UFZ-UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM LEIPZIG-HALLE GMBH

UFZ-Bericht

Nr. 13/2000

Quantifizierung von diffusen Stoffausträgen aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung in den Einzugsgebieten von Oka und Elbe

Ralph Meißner (Hrsg.)

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Bodenforschung

ISSN 0948-9452

„Quantifizierung von diffusen Stoffausträgen aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung in den Einzugsgebieten von Oka und Elbe“

Ergebnisse eines deutsch-russischen Forschungsvorhabens (BMBF 02-WT 9616/8) sowie des UFZ Verbundprojektes 2.1 „Flusslandschaft Elbe im Wandel“, Teilprojekt 2.1.3 „Kleineinzugsgebiete und Landnutzung im Elbeeinzugsgebiet“, Untersuchungsgebiet Schaugraben (Tiefland-Lockergesteinsbereich)

Herausgeber:

Prof. Dr. Ralph Meißner — UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung, Postfach 2, 04301 Leipzig

unter Mitarbeit von:

Dr. Helmut Balla
Dipl.Chem. Juliane Seeger
Ing. Melitta Stratschka
Chem.Ing.(FH) Karin Muhs
— UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung, Lysimeterstation Falkenberg

Prof. Dr. Joachim Quast
Dr. Dagmar Balla
Dipl.Ing. (FH) Ralf Tauschke
Dipl.Ing. (FH) Mechthild Behrens
— Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. Müncheberg (ZALF), Institut für Hydrologie

Prof. Dr. Wladlen Rainin
Prof. Dr. Juri Dobratschev
Dr. Juri Mashajskij
— Allrussisches Forschungsinstitut für Hydrotechnik und Melioration Moskau (VNIIGiM)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02-WT9616/8 gefördert. Zusätzlich erfolgte ein Förderung der Arbeiten durch das UFZ im Rahmen der Verbundprojektforschung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Abstract

Quantification of non point pollution from agricultural used land in the catchments of the rivers Oka and Elbe

In the frame of a German-Russian research project investigations about the quantification of the non point (diffuse) input of nitrogen (N) into the rivers Elbe and Oka have been done. The German activities are mostly focused to evaluate the impact of agricultural land use change (leave land set aside, extensivication) in the Elbe river catchment on water and solute balance. In the Russian Oka river catchment the research activities focused to validate the N sources and to estimate the amount of N input into the river. Furthermore the Russian side was interested to establish trials to measure the N transport from the soil via groundwater to the surface water. For the reason of comparison and validation the investigations have been carried out in different scales – from catchment (macroscale) via subcatchment/field (mesoscale) to lysimeter (microscale) and according to the same methodological principles.

According to the emmission method developed in Germany estimations of N input have shown that in the Rjasaner subcatchment of the Oka river about 84% of the total N comes from diffuse sources and with 64% mostly via the groundwater pathway. In accordance with the Elbe river catchment (non point input about 72% of the total N, 39% transported via groundwater) also in the Oka river catchment the agriculture (most important land use in the basin) was identified as main diffuse N pollution. Based on investigations in lysimeter – field and small catchment recommendation have been worked out for reduction of diffuse N input into surface water. These are management strategies for the reduction of N leaching from soil and field methods to identify N sources in the catchment. At least a comparison of the results in both areas – differentiated to the scales – have been carried out and conclusions for future work and practical use of the results were given. These investigations are part of both national research programms „Elbe river – ecology“ and „Oka river – the clean river“.

Kurzfassung

Quantifizierung von diffusen Stoffausträgen aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung in den Einzugsgebieten von Oka und Elbe

Im Rahmen eines deutsch-russischen Forschungsprojektes wurden Untersuchungen zur Quantifizierung des diffusen Stickstoff(N)-Eintrages in die Flüsse Elbe und Oka durchgeführt. Während sich dabei die deutschen Interessen vor allem auf die Auswirkungen von Nutzungsänderungen im Bereich der Landwirtschaft (Flächenstilllegung, Extensivierung) auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Elbegebiet konzentrierten, ging es im Oka-Einzugsgebiet zunächst um die quantitative Abschätzung der Höhe der einzelnen Stoffeintragsquellen sowie die Anlage von Experimenten zur Erfassung des N-Transportes über den Pfad Boden – Grundwasser - Oberflächenwasser. Im Interesse der Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse wurden die Untersuchungen in den Skaleneinheiten Einzugsgebiet (Makroskala) - Teileinzugsgebiet/Feld (Mesoskala) - Lysimeter (Mikroskala) nach gleichen methodischen Grundsätzen vorgenommen.

Die nach dem in Deutschland entwickelten Emissionsansatz durchgeführten Kalkulationen ergaben, dass im Rjasaner Teileinzugsgebiet der Oka etwa 84% des gesamten N-Eintrages diffus und maßgeblich über den Grundwasserpfad (64%) eingetragen werden. Ähnlich wie im Elbegebiet (diffuser N-Eintrag 72%, insgesamt über den Grundwasserpfad 39%) wurde damit der landwirtschaftliche Bereich (größter Flächennutzer im Einzugsgebiet) als Hauptverursacher für den diffusen N-Eintrag in die Oka identifiziert. Auf der Basis von Lysimeter-, Feld- und Kleineinzugsgebietsuntersuchungen wurden Lösungsvorschläge zur Verminderung des diffusen N-Eintrages in die Oberflächengewässer unterbreitet. Hierbei handelt es sich um Bewirtschaftungsempfehlungen zur Verringerung des N-Eintrages aus der Bodenzone und um Methoden zur Erkennung von N-Belastungsquellen im Einzugsgebiet. Abschließend wurde ein zusammenfassender Vergleich zwischen den untersuchten Gebieten, differenziert nach Skaleneinheiten sowie die Ableitung von Schlussfolgerungen für die Weiterführung und Nutzung der Ergebnisse vorgenommen. Die durchgeführten Arbeiten sind Bestandteile der jeweiligen nationalen Forschungsprogramme „Elbe-Ökologie“ und „Oka - der reine Fluss“.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	6
2	Verlauf der deutsch-russischen Zusammenarbeit	8
2.1	Grundlagen	8
2.2	Kooperation im Projekt „diffuser Stoffaustrag“	11
3	Abschätzung der Stickstoffeinträge im Makroskalenbereich	16
3.1	Deutsches Einzugsgebiet der Elbe	16
3.2	Oka-Einzugsgebiet, speziell Rjasaner Region	18
4	Experimentelle Untersuchungen im Mikro- und Mesoskalenbereich	22
4.1	Lysimeterversuche (Mikroskalenbereich)	22
4.1.1	UFZ-Lysimeteranlage in Falkenberg	22
4.1.2	VNIIGiM-Lysimeteranlage in Polkovo	26
4.2	Repräsentative Kleineinzugsgebiete (Mesoskalenbereich)	30
4.2.1	Untersuchungsgebiet „Schaugraben“ (norddeutsches Tiefland der Elbe)	30
4.2.1.1	Physisch-geographische und hydrologische Beschreibung des Einzugsgebietes	30
4.2.1.2	Teileinzugsgebiete	32
4.2.1.3	Landnutzung	40
4.2.1.4	Niederschlagsmessungen	42
4.2.1.5	Wasseruntersuchungen	45
4.2.1.5.1	Messprogramm	45
4.2.1.5.2	Oberflächenwasser	47
4.2.1.5.3	Dränageausläufe	52
5.2.1.5.4	Grundwasser	54
4.2.1.6	Bodenuntersuchungen	58
4.2.2	Untersuchungsgebiet „Polkovo“ (Meschtscherer Niederung der Oka)	61
4.2.2.1	Physisch-geographische und hydrologische Beschreibung des Einzugsgebietes	61
4.2.2.2	Landnutzung und technische Ausstattung	64
4.2.2.3	Wasser- und Stoffhaushaltsuntersuchungen	66
4.2.2.4	Bodenuntersuchungen	68

4. 3 Übertragbarkeit von Lysimeteruntersuchungen auf größere Gebietseinheiten 70

4.3.1 Hydrologie – Vergleich der Grundwasserneubildung 70

4.3.2 Tracerversuche – Vergleich der Stoffverlagerung 72

4.3.3 Modellierungsarbeiten 75

4.4 Kopplung von Lysimeter- und Gebietsuntersuchungen 78

4.4.1 Ermittlung von N-Emissions- und N-Immissionswerten 78

4.4.2 Kalkulation von N-Exportkoeffizienten 80

4.4.3 Identifizierung von Einflussfaktoren des diffusen Stoffaustrages 81

5 Zusammenfassung und Vergleich der Untersuchungsgebiete 84

5.1 Makroskalenbereich 84

5.2 Mikrosklalenbereich 85

5.3 Mesoskalenbereich 88

6 Schlussfolgerungen 93

7 Literatur 95

Abbildungsverzeichnis 99

Tabellenverzeichnis 102

1 Einleitung

In den letzten Jahren sind sowohl im nationalen als auch im internationalen Rahmen viele Arbeiten zur Quantifizierung von diffusen und punktförmigen Stoffeinträgen in die Gewässer durchgeführt worden (z.B. Behrendt et al., 1999, Heathwaite et al., 1999). Diese Untersuchungen waren notwendig, um gezielt Maßnahmen zur Verminderung der Belastung einleiten zu können. Zunächst konzentrierten sich die Forschungsarbeiten auf die eutrophierungsrelevanten Nährstoffe Stickstoff (N) und Phosphor (P), da hierzu multilaterale Vereinbarungen zu deren Reduzierung um 50% innerhalb des Zeitraumes 1985 bis 1995 von den Nord- und Ostseeanrainerstaaten eingegangen wurden (Internationale Nordseeschutzkonferenzen – INK bzw. Festlegung der Helsinki-Kommission-HELCOM). Bei diesen Untersuchungen wurde bereits frühzeitig festgestellt, dass eine nachhaltige Verbesserung der Gewässergüte ohne eine drastische Verminderung der diffusen Stoffeinträge nicht möglich ist. Von besonderer Relevanz für die Minderung der Eutrophierungsgefahr von Oberflächengewässern sowie der zukünftigen Sicherung der Trinkwasserversorgung aus dem Grundwasser ist der N, der zu über 90% diffus aus dem Bereich der Landwirtschaft stammt.

Vor allem bedingt durch die in den letzten 20 Jahren zu verzeichnende Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion ist es sowohl in vielen europäischen Ländern als auch in Nord- und Südamerika zu einer erhöhten Belastung der Wasserressourcen mit dem im Boden besonders mobilen Nitrat (NO_3) gekommen. Untersuchungen in den neuen Bundesländern im Einzugsgebiet der Elbe zeigten, dass der in der Landwirtschaft zu verzeichnende Strukturwandel von der Kollektivwirtschaft zur Marktwirtschaft auch mit Folgewirkungen bezüglich eines veränderten Stoffaustrages aus der Bodenzone in Richtung Grund- und Oberflächenwasser verbunden ist (Meißner et al., 1999). Da in Rußland nach dem Zusammenbruch des Sowjetsystems ebenfalls mit gravierenden strukturellen Änderungen zu rechnen war und hierüber bisher keine Erfahrungen oder Ergebnisse vorlagen, wurde die Durchführung eines bilateralen Forschungsprojektes zur Abschätzung von diffusen N-Einträgen, vornehmlich aus dem Bereich der Landwirtschaft, in die Flüsse Oka und Elbe bewilligt. Während sich dabei die deutschen Interessen vor allem auf die Auswirkungen von Flächenstilllegungs- und Extensivierungsmaßnahmen auf den

Wasser- und Stoffhaushalt im Elbegebiet konzentrierten, ging es im Oka-Einzugsgebiet zunächst um die quantitative Abschätzung der Größe der einzelnen Stoffquellen sowie der Anlage von speziellen Versuchen zur Erfassung des N-Transportes über den Pfad Boden-Grundwasser-Oberflächenwasser. Im Interesse der Übertragbarkeit und Nutzung der Ergebnisse für weitere Untersuchungen im BMBF-Leitprojekt „Elbe 2000" (Elbe-Ökologie), dem UFZ-Verbundprojekt 2.1 „Flusslandschaft Elbe im Wandel" sowie dem russischen Regierungsprogramm „Oka - der reine Fluss" wurden die Arbeiten in den Skaleneinheiten Einzugsgebiet (Makroskala) – Teileinzugsgebiet/Feld (Mesoskala) - Lysimeter (Mikroskala) durchgeführt.

Nach einführenden Bemerkungen über die Zusammenarbeit zwischen deutschen und russischen Wissenschaftlern werden Untersuchungsergebnisse über die Größe der einzelnen Stoffeintragspfade für den deutschen Teil des Einzugsgebietes der Elbe sowie für das Rjasaner Gebiet des Oka-Einzugsgebietes vorgestellt. Anschließend daran erfolgt eine detaillierte Beschreibung über die in Lysimetern und Kleineinzugsgebieten durchgeführten Experimente zur Erfassung des N-Austrages nach dem Emissions- und dem Immissionsansatz. Ein weiteres Kapitel widmet sich der Übertragbarkeit von Erkenntnissen aus Lysimeteruntersuchungen auf größere Gebietseinheiten sowie der Vorstellung von Möglichkeiten zu deren Kopplung. Abschließend erfolgt ein zusammenfassender Vergleich zwischen den untersuchten Gebieten, differenziert nach Skaleneinheiten sowie die Ableitung von Schlussfolgerungen für die Weiterführung und Nutzung der Ergebnisse.

Hingewiesen sei an dieser Stelle darauf, dass sich die Ergebnisdarstellung nicht nur auf den Förderzeitraum 1996 bis 1999 erstreckt, sondern auch vorangegangene Untersuchungsperioden und andere passfähige Forschungsarbeiten integriert wurden. Für diese Untersuchungen wurden sowohl in Rußland als auch in Deutschland bereits langjährig bestehende Lysimeteranlagen und Experimentalgebiete genutzt, deren Bau und Betrieb aus dem Budget der an diesem Forschungsprojekt beteiligten Institutionen oder früheren öffentlichen Zuwendungen in Form von Forschungsaufträgen finanziert wurden.

2 Verlauf der deutsch-russischen Zusammenarbeit

2.1 Grundlagen

Basierend auf einem staatlichen Abkommen über die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit zwischen der Russischen Föderation und der Bundesrepublik Deutschland wurde auf dem Gebiet der Umweltforschung in den Jahren 1992 bis 1995 das erste gemeinsame Forschungsprojekt zum Schwerpunkt Gewässerschutz in den Flussgebieten „Oka" und „Elbe" durchgeführt. Sämtliche Forschungsarbeiten werden von deutscher Seite vom Projektträger Wassertechnologie und Schlammbehandlung (PtWT) des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) am Forschungszentrum Karlsruhe und von russischer Seite vom Allrussischen Forschungsinstitut für Hydrotechnik und Melioration in Moskau (VNIIGiM) im Auftrag des jeweiligen Ministeriums koordiniert. Zu den Aufgaben der Koordinatoren gehören neben der Vorbereitung und Durchführung der jährlich stattfindenden Treffen des Leitungsgremiums unter Führung der Ministerien die Ausgestaltung, Umsetzung und Betreuung von gemeinsam zu bearbeitenden Forschungsprojekten. In der ersten Projektphase erfolgte die Finanzierung, Installation und Inbetriebnahme von zwei Laboratorien zur Gewässerüberwachung an den Standorten Nishni Novgorod (Mündung der Oka in die Wolga) und Kolomna sowie die Bereitstellung von zwei mobilen Probelastwagen mit zusätzlicher analytischer Ausstattung aus Mitteln des BMBF. Die Ergebnisse dieser russisch-deutschen Kooperation fanden eine hohe Wertschätzung, denn erstmals wurden vier deutsche Forscher (und elf russische Kollegen) 1996 mit dem Preis der russischen Regierung für Wissenschaft und Technik (Bereich Umwelt und Ökologie) - der zweithöchsten staatlichen Ehrung der russischen Föderation - ausgezeichnet. Basierend auf diesen Erfolgen werden beginnend seit dem Sommer 1996 in einer zweiten Projektphase unter Beteiligung von sechs deutschen Kooperationspartnern weiterführende Untersuchungen zur Gewässer- und Sedimentbelastung unter Einbeziehung der Auenbereiche und der Landnutzung im Einzugsgebiet durchgeführt. Diese bilateralen Forschungsarbeiten sind in Deutschland in das BMBF-Leitprojekt „Elbe 2000", dem UFZ-Verbundprojekt 2.1 „Flusslandschaft Elbe im Wandel" und in Rußland in das Regierungsprogramm „Oka - der reine Fluss" integriert (Abb. 1).

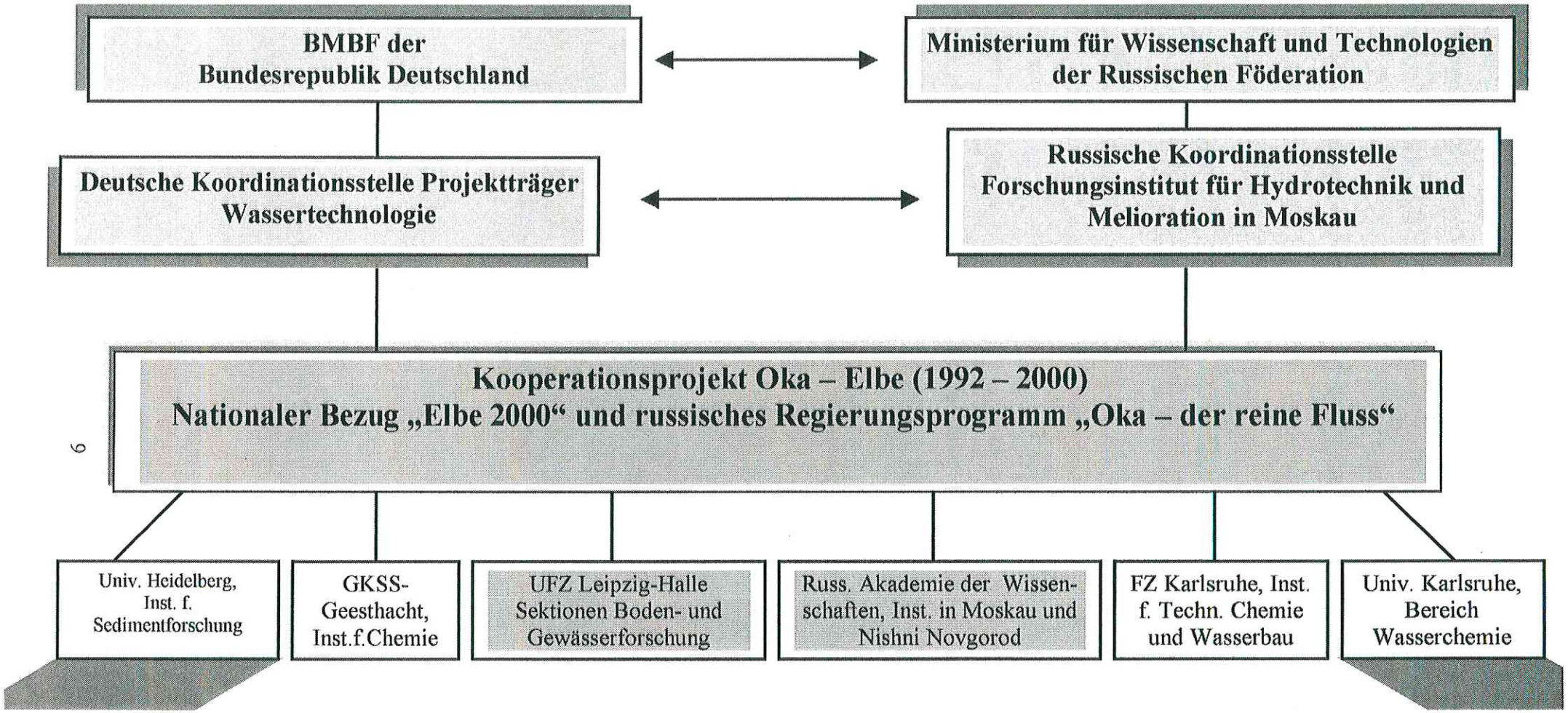


Abb. 1 Strukturschema über die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Rußland im Rahmen des bilateralen „Oka-Elbe“ Projektes

Neben dieser Zusammenarbeit im Bereich des Gewässerschutzes konzentriert sich die Kooperation seit 1997 schwerpunktmäßig auch auf dem Gebiet der Entwicklung gemeinsamer Umwelttechnologien zur Abwasserreinigung, Bodensanierung, Trinkwasseraufbereitung etc. Eine zusammenfassende Darstellung der bisher erzielten Ergebnisse erfolgte während eines russisch-deutschen Seminars zum Thema „Ökomonitoring großer Gewässer und Umwelttechnologien zur Vermeidung von Schadstoffeinträgen", das vom 9. bis 11. Februar 1999 im Haus der Wissenschaft und Kultur der Russischen Föderation in Berlin durchgeführt wurde.

Es ist vorgesehen, die erfolgreiche Zusammenarbeit in einem Folgeprojekt „Wolga - Rhein" fortzusetzen. Hierüber bestehen bereits protokollarische Abstimmungen zwischen den genannten zuständigen Ministerien in Deutschland und Rußland. Mit ersten Vorstudien zu den Themenbereichen Sedimentbelastung der Wolga (Universität Heidelberg, Institut für Umweltgeochemie), Hydrologie und Hydraulik der Staustufen in der Wolga (Universität Karlsruhe, Institut für Wasserbau und Kulturtechnik) und erosiver Stoffeintrag aus dem Einzugsgebiet in die Wolga (UFZ, Sektion Bodenforschung, Projektbereich Fluss- und Seenlandschaften) wurde bereits 1999 begonnen. Ab dem Jahr 2000 soll im Rahmen eines deutsch-russischen Verbundprojektes versucht werden, am Beispiel ausgewählter Regionen den Einfluss von Ballungsgebieten, Staustufen und Nebenflüssen auf die Wasser- und Sedimentqualität in der Wolga zu ermitteln. Passfähig dazu sind Untersuchungen im Einzugsgebiet der Wolga vorgesehen, um Abschätzungen über den diffusen Stoffeintrag (vor allem über den Wassererosionspfad) vornehmen zu können. Des weiteren sollen komplexe Modellierungen über hydrologische Prozesse in der Wolga durchgeführt werden.

Die primären Ziele des zukünftigen Verbundprojektes sind:

- Erstellung einer systematischen Gütekartierung von Wasser und Sedimenten im Untersuchungsgebiet unter Berücksichtigung von chemischen, mikrobiologischen und makrobiologischen Parametern.
- Komplexe Modellierung hydrologischer Prozesse im Untersuchungsgebiet: Hydrologie und Hydraulik; Wasserwirtschaftsmanagement (Hochwasser) der Wolga; Sedimentologie; Feststoffumlagerungen und Flussmorphologie;

Konsequenzen für den Betrieb und die Sicherheit von Staubauwerken und Schutzbauwerken; Energieerzeugung aus Wasserkraft.

- Bestimmung von Schadstoff- und Nährstoffeinträgen über punktförmige und diffuse Eintragspfade sowie Erarbeitung von Lösungsstrategien zu deren Verminderung.
- Modellierungen und Beschreibung des Transportes und des Verbleibs von Schad- und Nährstoffen in der Wolga (einschließlich dem Einzugsgebiet) durch Zusammenführung der Ergebnisse der einzelnen Teilprojekte.
- Zustandsbestimmung der Wasserwerke und Einschätzung der Trinkwasserqualität im Untersuchungsgebiet.
- Ableitung von Konzepten zur Verbesserung der Wasserqualität unter besonderer Berücksichtigung der nachhaltigen Sicherung der Trinkwasserversorgung.
- Initialisierung von Technologietransfers für die Wasseraufbereitung und -untersuchung sowie für die Hydrotechnik und Modellierung.

2.2 Kooperation im Projekt „diffuser Stoffaustrag"

Nach Beginn der Forschungsarbeiten im deutschen Untersuchungsgebiet „Schaugraben" (Elbe) im Herbst 1996 wurde bereits Mitte Dezember 1996 in der Meschtscherer Außenstelle des VNIIGiM in Solotscha (Rjasaner Gebiet) ein erstes Arbeitstreffen von deutschen und russischen Spezialisten durchgeführt. Es wurden die Ziele und Aufgaben des Projektes sowie die methodische Herangehensweise erläutert und diskutiert. Des weiteren wurden organisatorische Fragen bezüglich der Beschaffung und des Transportes der für die Untersuchungen notwendigen Geräte und Materialien erörtert. Außerdem erfolgten Auswahl und Festlegung der Messpunkte im Untersuchungsgebiet „Polkovo" (Oka).

Ende Mai 1997 fand ein weiteres Arbeitstreffen mit den russischen Projektpartnern des VNIIGiM aus Moskau und Solotscha im ZALF Müncheberg, Institut für Hydrologie und im UFZ Leipzig-Halle, Forschungsstelle Falkenberg, statt. Die russischen Kollegen konnten sich hier mit der Software für die meteorologische Station und den technischen Gerätschaften aus Deutschland vertraut machen, die in

ihrem Experimentalgebiet eingesetzt werden sollten. Des weiteren wurden bereits bestehende Erfahrungen über die experimentelle und theoretische Ermittlung von diffusen Stoffausträgen auf differenzierten Einzugsgebietsskalen erläutert. Anhand mitgebrachter Proben wurde ein Vergleich der Aussagefähigkeit deutscher und russischer Analysenmethoden für die Parameter NO_3, Nitrit (NO_2) und Ammonium (NH_4) im Wasser sowie die Bestimmung der pflanzenverfügbaren (anorganischen) Stickstoffanteile im Boden (Nmin) vorgenommen. Im deutschen Referenzgebiet „Schaugraben" wurde eine gemeinsame Messkampagne vorgenommen. Dabei wurde nochmals vor Ort der Einsatz der im Rahmen des Projektes bereits angeschafften Geräte zur Beprobung von Grund- und Oberflächenwasser demonstriert. Es sind gemeinsam Bodenproben entnommen und die Herangehensweise bei der Flächenauswahl zur Nmin-Bestimmung im Boden erläutert worden. Bei der Besichtigung der deutschen Lysimeterstationen Falkenberg und Colbitz wurden Möglichkeiten der Übertragbarkeit mikroskalig gewonnener Ergebnisse auf größere Gebietseinheiten diskutiert.

Die Arbeiten im Jahr 1997 haben sich im Kleineinzugsgebiet „Schaugraben" auf folgende Schwerpunkte konzentriert:

- Erstellung eines GIS für das Untersuchungsgebiet und modellhafte Abschätzung der N-Austräge im Vergleich zu Lysimetermessungen
- Analyse der hydrogeologischen und hydrologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet und Analyse der Strömungsverhältnisse
- Experimentelle Ermittlung der hydrologischen und hydrochemischen Parameter in den offenen Gräben, in Dränageausläufen sowie im Grundwasser

Im Verlauf der Bearbeitung zeigte sich, dass der geologische Aufbau des Gebietes heterogener ist, als ursprünglich erwartet. Die Besonderheiten liegen vor allem in den großen Anteilen von stauvernässten Gebieten, die teilweise durch unterirdisch verlegte Dräne bewirtschaftbar gemacht wurden. Diese Areale besitzen das höchste Potential für Stoffeinträge in Oberflächengewässer, weil der Transportweg und die -zeit über die Dränageleitungen relativ kurz sind.

Entsprechend dem gemeinsamen Arbeitsplan wurden 1997 in der Außenstelle des VNIIGiM bei Rjasan die Lysimeterversuche angelegt. Erste theoretische Arbeiten zur

Quantifizierung von diffusen und punktförmigen Stoffeinträgen im Einzugsgebiet der Oka im Rjasaner Gebiet wurden vorgenommen. Mit den ab 1997 im Untersuchungsgebiet „Polkovo" geplanten Spezialuntersuchungen konnte aufgrund der verzögerten Auslieferung der aus Deutschland kommenden Geräte erst im Frühjahr 1998 begonnen werden.

Das Mitte Mai 1998 in Solotscha (bei Rjasan) durchgeführte Arbeitstreffen mit Vertretern aus dem UFZ, dem ZALF und dem VNIIGiM diente vor allem der Kalibrierung und Inbetriebnahme der Wetterstation sowie der anderen von der deutschen Seite übergebenen Geräte sowie der Durchführung einer gemeinsamen Messkampagne im russischen Untersuchungsgebiet. Im Mittelpunkt standen dabei Nmin-Untersuchungen aus differenzierten Bodentiefen, Beprobungen an Oberflächen- und Grundwassermessstellen sowie die vollständige Analyse der Proben im russischen Labor.

1998/99 wurden folgende Arbeiten von den russischen Partnern im Untersuchungsgebiet „Polkovo" und im Rjasaner Gebiet durchgeführt:

- Regelmäßige (monatliche) hydrologische Messungen im Grund- und Oberflächenwasser des Untersuchungsgebietes
- Abschätzung der ermittelten N-Emissionen und Vergleich mit den N-Immissionen im Untersuchungsgebiet
- Bestimmung der Summe der punktuellen und der diffusen Einträge im Rjasaner Gebiet
- Anlage von Tracerversuchen mit Kaliumchlorid (KCl) auf Feldparzellen mit unterschiedlicher Landnutzung
- Anlage von Tracerversuchen mit KCl auf den Lysimetern mit gleichen Bodenformen und Landnutzungsdaten wie die o.g. Feldparzellen

Im Untersuchungsgebiet „Schaugraben" konzentrierten sich die Arbeiten der Jahre 1998/99 auf folgende Schwerpunkte:

- Weiterführung der (wöchentlichen) Messungen an den sieben Oberflächenwasserpegeln, an der Uchte und an den sechs Grundwasserpegeln unter Einbeziehung der automatischen Messstation am Gebietsauslass.

Ermittlung von teilgebietsabhängigen Durchflussganglinien, Bestimmung von hydrologischen und hydrochemischen Parametern.

- Experimentelle Ermittlung der Durchflüsse bzw. der Dränageschüttungen in den offenen Zuflussgräben und den Sammlern (Kollektoren) in Gebieten mit unterschiedlicher Landnutzung. Bestimmung von hydrochemischen Parametern in den Zuflüssen und Dränageeinmündungen des Schaugrabeneinzugsgebietes.
- Erfassung der sich im Jahre 1998 ändernden Landnutzung unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Düngungsniveaus.
- Aktueller Vergleich der ermittelten N-Emissionen mit den N-Immissionen im Einzugsgebiet des Schaugrabens.
- Erhebung horizontbezogener Profildaten zur Modellierung des Stofftransportes in der ungesättigten Zone; bodenkundliche Ansprache der Horizonte. Bestimmung von bodenphysikalischen Kenngrößen und Versickerungsparametern für das Modell CANDY zur Beschreibung des Stickstofftransportes in der ungesättigten Zone.
- Bestimmung der aktuellen Nmin-Werte auf repräsentativen landwirtschaftlich genutzten Flächen des Schaugrabenuntersuchungsgebietes.
- Einsatz des „Seepage"-Messgerätes zur Feststellung von Sickerbewegungen an der Grenzfläche von Oberflächen- und Grundwasser (diese Messungen wurden kostenlos von der Entwicklerin des Gerätes, Frau Dr. Driescher aus dem Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei Berlin – IGB, unterstützt).

Ende Dezember 1998 fand im VNIIGiM Moskau ein weiteres Arbeitstreffen der Projektbearbeiter aus dem UFZ und dem ZALF mit den russischen Partnern statt. Im Mittelpunkt standen dabei Fragen der Versuchsauswertung sowie der Modellierung mit dem im ZALF verwendeten Stofftransportmodell MODFLOW. Außerdem wurde darüber informiert, dass die für Herbst 1998 vorgesehenen Nmin-Bestimmungen im Untersuchungsgebiet „Polkovo" infolge des unerwartet frühen Wintereinbruchs nicht durchgeführt werden konnten.

Ein abschließendes Treffen der deutschen und russischen Projektbearbeiter wurde Mitte Oktober 1999 in der UFZ-Forschungsstelle in Falkenberg sowie im ZALF Müncheberg durchgeführt. Die deutschen Projektpartner berichteten über den Stand

der aktuellen hydrologischen und chemischen Untersuchungen im Untersuchungsgebiet „Schaugraben". Es wurde der Entwurf einer Gliederung für den Abschlussbericht besprochen. Der russische Partner berichtete über den aktuellen Stand der pedologischen, hydrologischen und chemischen Untersuchungen im „Polkovo"-Gebiet und überreichte einen Zwischenbericht in russischer Sprache. Es wurde zugesichert, dass - entsprechend der vorhandenen Möglichkeiten - eine eigenständige Weiterführung der begonnenen Untersuchungen erfolgen wird. Ziel ist es, die gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis zu überführen und zunächst die bekannten, hauptsächlich diffusen N-Eintragsquellen im Untersuchungsgebiet (z.B. Datschensiedlung) zu reduzieren.

3 Abschätzung der Stickstoffeinträge im Makroskalenbereich

3.1 Deutsches Einzugsgebiet der Elbe

In den letzten Jahren sind verstärkt Anstrengungen zur quantitativen Abschätzung des Anteils von diffusen Stoffeinträgen (vor allem N und P) in die Gewässer vorgenommen worden. Zu nennen sind hierbei die Untersuchungen von Hamm (1991) für die Fließgewässer Westdeutschlands sowie die Arbeiten von Behrendt (1993) für den Rhein, von Werner und Wodsak (1994) für die Elbe (unter besonderer Berücksichtigung des Territoriums der neuen Bundesländer) sowie von Okruszko und Dirksen (1999) für die Oder.

Die aktuellsten Schätzungen über den N-Eintrag in die Elbe liegen von Behrendt et al. (1999) vor (Tab. 1). Obgleich aufgrund von methodischen Modifizierungen und durch die Verwendung unterschiedlicher Bezugszeiträume die Vergleichbarkeit zu früheren Auswertungen erschwert wird, zeigt sich insgesamt eine rückläufige Tendenz bezüglich des N-Eintrages in die Elbe. Allerdings ist der relative Anteil des N-Eintrages aus diffusen Quellen an der Gesamtbelastung innerhalb der letzten 10 Jahre um etwa 16% angestiegen. Erhebliche Verringerungen wurden auch bei den punktförmigen N-Einleitungen, vor allem durch den Bau von Kläranlagen und Betriebsstilllegungen der Industrie in den neuen Bundesländern (sowie der damit verbundenen Minderung des Direkteintrages von N-haltigen Abwässern) erzielt. Nach wie vor wird N jedoch hauptsächlich über den diffusen Grundwasserpfad eingetragen. Trotz der enormen Anstrengungen ist es in Deutschland nicht gelungen, die in der Internationalen Nordseeschutzkonferenz (INK) bzw. der Helsinki-Kommission (HELCOM) eingegangenen Verpflichtungen zur Reduzierung des N-Eintrages in die Nord- und Ostsee im Zeitraum 1985 bzw. 1987 bis zum Jahr 1995 um 50% zu senken. Es sind auch zukünftig Initiativen und Forschungsarbeiten notwendig, um vor allem die diffusen N-Einträge, die aus der im Einzugsgebiet stattfindenden landwirtschaftlichen Produktion stammen, weiter zu verringern.

Tab. 1 N-Einträge aus diffusen und punktuellen Quellen in die deutschen Teile des Stromgebietes der Elbe für die Zeiträume 1983 - 1987 und 1993 - 1997 sowie deren Veränderung (nach Behrendt et al., 1999)

Eintragspfad		Elbe		
		1983-87	1993-97	Änderung
Grundwasser	(t N/a)	53.760	57.270	+ 6,5 %
	(%)	24,5	38,8	
Dränagen	(t N/a)	47.460	30.340	- 36,1 %
	(%)	21,6	20,6	
Erosion	(t N/a)	2.880	2.830	- 1,6 %
	(%)	1,3	1,9	
Abschwemmung	(t N/a)	570	890	+ 56,9 %
	(%)	0,3	0,6	
Atmosphärische Deposition	(t N/a)	4.060	2.700	- 33,3 %
	(%)	1,9	1,8	
Urbane Flächen	(t N/a)	14.430	12.250	- 15,1 %
	(%)	6,6	8,3	
Summe diffuse Quellen	**(t N/a)**	**123.160**	**106.290**	**- 13,7 %**
	(%)	**56,2**	**72,0**	
Kommunale Kläranlagen	(t N/a)	49.330	32.230	- 34,7 %
	(%)	22,5	21,9	
Industrielle Direkteinleiter	(t N/a)	46.760	9.000	- 80,7 %
	(%)	21,3	6,1	
Summe Punktquellen	**(t N/a)**	**96.090**	**41.230**	**- 57,1 %**
	(%)	**43,8**	**28,0**	
Summe aller Einträge	**(t N/a)**	**219.250**	**147.520**	**- 32,7 %**
	(%)	**100,0**	**100,0**	

3.2 Oka-Einzugsgebiet, speziell Rjasaner Region

Basierend auf den in Deutschland vorliegenden methodischen Erfahrungen bei der quantitativen Abschätzung von punktförmigen und diffusen Stoffeinträgen in Fließgewässer wurde vom russischen Kooperationspartner versucht, erstmals eine ähnliche Quantifizierung für ein größeres Teileinzugsgebiet der Oka vorzunehmen.

Das Einzugsgebiet der Oka umfasst eine Fläche von 245.000 km^2 mit 13 Bezirken und 230 größeren Städten. In diesem Gebiet leben ca. 26 Mio Einwohner. Industrie und Landwirtschaft sind im Vergleich zu anderen Regionen in Rußland stark ausgeprägt.

Die Flussdichte schwankt im Okaeinzugsgebiet von 0,2 bis 0,5 km/km^2. Die Wassereinzugsgebiete der Zuflüsse sind asymmetrisch, die Flussauen vorrangig trapezförmig. In den Grenzen des Mittelrussischen Plateaus, das sich nördlich der Oka befindet, sind sie V-förmig, in der Meschtscherer Niederung dagegen unklar ausgebildet. Die anderen Niederungen sind terrassenförmig angeordnet.

Für das Einzugsgebiet der Oka sind paläohistorisch alte, seit langem in Bewirtschaftung befindliche Niederungsgebiete typisch, deren Untergrund aus lockeren, vorrangig sandigen Ablagerungen besteht.

In der gegenwärtigen Zeit hat sich die ökologische Situation im Einzugsgebiet der Oka verbessert. Die Abwasserbelastung aus der Industrie beträgt nur noch ein Drittel im Vergleich zu den Bedingungen vor 1990. In der Landwirtschaft wurde der organische und mineralische Düngereinsatz - oft aus ökonomischen Gründen - reduziert. Der Viehbesatz verringerte sich um mehr als das Dreifache. Während 1996 im Landesdurchschnitt noch 12,5 kg/ha an Mineraldüngern (N, P, K) ausgebracht wurden, verringerte sich der Einsatz bis 1999 auf schätzungsweise 7,5 kg/ha.

Nach Untersuchungen von Jaschin (1999) hat sich die Wassergüte der Oka verbessert und weist eine mäßige Belastung (etwa Güteklasse II nach LAWA Klassifizierung) auf. Die größten Verschmutzungen wurden im Zufluss der Moskwa und ihrer Nebenflüsse registriert. Wesentlichen Anteil an der Belastung der Oka haben Abprodukte und Abwässer aus Tierproduktionsanlagen. Nach statistischen Angaben fallen jährlich etwa 203 Mio t Stalldung an, davon bleiben etwa 90 Mio t ungenutzt. Mehr als 40 Mio t werden in natürlichen und künstlichen Behältnissen

gelagert und stellen eine wesentliche Quelle für die Belastung des Grund- und Oberflächenwassers dar.

Nach den Angaben des russischen Kooperationspartners kommen gegenwärtig etwa 70 bis 80% der N-Emission im Einzugsgebiet der Oka aus dem Bereich der Landwirtschaft. Für den Stoffeintrag sind am meisten die gepflügten flussnahen Gebiete (Auenböden für den Gemüsebau) von Bedeutung; Wiesen und Viehweiden stellen keine besondere Gefährdungsquelle dar.

Auch die Einleitung von kommunalen und industriellen Abwässern ist bedeutsam für die Wasserqualität der Oka. Nach den aus den 90er Jahren vorliegenden Angaben aus Rußland ist die Abwasserbelastung der im Oka-Einzugsgebiet befindlichen Städte und Kreise sehr differenziert. Von den direkt an der Oka gelegenen Städten treten die größten N-Emissionen in Dsershinsk (ca. 1.200 t N/a), Kaluga (750 t N/a), Rjasan (ca. 700 t N/a) und Orjel (450 t N/a) auf. Betrachtet man die einzelnen Gebiete des Oka-Einzugsgebietes, dann ist die N-Belastung im Moskauer Gebiet mit ca. 13.500 t/a am höchsten. Danach folgen die Gebiete Tula (ca. 2.200 t N/a), Nishnij-Novgorod (ca. 1.800 t N/a), Rjasan und Wladimir mit jeweils ca. 1.300 t N/a sowie die Gebiete Kaluga und Orjel mit jeweils ca. 900 t N/a.

Eine zusammenfassende Darstellung über die gegenwärtig in die Oka eingetragenen N-, P- und Pestizid-Mengen ist nach den Schätzungen von Dobratschev (1999) in Tab. 2 enthalten.

Tab. 2 Abschätzung der gegenwärtig jährlich in die Oka eingetragenen Stoffmengen (nach Dobratschev, 1999)

Art der Verschmutzung	Menge (t/a)
N gesamt	74460
NH_4-N	44365
NO_3-N	20387
NO_2-N	1436
P gesamt	7546
Pestizide	0,01

Leider war es seitens des russischen Kooperationspartners aufgrund fehlender statistischer Daten nicht möglich, Schätzzahlen differenziert nach Eintragspfaden für

das gesamte Oka-Einzugsgebiet vorzulegen. Jedoch wurden in Anlehnung an die in Deutschland entwickelte Methodik Abschätzungen über punktförmige und diffuse N-Einträge in die Oka für das Rjasaner Gebiet mit einer Flächengröße von 39.600 km^2 vorgenommen (Gesamteinzugsgebiet der Oka: 245.000 km^2, dazu Elbe im Vergleich 148.268 km^2 – davon deutscher Teil: 96.932 km^2). Aus der in Tab. 3 vorgenommenen Zusammenstellung ist ersichtlich, dass der Anteil der diffusen Belastung um etwa das Fünffache höher ist im Vergleich zu den Punktquellen. Demnach ist auch unter den russischen Verhältnissen eine alleinige Konzentration auf die Reduktion der punktförmigen Einträge (meist realisiert durch den Bau von Kläranlagen) nicht ausreichend, um eine nachhaltige Verbesserung der Gewässergüte der Oka im Rjasaner Gebiet zu erreichen. Obgleich die auf der Basis vorhandener Daten kalkulierten N-Einträge in die Oka im Vergleich zur Elbe aufgrund differenzierter Infrastrukturen und einer wesentlich niedrigeren Bevölkerungsdichte geringer sind, wird auch hier der dominierende Eintragspfad über das Grundwasser deutlich.

Damit korrespondieren diese in einem russischen Teileinzugsgebiet der Oka ermittelten Ergebnisse mit Erkenntnissen, die bei der Aufklärung der N-Eintragspfade in die Fließgewässer in Deutschland gewonnen wurden. Anhand der vorliegenden Abschätzungen wird auch die für beide Seiten nützliche Bearbeitung dieses Forschungsthemas deutlich.

Tab. 3 Diffuse und punktuelle N-Einträge aus dem Rjasaner Gebiet in die Oka für den Zeitraum 1994 - 1998 (nach Dobratschev, 1999)

Eintragspfad		Oka 1994-98
Grundwasser	(t N/a)	21.987
	(%)	63,9
Dränagen	(t N/a)	895
	(%)	2,6
Erosion	(t N/a)	929
	(%)	2,7
Abschwemmung	(t N/a)	1.135
	(%)	3,3
Atmosphärische Deposition	(t N/a)	688
	(%)	2,0
Urbane Flächen	(t N/a)	3.269
	(%)	9,5
Summe diffuse Quellen	**(t N/a)**	**28.903**
	(%)	**84,0**
Summe Punktquellen	**(t N/a)**	**5.505**
	(%)	**16,0**
Summe aller Einträge	**(t N/a)**	**34.408**
	(%)	**100,0**

4 Experimentelle Untersuchungen im Mikro- und Mesoskalenbereich

4.1 Lysimeterversuche (Mikroskalenbereich)

4.1.1 UFZ- Lysimeteranlage in Falkenberg

Im Gegensatz zu großen Flussgebieten, bei denen sich die Ursache-Wirkungs-Beziehungen komplex überlagern und sich der erforderliche Detailliertheitsgrad bei den Untersuchungen nicht erzielen lässt, sind Untersuchungen in Kleineinzugsgebieten (< 50 km^2) besonders gut geeignet, um Prozessabläufe aufzuklären. Ergänzende experimentelle Arbeiten zur Ermittlung der Wirkung von Änderungen der Landnutzung auf den Wasser- und Stofftransport sowie der während der Bodenpassage ablaufenden Transformationsprozesse werden mit Hilfe von Lysimetern durchgeführt. Da diese reproduzierbare Messwerte liefern, werden sie gleichzeitig zur Validierung von mathematischen Modellen zur Stoffverlagerung genutzt. Entsprechend dieser Vorhabensstrategie wurden sowohl in Deutschland als auch in Rußland seit längerem für hydrologische Untersuchungen genutzte Kleineinzugsgebiete ausgewählt und entsprechend der aktuellen Fragestellung mit Messtechnik ausgerüstet. Außerdem wurden Lysimeterversuche an beiden Standorten angelegt. Sie ermöglichen die Simulation typischer Landnutzungsszenarien und liefern in relativ kurzer Zeit Informationen über die Auswirkung von Änderungen der Landnutzung auf den Wasser- und Stoffhaushalt.

Im Rahmen des Elbe-Einzugsgebietes bilden die in der UFZ-Lysimeterstation in Falkenberg etablierten Versuche eine unmittelbare Bezugsgröße zu der im Referenzgebiet „Schaugraben“ angetroffenen Landnutzung. Auf diesen differenzierten Maßstabsebenen werden in Abstimmung mit den Bewirtschaftern (im Einzugsgebiet) Untersuchungen zur Stoffverlagerung in der ungesättigten Zone und zur Ermittlung des diffusen Stoffeintrages in die Gewässer vorgenommen.

Zu Beginn der 90er Jahre wurde im Zuge der Umstrukturierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft auf der bereits 1983 etablierten Lysimeterstation ein Versuch zur Prüfung der Auswirkungen von Intensitätsänderungen in der Landbewirtschaftung auf den Wasser- und Stoffhaushalt angelegt. Aufgrund der seitens der EU in den letzten Jahren angestrebten Maßnahmen zur Reduktion von Agrarüberschüssen wurden vorrangig verschiedene Möglichkeiten der Stilllegung von bisher intensiv genutzten Ackerflächen und deren Wiedereingliederung in den Produktionsprozess

im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung in Form des Integrierten Landbaues untersucht. Dabei stand zunächst die ad hoc Stilllegung von zuvor intensiv ackerbaulich genutzten Flächen für 1 bzw. 5 Jahre im Vordergrund. Anschließend wurden Varianten mit planmäßiger Brachlegung von Ackerflächen und deren Reintegration in die Intensivbewirtschaftung untersucht.

Neben den hierzu erschienenen Veröffentlichungen (Meissner et al., 1999, 1998, 1996, 1995, 1993, 1991) werden im folgenden Ergebnisse aus einem relevanten Stilllegungsexperiment vorgestellt. Hierbei handelt es sich um die Auswirkung von 1- bzw. 5jährigen Stilllegungen im Vergleich zum Integrierten Landbau (praxisübliche Bewirtschaftung) auf die Veränderung der Sickerwasserbildung sowie der N-Auswaschung aus der ungesättigten Bodenzone.

In diesen Versuch sind 30 von 106 Vollmantellysimetern mit einer Oberfläche von 1m^2 und einer nutzbaren Tiefe von 1,25 m integriert, die mit der für die neuen Bundesländer (besonders auch für das Elbe-Einzugsgebiet) repräsentativen Bodenart lehmiger Sand (IS) weitgehend profilgerecht, entsprechend dem natürlich gewachsenen Entnahmestandort, befüllt sind (Abb. 2).

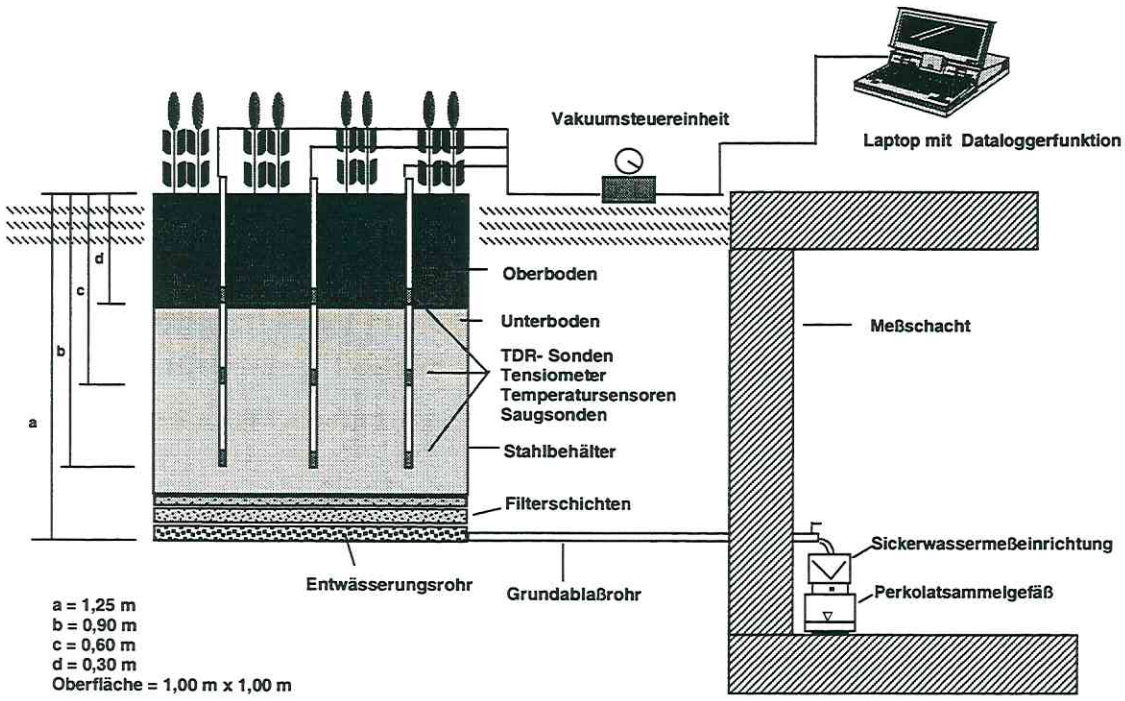


Abb. 2 Prinzipskizze der in der UFZ-Forschungsstelle in Falkenberg eingesetzten Lysimeter

Das Bewirtschaftungsregime der stillgelegten und der weiterhin intensiv bewirtschafteten Lysimeter ist in Tab. 4 dargestellt.

Tab. 4 Bewirtschaftungsregime 1- bzw. 5jährig stillgelegter Lysimeter im Vergleich zu Versuchsgefäßen aus dem Integrierten Landbau im Zeitraum 91/92 - 95/96

Bewirt-	Fruchtfolgen	mittl. N-Düngung (kg/ha)					mittl. Zusatzbewässerung (mm)				
schaftung	91/92- 95/96	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96
- Rotations- brachen*)	- nach So.Gerste+Grasuntersaat So.Gerste+abfr.Zw.Fr. oder Hafer+Untersaat	105	-	141	141	141	-	-	43	103	137
- Dauer- brache	- nach So.Gerste oder Hafer+Untersaat	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Integrierter Landbau	- Zuckerrübe - W.Weizen+Zw.Fr. - Kartoffeln - W.Gerste+Zw.Fr. - Mais	142	142	142	142	142	110 (532)	205 (486)	45 (851)	97 (680)	147 (344)**)

*) Die Rotationsbrachelysimeter wurden 92/93 in eine intensive Fruchtfolge eingegliedert – W.Weizen-W.Gerste+Zw.Fr.-Z.Rüben-Mais-W.Weizen.

**) Die Klammern enthalten den auf der Lysimeterstation in Falkenberg gemessenen jährlichen Niederschlag bezogen auf den Zeitraum von Lysimeterjahren (Mai – April) in mm.

Im Juli 1991 wurden in weitgehender Übereinstimmung mit der Vorgehensweise in der Praxis zuvor unter dem Aspekt der Ertragsmaximierung mit differenzierter Intensität bewirtschaftete Ackerlysimeter ad hoc für 1 bzw. 5 Jahre stillgelegt. Die Wiedereingliederung der 1jährig brachgelegten Lysimeter in die Intensivbewirtschaftung erfolgte im August 1992. Die Dauerbrachelysimeter wurden im Sommer 1996 auf verschiedene Weise in die Intensivbewirtschaftung integriert.

Dabei wurde festgestellt, dass sowohl im Jahr der Stilllegung als auch im Jahr der Wiedereingliederung in die Intensivbewirtschaftung ein erhöhter Sickerwasseranfall von 30 bzw. 7% sowie ein N-Mehraustrag von 52 bzw. 30% zu verzeichnen war (Tab. 5). Nach 4 Versuchsjahren kam es insgesamt zu einer 16%igen N-Mehrauswaschung der zwischenzeitlich für 1 Jahr stillgelegten Lysimeter gegenüber den Versuchsgefäßen aus dem Integrierten Landbau.

Tab. 5 Sickerwassermenge und N-Austräge unter Rotationsbrachelysimetern im Vergleich zu Versuchsgefäßen aus dem Integrierten Landbau

Bew.Regime	Sickerwassermenge (mm)				•	N-Austrag (kg/ha)				•
	91/92	92/93	93/94	94/95		91/92	92/93	93/94	94/95	
Rotationsbrache	70,0	60,5	295,4	116,5	542,4	48,0	7,7	62,9	30,7	149,3
Integrierter Landbau	54,0	64,2	275,3	116,4	509,9	31,6	21,4	48,4	26,8	128,2

In der ersten Sickerungsperiode nach der Stilllegung von Lysimetern als Dauerbrachen wurde eine erhöhte Sickerwassermengenbildung von 26% verbunden mit einem 100%igen N-Mehraustrag im Vergleich zu den Versuchsgefäßen aus dem Integrierten Landbau festgestellt (Tab. 6). Aufgrund der fehlenden Düngung und der Etablierung einer Pflanzendecke verringerten sich die N-Austräge bereits ab dem 2. Untersuchungsjahr. Das im Versuchsjahr 93/94 mit 53% über dem langjährigen Mittel liegende Niederschlagsdargebot führte dabei noch einmal zu erheblicheren N-Austrägen von 57% bei den Stilllegungsvarianten im Vergleich zum Integrierten Landbau und war entscheidend daran beteiligt, dass insgesamt nach 5 Stilllegungsjahren unter den brachgelegten Lysimeter mit einem erhöhten Sickerwasseranfall von 9% noch 75% der unter intensiv bewirtschafteten Versuchsgefäßen gemessenen N-Mengen ausgewaschen wurden.

Tab. 6 Sickerwassermenge und N-Austräge unter Dauerbrachelysimetern im Vergleich zu Versuchsgefäßen aus dem Integrierten Landbau

Bew.Regime	Sickerwassermenge (mm)					•	N-Austrag (kg/ha)					•
	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96		91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	
Dauerbrache	68,0	56,3	323,2	122,9	1,1	571,5	62,0	4,4	27,5	4,7	0,0	98,6
Integrierter Landbau	54,0	64,2	275,3	116,4	12,5	522,4	31,3	21,5	48,5	26,8	2,5	130,6

Die aus diesem in komprimierter Form beschriebenen Versuch abgeleiteten Schlussfolgerungen:

- ad hoc Stilllegungen führten unter den vorliegenden Versuchsbedingungen in der 1. nachfolgenden Sickerungsperiode zu N-Mehrausträgen um bis zu 100% im Vergleich zum Integrierten Landbau
- bei 1jährigen ad hoc Rotationsbrachen kam es nach Wiedereingliederung in die Intensivbewirtschaftung zu höheren N-Austrägen um bis zu 30%

- während eines 5jährigen Stilllegungszeitraumes wurde der N-Austrag um 35% im Vergleich zum Integrierten Landbau vermindert

bilden, gemeinsam mit den kontinuierlich gewonnenen Erkenntnissen aus weiteren Lysimeterversuchen, die Kenndatenbasis zur Abschätzung von N-Emissionsgrößen und N-Exportkoeffizienten auf der Gebietsskala des „Schaugrabens".

4.1.2 VNIIGiM-Lysimeteranlage in Polkovo

Lysimeteranlagen haben auch in Rußland eine lange Tradition bei der Bearbeitung von hydrologischen und agronomischen Fragestellungen. Die seit vielen Jahren existierende Lysimeteranlage des VNIIGiM befindet sich direkt im Untersuchungsgebiet „Polkovo" bei Rjasan. Sie besteht aus insgesamt 36 nicht wägbaren Gravitationslysimetern bzw. Lysimetern mit variabel einstellbarem Grundwasserstand (Abb.3). Die in den Lysimetern enthaltenen Bodenkerne wurden direkt aus dem Einzugsgebiet „Polkovo" an repräsentativen Standorten (podsolierte Sand/Lehm-Gleyböden) monolithisch entnommen und zur Lysimeterstation transportiert. Die Einstellung der Grundwasserstände im Lysimetergefäß kann nach den im Untersuchungsgebiet vorhandenen Grundwasserbeobachtungsrohren vorgenommen werden.

Zur Bearbeitung der in diesem Projekt anstehenden Fragestellungen bezüglich des Einflusses von differenzierten Intensitätsstufen der Landbewirtschaftung auf den Wasser- und Stoffhaushalt wurden 24 Lysimeter integriert. Bei den hier angelegten Versuchen werden unterschiedliche Düngungs- und Beregnungsvarianten sowie verschiedene Grundwasserstände simuliert (Mashajskij, 1999). Einen Überblick über das Bewirtschaftungsregime eines gestaffelten Düngungsversuches für das Jahr 1998 gibt Tab. 7.

Interessant ist, dass die Düngerstaffelung auf der Basis von „geplanten" Ertragszielen (z.B. Kartoffeln – 300 dt, Hafer – 40 dt und Winterweizen – 15 dt) vorgenommen wird (Maximaldüngung) und ein Vergleich mit extensiv und nicht gedüngten Varianten erfolgt. Sowohl die Ermittlung der Sickerwassermenge als auch der –beschaffenheit wird dekadenweise durchgeführt. Im Verlauf der Vegetationsperiode wird auch eine Bestimmung von chemischen Parametern im

Grund- und Beregnungswasser vorgenommen, um vollständige Stoffbilanzen ermitteln zu können.

Tab. 7 Bewirtschaftungsregime der Grundwasserlysimeter in Polkovo für das Versuchsjahr 1998

Lys.Nr./ Grundwasserflurabstand	Anbaufrucht	Düngungsniveau			
		N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Stalldung (t/ha)
Grundwasserstand 1,1 m unter GOK					
7	Kartoffeln	30	50	50	20
8	Kartoffeln	90	120	120	20
9	Kartoffeln	30	50	50	100
10	Kartoffeln	90	120	120	100
Grundwasserstand 1,5 m unter GOK					
13	Hafer	0	0	0	0
14	Hafer	60	40	40	0
15	Hafer	120	80	80	0
Grundwasserstand 1,5 m unter GOK					
16	W.Weizen	0	0	0	0
17	W.Weizen	60	60	60	20
18	W.Weizen	130	120	90	20

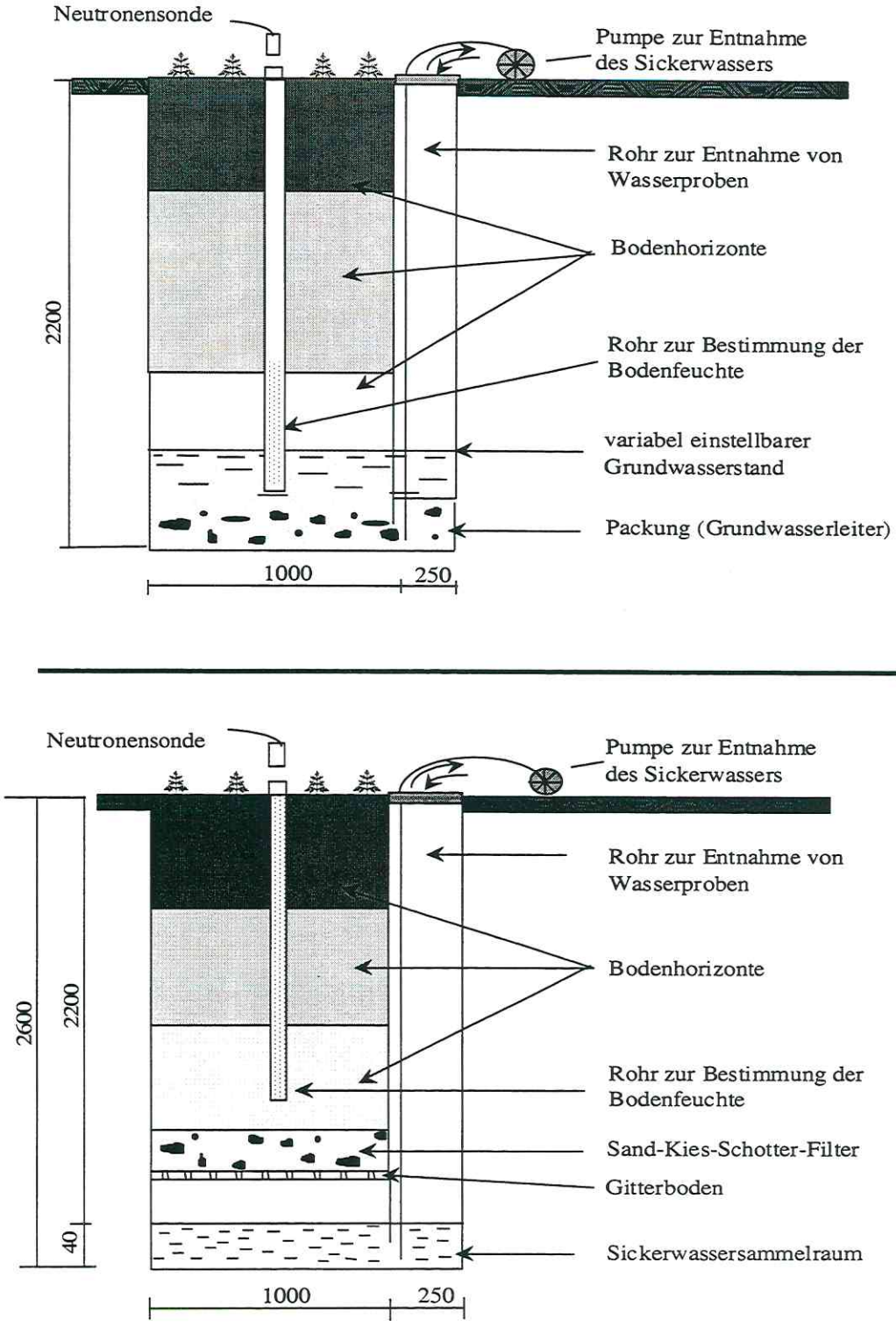


Abb. 3 Prinzipskizze der in der VNIIGiM-Lysimeteranlage in Polkovo (bei Rjasan, Rußland) eingesetzten monolithisch gewonnenen Gravitationslysimeter mit (oben) und ohne variabel einstellbarem Grundwasserstand

Einen Überblick über die im Sickerwasser gemessenen mittleren NO_3- und NH_4-Konzentrationen sowie die Erträge gibt Tab. 8.

Tab.8 Vergleich der im Sickerwasser gemessenen Nitrat- und Ammonium-konzentrationen sowie der Erträge bei differenzierter Düngung und variablem Grundwasserstand (Versuchsjahr 1998)

Lys.Nr.	Fruchtart	Mittlere Sickerwasserkonzentration (mg/l)		Ertrag (dt/ha)
		NO_3	NH_4	
7	Kartoffeln	1,72	0,20	181,00
8	Kartoffeln	0,00	22,50	445,00
9	Kartoffeln	0,00	1,00	400,00
10	Kartoffeln	3,44	0,00	463,00
13	Hafer	2,41	0,00	7,20
14	Hafer	0,96	0,00	19,60
15	Hafer	0,00	3,00	27,80
16	W.Weizen	3,44	0,00	8,70
17	W.Weizen	25,80	22,50	22,30
18	W.Weizen	25,80	15,00	28,60

Aus den aufgezeigten Ergebnissen wird ersichtlich, dass ein Anstieg der N-Düngung mit einem deutlichen Ertragszuwachs verbunden ist. Dieser führt aber nicht in jedem Fall zu geringeren N-Konzentrationen im Sickerwasser. Dieses Resultat deckt sich auch mit Auswertungen eigener Versuche, in denen signifikante Abhängigkeiten zwischen der Höhe des erzielten Ertrages und der applizierten N-Düngermenge ermittelt wurden (Meißner et al., 1995).

4.2 Repräsentative Kleineinzugsgebiete (Mesoskalenbereich)

4.2.1 Untersuchungsgebiet „Schaugraben“ (norddeutsches Tiefland der Elbe)

4.2.1.1 Physisch-geographische und hydrologische Beschreibung des Einzugsgebietes

Das Untersuchungsgebiet „Schaugraben“ gehört mit einer oberirdischen Einzugsgebietsfläche von ca. 24 km^2 zum Altmärkischen Hügel- und Niederungsgebiet und liegt etwa 15 km südlich von der Lysimeterstation Falkenberg (Sachsen-Anhalt, Landkreis Stendal) entfernt. Der mittlere langjährige Gebietsniederschlag, gemessen auf der meteorologischen Station in Seehausen/Altmark, liegt bei 556 mm. Bei einem mittleren Grundwasserflurabstand von ca. 1 - 2 m (in Schaugrabennähe), der territorial stauwasserbeeinflusst ist, wird aus durchschnittlichen Niederschlagswerten von 500 bis 550 mm/a (ermittelt auf der Basis von Isolinien entsprechend der Niederschlagskarte des Hydrographischen Kartenwerks 1901-1950 nach Liebscher und Keller, 1979), eine Verdunstungshöhe von 450 bis 520 mm/a abgeleitet und eine jährliche potentielle Sickerwasserhöhe im Gebiet von 50 - 100 mm errechnet (Wendland et al., 1993). Die für das Gebiet weiterhin vorgenommene Auswertung von Deckfolien (**N**iederschlags-**A**bfluss-**U**nterschieds- **Karten**), unter Berücksichtigung der Niederschlagsreihe zwischen 1931 und 1960, ergab für den Bezugszeitraum mittlere jährliche Niederschläge zwischen 607 und 615 mm sowie Verdunstungswerte von 470 bis 515 mm. Die mittleren jährlichen Abflüsse variierten von 95 mm im Quellbereich des Schaugrabens bis zu 145 mm im Mündungsbereich (Dottermusch, 1982).

Das Gebiet zwischen Osterburg und Erxleben wurde im Pleistozän gebildet. Im Oberboden wird als Bodenart in einer Tiefe bis zu 3 bzw. 7 dm humoser, schwach lehmiger bis lehmiger Sand angetroffen. Darunter steht bis zu einer Tiefe von 3 m größtenteils Sand an, der mit unterschiedlich starken sandigen Lehm- bis Lehmschichten durchsetzt ist. Der an einigen Stellen (z.B. Grünlandflächen im Teileinzugsgebiet 2) bereits in einer Tiefe von ca. 8 dm anzutreffende Lehm, der ab etwa 12 dm von Ton abgelöst wird, führt bei Grundwasserbeeinflussung zu dem bereits erwähnten Stauwassereinfluss in einer Tiefe von ca. 1,5 m.

Die Bodenzahlen des Einzugsgebietes liegen zwischen 30 und 40.

Bei den hier anstehenden sandig-lehmigen Böden bewegt sich die Feldkapazität zwischen 14 bis 26 mm/dm, die nutzbare Feldkapazität liegt zwischen 12 und 18 mm/dm. Die Durchwurzelungstiefen werden mit 7 bis 9 dm als hoch eingeschätzt. In Anlehnung an Wendland et al. (1993) werden die Denitrifikationsbedingungen für den im Gebiet anstehenden Bodentyp - Braunerde - als mittelmäßig eingestuft. Die Reliefenergie liegt unter 25 m/km^2; daraus resultiert eine geringe Neigung zur Wassererosion.

Die grundwasserführenden Gesteinseinheiten des Schaugrabens sind überwiegend Sande und Kiese. Die Durchlässigkeit dieser Gesteinseinheiten liegt zwischen 17,28 und 34,56 m/d. Der nutzbare Hohlraumanteil im Aquifer liegt bei 10 bis 15%.

Grundlage zur Ermittlung der hydraulischen Gradienten (Grundwassergefälle) sind die Grundwassergleichenpläne. Das Gefälle wurde für das Gebiet mit 0,0017 berechnet und korrespondiert mit Angaben aus dem Hydrologischen Kartenwerk der früheren DDR, die sich zwischen 0,001 - 0,0025 bewegen. Diese Fließverhältnisse sind typisch für den norddeutschen Flachlandbereich. Aus dem geringen Gefälle resultieren auch kleine mittlere Abstandsgeschwindigkeiten von 0,2 m/d bzw. 0,1 bis 0,5 m/d. Werden die maximalen Verweilzeiten für den Teil des Grundwassers im Aquifer, der dem Hauptvorfluter zuströmt, mit für das Norddeutsche Flachland typischen 10 bis 60 Jahren eingeschätzt, errechnet sich für die Bedingungen des Schaugrabens eine Fließzeit von etwa 1,4 Jahren bei einer Fließstrecke von 100 m bzw. 20 Jahre bei einer Fließstrecke von 1500 m.

Nach Untersuchungen von Dannowski et al. (in Werner und Wodsak, 1994) besitzen flussnahe Gebiete mit grundwassernahen und zum Teil vermoorten Auen sowie häufig gedränten Arealen im Bereich grundwasserferner Grund- und Endmoränen mit oberflächennahen Stauhorizonten und kurzen Transportwegen zu den Vorflutern ein besonders hohes Stoffeintragspotential. Das ausgewählte Untersuchungsgebiet „Schaugraben“ weist viele dieser charakteristischen Strukturen auf und ist aus hydrologischer Sicht für Untersuchungen zur Ermittlung des Einflusses von Landnutzungsänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt besonders geeignet.

4.2.1.2 Teileinzugsgebiete

Für die seit 1991 durchgeführten Arbeiten im Bereich des Schaugrabens wurde das Kleineinzugsgebiet zunächst in 4 Teileinzugsgebiete mit folgenden Größen gegliedert:

Teileinzugsgebiet FE 1: 693 ha
Teileinzugsgebiet FE 2: 1413 ha
Teileinzugsgebiet FE 3: 2135 ha
Teileinzugsgebiet FE 4: 2429 ha

Zu Beginn der Bearbeitung dieses Projektes wurde eine Präzisierung der vorhandenen Teileinzugsgebiete und darüber hinaus eine Ausweitung der Messungen am Schaugraben bis zur Einmündung in die Uchte vorgenommen. Entsprechend der Vorgehensstrategie im Elbe-Ökologie-Projekt sollten hiermit die Voraussetzungen zur Übertragung der in diesen Teileinzugsgebieten gewonnenen Ergebnisse auf eine größere Maßstabsebene (Einzugsgebiet Uchte-Aland) geschaffen werden. Es wurde auf der Grundlage der aktuellen topographischen Karten 1: 10 000 ein GIS- Höhenmodell erstellt und das oberirdische Regeneinzugsgebiet des Schaugrabens von seinem Ursprung im Waldgebiet nördlich der Ortslage Rochau bis zur Einmündung in die Uchte in insgesamt sechs Teilgebiete gegliedert (Abb. 4). Dafür wurden 3 neue Messpegel (MP) eingerichtet. Zusätzlich wurde am alten Gebietsausgang – jetzt Pegel 5 (vorher Pegel 4) eine automatische Pegelstation mit integrierter Niederschlagsmessung etabliert.

Im folgenden wird eine kurze Beschreibung der einzelnen Messstellen vorgenommen. Die eingefügten Abbildungen 5 bis 8 vermitteln einen visuellen Eindruck über die zu Beginn der kontinuierlichen Messungen im März 1997 herrschenden Bedingungen an ausgewählten Pegeln im Schaugraben.

Pegel 1 (Teileinzugsgebiet 1= 612 ha) befindet sich unmittelbar hinter der Schaugrabenüberfahrt Polkau - Ziegenhagen (B 189). Er umfasst die Zuflüsse aus den dränierten Ackerflächen, den südlich gelegenen Waldgebieten und dem Niederungsgebiet östlich von Ziegenhagen (Abb. 5).

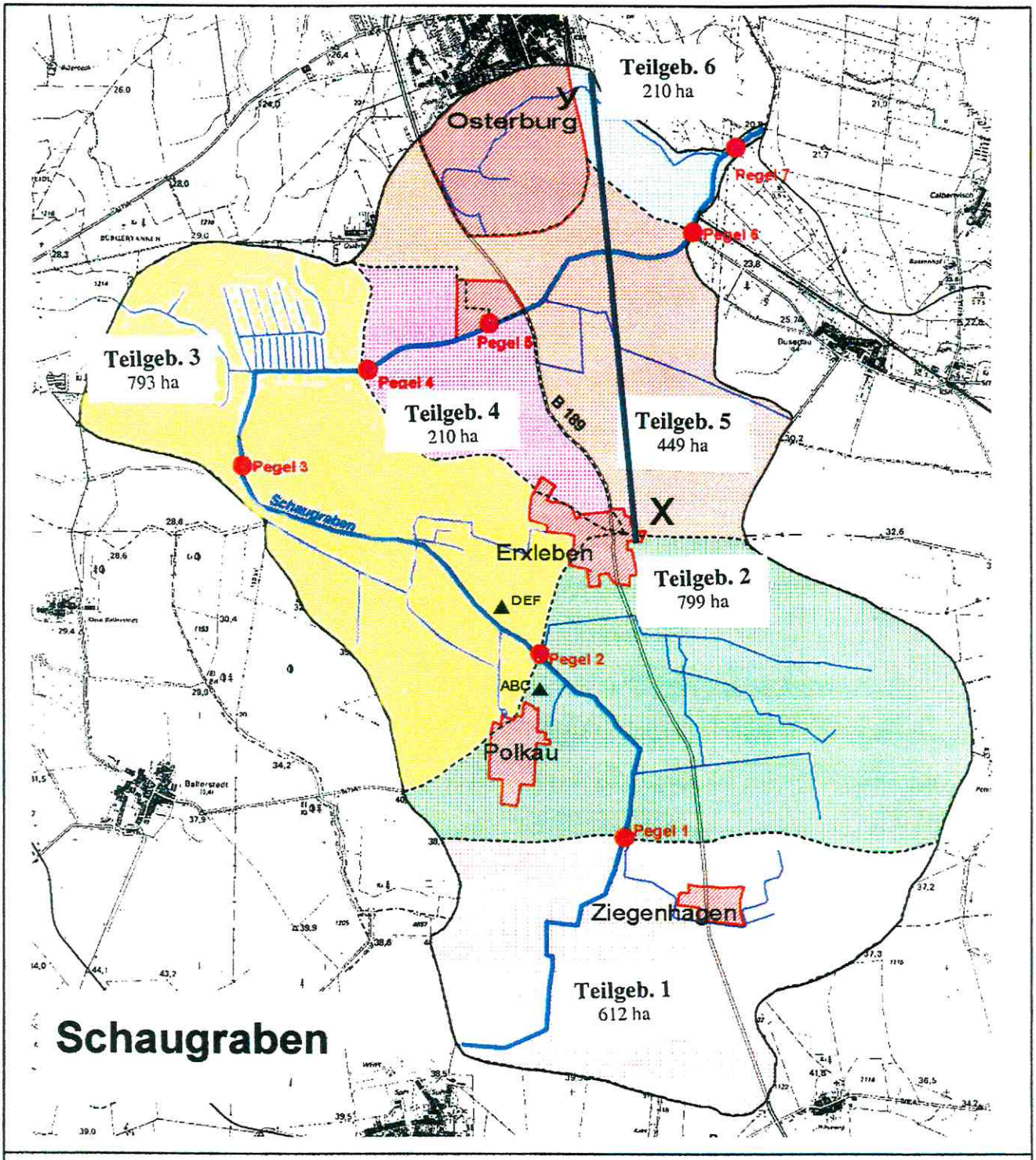


Abb. 4 Kleineinzugsgebiet "Schaugraben" im norddeutschen Tiefland der Elbe

Abb. 5 Blick auf den trocken gefallenen Schaugraben hinter Pegel 1 (März 1997)

Pegel 2 (Teileinzugsgebiet 2 = 799 ha; • 612 ha + 799 ha = 1411 ha) befindet sich an der Straßenbrücke zwischen Erxleben und Polkau. Um den nordwestlich vor der Brücke in den Schaugraben einmündenden Zufluss mit zu erfassen, wurden die Mengen-/ Gütebestimmungen hinter der Brücke durchgeführt (Abb. 6).

Abb. 6 Blick auf den Schaugraben am Pegel 2 (März 1997)

Pegel 3 - Zwischenpegel zur Erfassung von Dränagen wurde neu eingerichtet. Er befindet sich hinter der Überfahrt des Fahrradweges von Erxleben nach Storbeck/Flessau.

Pegel 4 (Teileinzugsgebiet 3 = 793 ha; • 612 ha + 799 ha + 793 ha =2204 ha) war ursprünglich Pegel 3 und liegt unmittelbar hinter dem Durchlass der Überfahrt über den Schaugraben südlich der Siedlung Osterburg. Der nord- und südliche Teil des Teileinzugsgebietes wird als Grünland (anmoorig) und der östliche Teil ackerbaulich genutzt.

Pegel 5 (Teileinzugsgebiet 4 = 210 ha; • 612 ha + 799 ha + 793 ha + 210 ha = 2414 ha) war ursprünglich Pegel 4 und bildete für die überwiegend landwirtschaftlich genutzten vier Teileinzugsgebiete den „Summenpegel" für die Immissionserfassung aus den diffusen Quellen. Nachdem die Dörfer Erxleben und Polkau ab etwa 1993 an ein zentrales Abwassernetz angeschlossen wurden, konnten die diffusen Stoffausträge dieser Flächen (Emissionen) mit den ermittelten Stofffrachten im Schaugraben in Beziehung gesetzt werden. Für die Erfassung des Durchflusses und ausgewählter Qualitätsparameter wurde eine kontinuierlich arbeitende automatische Mengen- Güte- Station ISCO 6700 in Verbindung mit einem definierten Grabenprofil genutzt (Abb. 7).

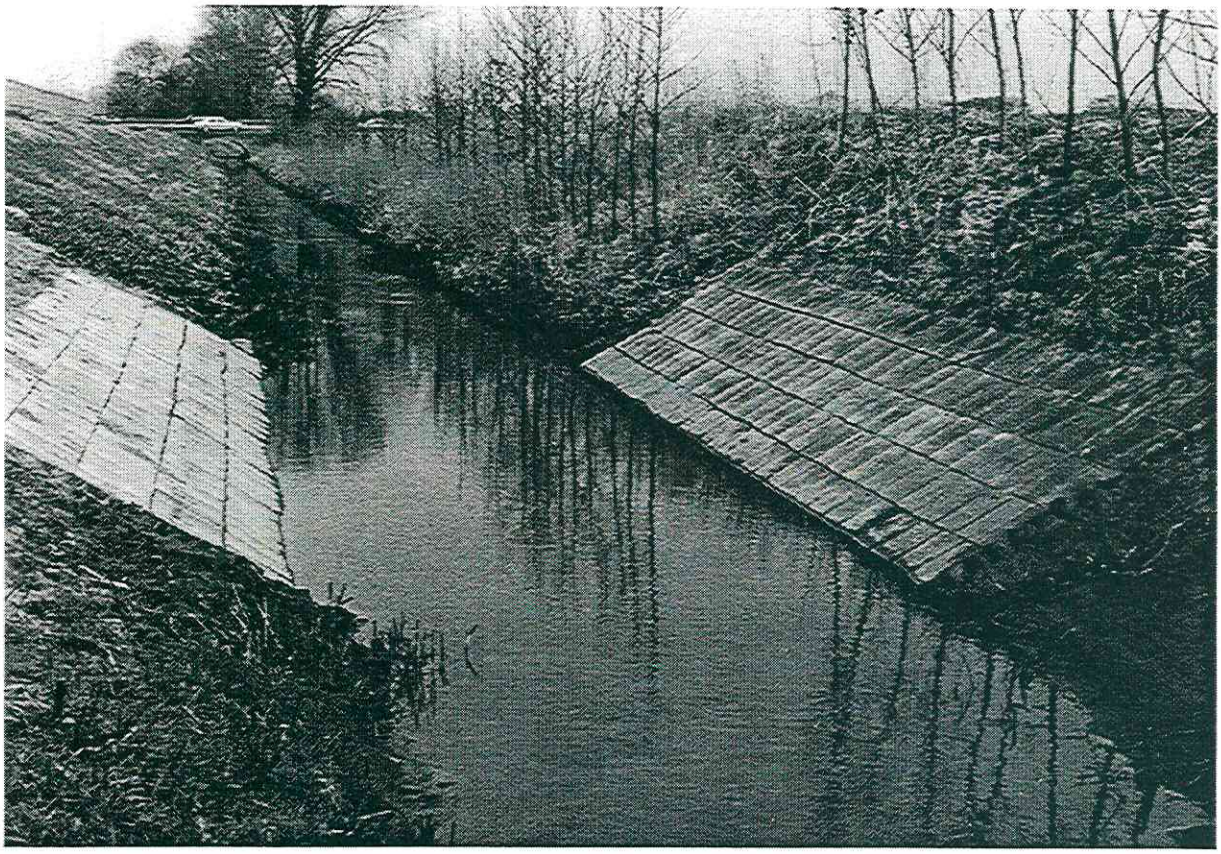


Abb. 7 Blick auf das definierte Grabenprofil für den automatischen Pegel 5 im Schaugraben (März 1997)

Pegel 6 (Teileinzugsgebiet 5 = 449 ha; • 612 ha + 799 ha + 793 ha + 210 ha + 449 ha = 2863 ha) ist ein neuer Pegel, der an der Straßenbrücke zwischen Osterburg und Düsedau liegt. Neben diffusen Einträgen aus den südlich des Schaugrabens

befindlichen landwirtschaftlichen Flächen kann es vor allem zu punktuellen Einträgen aus dem Gewerbegebiet nördlich des Schaugrabens kommen.

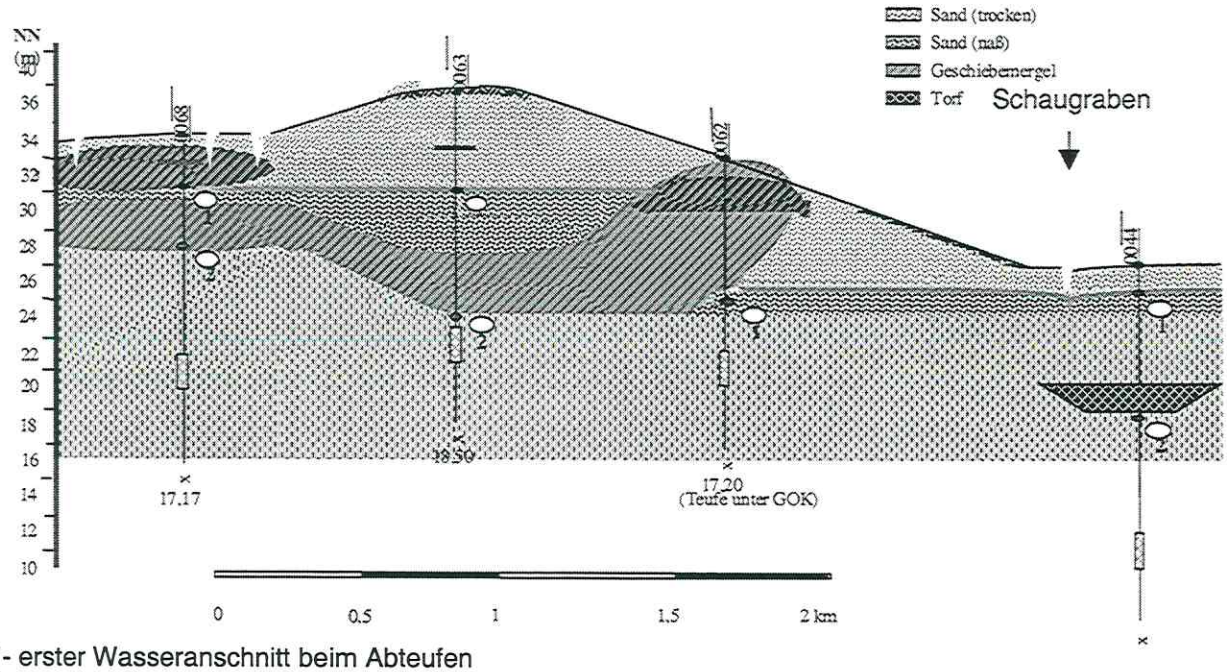
Pegel 7 (Teileinzugsgebiet 6 = 210 ha; • 612 ha + 799 ha + 793 ha + 210 ha + 449 ha + 210 ha = 3073 ha) liegt als letzter Pegel unmittelbar vor der Einmündung des Schaugrabens in die Uchte. Hier überwiegt extensiv genutztes Weideland. Punktförmige Einleitungen aus dem Gebiet um Osterburg sind zeitweilig möglich.

Als Vergleichswerte wurden sporadisch Güteparameter aus der Uchte bestimmt. Der Entnahmeort lag ca. 10 m vor der Einmündung des Schaugrabens in die Uchte. Zur Uchte hin ist ein hoher Grundwassergradient vorhanden (Abb. 8).

Abb. 8 Blick auf den Schaugraben hinter Pegel 7, kurz vor der Einmündung in die Uchte (März 1997)

Zur Charakterisierung der hydrologischen Situation im Untersuchungsgebiet wurde ein von Süden nach Norden verlaufender Schnitt X – Y angefertigt (Abb. 9, vgl. hierzu auch Abb. 4). Gut zu erkennen sind hier die als Stauer wirkenden Geschiebemergelschichten. Der über dem ersten Stauer oberflächennahe, lokal verbreitete, ungespannte Grundwasserleiter ist größtenteils ungeschützt und saisonal teilweise ohne Wasserführung. Nur im Uchtetal ist seine Wasserführung ständig vorhanden. Der zweite Grundwasserleiter beinhaltet gespanntes Grundwasser und ist deshalb gegenüber Schadstoffeintrag gut geschützt. Die Grundwasserfließrichtung verläuft im oberen Teil annähernd von Süd nach NNO, wobei der Schaugraben teilweise unterströmt wird. Im unteren Teil des Untersuchungsgebietes (hinter Pegel 3) verläuft die Grundwasserfließrichtung fast parallel zum Schaugraben in Richtung Uchte. Der Hauptgrundwasserleiter wird vom Schaugraben mehrmals angeschnitten (Pegel 5).

Der Schnitt durch das Untersuchungsgebiet „Schaugraben" macht deutlich, dass die Anlage von Migrationsversuchen mit konservativen Tracern über den Pfad: ungesättigte Bodenzone - gesättigte Zone (Grundwasserleiter) – Oberflächengewässer (Schaugraben) nur dort möglich ist, wo sich ein Stauer unmittelbar in der Nähe der Grabensohle befindet bzw. nicht zu weit vom Vorfluter Schaugraben entfernt liegt. Diese Bedingungen sind vor dem Pegel 2 sowie zwischen den Pegeln 3 und 4 gegeben. Leider konnte aufgrund der 1997/98 im Gebiet angetroffenen hydrologischen Situation zunächst kaum eine Grundwasserbewegung festgestellt werden. Erst durch den Einsatz des Seepage-Messgerätes nach Driescher (1991/92) im Herbst 1998 konnte zwischen den Pegeln 2 und 3 (in der Nähe der bereits in Beprobung befindlichen Grundwasserbeobachtungsrohre DEF) ein gut durchströmter Grundwasserleiter lokalisiert werden. Es ist vorgesehen, hier in einem neuen Projekt Spezialuntersuchungen über den N-Transport und N-Umsatz während der Boden- und Grundwasserpassage bis zum Wiedereintritt in den Vorfluter durchzuführen.



1- erster Wasseranschnitt beim Abteufen
2- zweiter Wasseranschnitt beim Abteufen
.....- Ruhewasser im Grundwasserrohr

Abb. 9 Überhöhter hydrogeologischer Schnitt durch das Schaugrabengebiet südlich von Osterburg in Süd-Nord-Richtung nach den Schichtenverzeichnissen 0068, 0063, 0062 und 0044

An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass die Ergebnisse der Messungen an allen 7 Messpegeln bei den Autoren vorliegen und als Datenbais für weiterführende Untersuchungen genutzt werden. Jedoch wurde in diesem Projekt bei der Ermittlung der N-Emissions- und N-Immissionswerte aus Gründen der Berücksichtigung und Integration früherer Untersuchungen sowie der Ausgliederung von urbanen Einflüssen (Stadtgebiet Osterburg, Pegel 6) keine Erweiterung der Bezugsfläche vorgenommen. Es ergibt sich damit für die N-Emissions- und N-Immissionsabschätzung nach der Präzisierung der Messstellen folgende Zuordnung:

Teileinzugsgebiet FE1 = Messpegel MP1
Teileinzugsgebiet FE2 = Messpegel MP2
Teileinzugsgebiet FE3 = Messpegel MP3 + MP4
Teileinzugsgebiet FE4 = Messpegel MP5 (automatischer Pegel am Gebietsausgang)

4.2.1.3 Landnutzung

Die Nutzung der Flächen im Kleineinzugsgebiet „Schaugraben" erfolgte bereits vor 1990 ausschließlich landwirtschaftlich. Die größenmäßige Aufteilung nach der Art der Bodennutzung gestaltete sich zu Beginn der Arbeiten im Jahre 1991 für das gesamte Kleineinzugsgebiet wie folgt:

Ackerland	1483 ha
Grünland	523 ha
Wald	372 ha
versiegelte Flächen	48 ha
Ödland	3 ha

Dabei waren in den 4 Teileinzugsgebieten die in Tabelle 9 zusammengestellten prozentualen Flächenanteile anzutreffen.

Tab. 9 Prozentuale Aufteilung der Flächennutzung in den Teileinzugsgebieten

Teilgebiet	Waldnutzung	Grünlandnutzung	Ackernutzung
FE1	40,4	2,5	55,4
FE2	7,0	13,8	74,3
FE3	7,1	34,6	56,9
FE4	1,7	0,0	92,8

Die mit der politischen Wende einher gehende Umstrukturierung der intensiv betriebenen Landwirtschaft führte ab 1990 zunehmend zu einer marktorientierten Bewirtschaftung der Flächen und somit zu einer damit verbundenen Abkehr von der ausschließlichen Etablierung traditioneller Fruchtfolgen. Mit den sich auf den Ackerflächen sukzessive vollziehenden Änderungen in der Landbewirtschaftung ist das Gebiet somit durchaus als repräsentativ für viele Flächen in den neuen Bundesländern anzusehen.

Zur Erfassung der Landnutzungsänderungen wurden seit 1991 jährlich Bestandsaufnahmen der Nutzungsstruktur im Kleineinzugsgebiet durchgeführt. Basierend darauf wurden in Tab. 10 die prozentualen Anbauflächen der einzelnen Kulturen für den gesamten Untersuchungszeitraum bis 1999 zusammengestellt.

Tab.10 Darstellung der Landnutzungsanteile (in %) im Untersuchungsgebiet „Schaugraben“ während des Zeitraumes 1991 - 1999

Landnutzung, Kulturen	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Grünland	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Wald	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1
Versiegelt	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Stilllegung	0,3	8,6	8,2	8,2	5,2	7,2	6,7	6,2	6,5
Getreide	30,2	32,7	33,0	29,0	23,7	32,9	24,9	34,6	24,6
Mais	9,7	3,1	5,8	5,1	8,6	15,6	13,1	10,3	6,2
Zuckerrüben	3,3	2,6	0,0	1,8	6,4	2,6	7,9	5,3	1,8
Luzerne	4,7	4,7	2,7	0,6	2,2	0,7	7,0	3,5	5,6
Kartoffeln	0,5	2,3	0,0	1,9	4,8	0,3	0,0	0,0	0,0
Raps	8,4	4,8	4,3	4,5	5,2	2,6	5,0	2,4	6,3
Ölleinen/ Sonstige*	4,4	0,9	6,2	3,1	8,4	3,0	0,0	2,3	12,3
Nicht klassifiziert	3,1	4,9	4,4	10,3	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0

*)ab 1999 nur noch Öllein und Erbsen (vorher auch Sonnenblumen und Kleegras)

Die daraus erhaltene Spannbreite der Änderungen der Landnutzungsanteile für die Anbaufrüchte ist in Abb. 10 dargestellt. Daraus ist neben den stabilen Anteilen für Wald, Grünland und versiegelte Flächen ersichtlich, dass die Höhe der Anbauanteile für die Früchte auf den ackerbaulich genutzten Areale im Untersuchungszeitraum z.T. erheblich schwankt. Durchgeführte Trendanalysen lassen eine tendenzielle Zunahme der Anbauflächen für die Flächenstilllegung sowie bei den Früchten Mais, Zuckerrüben, Luzerne und Sonstiges (Öllein, Erbsen, Sonnenblumen und Kleegras) erkennen, auf Kosten der Anbauflächen für Getreide, Kartoffeln und Raps. Dies deutet einerseits auf Tendenzen der Extensivierung, andererseits aber auch auf Intensivierungsmaßnahmen auf bestimmten Flächen zur Verwertung von Gülle hin. Darüber hinaus ist eine rasche Orientierung am Markt und der verstärkte Anbau subventionierter Ackerfrüchte zu verzeichnen.

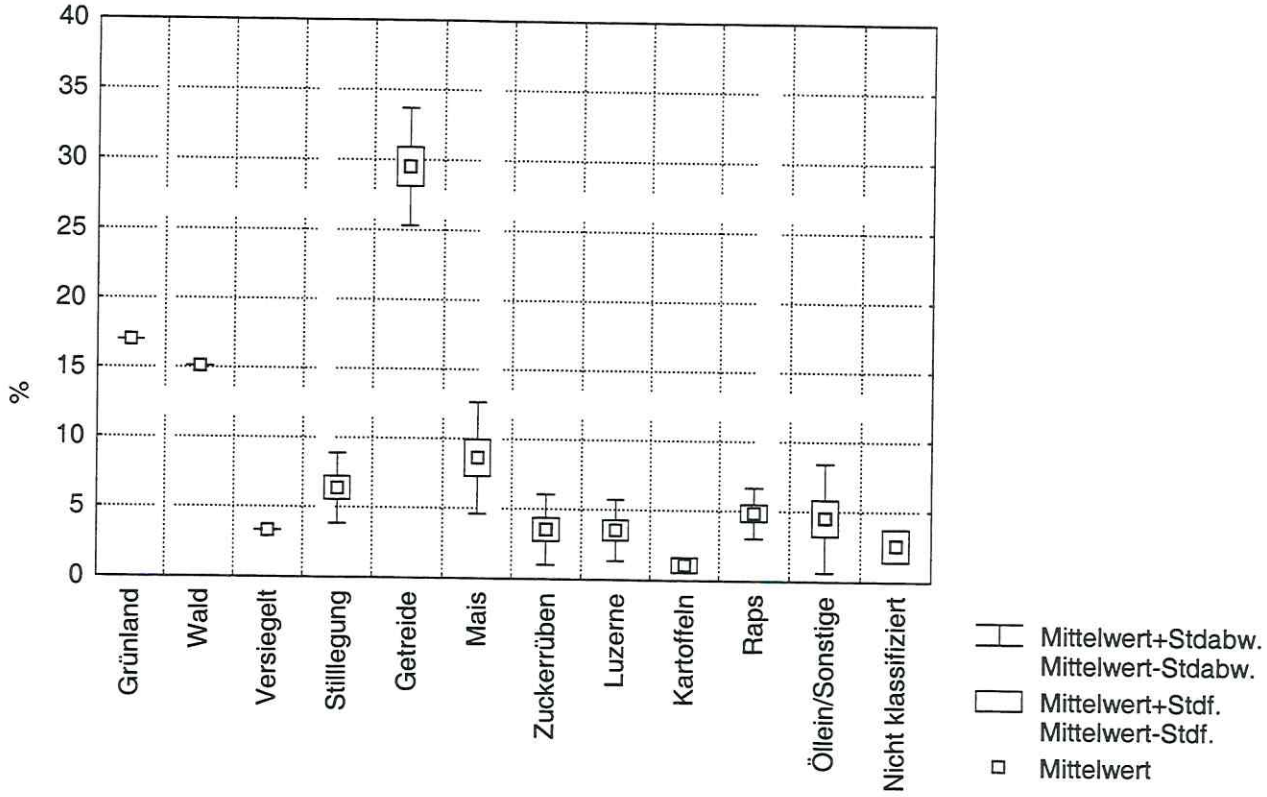


Abb. 10 Spannbreite der Änderung der Landnutzungsanteile im Untersuchungsgebiet „Schaugraben" für den Versuchszeitraum 1991 - 1999

4.2.1.4 Niederschlagsmessungen

Seit Beginn der Arbeiten im Untersuchungsgebiet wurden aufgrund der räumlichen Nähe zwischen der Lysimeterstation in Falkenberg und dem Schaugrabengebiet (ca. 15 km Luftlinie) die Monats- und Jahresniederschlagsmengen der Lysimeterstation als Bezugsgrößen (Berechnung der Grundwasserneubildung etc.) für die Freilandflächen herangezogen (Tab. 11).

Tab. 11 Zusammenstellung des jährlichen Niederschlagsdargebotes (in mm) im Untersuchungszeitraum 1991 – 1999, gemessen an der UFZ-Lysimeterstation in Falkenberg

Hydrologisches Jahr	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Niederschlagsmenge	435	550	701	764	505	441	434	650	506

Um der großen Bedeutung, die einer möglichst genauen Messung der Niederschlagshöhe bei der Ermittlung von Stoffausträgen (bei Berechnungen, Modellierung) aus einem Gebiet zukommt, Rechnung zu tragen, wurde 1997 eine automatische Niederschlagserfassung (integrierter Regenschreiber der automatischen, ereignisgesteuerten Mengen-/Gütestation) am Ausgang des Untersuchungsgebietes (Pegel 5) installiert. Dadurch war es möglich, seit Anfang Mai 1997 auf Vorort-Messungen zurückgreifen zu können und diese zunächst bis Ende Oktober 1999 mit den Messwerten aus Falkenberg direkt zu vergleichen. Innerhalb dieses Versuchszeitraumes kam es leider durch wiederholte mechanische Beschädigung des Übertragungskabels zu mehreren Ausfällen der automatischen Erfassung, so dass keine Vergleiche zusammenhängender hydrologischer Jahre möglich waren. Im Einzelnen zeigte eine Gegenüberstellung der täglichen Niederschlagsereignisse zwischen der automatischen Mengenerfassung am Pegel 5 des Untersuchungsgebietes „Schaugraben" und den in 1 m Höhe auf der Lysimeterstation in Falkenberg gemessenen Werten eine unterschiedliche Dominanz der Starkregenereignisse (Abb. 11).

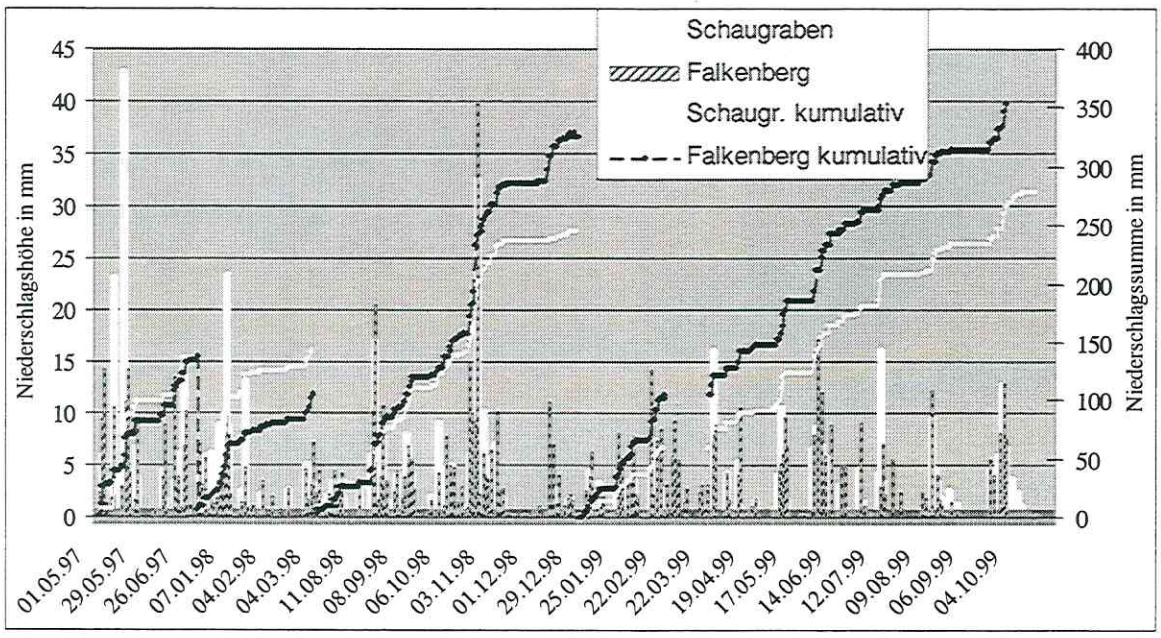


Abb. 11 Vergleich der automatisch ermittelten Niederschläge im Einzugsgebiet „Schaugraben" mit den manuell erfassten Mengen auf der Lysimeterstation in Falkenberg

Während im Frühjahr 1997 und im Winter 1998 die Maximalwerte im Schaugrabengebiet auftraten, war dies im Herbst 1998 in Falkenberg der Fall. Geringere Niederschlagsmengen von 2 bis 3 mm wurden dagegen häufiger in Falkenberg erfasst.

Eine Summierung der Niederschlagsmengen in den Zeiträumen mit paralleler Bestimmung ergab für die Lysimeterstation in Falkenberg 847 mm und an der automatischen Station im Schaugrabengebiet 714 mm. Der Mehranfall an der Falkenberger Station betrug somit 16% (Tab.12).

Tab.12 Vergleich von zeitgleich gemessenen Niederschlagsmengen (in mm) auf der Lysimeterstation in Falkenberg und im Schaugrabengebiet

Messort	Messzeitraum					Σ
	05-06/97	01/97-02/98	08-12/98	01-02/99	04-09/99	
Falkenberg	135,0	69,6	304,4	104,9	233,0	846,9
Schaugraben	137,4	107,9	224,9	59,7	184,6	714,5

Es war aus dieser Gegenüberstellung kein einheitlicher Trend zwischen den beiden Standorten zu erkennen. Deshalb wurde der Frage nachgegangen, ob diese Unterschiede auf die Verwendung unterschiedlicher Messtechniken (manuelle Niederschlagsmessung in Falkenberg mit Hellmann-Regenmesser und automatische Niederschlagsmessung am Schaugraben) zurückzuführen sind (bei Versuchen in Falkenberg wurden Differenzen zwischen manuell und automatisch gemessenen Werten von bis zu 30% festgestellt). Es wurde daher neben der automatischen Station ebenfalls ein Hellmann-Regenmesser installiert und wöchentlich ausgelitert. Ein erster Trend zeigte nur geringfügige Differenzen zwischen beiden Gefäßen und auch noch keine messtechnisch bedingte kontinuierliche Mehr- oder Mindererfassung durch ein System. Die Unterschiede zwischen den beiden Messorten Falkenberg und Schaugrabengebiet, die nur ca. 15 km voneinander entfernt liegen, scheinen also in erster Linie starkregen- und somit territorial bedingt zu sein. Die ermittelte Differenz von lediglich 16% lag allerdings auch nur knapp außerhalb der von Ostapczuk (1994) ermittelten Schwankungsbreite von –15 bis +15% zwischen nebeneinander aufgestellten Niederschlagsmessern. Da die Differenzen nahezu im Toleranzbereich von Parallelmessungen lagen und während längerer Zeiträume die Wahrscheinlichkeit des Ausgleiches besteht, erscheint eine

Übertragung der Falkenberger Niederschlagshöhen auf das Untersuchungsgebiet als wissenschaftlich vertretbar.

4.2.1.5 Wasseruntersuchungen

4.2.1.5.1 Messprogramm

Die bereits im November 1992 im Flusslauf des Schaugrabens eingerichteten 4 Wassermengen/Güte-Messpunkte wurden im Vorfeld dieses Projektes in 2- und 4-wöchigen Abständen beprobt (Messpegel 1 bis 4 - alt; vgl. Abschnitt 4.2.1.2). Die Messqualität sowohl der Durchflüsse als auch der Güteparameter wurde 1997 durch die Installation eines kontinuierlich arbeitenden Mengen/Güte-Pegels am Gebietsausgang (Pegel 5) und wöchentliche Beprobungen der übrigen Messstellen (Messpegel 1 bis 7) entscheidend verbessert. Die ebenfalls seit 1997 in ausgewählten Dränagen und in 6 neu installierten Grundwassermesspegeln analysierten Kriterien sind gemeinsam mit einer Übersicht der verwendeten Messgeräte in Tab. 13 aufgeführt. Dabei wurden bis auf die teilweise durchgeführte vor Ort - Ermittlung von pH-Wert, O_2, Leitfähigkeit und Redoxpotential in den Wochenproben des Grund- und Oberflächenwassers sowie der Dränageausläufe alle Analysen im Labor der UFZ-Lysimeterstation in Falkenberg durchgeführt.

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass die im Rahmen des Projektes vorgenommene Ausdehnung der Anzahl der Messpegel bis zur Uchte als Grundlage für weiterführende Untersuchungen im Hinblick auf das gesamte Elbeeinzugsgebiet dienen soll. Entsprechend der Projektvorgabe bezieht sich diese Auswertung vorwiegend auf die N-Komponenten. Insgesamt stellen die Untersuchungen jedoch einen passfähigen Baustein in den noch laufenden Untersuchungen im BMBF Elbe-Ökologie-Projekt sowie den Arbeiten im UFZ-Verbundprojekt 2.1 „Flusslandschaft Elbe im Wandel“ dar.

Tab. 13 Zusammenfassende Darstellung der im Oberflächen-, Dränage- und Grundwasser erfassten Mengen- und Güteparameter

Kriterien	Oberflächenwasser		Dränage*)	Grundwasser	Messgerät
	Automatischer Pegel	Manuelle Pegel*)			
Durchfluss	X	X			Nautilus-Messflügel
Grundwasser-stand				X	Kabellichtlot
Stickstoff,ges.		X			N-Analysator-VAP 30
Nitrat	X	X	X	X	IC-DX 120
Nitrit	X	X	X	X	Photometer Merck SQ 118
Ammonium	X	X	X	X	Photometer Merck SQ 118
Phosphor,ges.	X	X	X	X	Photometer Merck SQ 118
Orthophosphat		X	X	X	Photometer Merck SQ 118
Chlorid	X	X	X	X	IC-DX 120
Sulfat	X	X			IC-DX 120
pH-Wert**)	X	X	X	X	WTW 323
Sauerstoff**)		X		X	WTW 323
Leitfähigkeit**)	X	X	X	X	WTW 323
Redoxpotential**)		X		X	WTW 323
Silizium		X			AAS Aanalyst 300
Kohlenstoff		X			TOC 5050A
Beprobungs-abstand	täglich	wöchentl.	wöchentl.	wöchentl.	

*) Eine kontinuierliche Beprobung im Wochenrhythmus konnte an den Messpegeln nur bei ausreichender Wasserführung ab Messstelle 3 durchgeführt werden; die Dränagen wurden nur bei Wasserführung, vor allem während des hydrologischen Winterhalbjahres, beprobt.

**) Für die Kriterien pH-Wert, Sauerstoff, Leitfähigkeit und Redoxpotential liegen in den Grund- und Oberflächenwässern sowie in den Dränageausläufen nur unvollständige Messreihen vor.

4.2.1.5.2 Oberflächenwasser

Im Vergleich zu früheren Durchflussuntersuchungen (die wegen der fehlenden Ausstattung mit Messtechnik dankenswerterweise unentgeltlich von der Abteilung Hydrologie des Staatlichen Umweltamtes Magdeburg, Außenstelle Osterburg, vorgenommen wurden) erfolgte, wie bereits zuvor beschrieben, mit Beginn des Projektes eine Umstellung der manuellen Messung auf den Wochenrhythmus und zusätzlich die Installation einer automatischen Mengen-/Güte-Station am Gebietsausgang (Pegel 5). Damit verbunden war sowohl eine Verbesserung der Erfassung hydrologischer Kenngrößen als auch der daraus resultierenden Berechnungen über die Stofffracht.

Einen Überblick über die am Pegel 5 in den hydrologischen Jahren 1998 und 1999 gemessenen Durchflüsse in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe geben die Abb. 12 und 13.

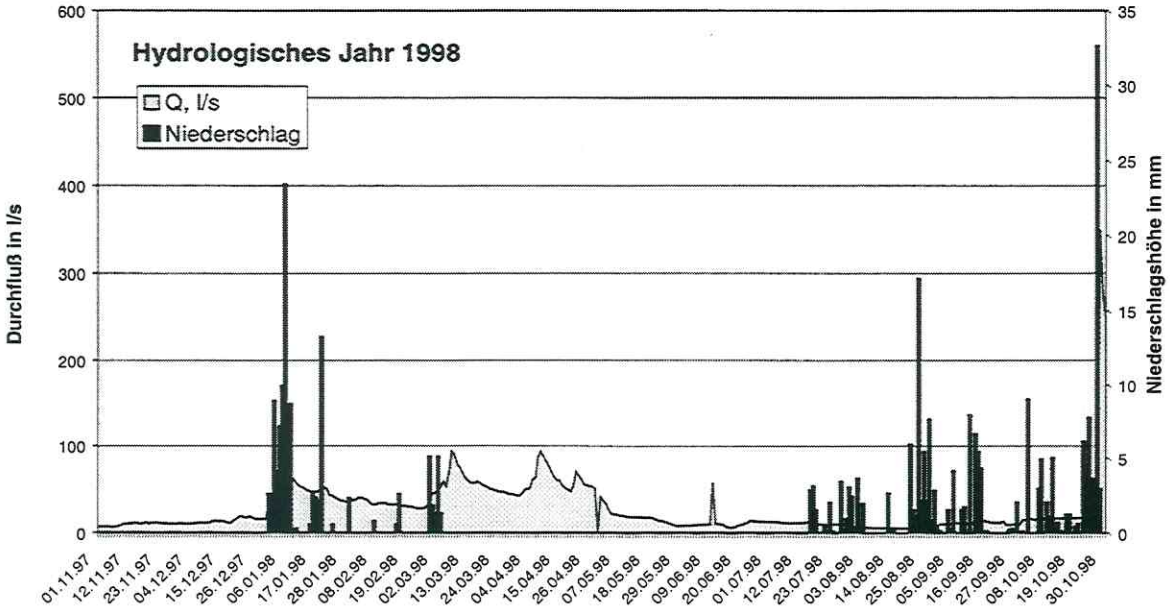


Abb. 12 Darstellung der Tagesmittelwerte des Durchflusses im Schaugraben (Pegel 5) im Vergleich zu täglichen Niederschlagsmengen im hydrologischen Jahr 1998

Die Darstellungen machen deutlich, dass es sich um Versuchsjahre mit stark unterschiedlichem Niederschlagsaufkommen handelt. Bestätigt wird

erwartungsgemäß der direkte Einfluss des Niederschlagsdargebotes auf die Durchflusshöhe, vor allem in den Wintermonaten. Zusätzlich erfolgte in dieser Zeit eine Durchflusssteigerung aus dem Zwischenabfluss der ungesättigten Bodenzone (sowohl bei Acker- als auch Grünlandnutzung) über unterirdisch verlegte Dränagen oder offene Gräben. So kam es jeweils im März zu den Spitzendurchflusswerten von 100 l/s 1998 bzw. 500 l/s 1999. In den Sommermonaten fiel der Schaugraben im oberen Teil des Untersuchungsgebietes teilweise trocken. Es kam in den Bereichen, in denen der Fluss mit dem oberflächennahen Grundwasser verbunden ist, zu einer Speisung des Schaugrabens durch den Basisabfluss. Es konnten während dieser Zeit lediglich Durchflüsse von 5 bis 20 l/s gemessen werden.

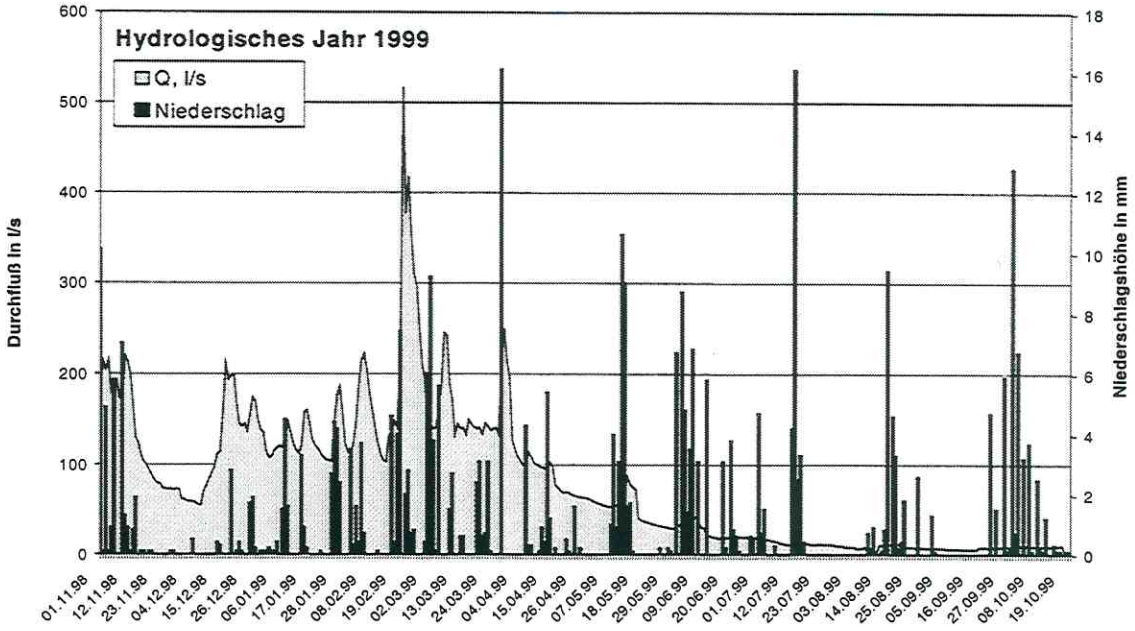


Abb. 13 Darstellung der Tagesmittelwerte des Durchflusses im Schaugraben (Pegel 5) im Vergleich zu täglichen Niederschlagsmengen im hydrologischen Jahr 1999

Auf die Größe der einzelnen Teilgebiete bezogen, ergaben die berechneten Gebietswasserabflussspenden der Sommer-/Winterhalbjahre die in Abb. 14 dargestellten Größenordnungen.

Der relativ größte Abflusszuwachs im Untersuchungsgebiet lag, unabhängig vom Niederschlagsdargebot, zwischen den Pegeln 2 und 3 im Teileinzugsgebiet FE3. In diesem Bereich wird der Schaugraben vom oberflächennahen Grundwasserleiter gespeist.

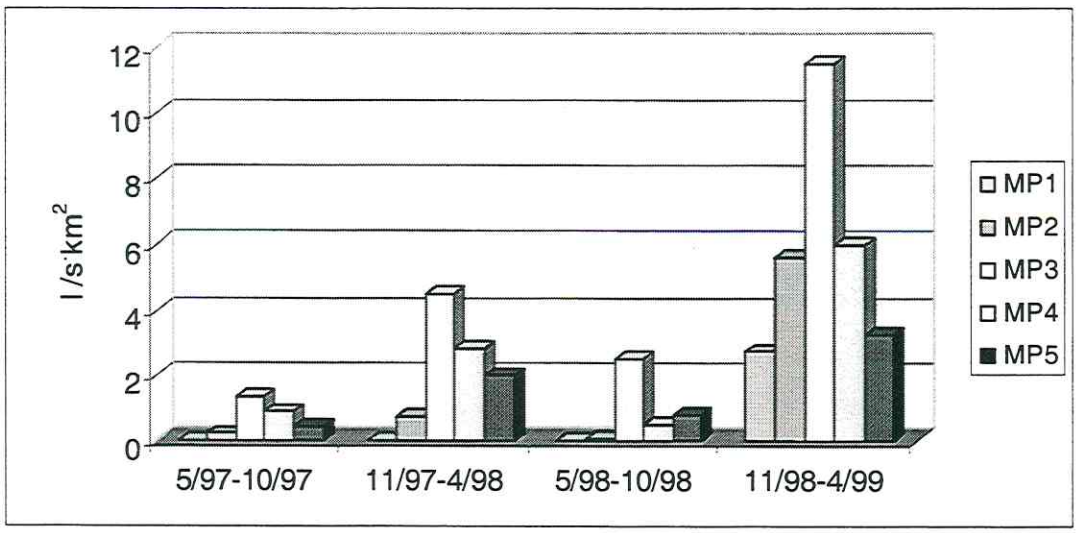


Abb. 14 Sommer- und Winter-Abflussspenden nach wöchentlich gemessenen Durchflüssen an den MP1 - MP5 im Untersuchungsgebiet „Schaugraben"

In Abb. 15 ist der zeitliche Verlauf der mit den jeweiligen Durchflüssen verbundenen NO_3-Konzentrationen am Pegel 5 während des Projektzeitraumes dargestellt. Die Grafik spiegelt gut die enge Korrelation zwischen Durchfluss und NO_3-Konzentration mit einem Korrelationskoeffizienten von r = 0,8 wider.

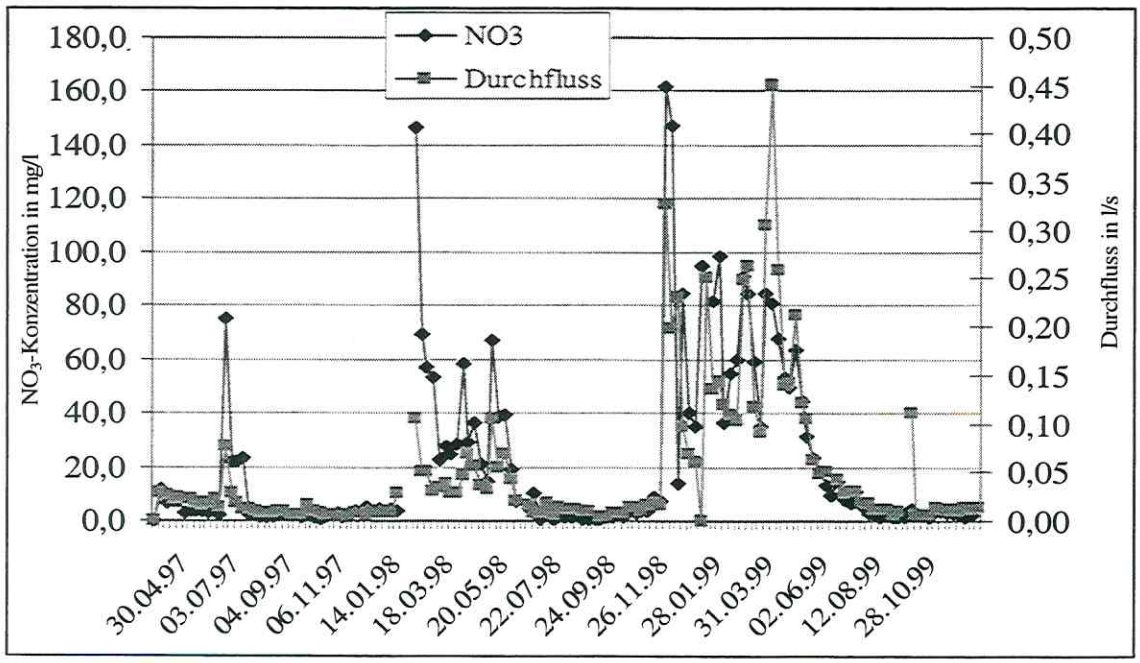


Abb. 15 Zeitlicher Verlauf der wöchentlich mit dem Durchfluss bestimmten NO_3-Konzentrationen am MP5 während des Projektzeitraumes

Ein in Tab. 14 durchgeführter Vergleich der NO_3-Konzentrationen (Median- und Perzentilwerte) bestätigte tendentiell für die 4 untersuchten Abschnitte Sommer 1997 und 1998 sowie Winter 1997/98 und 1998/99 an allen Messpegeln den bereits aus Abb. 14 nachvollziehbaren Konzentrationsverlauf für den Messpegel 5 am Gebietsausgang. Es wurden in beiden Sommerhalbjahren wesentlich geringere Werte als in den Wintermonaten gemessen. Da im Sommer, wie in Abschnitt 4.2.1.5.2 erwähnt, der Basisabfluss für die Speisung des Schaugrabens verantwortlich zeichnet (nachgewiesenermaßen besonders für den Bereich zwischen MP2 und MP3), sollte erwartungsgemäß die Größenordnung der NO_3-Konzentration sowohl im Grundwasser als auch im Oberflächenwasser des Schaugrabens vergleichbar sein. Bei den Winterwerten war das Konzentrationsniveau 1997/98 erheblich geringer. Das Niederschlagsdefizit des Zeitraumes 1996 und 1997 hatte ein Trockenfallen des Schaugrabens am MP1 bis zur Winterperiode 1998/99 zur Folge. Die hohen NO_3-Werte am MP1 und auch am MP2 resultierten dann aus den im Boden durch die niederschlagsarme Witterung zuvor akkumulierten umfangreicheren N-Mengen. Der starke Konzentrationsabfall zwischen MP2 und MP3 im Winter 1998/99 wurde zusätzlich durch den Verdünnungseffekt des zwischen MP2 und MP3 zufließenden oberflächennahen Grundwassers bewirkt (vgl. auch Abb. 14).

Tab. 14 Vergleich der NO_3-Konzentrationen in den Oberflächenwasserpegeln MP1 - MP5 (**MEDIANWERTE** sowie 10-und 90- Perzentilwerte in mg/l)

	Sommer 1997	Winter 97/98	Sommer 1998	Winter 98/99
MP1	-	-	-	**139,4**(81,3/174,2)
MP2	**1,7** (0,8/2,6)	**6,6** (1,9/29,2)	-	**74,8** (25,9/106,0)
MP3	**2,9** (1,8/4,0)	**8,2** (3,8/28,0)	**2,3** (1,9/4,0)	**46,4** (22,2/81,0)
MP4	**2,0** (1,3/4,8)	**19,3** (4,4/47,2)	**2,3** (1,3/5,0)	**57,5** (25,2/116,3)
MP5	**2,2** (1,1/21,9)	**27,8** (4,0/65,1)	**2,0** (0,7/8,1)	**59,7** (27,1/93,0)

Zu Beginn dieses Abschnittes wurde auf eine erwartete Verbesserung der Werteermittlung durch die zeitlich engere kontinuierliche Erfassung der Mengen- und Gütekriterien hingewiesen. In diesem Zusammenhang ist es von großer Bedeutung zu prüfen, wie die im Vorfeld des Projektes nicht kontinuierlich durchgeführten Messungen und die daraus abgeleiteten N-Immissionsgrößen zu bewerten sind.

Eine bereits im Rahmen eines früheren internen Zwischenberichtes (04/1998) durchgeführte Gegenüberstellung der NO_3-Konzentrationen in den Wochen- und in den kontinuierlich durch die automatische Station gewonnenen Tagesproben ergab insgesamt keine signifikanten Unterschiede (Abb. 16). Auch bei einer wöchentlichen Probenahme von NO_3 wurden die extremen Ereignisse mit ausreichender Genauigkeit erfasst. Bei beiden Messvarianten waren die hydrologisch bedingten Durchflusspeaks erwartungsgemäß mit einer Erhöhung der NO_3-Konzentration im Schaugraben verbunden.

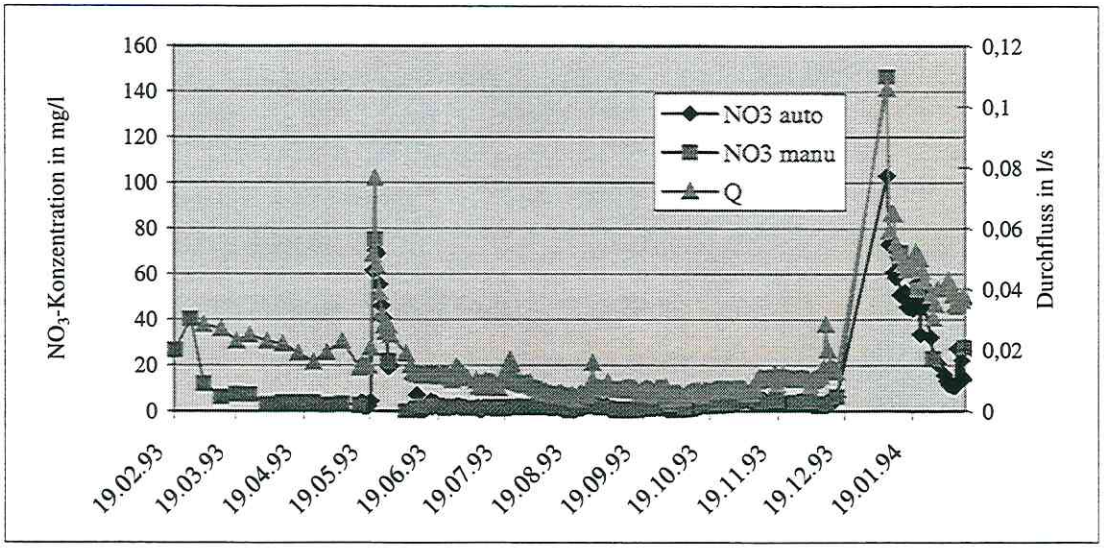


Abb. 16 Gegenüberstellung der mit dem Durchfluss bestimmten NO_3-Konzentrationen nach automatischer (täglich) und manueller (wöchentlich) Probenahme am Pegel 5

Darüber hinaus wurden zur Bewertung der „alten" Immissionsgrößen in Tab. 15, ebenfalls am Beispiel von NO_3, auf der Basis eines differenzierten Messrhythmusses gebildete NO_3-N-Frachten am MP5 für die Versuchsjahre 1997 und 1998 gegenübergestellt. Die erheblichen Unterschiede in der Höhe der Frachten machen große Abhängigkeiten von der Anzahl der durchgeführten monatlichen Messungen deutlich. Bei Annahme einer 1maligen Messung im Monat wäre es 1997 zu Unter- bzw. Überschätzungen der Frachten von 16 bis 201% und 1998 von 58 bis 156% im Vergleich zu den aus wöchentlichen Beprobungen erhaltenen Werten gekommen. Verbunden wäre damit eine fehlerhafte Abschätzung der N-Immissionswerte. Eine wesentlich bessere Annäherung an die wöchtlichen Messungen kann, belegt durch

das Beispiel, durch 2malige Messungen pro Monat erreicht werden. So konnten für das Jahr 1997 Frachtsummen von 99 bis 101% und im Jahr 1998 von 96 bis 115% im Vergleich zur wöchentlichen Messung errechnet werden. Die Zahlen belegen insgesamt die erwartete zunehmende Verbesserung der Ergebnisermittlung mit steigender Werteanzahl und der damit verbundenen Wahrscheinlichkeit, nahezu alle Extremereignisse zu erfassen. Sie machen aber auch deutlich, dass sich die zuvor zumindest auf der Basis 2wöchiger Messungen durchgeführten N-Immissionsbetrachtungen durchaus in realistischen Größenordnungen bewegen und damit eine sinnvolle Ergänzung der Messdaten über das Untersuchungsgebiet darstellen.

Tab. 15 Beeinflussung der ermittelten Höhe der NO_3-N-Fracht (in kg/a) durch den Messrhythmus am Pegel 5 in den Versuchsjahren 1997 und 1998

Versuchs-jahr	Messrhythmus						
	1mal pro Monat				2mal pro Monat		wöchentlich
	1.Woche	2.Woche	3.Woche	4.Woche	1.+3. Woche	2.+4. Woche	
1997	605	434	5365	5392	2720	2645	2682
1998	42031	20591	16544	44699	27530	32951	28626

4.2.1.5.3 Dränageausläufe

Im Untersuchungsgebiet „Schaugraben" sind bis zum Pegel 5 ca. 23,5% der landwirtschaftlichen Nutzfäche dräniert (Tab. 16). Der Anteil der dränierten Flächen korrespondiert mit dem Anteil an stauvernässten Acker- und Grünlandflächen. Die größten Areale an dränierten Ackerflächen liegen in den Teileinzugsgebieten 4 (41,5%) und 1 (26,7%).

Tab. 16 Anteile der Landnutzung und der dränierten Flächen im Untersuchungsgebiet „Schaugraben“

Teil-gebiet (Pegel)	Gesamtfläche (ha)	Grün-land (ha)	davon drainiert (ha)	(%)	Acker (ha)	davon drainiert (ha)	(%)
FE1 (1)	612	7	0	0	344	92	26,7
FE2 (2)	799	108	32	29,6	595	57	9,5
FE3 (3+4)	793	275	98	36,2	451	103	22,9
FE4 (5)	210	0	0	0	195	80	41,5
Insges.	2414	386	130	34,5	1584	332	20,9

Die Untersuchung ausgewählter, d.h. im Gelände gefundener Dränageausläufe, konzentrierte sich ebenfalls in erster Linie auf die Betrachtung der NO_3-Konzentrationen als wesentlichen Parameter für den Stoffaustrag aus der Bodenzone in Richtung Oberflächenwasser. Schüttungsmessungen wurden aus Zeitgründen sowie unzureichend verfügbarer Messtechnik nicht vorgenommen. Innerhalb des Untersuchungsgebietes wurden folgende Dränageausläufe beprobt:

Grünland (alt): Grünland rechts vor dem Wäldchen vor Pegel 3 beim Weg zwischen Erxleben und Storbeck

Grünland 3- 1 bis 7: Dränageausmündungen vom Grünland rechts hinter Pegel 3

Acker 3- 1 bis 2: Sammlerausmündungen vom Ackerland links hinter Pegel 3, Acker 3- 1 befindet sich etwa gegenüber von Grünland 3- 4, Acker 3- 2 gegenüber von Grünland 3- 7.

Acker 5 (Kollektor): Sammlerausmündungen vom Ackerland rechts vor Pegel 5 bei der Erlenbaumgruppe

Aus den in Tab. 17 zusammengestellten Ergebnissen ist der Einfluss der Dränung auf den schnellen NO_3-Transport von der Fläche in den Vorfluter deutlich erkennbar. Dabei muss vermerkt werden, dass im hydrologischen Sommerhalbjahr die Dränagen: Grünland 1, 2, 6 und 7 sowie Acker 1 und 2 trocken gefallen waren. Die ganzjährige Wasserzuführung aus den Grünlanddränagen (3, 4 und 5) kann mit einem Anschluss an das oberflächennahe Grundwasser erklärt werden.

Vergleicht man die Medianwerte der NO_3-Konzentrationen der Dränageausläufe mit denen des Oberflächenwassers (vgl. z.B. Tab. 14, Pegel 3 bzw. Pegel 5), dann wird der Einfluss auf die Konzentrationsverminderung durch Verdünnung im Oberflächenwasser deutlich.

Tab. 17 NO_3-Konzentrationen an ausgewählten Dränageausläufen im Zeitraum 1997 - 1999 (**Medianwerte** sowie 10- und 90-Perzentilwerte in mg/l)

	Winter 97/98	Sommer 1998	Winter 98/99
Grünland (alt)	**42** (29/ 58)	-	-
Grünland 3- 1	**125** (103/ 201)	**24** (7/ 26)	**178** (127/ 224)
Grünland 3- 2	**6** (1,5/ 19,5)	**4** (0,5/ 12)	**16** (4,5/ 41)
Grünland 3- 3	**154** (129/ 168)	**14** (1,0/ 46)	**161** (96/ 269)
Grünland 3- 4	**79** (52,5/ 96)	**33** (4,5/ 51)	**72** (36/ 121)
Grünland 3- 5	**92** (4/ 221)	**24** (3,5/ 77)	**18** (6/ 31)
Grünland 3- 6	**3** (1,2/ 9,5)	**12** (2,0/ 41)	**5** (1,4/ 12)
Grünland 3- 7	-	-	**78** (52/ 141)
Acker 3- 1	**126** (100/ 196)	**23** (1,5/ 29)	**176** (127/ 218)
Acker 3- 2	**153** (127/ 171)	**11** (1,8/ 53)	**165** (99/ 267)
Acker 5 (Kollektor)	**31** (16/ 55)	-	**123** (82/ 142)

4.2.1.5.4 Grundwasser

Die Höhe der aus den Messungen der Grundwasserstände ermittelten Grundwasserflurabstände in den sechs Grundwasserbeobachtungsrohren, die in Form von zwei geohydrologischen Dreiecken (ABC und DEF) kurz vor Messpegel 2 bzw. zwischen den Messpegeln 2 und 3 auf zwei benachbarten Grünlandstandorten angeordnet wurden, ist in Abb. 17 dargestellt (vgl. auch Abb. 4). Abbildung 18 zeigt den Standort der Rohre B und C in der Nähe von MP2.

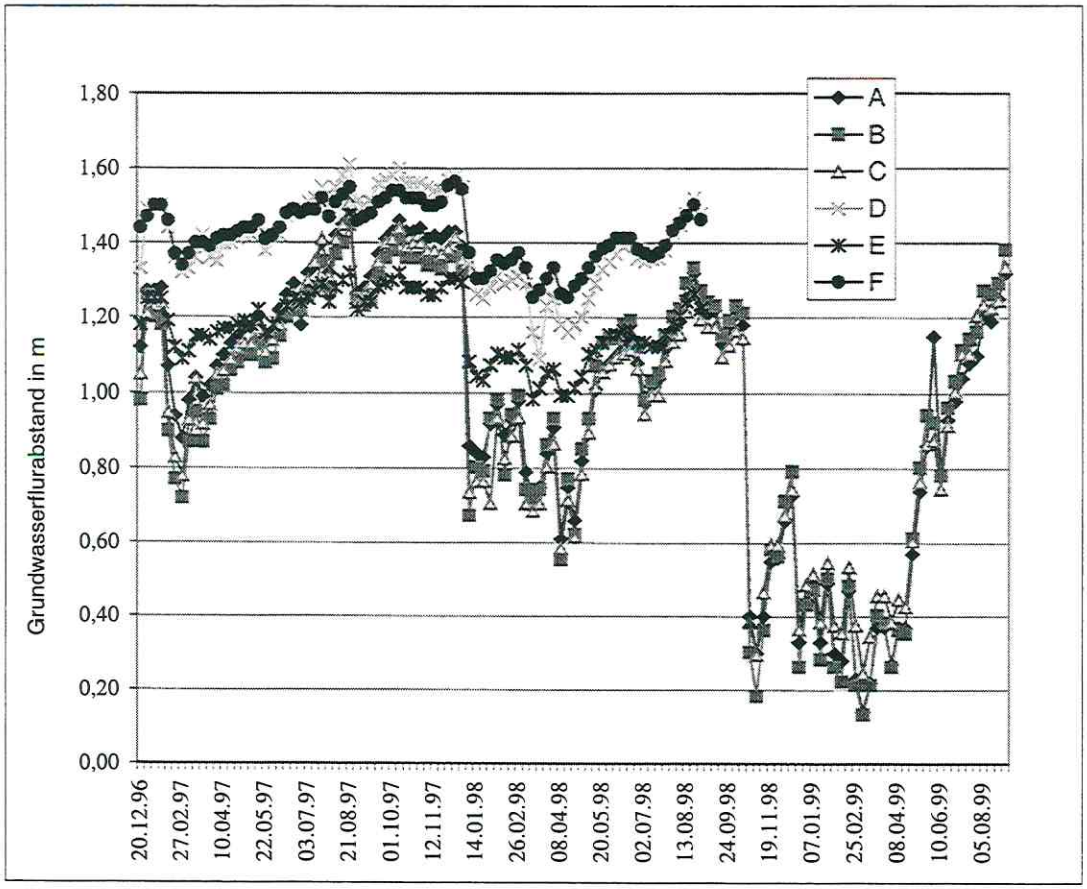


Abb. 17 Dynamik der Grundwasserflurabstände an den Grundwasserbeobachtungsrohren A bis F

Die Grundwasserflurabstände waren bei ABC in den Wintermonaten erheblich geringer als bei DEF; demgegenüber bewegten sie sich in den Sommermonaten auf etwa gleichem Niveau. Damit war die Amplitude der Grundwasserspiegeländerungen im Beprobungszeitraum bei den Grundwassermesspegeln ABC mit etwa 1,2 m wesentlich größer als bei DEF, bei denen die Schwankungsbreite nur ca. 0,5 m betrug. Leider konnten die Messungen ab September 1998 bei den Grundwassermesspegeln DEF nicht weitergeführt werden, da diese durch Vandalismus und Diebstahl zerstört wurden. Jedoch zeigte sich bereits nach diesen kurzzeitigen Messungen, dass hier eine Speisung des Schaugrabens durch das oberflächennahe Grundwasser stattfindet. Bestätigt wurde diese Vermutung durch Messungen mit dem Seepage-Gerät. Es konnte ein deutlicher Sickerwasserstrom aus dem angrenzenden Grünlandbereich in den Schaugraben nachgewiesen werden. Diese hier begonnenen Arbeiten werden in einem Folgeprojekt fortgesetzt.

Dabei besteht das Ziel in der Aufklärung und Quantifizierung der während der Boden- und Grundwasserpassage ablaufenden N-Transport- und -Umsatz-Prozesse in diesem für das Einzugsgebiet der Elbe bedeutsamen Landschaftsraum (norddeutsches Tiefland).

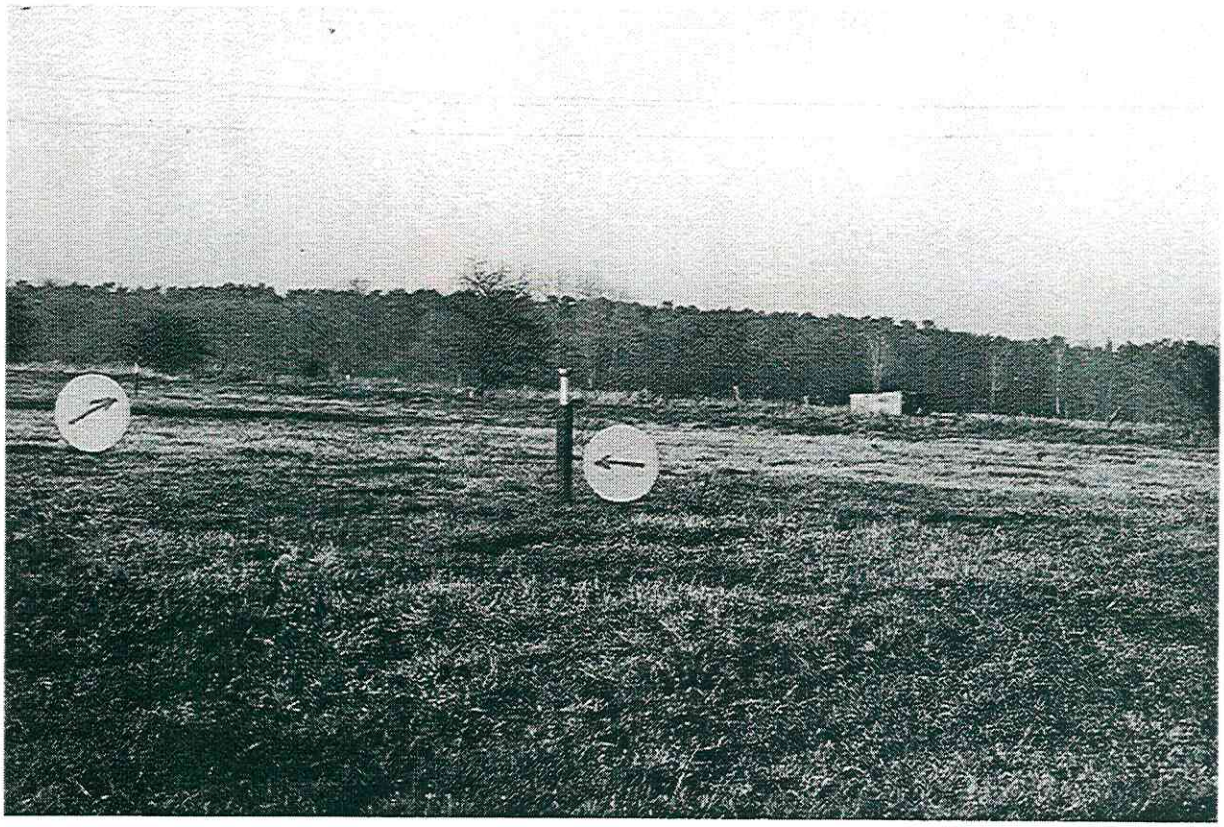


Abb. 18 Blick auf die Grundwasserbeobachtungsrohre „B“ (vorn) und „C“ auf einem Grünlandstandort in der Nähe von MP2

Einen Überblick über die NO_3-Konzentrationen im Grundwasser der Grundwasserbeobachtungspegel ABC und DEF gibt Abb. 19. Die NO_3-Belastung des oberflächennahen Grundwassers im Untersuchungsgebiet kann aufgrund der vorliegenden Beprobungsdaten als gering beurteilt werden (Tab.18). Innerhalb des Untersuchungszeitraumes kam es jedoch in den Sommermonaten wiederholt im Grundwasserbeobachtungsrohr D zu einem Anstieg der NO_3-Konzentration. Der Grenzwert für Trinkwasser von 50 mg NO_3/l wurde aber nicht überschritten.

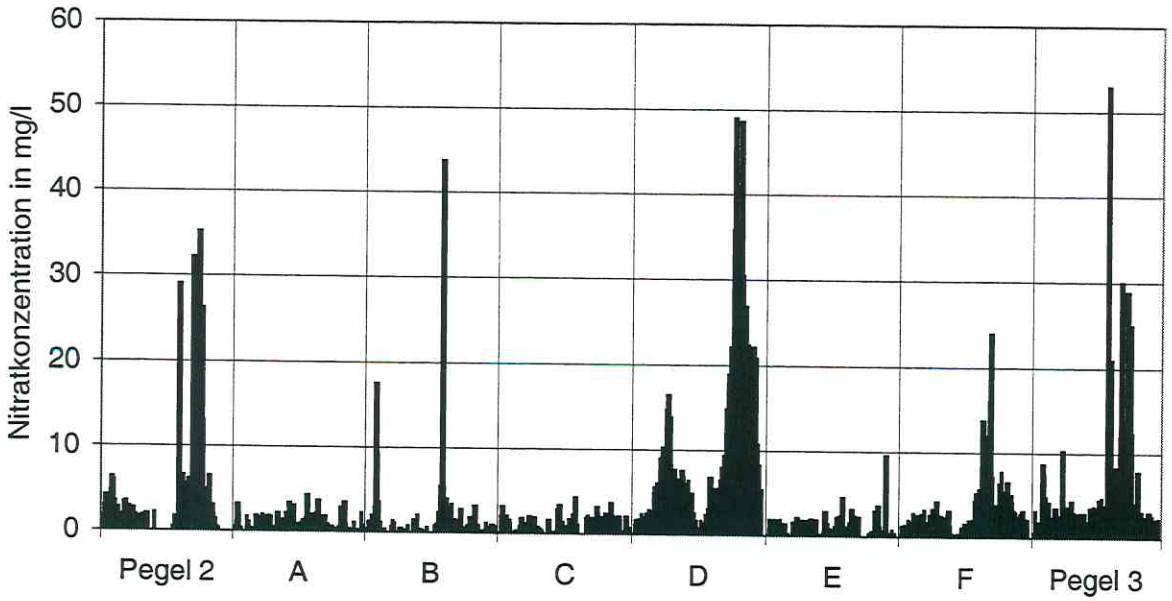


Abb. 19 Dynamik der NO_3-Konzentrationen in den Grundwassermesspegeln ABC und DEF im Zeitraum vom Winter 1996/97 bis zum Herbst 1998 im Vergleich zu den Oberflächenwasserpegeln MP2 und MP3

Neben den deutlich erhöhten Nitratwerten im Grundwasserbeobachtungsrohr D traten nach der Schneeschmelze 1998 auch im Grundwasserpegel F kurzzeitig erhöhte NO_3-Werte auf.

Tab. 18 NO_3-Konzentrationen an den ausgewählten Grundwassermessstellen A bis F im Zeitraum 1997 - 1999 (**Medianwerte** sowie 10-und 90- Perzentilwerte in mg/l) der hydrologischen Sommer- bzw. Wintermonate im Untersuchungszeitraum

Hydrologischer Zeitraum	GWP A	GWP B	GWP C
Sommer 1997	**1,5** (0,2/ 4,2)	**0,5** (0,0/ 1,5)	**0,8** (0,1/ 2,0)
Winter 97/98	**1,1** (0,1/ 2,1)	**0,8** (0,1/ 1,9)	**1,2** (0,2/ 2,3)
Sommer 1998	**0,6** (0,1/ 2,5)	**0,8** (0,2/ 1,1)	**0,8** (0,2/ 2,5)
Winter 98/99	**3,6** (0,9/12,8)	**0,7** (0,1/ 1,2)	**1,4** (0,2/ 2,5)
Hydrologischer Zeitraum	GWP D	GWP E	GWP F
Sommer 1997	**7,1** (0,8/ 14,0)	**0,1** (0,0/ 2,2)	**1,8** (0,1/ 3,1)
Winter 97/98	**8,2** (1,5/ 36,0)	**1,2** (0,1/ 3,5)	**5,1** (3,0/ 14,2)

Erwartungsgemäß waren die in den Wintermonaten bestimmten NO_3-Konzentrationen höher als die in den Sommermonaten. Die Spannen zwischen dem 10- und dem 90- Perzentilwert waren in den Wintermonaten ebenfalls weiter. Wie bei der Beschreibung der Oberflächenwasserqualität bereits angedeutet, lagen die NO_3-Konzentrationen im Sommerhalbjahr (bedingt durch die Dominanz des Basisabflusses) in etwa auf dem gleichen Niveau.

Insgesamt belegen die bisher durchgeführten Messungen, dass die NO_3-Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser gering sind, jedoch an einigen Stellen trotzdem beachtliche Amplituden bezüglich der jährlichen Konzentrationsschwankungen zu verzeichnen waren.

4.2.1.6 Bodenuntersuchungen

Zur Bewertung des N-Austragspotentials aus der Fläche werden seit 1992 auf acht repräsentativen Schlägen im Einzugsgebiet des Schaugrabens in monatlichen Abständen Nmin (mineralischer Stickstoffgehalt im Boden als Summe von NO_3-N und NH_4-N) -Untersuchungen durchgeführt. Obgleich Nmin-Werte nur eine beschränkte Aussagekraft für wissenschaftliche Untersuchungen aufweisen, sind sie in der wasser- und landwirtschaftlichen Praxis weit verbreitet (z.B. Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung - SCHALVO/SCHaVO – in Baden/Württemberg bzw. Sachsen) und liefern bei kontinuierlicher Erfassung (vor allem im Herbst) gute Anhaltspunkte über die Höhe des auf der Fläche anzutreffenden Auswaschungspotentials. In Abb. 20 sind der zeitliche Verlauf der Nmin-Bodengehalte als Summe aus 3 Tiefenstufen (0-90 cm) an 3 Standorten und das Niederschlagsdargebot dargestellt. Dabei befinden sich die Parzellen Erx3 (als Parzellenbenennung wurde die digitalisiert vorliegende Schlagbezeichnung beibehalten) und Erx2 (Brachfläche) am Gebietseinlass des Kleineinzugsgebietes und Parzelle Erx16 am Gebietsauslass. Informationen über die dort angetroffene Fruchtfolge sowie die applizierten Düngermengen enthält Tab. 19.

Tab. 19 Überblick über die Fruchtfolge und das N-Düngungsniveau einer überwiegend als Brachfläche genutzten Freilandparzelle (Erx2) im Vergleich zu intensiv ackerbaulich bewirtschafteten Flächen (Erx3, 16) im Versuchszeitraum 1993 - 1999

Anbaujahr	Fruchtfolge			N-Düngung (kg/ha)		
	Erx3	Erx2	Erx16	Erx3	Erx2	Erx16
1993	W.Roggen	Brache	So.Gerste	100	-	80
1994	W.Gerste	Mais	W.Gerste	130	100	130
1995	W.Raps	Mais	W.Weizen	180	100	160
1996	Triticale	Brache	Triticale	100	-	140
1997	Mais	Brache	W.Gerste	100+300dt Stalldung	-	130
1998	W.Roggen	Brache	W.Raps	100	-	180
1999	W.Gerste	Brache	Triticale	130	-	150

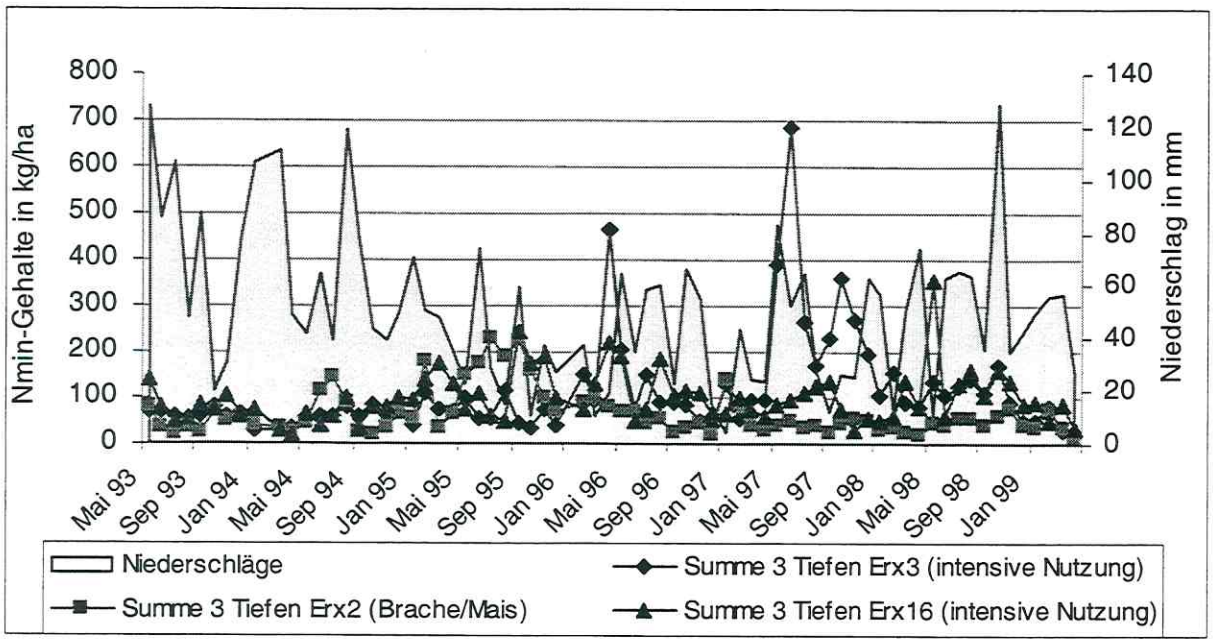


Abb. 20 Niederschlagsdargebot und Verlauf der Nmin-Gehalte (0-90 cm) an 3 ausgewählten Ackerschlägen im Einzugsgebiet des Schaugrabens

Aus der hohen Variabilität der Niederschläge wird deutlich, dass 1993/94 und 1994/95 eine erhöhte Sickerwassermengenbildung auftrat und damit eine zügige Verlagerung des nicht von den Pflanzen aufgenommenen NO_3/NH_4 im Boden aus der Wurzelzone in Richtung Grundwasser verbunden war. So war zu Beginn der Untersuchungen bei allen 3 Freilandparzellen ein gleichmäßiger Kurvenverlauf zu verzeichnen, wobei die Nmin-Gehalte der Bracheparzelle im Herbst 1993 etwa auf dem Niveau der Gehalte der Getreideparzellen lagen. Der Bracheumbruch im Frühjahr 1994 war dann mit erhöhten Nmin-Gehalten verbunden. Dies führte aufgrund der hohen Bodenfeuchtigkeit zu einer NO_3-NH_4-Verlagerung in tiefere Schichten. Es bestand die Gefahr einer erhöhten N-Auswaschung, zumal der Mais zu diesem Zeitpunkt noch nicht in der Lage war, den N-Überschuss abzuschöpfen. Im Herbst 1994 lagen die Bodengehalte auf diesem Schlag erneut auf vergleichbarem Niveau mit dem W.Getreideanbau der Vergleichsparzellen, um dann allerdings im Maisanbaujahr 1995 wiederum kräftig anzusteigen, trotz des vergleichsweise geringeren Düngungsniveaus (durch Bracheumbruch akkumulierte N-Mengen, die sich aufgrund der geringen Bodenfeuchte nur langsam in tiefere Bodenschichten verlagern können). Eine erneute Brachlegung durch Selbstbegrünung im Frühjahr 1996 nach zwei Maisanbaujahren auf geringem N-Düngungsniveau führte lediglich im Winter 1997 noch einmal zu einem kurzen Ansteigen der Nmin-Werte, die sich im Anschluss daran auf ein gleichmäßiges geringes Niveau einpendelten.

Die kontinuierlich durchgeführten Nmin-Messungen auf den 3 beispielhaft ausgewählten Ackerflächen demonstrieren anschaulich sowohl die Abhängigkeit der Bodengehalte von den herrschenden hydrologischen Bedingungen (geringe Gehalte in feuchten Böden, Akkumulation und höhere Gehalte in trockenen Witterungsperioden) als auch vom Bewirtschaftungsregime (vor allem der Düngungshöhe). So führte die Applikation von Stalldung 1997 auf der Parzelle Erx3 zu Spitzenwerten von 700 kg N/ha. Es waren aber auch die bereits durch Lysimeterversuche ermittelten Auswirkungen der Brachebewirtschaftung auf das N-Auswaschungsverhalten (erhöhtes Auswaschungsrisiko nach Brachlegungs- und Wiedereingliederungsmaßnahmen – besonders bei erhöhtem Niederschlagsdargebot; Abnahme des N-Auswaschungspotentials bei längerfristigen

Stilllegungsmaßnahmen) tendenziell unter Praxisbedingungen zu erkennen (Meißner et al., 1999).

Als Stützstelle zur Durchführung von weiterführenden Modellierungsarbeiten zur Stoffverlagerung, vor allem mit dem im UFZ entwickelten Modell CANDY (vgl. Abschn. 4.3.3), wurden im Jahre 1999 an 6 repräsentativen Standorten aus dem Einzugsgebiet des Schaugrabens Schürfe angelegt, Bodenproben entnommen und folgende Parameter analysiert: Porenvolumen, Lagerungsdichte, gesättigte Wasserleitfähigkeit, Korngrößenzusammensetzung und Humusgehalt. Aufgrund der kleinräumlichen Variabilität der Böden wurden die Profile dort angelegt, wo innerhalb eines Meters von der Geländeoberfläche alle in der Vorsondierung erbohrten Substrate vorkamen. So ist sichergestellt, dass nach einer Rasterkartierung die ermittelten Daten gewichtet eingesetzt werden können. Die untersuchten Böden weisen ein breites Spektrum an Bodenarten und Humusgehalten auf. Auffällig ist, dass es sich überwiegend um geschichtete Böden mit einer großen Schwankungsbreite an gesättigten Wasserleitfähigkeiten handelt. Die substratabhängige Wasserleitfähigkeit ist in den Profilen von der lagerungsdichteabhängigen und humusabhängigen Wasserleitfähigkeit überprägt.

4.2.2 Untersuchungsgebiet „Polkovo“ (Meschtscherer Niederung der Oka)

4.2.2.1 Physisch-geographische und hydrologische Beschreibung des Einzugsgebietes

Das Untersuchungsgebiet „Polkovo“ hat eine Einzugsgebietsgröße von annähernd 30 km^2 und stellt eine typische Agrarlandschaft in der Wald-Steppenzone mit glazialer Herkunft dar. In diesem Experimentalgebiet der Oka werden seit vielen Jahren wasser- und landwirtschaftliche Untersuchungen von der bei Rjasan liegenden Außenstelle Solotscha des VNIIGiM durchgeführt (Abb. 21).

Das in der Meschtscherer Niederung der Oka befindliche Gebiet zeichnet sich durch ein gemäßigtes Kontinentalklima mit relativ niedrigen Temperaturen im Herbst, mäßig kalten Wintern mit stabiler Schneedecke, einer langen Frühjahrsperiode und warmen, selten heißen Sommertemperaturen aus. Die mittlere Temperatur des wärmsten Monats Juli liegt zwischen +17 und +19°C. In den kältesten Monaten

Januar und Februar schwanken die Temperaturen um –10 bis –11,5°C. Extremtemperaturen wurden im Winter bis zu – 45°C und im Sommer bis zu +39°C gemessen.

In der Winter-Frühlingsperiode fallen 30 – 32% der Niederschläge (d.h. bezogen auf das langjährige Mittel 156 – 188 mm). Das bei der Schneeschmelze frei werdende Wasser infiltriert überwiegend in den Boden und trägt zur Grundwasserneubildung bei. Die Sommerniederschläge (etwa 250 – 235 mm) verdunsten fast vollständig an der Bodenoberfläche oder transpirieren über die Pflanzen. Die Niederschläge im Herbst schwanken zwischen 81 – 101 mm und dienen hauptsächlich der Sättigung der im Sommer ausgetrockneten Böden.

Geologisch betrachtet gehört das Untersuchungsgebiet „Polkovo" zum Moskauer Urstromtal. Nach dem hydrogeologischen Aufbau besteht der erste Grundwasserleiter aus Sand (holozänes Alluvium). Im ersten Grundwasserstauer sind vor allem Tone aus dem Holozän anzutreffen. Im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes steht das Grundwasser oberflächennah in einer Tiefe von 1 - 2 m an. Demgegenüber liegt der Grundwasserflurabstand im nördlichen Teil des Experimentalgebietes zwischen 8 und 10 m.

Die im Untersuchungsgebiet „Polkovo" anstehenden Böden sind typisch für die Meschtscherer Niederung. Hauptsächlich herrschen unterschiedliche Podsolböden (sauer, tieflehmig, anmoorig) vor. Die Bodenarten sind überwiegend sandig bis schluffig, selten tonig. Der Humusgehalt im Oberboden beträgt etwa 1%. Die Bodenreaktion ist schwach bis stark sauer. Die Mächtigkeit des humosen Horizontes beträgt 15 - 25 cm. Unter der Pflugsohle befindet sich in einer Tiefe von 25 - 40 cm ein Horizont aus Feinsand. Darunter steht in einer Tiefe von 40 - 110 cm ein sandiger, strukturloser Horizont ohne besondere Einschlüsse an. Bei einer Tiefe von etwa 130 cm ist ein C-Horizont aus Talsand anzutreffen. Die Böden werden überwiegend land- und forstwirtschaftlich genutzt.

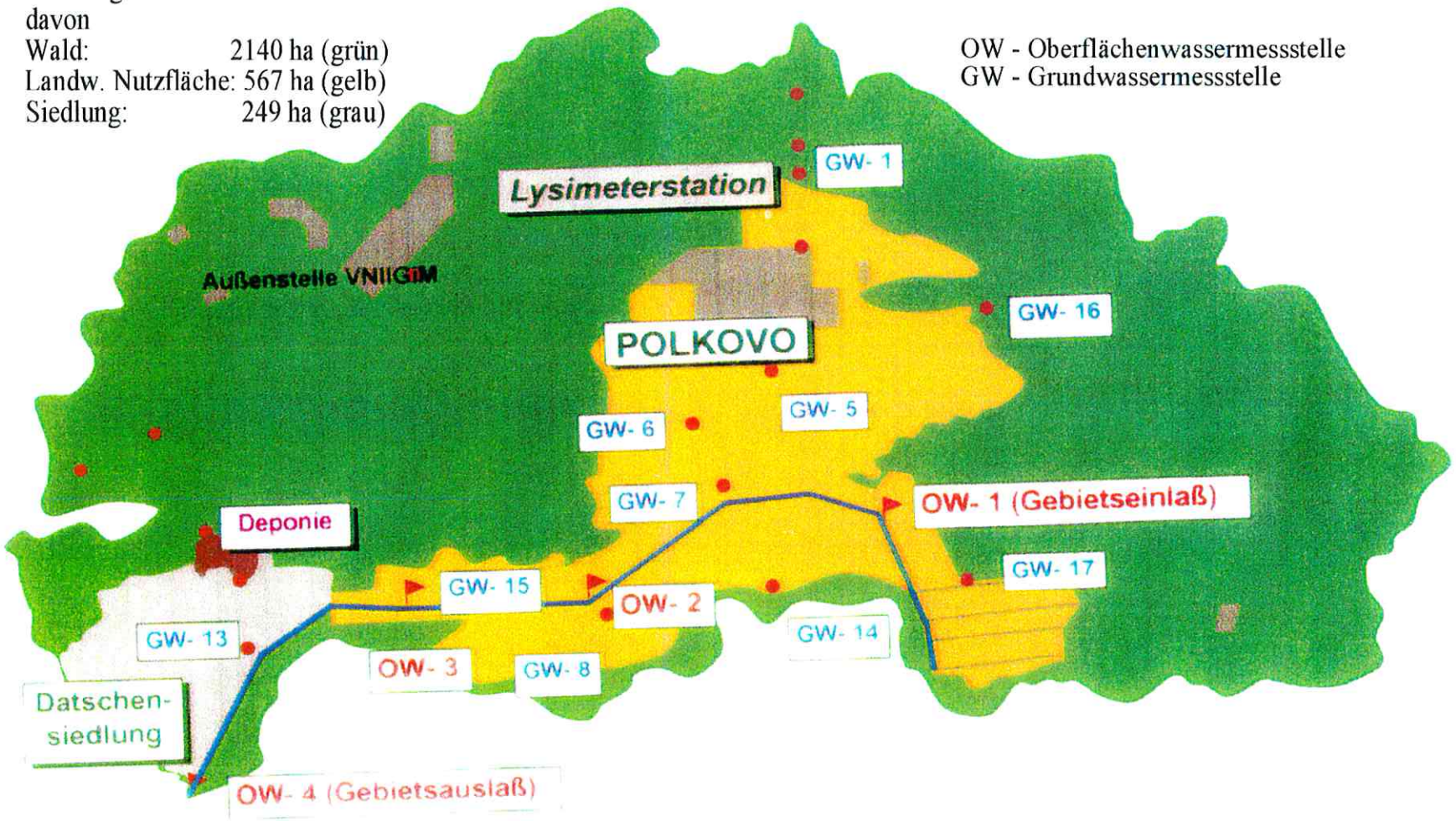


Abb. 21 Kleineinzugsgebiet "Polkovo" in der Meschtscherer Niederung der Oka bei Rjasan

4.2.2.2 Landnutzung und technische Ausstattung

Eine zusammenfassende Darstellung über die im „Polkovo"-Einzugsgebiet anzutreffende Landnutzung enthält Tab. 20.

Tab. 20 Struktur der Landnutzung im Einzugsgebiet „Polkovo" im Jahre 1998

Nutzungsart	Fläche (ha)	Fläche (%)
Wald	2140	72,4
Acker	398	13,5
davon bewässert	289	9,8
Grünland	169	5,7
Datschen (Kleingärten)	160	5,4
Siedlung (Dörfer)	79	2,7
Deponie	8	0,3
Sonstige Gebäude	2	0,1
Insgesamt	2954	100,0

Daraus ist ersichtlich, dass etwa 72% der Fläche mit Wald bedeckt sind und etwa 24% des Untersuchungsgebietes landwirtschaftlich (einschl. Kleingärten) genutzt werden. Bewirtschaftet wird die Fläche überwiegend von einer ehemaligen Sowchose (Staatsgut). Aufgrund der schlechten finanziellen Ausstattung ging der Mineraldüngereinsatz in den letzten Jahren stark zurück. Allerdings waren Beregnungsanlagen zur Stabilisierung von Erträgen auch während des Projektzeitraumes in den Sommermonaten noch in Betrieb. Eine tendenzielle Darstellung über die Beziehungen zwischen dem mineralischen N-Einsatz auf den landwirtschaftlichen Flächen und dessen Austrag mit dem Durchfluss aus dem Untersuchungsgebiet (Immissionsbetrachtung) enthält Abb. 22 .

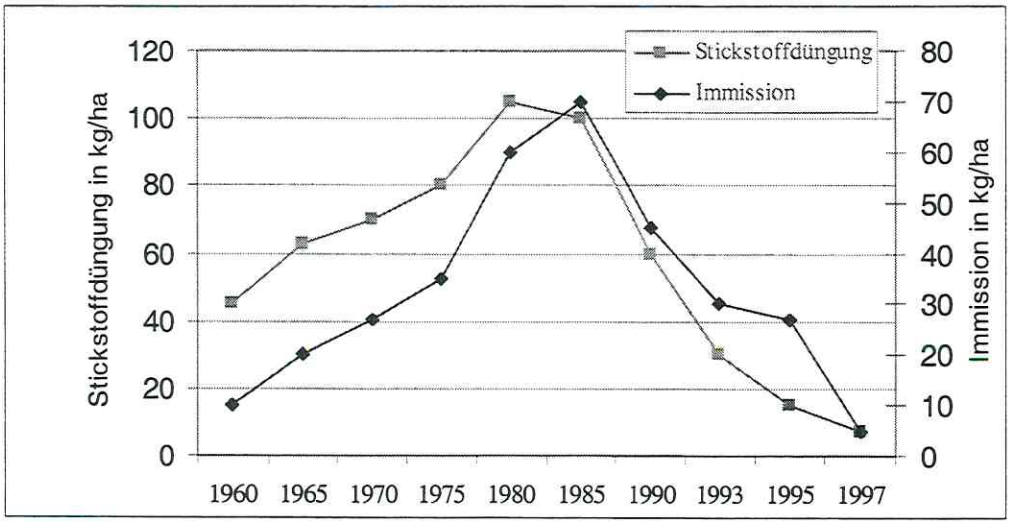


Abb. 22 Einfluss des Mineraldüngereinsatzes auf den N-Austrag mit dem Durchfluss im russischen Untersuchungsgebiet „Polkovo“ (nach Dobratchev et al., 1998)

Hieraus ist ersichtlich, dass der N-Mineraldüngereinsatz Anfang 1980 bei mehr als 100 kg/ha lag. Eine ähnliche Tendenz zeigt sich, mit einer zeitlichen Verzögerung von etwa 3 Jahren, für den N-Austrag mit dem Durchfluss aus dem Einzugsgebiet. Unabhängig von der Messdichte der dieser Grafik zugrunde liegenden Zahlen sind die engen Beziehungen zwischen Intensität der Landnutzung und deren Auswirkungen auf die Gewässergüte in diesem repräsentativen Kleineinzugsgebiet der Oka deutlich erkennbar. Unterstrichen wird damit auch die Eignung dieses Gebietes für Untersuchungen zur Quantifizierung von diffusen Stoffausträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen.

In die hier durchgeführten Untersuchungen wurden 4 bereits vorhandene Mengen-/Gütepegel, die entlang der Fließrichtung zwischen Gebietseinlass und –auslass in dem in den 60er Jahren angelegten Vorfluter Malenkaja Rechka angeordnet sind, einbezogen (Abb. 21). Außerdem wurden 13 bereits vorhandene Grundwasserbeobachtungsrohre, die in zwei Trassen längs und quer zum Vorfluter abgeteuft wurden, für diese Untersuchungen regelmäßig beprobt. Die Lysimeterstation befindet sich ebenfalls mitten im Untersuchungsgebiet.

Im Interesse der Verbesserung der Durchflussbestimmung wurde dem Partner ein kompletter und kalibrierter Nautilus-Sensor übergeben. Zur Entnahme von Grundwasserproben und zur Charakterisierung von Güteparametern wurde eine

Grundwasserentnahmeeinheit mit einer Durchflusszelle zur Bestimmung der Parameter pH-Wert, Temperatur, Redoxpotential und Sauerstoffgehalt bereitgestellt. Außerdem wurde zur Erfassung meteorologischer Daten eine automatisch arbeitende Wetterstation installiert und kalibriert. Darüber hinaus wurde das im ZALF-Müncheberg bereits erfolgreich angewendete Wasser- und Stofftransportmodell MODFLOW in einer PC-Variante übergeben. Im Rahmen einer hierzu erfolgten Einarbeitung sollen die russischen Kollegen zukünftig selbständig in der Lage sein, die Strömungsvorgänge im Untergrund und damit den Wasser- und Stofftransport beschreiben zu können.

Es erwies sich als zweckmäßig, im Institutsgebäude der Außenstelle des VNIIGiM in Solotscha ein vorhandenes chemisches Labor mit zusätzlichen Geräten zu bestücken, um kurzfristig Analysen der bei der regelmäßigen Beprobung anfallenden Wasser- und Bodenproben durchführen zu können. Vor allem bei der Bestimmung der N-Komponenten erschien von russischer Seite aus der Weg zu den stationären chemischen Laboren in Kolomna bzw. in Nishnij Novgorod als zu weit. Neben den benötigten Glasgeräten und Reagenzien wurden deshalb aus dem Bestand des UFZ ein „Spekol" zur Bestimmung des anorganischen N sowie zwei Laborwaagen übergeben.

4.2.2.3 Wasser- und Stoffhaushaltsuntersuchungen

Aus den in Abb. 23 dargestellten Messwerten von April bis November 1998 ist die saisonale Schwankungsbreite der hydrologischen Prozesse im Untersuchungsgebiet „Polkovo" deutlich erkennbar. Die am Gebietsauslass gemessenen NO_3-Konzentrationen im Vorfluter zeigen Minima in den Sommermonaten und Maxima im Frühjahr und Herbst. Jedoch ist die NO_3-Konzentration im Oberflächenwasser im Vergleich zu deutschen und internationalen Normen (NO_3-Richtwert für Trinkwasser 25 mg/l, Grenzwert 50 mg/l) relativ gering.

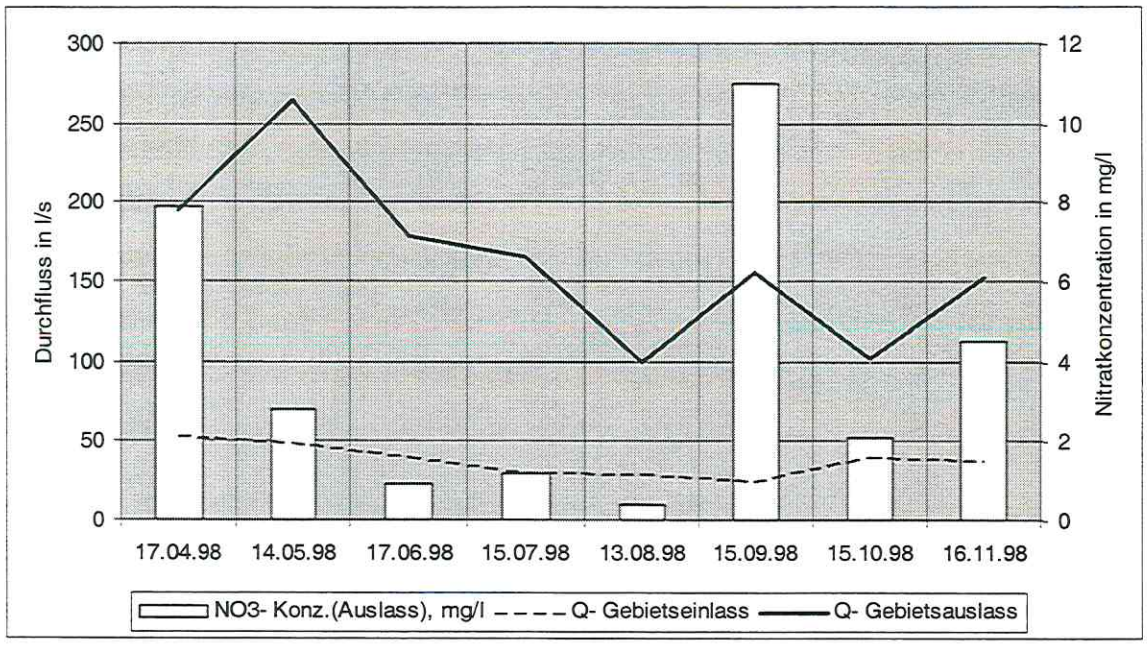


Abb. 23 Durchflussganglinien für den Gebietsein- und -auslass sowie monatlich bestimmte NO_3-Konzentrationen am Gebietsauslass des russischen Untersuchungsgebietes „Polkovo"

Neben diesen vom russischen Projektpartner zugearbeiteten Daten ist im Rahmen einer Messkampagne eine gemeinsame Stichtagsmessung am 14.05.1998 im Untersuchungsgebiet „Polkovo" durchgeführt worden. Dabei wurden die anorganischen N-Komponenten (NO_3-N, NH_4-N und NO_2-N) an 4 Pegeln im Oberflächengewässer (OW) sowie an 13 Grundwasserbeobachtungsrohren im oberflächennahen Grundwasser (GW) gemessen (Tab. 21).

Die mittlere NO_3-N-Konzentration von < 1 mg/l im Oberflächenwasser ist im überwiegend landwirtschaftlich genutzten Teil des Untersuchungsgebietes gering. Jedoch wurden an drei Grundwassermessstellen erhöhte NH_4-N-Konzentrationen ermittelt. Diese sind bei den GW-Messstellen 6 und 8 auf eine im Gebiet stattfindende Gülleverregnung und bei der GW-Messstelle 13 auf Abwasserbelastung aus einer Datschensiedlung zurückzuführen.

Tab. 21 N-Konzentrationen im Oberflächen- und Grundwasser des Untersuchungsgebietes „Polkovo“ (GW - Grundwasserbeobachtungsrohr, OW - Mengen/Güte-Pegel im Oberflächenwasser)

Ort der Probenahme	NO_3-N-Konzentration (mg/l)	NH_4-N-Konzentration (mg/l)	NO_2-N-Konzentration (mg/l)
OW1	0,12	0,38	0,004
OW2	0,16	0,00	0,004
OW3	0,39	0,00	0,007
OW4	0,58	0,00	0,011
GW1	0,23	0,00	0,004
GW5	0,19	1,22	0,043
GW6	0,00	6,92	0,006
GW7	0,00	0,02	0,006
GW8	0,03	6,96	0,001
GW10	0,00	0,00	0,015
GW13	0,12	5,92	0,030
GW14	0,00	1,52	0,002
GW15	0,00	0,47	0,054
GW16	0,00	0,00	0,026
GW17	0,03	0,85	0,001

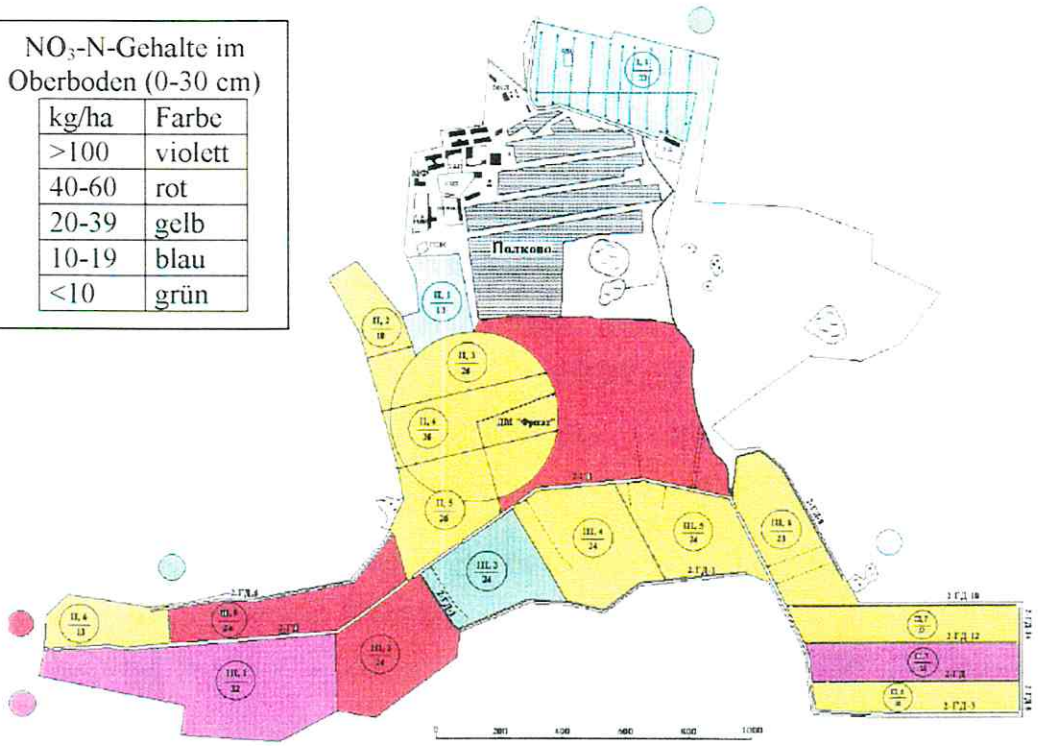
4.2.2.4 Bodenuntersuchungen

Zur Bewertung des N-Austragspotentials wurden während einer im Mai 1998 durchgeführten gemeinsamen Messkampagne an 63 Standorten im Untersuchungsgebiet „Polkovo“ in den Tiefenstufen 0 – 60 cm Bodenproben entnommen und im russischen Labor in Solotscha der Nmin-Gehalt (Abb. 24).

Hervorzuheben sind die in Polkovo gemessenen hohen Nmin-Werte in den meliorierten Torfböden am Gebietseingang (bis zu 933 kg/ha) sowie die eindeutig anthropogen verursachten hohen Nmin-Gehalte im Bereich der Datschensiedlung (bis zu 829 kg/ha). Die im Einzugsbereich des Mittellaufes des Vorfluters beprobten landwirtschaftlich genutzten Flächen wiesen mittlere Nmin-Gehalte auf und spiegeln prinzipiell das auf den Flächen angetroffene Bewirtschaftungsregime wider.

NO_3-N-Gehalte im Oberboden (0-30 cm)

kg/ha	Farbe
>100	violett
40-60	rot
20-39	gelb
10-19	blau
<10	grün



NH_4-N-Gehalte im Oberboden (0-30 cm)

kg/ha	Farbe
>70	violett
40-70	rot
20-39	gelb
10-19	blau
<10	grün

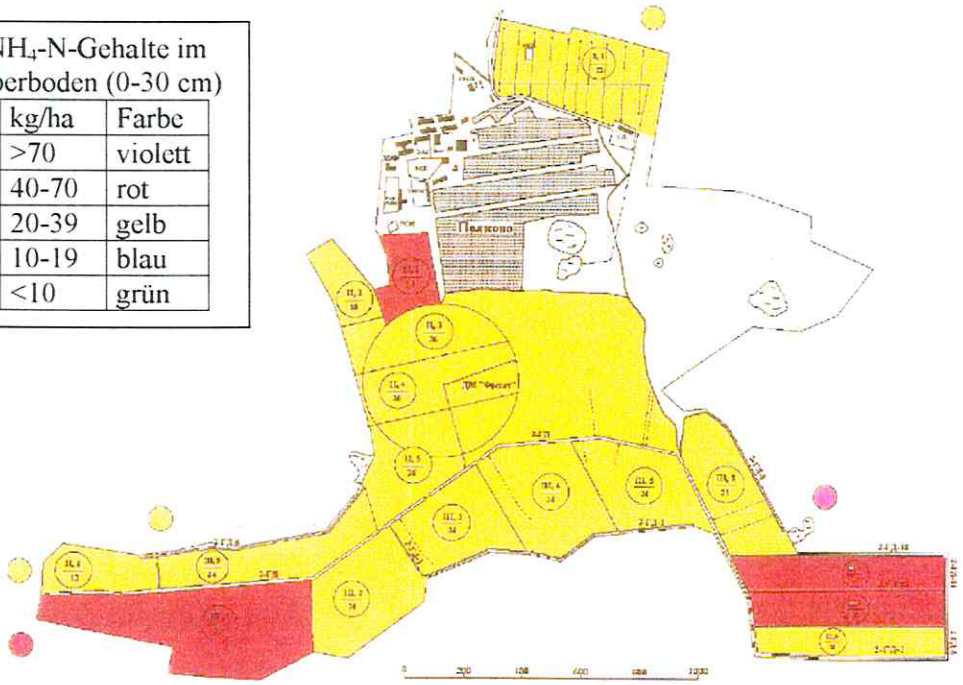


Abb. 24 Darstellung der NO_3-N- und NH_4-N-Gehalte im Oberboden (0-30 cm) ausgewählter Standorte im Untersuchungsgebiet „Polkovo“

4.3 Übertragbarkeit von Lysimeteruntersuchungen auf größere Gebietseinheiten

4.3.1 Hydrologie – Vergleich der Grundwasserneubildung

Das in der hydrologischen Forschung häufig auftretende „Scaling-Problem", d.h. die Übertragbarkeit bzw. Repräsentanz von punktförmig durchgeführten Untersuchungen auf größeren Flächeneinheiten ist bisher nicht zufriedenstellend gelöst (Braun, 1999). Als Beitrag zur Lösung der Fragestellung wurde daher versucht, Kopplungen zwischen Lysimeter- sowie Feld- und Einzugsgebietsuntersuchungen vorzunehmen.

Eine grundlegende Voraussetzung für die Kopplung von Lysimeter- und Einzugsgebietsuntersuchungen ist der Vergleich bezüglich des Wasserhaushaltes. Besonders die Grundwasserneubildung ist hier von Bedeutung, da sie die maßgebliche Größe zur Quantifizierung des Stoffhaushaltes darstellt. Deshalb wurde zunächst für das Einzugsgebiet „Schaugraben" und die UFZ-Lysimeterstation in Falkenberg (einschließlich Waldlysimeterstation in Colbitz) ein Vergleich der Sickerwasser- bzw. Grundwasserneubildungshöhen vorgenommen. Dabei wurden die in langjährigen Lysimeterexperimenten mit unterschiedlichen Fruchtarten und Bewirtschaftungsintensitäten gewonnenen Sickerwassermengen anteilsmäßig auf die im Einzugsgebiet angetroffene Nutzungsstruktur umgerechnet und mit in der wasserwirtschaftlichen Praxis gebräuchlichen Ansätzen zur Ermittlung der Grundwasserneubildung für Einzugsgebiete verglichen (Tab. 22). Es wurden erwartungsgemäß Unterschiede zwischen den Methoden festgestellt, jedoch lagen die mit der Lysimetermethode bestimmten Sickerwassermengen in der Variationsbreite der mit anderen Modellansätzen berechneten Grundwasserneubildungsraten.

Des weiteren kann nach Untersuchungen von Müller et al. (1996) davon ausgegangen werden, dass in vielen Gebieten Nordostdeutschlands mit geringem Oberflächenabfluss die Grundwasserneubildungsrate mit dem an Pegeln gemessenen Durchflüssen weitgehend identisch ist. Eine Gegenüberstellung zwischen den wiederum flächenanteilsmäßig aus Lysimetern gewonnenen Sickerwassermengen mit den realen Messwerten an Pegeln aus den Teileinzugsgebieten FE1 bis FE4 des Schaugrabens für 2 spezielle Jahre enthält Tab. 23. Als Vergleichswerte für die im Gebiet stattfindende Grundwasserneubildung

wurde wiederum der Ansatz von Renger und Wessolek (1990) verwendet, allerdings nicht bezogen auf eine langjährige Reihe wie in Tab. 22, sondern für die konkreten Witterungsverhältnisse der Jahre 1993 und 1994.

Tab. 22 Vergleich von gemessenen Sickerwassermengen (in mm) aus Langzeitlysimeterstudien mit berechneten mittl. jährl. Grundwasserneubildungsraten im Kleineinzugsgebiet "Schaugraben"

Methodik	Ackerland** (14, 83 km^2)	Grünland** (5,23 km^2)	Wald** (3,72 km^2)	Σ GWN-Bildung** (23,78 km^2)
Berechnete Menge				
Modell "RASTER"[1)]	-	-	-	125
BAGROV-GLUGLA*[1)]	95	-1	-1	93
RENGER-WESSOLEK[1)]	87	15	11	113
DOERHOEFER-JOSOPAIT[1)]	96	16	11	123
Langzeitlysimeterstudien	72	23	2	97

*mittl. langj. Niederschlagsmenge auf der Lysimeterstation in Falkenberg: 504 mm
mittl. langj. Kesselverdunstungshöhe auf der Lysimeterstation in Falkenberg: 565 mm
** Grundwasserneubildung in mm
[1)] siehe Literatur

Zunächst ist auffällig, dass besonders im Jahr 1993 große Differenzen zwischen den Mess- (Pegel und Lysimeter) und den Rechenwerten auftraten. Zwei vorangegangene Jahre, in denen teilweise ein erhebliches Niederschlagsdefizit zu verzeichnen war, führten dazu, dass vom Niederschlagsdargebot des laufenden Versuchsjahres 1993 ein Teil zur Auffüllung des Bodenpools aufgebraucht wurde, ohne direkt abflusswirksam zu werden. Diese Tatsache konnte nun bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden, kam aber bei der Abflussbildung in den Lysimetern sehr wohl zum Tragen. Demzufolge waren die Abweichungen zwischen den mit Hilfe von Lysimetern ermittelten Sickerwassermengen und den an Pegeln gemessenen Durchflüssen relativ gering. Im hydrologischen Jahr 1994 wurden an den Pegeln etwas erhöhte Werte - sowohl im Vergleich zur berechneten Grundwasserneubildung als auch gegenüber den mit Lysimetern gemessenen Sickerwassermengen - ermittelt. Beide Vergleichsmethoden waren nicht vollständig in der Lage, die durch das nasse Jahr bedingten erheblich abflusssteigernden Dränagewassermengen aus den Teileinzugsgebieten 1 und 4 ausreichend zu berücksichtigten. Jedoch konnten mit der Lysimetermethode, auch in Extremjahren,

in Relation zu anderen Verfahren vergleichbare Größenordnungen bei der Grundwasserneubildung ermittelt werden. Daraus lässt sich für weitergehende Untersuchungen die Schlussfolgerung ableiten, dass mit den hier verwendeten Lysimetern der im Einzugsgebiet „Schaugraben" anzutreffende Wasserhaushalt mit ausreichender Genauigkeit widergespiegelt wird.

Tab. 23 Vergleich der mit Lysimetern und an Gebietspegeln gemessenen Abflüsse mit kalkulativ ermittelten Werten nach Renger und Wessolek (1990)

Messpegel	Kalkulationsmethode (Renger und Wessolek)	Lysimeterabfluss	Gebietspegelmessungen
1993			
MP1 (FE1)	227 mm	42 mm	55 mm
MP2 (FE2)	236 mm	62 mm	77 mm
MP3+4 (FE3)	228 mm	63 mm	71 mm
MP5 (FE4)	250 mm	70 mm	85 mm
1994			
MP1 (FE1)	255 mm	261 mm	343 mm
MP2 (FE2)	276 mm	284 mm	298 mm
MP3+4 (FE3)	265 mm	285 mm	367 mm
MP5 (FE4)	296 mm	310 mm	422 mm

4.3.2 Tracerversuche - Vergleich der Stoffverlagerung

Bereits 1984 wurde auf der jetzigen UFZ-Lysimeterstation in Falkenberg ein Chlorid (Cl)-Tracerversuch angelegt, um eine Abschätzung der Verlagerungsgeschwindigkeit von gelösten Stickstoffverbindungen im Boden (d.h. der exakteren Zuordnung von Ursache und Wirkung einer Kontamination) vornehmen zu können. Eine genaue Separierung zwischen Wasserbewegung und Nitratverlagerung gelang mit Hilfe einer 1992 ebenfalls in Falkenberg auf der tiefengestaffelten Lysimeteranlage begonnenen Doppeltracerstudie (RUSSOW et al., 1995). Seit 1994 werden Tracer in erster Linie

als Hilfsmittel bei der Überprüfung der Vergleichbarkeit des Wanderungsverhaltens von Nitrat in Lysimetern und auf Freilandflächen eingesetzt. Dazu erfolgte zunächst die zeitgleiche Applikation eines Tracers auf Lysimetern und Freilandparzellen unter pedologisch und hydrologisch ähnlichen Bedingungen, bei möglichst identischer landwirtschaftlicher Nutzung (Seeger et al., 1999).

Während Eulenstein und Drechsler (1992) die Treffsicherheit der mittels Tracerverlagerung abgeschätzten Sickerwassermengen mit einem einfachen Wasserhaushaltsmodell nachweisen konnten, erfolgte hier eine Gegenüberstellung mit entsprechenden Lysimetermessergebnissen aus der UFZ-Anlage in Falkenberg. Einen Vergleich der tiefenabhängigen Cl-Konzentrationsverläufe unter verschiedenen Ackernutzungen enthält Abb. 25. Hierbei handelt es sich um die bereits bei den Nmin-Untersuchungen beschriebenen Parzellen Erx2 und Erx16 (vgl. Abschn. 4.2.1.6.) mit den in Tab. 24 aufgeführten Fruchtarten. Der Cl-Tracer wurde im Dezember 1994 ausgebracht und die Beprobung erfolgte in Tiefenstufen von 10 cm nach der Hauptsickerperiode im April 1995. Aus der ermittelten Verlagerungstiefe des Tracers und der Höhe der spezifischen Wassergehalte in den durchwanderten Bodenschichten wurden die Sickerwassermengen berechnet.

Tab. 24 Angebaute Fruchtarten auf den Ackerparzellen

Parzelle	Anbaujahr			
	1994	1995	1996	1997
I (Erx2)	Mais	Mais	Brache	Brache
II (Erx16)	W.Gerste	W.Weizen	Triticale	W.Gerste

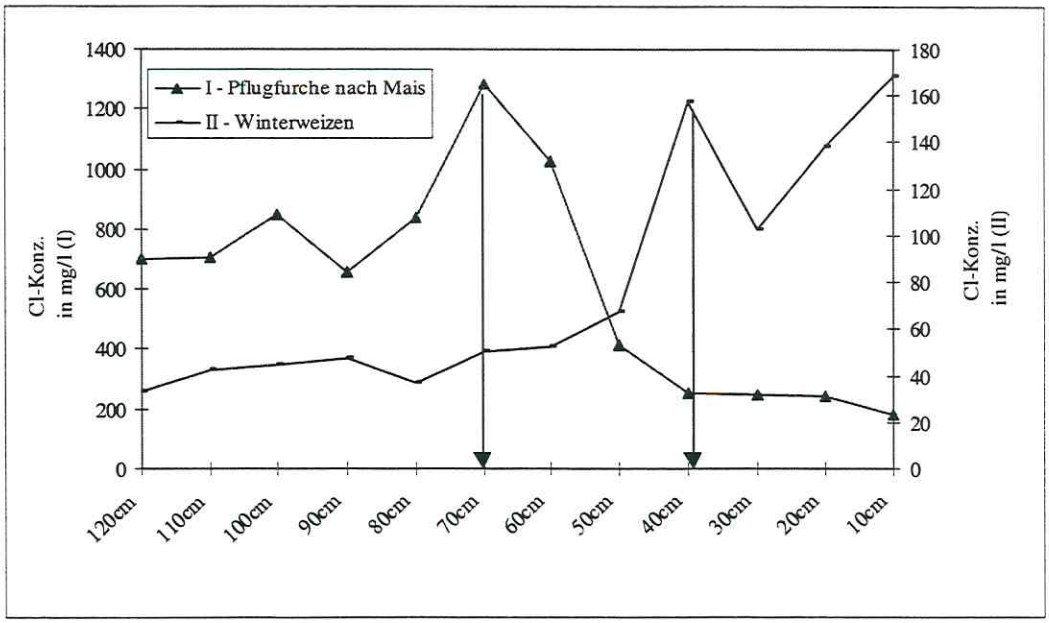


Abb. 25 Vergleich der Cl-Konzentrationsverläufe in verschiedenen Bodenschichten von Freilandparzellen mit Ackernutzung zur ersten Beprobung am 2.4.1995

Anschließend erfolgte eine Gegenüberstellung mit Sickerwassermengen, die aus Lysimetern mit weitgehend identischem Aufwuchs und ähnlichem Bodenaufbau gemessen wurden (Tab. 25).

Tab. 25 Vergleich von mit Lysimetern gemessenen und auf der Basis von Freilanduntersuchungen berechneten Sickerwassermengen

Lysimeter/ Freilandparzelle	Bewuchs	Auswertezeitraum	Sickerwassermenge mm
Mittelwert aus 4 Lysimetern	Pflugfurche nach Mais	Dezember – April	106
Parzellen-Nr. I (Erx 2)	Pflugfurche nach Mais	13.12.1994-2.04.1995	110
Mittelwert aus 6 Lysimetern	Abfr.Zw.Fr. nach W.Gerste	Dezember - April	62
Parzellen-Nr. II (Erx 16)	W.Weizen nach W.Gerste	13.12.1994-2.04.1995	59

Sowohl bei den Freilandparzellen als auch den Lysimetergefäßen zeigte sich, dass die Höhe der Sickerwasserbildung maßgeblich vom Bewuchs, speziell der Vorfrucht, beeinflusst wird. So führte eine Herbstfurche nach Maisanbau zu einer höheren Sickerwasserbildung als eine weitgehend, auch über Winter, geschlossene

Bodenbedeckung mit Getreide bzw. Zwischenfruchtanbau. Die bei der Gegenüberstellung erzielte gute Übereinstimmung zwischen den mit Lysimetern gemessenen und den auf den Freilandparzellen berechneten Sickerwassermengen bestätigt die Tauglichkeit der hier geprüften Methodik. Des weiteren belegen auch diese Ergebnisse, dass Lysimeteruntersuchungen die auf Freiflächen ablaufenden Wasser- und Stofftransportprozesse mit ausreichender Genauigkeit widerspiegeln. Deshalb wurden nach der gleichen Methodik im Rahmen der 1998 im Mai gemeinsam durchgeführten Messkampagne auch entsprechende Tracerversuche auf 4 Lysimetern und 3 Freilandparzellen im Untersuchungsgebiet „Polkovo" angelegt. In Anlehnung an die in Deutschland vorliegenden Erfahrungen sowie den beim russischen Projektpartner vorhandenen analytischen Möglichkeiten wurde Kaliumchlorid als Tracer verwendet. Die Applikationsmenge betrug 50 g/m^2 Cl.

4.3.3 Modellierungsarbeiten

Eine weitere Möglichkeit der Kopplung von Messdaten, die in unterschiedlichen Skaleneinheiten gewonnen wurden, besteht in der Abstraktion der hierbei gewonnenen Erkenntnisse sowie deren Verallgemeinerung in Form von mathematischen Modellen. Dabei wurde zunächst versucht, vorhandene Modellsysteme für die hier spezifisch untersuchte Fragestellung zu nutzen.

Mit den Lysimetern ist die Ermittlung der Stoffanlieferung zum Grundwasser problemlos möglich. Demgegenüber ist die flächenhafte Messung des Stoffaustrages aus der Bodenzone in Richtung Grundwasser kaum realisierbar. In der Praxis wird hier auf Punktbeobachtungen an Grundwasserpegeln oder modellhaften Abschätzungen zurückgegriffen. Da die vorhandenen Lysimetermessungen auch als Grundlage für die Ermittlung des Stoffaustrages aus der Bodenzone in den Kleineinzugsgebieten genutzt werden sollten, wurde in Zusammenarbeit mit dem deutschen Kooperationspartner ZALF Müncheberg ein Vergleich bezüglich der N-Auswaschung (Emissionsbetrachtung) für das „Schaugraben"-Einzugsgebiet nach der Lysimetermethode und dem Modellansatz von Dannowski (1997) vorgenommen (Tab. 26). Bei diesem Modell wird basierend auf jährlichen N-Bilanzen die N-Anlieferung an das Grundwasser unter Berücksichtigung des Wasserhaushaltsterms nach König und Glugla (1988) sowie des standörtlichen Verlagerungsrisikos nach

dem in der Bodenkunde häufig verwendeten Ansatz von Gäth und Wohlrab (1992) bei gleichzeitiger Einführung eines Denitrifikationsfaktors nach Köhne und Wendland (1992) berechnet (Meißner et al., 1997, 1999).

Obgleich jährliche Veränderungen der N-Bilanzen in den einzelnen Teileinzugsgebieten aufgrund der erfolgten Landnutzungsänderungen zu verzeichnen sind, weichen sie bei der Betrachtung des gesamten Experimentalgebietes kaum voneinander ab. Demgegenüber variieren die gemessenen und berechneten N-Frachten aufgrund der Variabilität des Niederschlages erheblich. Beim Vergleich der nach dem Modell berechneten und der nach der Lysimetermethode kalkulierten N-Anlieferungsