bezogen auf IS-Lysimeter als 100% Variante
< 500 mm	< 2 mm	0 bis 1 kg/ha	0 bis 18 kg/ha	< 5%
500 mm – 700 mm	20 – 190 mm	5 bis 31 kg/ha	12 bis 77 kg/ha	ca. 40%
> 700 mm	> 200 mm	60 bis 93 kg/ha	50 bis 55 kg/ha	> 110%

#### 10.3.4 Bestimmung der Tracerverlagerung und der N-Austragspotenziale auf der Untersuchungsebene - Freilandparzellen

Umfangreiche Untersuchungen zur Abwärtsbewegung von Nitrat auf Freilandflächen (ermittelt durch eine Kombination von Nitrat und Chlorid als Tracer) haben gezeigt, dass die Verlagerung im Boden in den winterlichen Sickerungsperioden in ihrem Ausmaß vor allem von den versickernden Wassermengen und der Feldkapazität des Bodens bestimmt wird. Nach früheren Untersuchungen von GARZ et al.(1982), ebenfalls in unmittelbarer Nähe des Kerngebietes der Querfurter Platte, lässt sich die Tiefenlage des Konzentrationspeaks mit einer Bestimmtheit von 70 % aus der Niederschlagsmenge und der Feldkapazität schätzen und somit auch bei diesen Versuchen die Gleichung zur Abschätzung des kapillaren Wasserflusses bestätigen. Aber auch der Fruchtfolgegestaltung kommt auf Lößböden eine große Rolle zu. So haben Untersuchungen zur Verlagerung und zum Abbau von Nitrat (unter Einsatz von Cl als Tracer) in tieferen Bodenschichten auf Lößstandorten mit hoher Wasserspeicherkapazität ergeben, dass N-Bilanzüberhänge einzelner Anbaujahre keine Aussagen über eine erhöhte N-Auswaschung zulassen. Erst im Durchschnitt mehrerer Jahre und somit in Abhängigkeit von der Wirkung mehrerer in diesem Zeitraum angebauten Fruchtarten sind zuverlässige Aussagen über die Höhe eines durchschnittlichen N-Austrages möglich (FUNK 1999). Demgegenüber konnten bei flachgründigen S- und IS-Böden bereits im Folgejahr nach der Bilanzierung von N-Überschüssen erhöhte N-Austräge mit dem Sickerwasser nachgewiesen werden (MEISSNER et al. 2000).

Anstelle einer Bilanzbildung wurden im Rahmen der Arbeiten im Verbundprojekt zur Abschätzung des N-Austragspotenzials  $N_{\min}$ -Untersuchungen herangezogen. Auch nach eigenen Untersuchungen ist der Herbst- $N_{\min}$ -Wert nur in beschränktem Umfang geeignet, das Ausmaß der nutzungsbedingten N-Überschüsse zu erfassen und in der Regel nicht positiv mit den Nitratkonzentrationen der sich im darauffolgenden Winter bildenden Sickerwässer korreliert. Er liefert jedoch immer wieder Anhaltspunkte für das auf den ausgewählten Freilandparzellen anzutreffende Auswaschungspotenzial (SchALVO Baden/Württemberg, bzw. SächsSchAVO Sachsen).

In Anlehnung an den Lysimeterversuch wurde über 3 winterliche Sickerungsperioden die Abhängigkeit der Tracerverlagerung und die Höhe der  $N_{\min}$ -Werte von den relevanten Einflussgrößen - bodenspezifische Faktoren, Bewirtschaftung und hydrologische Bedingungen geprüft.

### 10.3.5 Wirkung relevanter Einflussfaktoren auf die Tracerverlagerung (Ackerflächen)

#### *Bodenspezifische Kriterien*

Im Gegensatz zum Lysimeterversuch mit 4 integrierten Bodenarten sind die bodenspezifischen Unterschiede im Kerngebiet der Querfurter Platte auf geringfügige Differenzen – unterschiedliche Bodentypen - innerhalb der Bodenart Löß beschränkt. Entsprechend des Geländeanstieges von Freilandparzelle 1 (tiefste Lage) in Richtung Parzelle 6 (höchste Lage) wurden Areale mit Schwarzerdeauflagen unterschiedlicher Mächtigkeiten, Flächen mit leichter Verbraunung und schließlich reine Parabraunerdestandorte in den Versuch integriert. Eine zusammenfassende Übersicht des kumulativen Verlaufes der Tracerverlagerung auf allen 10 Freilandparzellen in den 3 Untersuchungszeiträumen ist in Abb. 10.5 dargestellt.

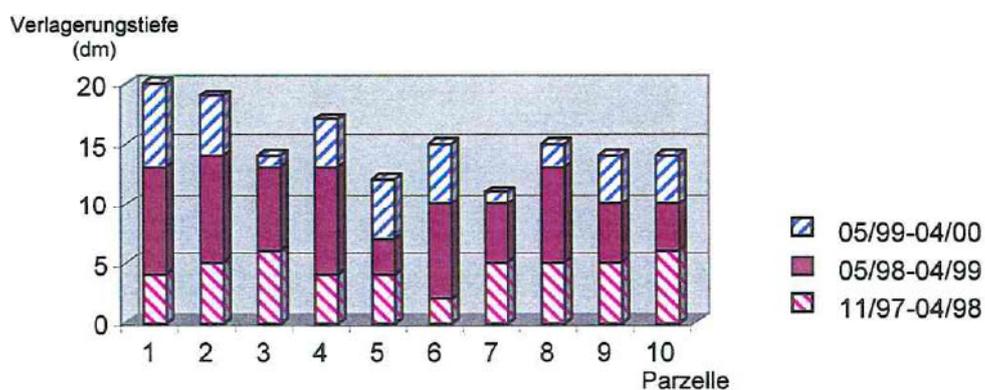


Abb. 10.5) Darstellung des Verlaufes der kumulativen Tracerverlagerung auf den Freilandparzellen der Querfurter Platte

Das an den einzelnen Messterminen deutlich differenzierte Verlagerungsverhalten zeigte, gestützt durch eine statistische Auswertung, neben einem vergleichbaren Verlagerungsverlauf unmittelbar benachbarter Parzellen, durch die Bildung von 3 Gruppierungen, dass die Verlagerungstiefen auf den einzelnen Parzellen deutlich von der territorialen Lage und somit von bodenspezifischen Kriterien abhängig sind (Abb. 10.6).

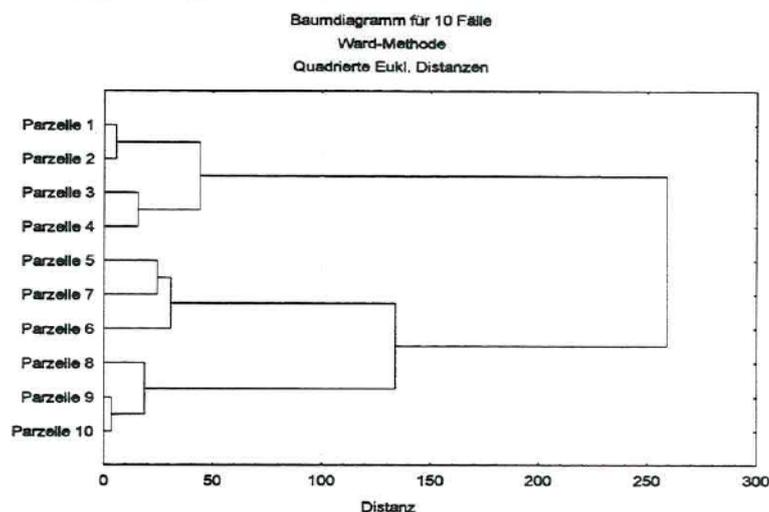


Abb. 10.6)

*Ergebnisse einer Clusteranalyse von Tracerverlagerungstiefen der 10 Freilandparzellen im Versuchszeitraum 1997 - 2000*

Die geringste Verlagerung war nach 3 Versuchsjahren auf den höher gelegenen Parabraunerdestandorten für die Parzellen 5, 6 und 7 zu ermitteln. Die deutlich höchsten Verlagerungstiefen wurden auf den am tiefsten gelegenen Parzellen 1 und 2 gemessen. Ein Vergleich der Tracerwanderung der einzelnen winterlichen Sickerungsperioden deckt sich im Bereich der höheren Werte mit Ergebnissen aus einer abgeleiteten Regressionsgleichung früherer Untersuchungen für die N-Verlagerung von Nitrat und Chlorid in Abhängigkeit vom Niederschlag und der Feldkapazität (GARZ et al. 1982).

#### *Bewirtschaftung und hydrologische Bedingungen*

Die ermittelte Abhängigkeit der Tracerverlagerungsgeschwindigkeit von bodenspezifischen Kriterien macht eine Bewertung der Einflüsse der Bewirtschaftung schwierig. So war zwar die Verlagerung unter dem Grünlandbewuchs am höchsten, es ist allerdings durch die vorliegenden Ergebnisse nicht zu deuten, ob diese Tatsache mehr dem Bodentyp oder dem Aufwuchs zuzuschreiben ist. Zudem beeinflusste auch unter den Freilandbedingungen das hydrologische Regime in den Untersuchungsabschnitten, wie bereits bei der Lysimeterauswertung erwähnt, die Verlagerung relevant (siehe auch Tab.10.3) und führte aufgrund des höchsten Niederschlagsdargebotes in der 2. Messperiode in diesem Zeitraum sowohl bei der Grünlandparzelle als auch unter den Ackerparzellen zur größten Abwärtsbewegung. In Tab. 10.8

wird versucht, die Wirkung der Fruchtarten in den einzelnen Untersuchungsabschnitten auf die Höhe der Tracerverlagerung durch einen Vergleich mit der Sickerwasserbildung unter den betreffenden Früchten in Lysimeterversuchen zu beschreiben. Da es sich bei den Vergleichslysimetern um Versuchsgefäße handelt, die in den Vegetationsperioden keine Zusatzbewässerung erhalten, sind sie für eine Gegenüberstellung gut geeignet. Außerdem ist ein Vergleich aufgrund der ähnlichen hydrologischen Situation in beiden Versuchsgebieten sinnvoll. So scheinen bei der Bestimmung der Verlagerung im April 1998 aufgrund der Vorfruchtwirkung aus dem Anbaujahr 1997 besonders die Fruchtarten Mais und die Brachlegung zu einer größeren Wasserauszehung des Bodenpools und somit zu einer geringeren Tracerverlagerung geführt zu haben. Dagegen kam es sowohl unter Zuckerrüben (mit Ausnahme von Messplatz 6) als auch unter Wintergetreide zu einer erhöhten Verlagerung bei insgesamt jedoch geringem Niveauunterschied zwischen allen Ackerparzellen. In der 2. Versuchsperiode waren es bei erheblicheren Niveauunterschieden zwischen den Parzellen, ausgelöst durch das insgesamt höhere Niederschlagsaufkommen und eine größere Amplitude bei der Sickerwassermengenbildung, dagegen vor allem die Zuckerrüben, die den Bodenwasservorrat mehr ausgeschöpft zu haben scheinen. In beiden Versuchsjahren ist für die 2 Versuchsebenen ein vergleichbares Verlagerungsverhalten erkennbar. Nach der 3. winterlichen Sickerungsperiode konnte dann durch die abnehmende Einflussnahme der Ackerfrüchte auf die Tracerverlagerung keine einheitliche Reihung und auch keine Übereinstimmung mit den Lysimeterergebnissen ermittelt werden. Bedauerlich ist, dass der Zeitpunkt des Eintritts der Tracerfront in die Dränzone mit dem Ende des Verbundprojektes und somit dem Abschluss der Arbeiten zusammenfällt.

Tab. 10.8)

*Gegenüberstellung der Tracerverlagerungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Fruchtart in Freilandparzellen und der Höhe der gebildeten Sickerwassermengen unter vergleichbaren Ackerfrüchten in Lysimetern*

<i>Versuchsebene</i>	<i>Beprobungstermin</i>	<i>Tracerverlagerung bzw. Sickerwassermengen</i>
Freilandparzellen	04/98	Mais; Brache<Zuckerrüben; Wintergetreide
	04/99	Zuckerrüben<Mais; Wintergetreide
	04/00	Kartoffeln; Wintergetreide; Erbsen<Mais
Lysimeter*)	04/98	Mais<Brache<Zuckerrüben<Wintergetreide<Kartoffeln
	04/99	Zuckerrüben<Brache<Wintergetreide<Mais<Kartoffeln
	04/00	Brache<Kartoffeln<Mais<Zuckerrüben<Wintergetreide

\*) in die Gegenüberstellung sind Ergebnisse aus unberegneten IS-Lysimetern vergleichbarer Bewirtschaftung integriert

### 10.3.6 Wirkung relevanter Einflussfaktoren auf das N-Austragspotenzial (Ackerflächen)

#### *Bodenspezifische Kriterien*

Die Gewinnung der Bodenproben zur Bestimmung der  $N_{\min}$ -Gehalte erfolgte im Laufe des Versuches mit zunehmender Bodentiefe, entsprechend der zu erwarteten Tracerabwärtsbewegung. Dabei wurden zu den Beprobungsterminen November 1997  $N_{\min}$ -Werte bis 90 cm, im April 1998 und November 1998 bis 120 cm, im April 1999 und November 1999 bis 150 cm und abschließend im April 2000 bis 180 cm ermittelt. Eine Gegenüberstellung der  $N_{\min}$ -Werte an allen Messterminen, die neben den Gesamtwerten (grau unterlegt) auch die auf eine einheitliche Tiefe von 0-90 cm bezogenen Gehalte beinhaltet, ist in Tab. 10.9 dargestellt. Bei der Interpretation der Messwerte (0-90 cm) konnte auch aus einer durchgeführten statistischen Auswertung in Abb. 10.7 keine deutliche Abhängigkeit der Höhe der  $N_{\min}$ -Gehalte von der Lage der Parzellen und somit von bodenspezifischen Kriterien abgeleitet werden. Allerdings weisen die sehr viel größeren Werte auf Parzelle 6 diesen Standort sowohl im Hinblick auf die zuvor beschriebene geringere Tracerverlagerung als auch auf die offensichtlich größere N-Akkumulation im Bodenpool als auffällig aus und auch die über den Messzeitraum niedrigen Werte auf den Parzellen 1 und 2 mit der zugleich größten Tracerverlagerung lassen Abhängigkeiten von bodenspezifischen Kriterien vermuten.

Tab. 10.9)

*Gegenüberstellung der  $N_{\min}$ -Gehalte der Bodentiefen 0-90 cm sowie der über die Gesamttiefe (grau unterlegt) ermittelten Größenordnung in den Freilandparzellen der Querfurter Platte im Versuchszeitraum*

Parzelle	$N_{\min}$ -Gehalte (kg/ha)										
	Nov 97	Apr 98	Apr 98	Nov 98	Nov 98	Apr 99	Apr 99	Nov 99	Nov 99	Apr 00	Apr 00
1	67	78	131	81	100	77	108	59	65	91	111
2	123	84	97	114	139	96	151	85	126	58	151
3	184	238	277	167	214	152	312	170	286	165	363
4	59	138	180	106	122	146	215	75	95	173	242
5	163	81	93	79	94	149	197	172	202	113	163
6	213	436	470	596	635	195	326	570	732	286	591
7	114	102	121	101	124	190	236	120	142	130	179
8	51	132	146	k.A.	k.A.	105	145	114	155	76	169
9	90	55	74	110	122	148	183	k.A.	k.A.	126	195
10	67	76	84	k.A.	k.A.	189	282	130	130	94	176

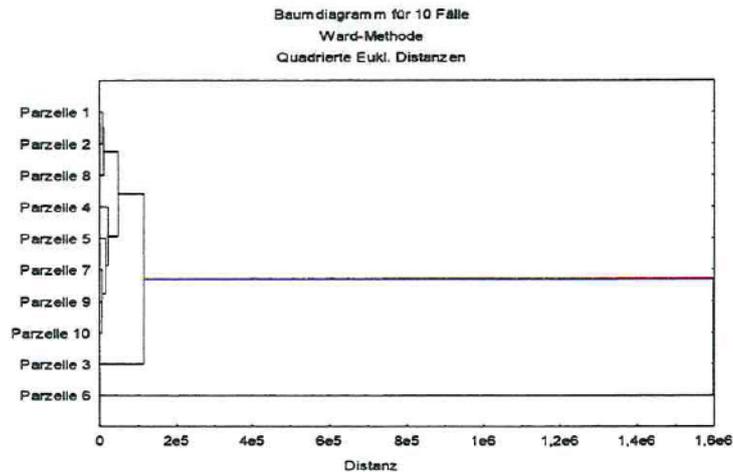


Abb. 10.7)  
Ergebnisse einer Clusteranalyse von  $N_{min}$ -Werten der 10 Freilandparzellen (Bodentiefen 0-90 cm) im Versuchszeitraum 1997 - 2000

### Bewirtschaftung und hydrologische Bedingungen

Noch schwieriger als bei der Verlagerung der Tracer ist es, eine Abhängigkeit der Höhe der  $N_{min}$ -Werte von den jeweils etablierten Fruchtarten auszumachen. Tendenziell konnte jedoch zumindest auf einigen Parzellen eine Reihung entsprechend des vorangegangenen Bewuchses (größerer bzw. kleinerer Novemberwert) ermittelt werden, die wiederum vergleichbar war mit den unter entsprechenden Früchten in Lysimetern gemessenen N-Austrägen. Im Gegensatz zur guten Widerspiegelung der hydrologischen Verhältnisse sowohl durch die Lysimeter-Verlagerung und N-Austrag als auch durch die entsprechenden Verlagerungstiefen auf den Freilandparzellen ist in der Höhe der  $N_{min}$ -Werte (bezogen auf eine einheitliche Bodentiefe von 0-90 cm) keine Abhängigkeit von den hydrologischen Bedingungen zu erkennen (Abb. 10.8).

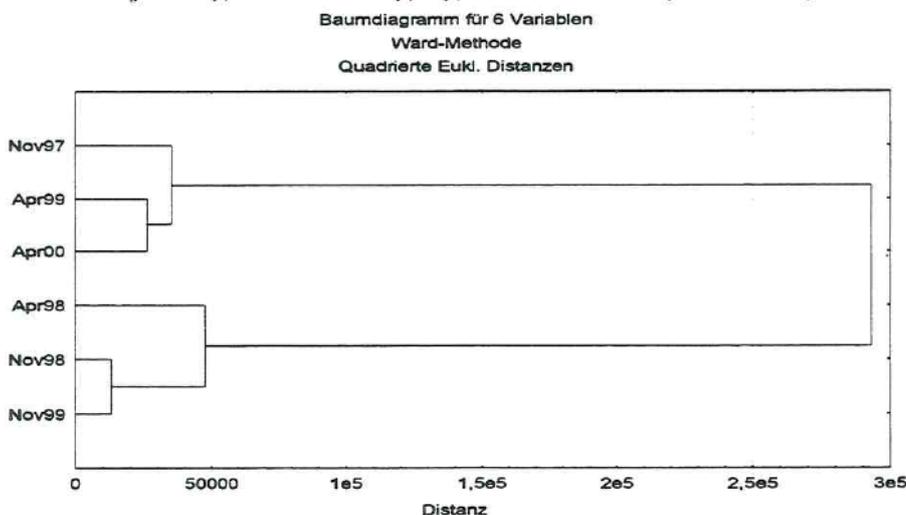


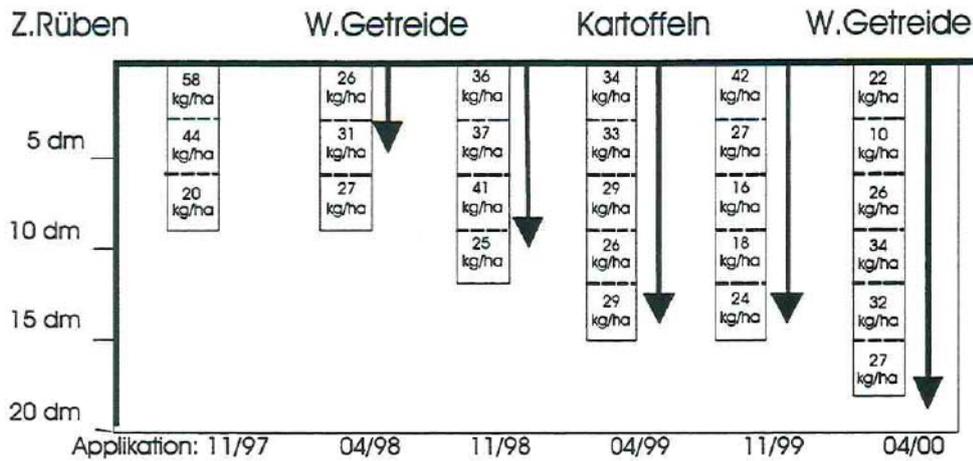
Abb. 10.8)  
Ergebnisse einer Clusteranalyse von  $N_{min}$ -Jahreswerten (Summe aller Parzellenwerte der Bodentiefe 0 - 90 cm) im Versuchszeitraum 1997 - 2000

Trotzdem war es durch die  $N_{\min}$ -Bestimmung möglich, Areale mit hohen Gehalten - Parzelle 6 und 3 - auszugrenzen und bei der Betrachtung der  $N_{\min}$ -Werte in den jeweiligen 30 cm Tiefenstufen gemeinsam mit der gemessenen Verlagerung erste Aussagen über Gefährdungspotenziale zu machen. In Abb. 10.9 sind der bereits erwähnten Parzelle 6 als Beispiel für die Fläche mit den höchsten  $N_{\min}$ -Werten die Parzellen 2 und 4 mit deutlich geringeren  $N_{\min}$ -Gesamtgehalten gegenübergestellt. Die ausgewählten Parzellen dokumentieren beispielhaft die drei vorliegenden unterschiedlichen  $N_{\min}$ -Gehaltsstrukturen, die durch die gemessenen Unterschiede in der Tracerverlagerungsgeschwindigkeit und somit hauptsächlich von der Lage im Untersuchungsgebiet und den hydrologischen Bedingungen geprägt sind. Zunächst wurde bei niedrigen  $N_{\min}$ -Gesamtgehalten auch in allen Teiltiefen der Parzelle 2 ein gleichmäßig geringes  $N_{\min}$ -Gehaltsniveau ermittelt. Die im Vergleich zu den anderen Parzellen hohe Verlagerungsgeschwindigkeit auf diesem Areal sorgte von Beginn der Untersuchungen an für eine zügige Abwärtsbewegung der N-haltigen Bodenlösung und verhinderte offenbar während des gesamten Versuchszeitraumes eine Akkumulation größerer N-Mengen im Oberboden.

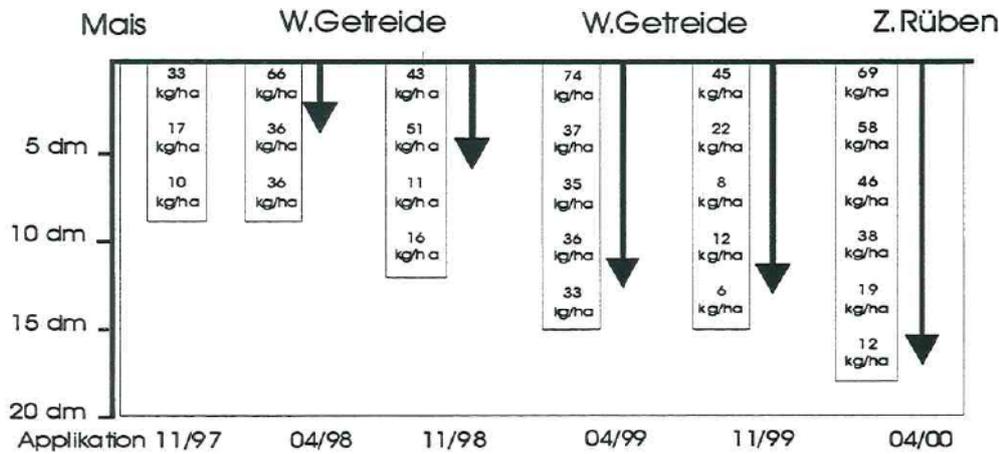
Die Verteilung der vom Niveau über der Parzelle 2 liegenden  $N_{\min}$ -Gehalte auf Parzelle 4 sah dagegen deutlich anders aus. Eine geringere Tracerverlagerung führte hier zu höheren  $N_{\min}$ -Gehalten in den oberen Bodenschichten, die offensichtlich im Versuchszeitraum so von den Pflanzen ausgeschöpft werden konnten, dass durchgehend nur sehr geringe Gehalte in den unteren Tiefen zu verzeichnen waren. Auf dieser Parzelle wurde jedoch besonders zum Zeitpunkt der Beprobung 04/99 der Einfluss des erhöhten Niederschlagsdargebotes auf eine schnellere Verlagerung im Boden und daraus resultierenden höheren  $N_{\min}$ -Werten bis in die Tiefe deutlich.

Auf der Parzelle 6 wurden nahezu durchgehend in allen Tiefenstufen hohe  $N_{\min}$ -Werte gemessen. Eine geringe Verlagerung im Vergleich zu beiden anderen Standorten begünstigte eine hohe N-Anreicherung im Oberboden, welche die Ackerfrüchte im Gegensatz zu Parzelle 4 nicht in der Lage waren abzubauen. So konnten in Abhängigkeit von den hydrologischen Bedingungen zu den Messterminen 04/99 und 04/00 deutlich erkennbar entsprechend hohe  $N_{\min}$ -Gehalte bis in die unteren Bodentiefen verlagert werden. Sie stellen ein erhebliches N-Austragspotenzial dar.

Parzelle 2



Parzelle 4



Parzelle 6

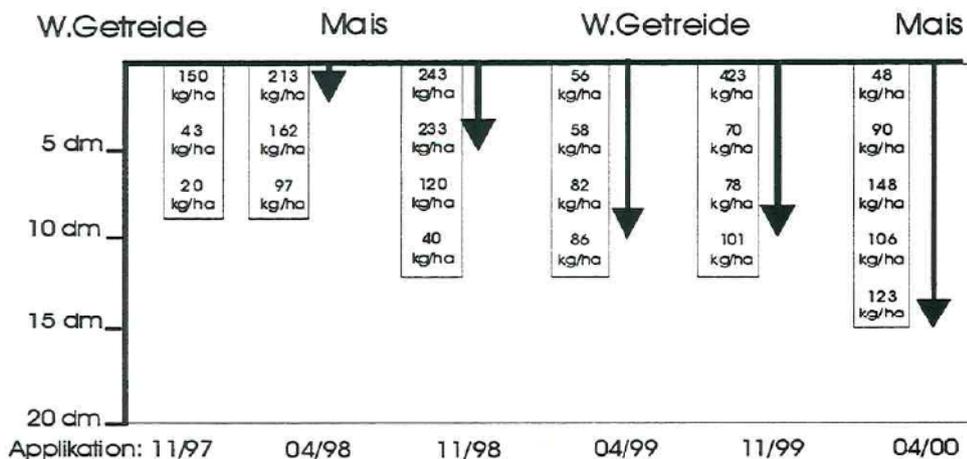


Abb. 10.9):

Gegenüberstellung von  $N_{min}$ -Werten und Verlagerungsstrecken auf 3 ausgewählten Freilandparzellen an 6 Messterminen im Versuchszeitraum

### 10.3.7 Vergleich des Wanderungsverhaltens von Tracern und des N-Austragspotenzials

#### *Auf den Versuchsebenen Lysimeter und Freilandparzellen*

Sowohl in den Lysimetern als auch auf den Freilandparzellen wurde eine deutliche Abhängigkeit der Tracerabwärtsbewegung von bodenspezifischen Kriterien und hydrologischen Bedingungen ermittelt. Bedingt durch die Versuchsanstellung war auf beiden Untersuchungsebenen nur eine geringe Beeinflussung der Tracerverlagerung durch die etablierten Ackerfrüchte auszumachen. Während auf der Lysimeterversuchsebene eine deutliche Abhängigkeit der Höhe der N-Austräge von der Bodenart und den vorliegenden hydrologischen Bedingungen festzustellen war, zeigte sich die Höhe der  $N_{\min}$ -Werte von beiden Faktoren weitgehend unbeeinflusst. Eine Wirkung der angebauten Ackerfrüchte konnte weder auf die N-Austräge noch auf die Höhe der  $N_{\min}$ -Gehalte eindeutig gemessen werden.

Ein unmittelbarer Vergleich der auf den Versuchsebenen Lysimeter und Freilandparzellen im Versuchszeitraum ermittelten Tracerverlagerungstrecken unter Grünland mit 24 dm bzw. 20 dm und unter Ackernutzung mit 9 dm bzw. 14 dm (mittlerer Wert aller Ackerparzellen) zeigt gerade bei der ackerbaulichen Bewirtschaftung Diskrepanzen auf, die nicht im Vorliegen unterschiedlicher hydrologischer Bedingungen begründet sind, sondern neben dem vorwiegend in der Wurzelzone der Freilandparzellen zu verzeichnenden Phänomen der Tracerverlagerung auf bevorzugten Fließwegen (dieser Anteil der Tracerverlagerung wurde im Labor- und zum großen Teil auch in den Lysimetertracerversuchen minimiert) sicherlich auch methodisch bedingt sind. Die Ermittlung der Verlagerungsgeschwindigkeit in Lysimetern erfolgt ausschließlich auf der Basis gemessener Sickerwassermengen. Demgegenüber wird auf den Freilandflächen durch die Beprobung in den Bodenschichten mittels Bohrstock bereits der Traceranteil erfasst, der aus dem Porenwassers des Oberbodens während des Auffüllungsprozesses des Bodenpools vor der eigentlichen Sickerwasserfront in die Tiefe verlagert wird.

### 10.4 Schlussfolgerungen

⇒ Freilanduntersuchungen allein sind aufgrund der begrenzten Dauer der Durchführung und der unzureichenden Messmethoden nicht ausreichend, um definierte Aussagen über die Stoffverlagerung im Kerngebiet der Querfurter Platte zu erzielen. Adäquat durchgeführte Langzeitlysimeterversuche stellen eine sinnvolle und notwendige Ergänzung dar. Ferner bilden sie eine wertvolle Basis zur Interpretation der Messergebnisse und zur Validierung von Szenariorechnungen.

- ⇒ Die in Lössböden nachgewiesene Tracer-Verlagerung von 3,9 mm pro mm Sickerwasser lässt erwarten, dass bei nicht ordnungsgemäßer Landwirtschaft auch in der Querfurter Platte Kontaminationen des Grundwassers mit Nitrat möglich sind. Jedoch sind zur Aufklärung der Diskrepanz zwischen der in Lysimetern und im Freiland gemessenen differenzierten Tracerverlagerungsstrecken weiterführende Untersuchungen notwendig.
- ⇒ Neben Lysimeter- und Felduntersuchungen sind zukünftig auch Modellierungsarbeiten notwendig, um skalenübergreifende Aussagen zum Auswaschungsverhalten von Nähr- und Schadstoffen vornehmen zu können.

UFZ-Bericht

**Einfluß der Landnutzung auf Landschaftshaushalt  
und Biodiversität in agrarisch dominierten Räumen**

Heidrun Mühle (Hrsg.)

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH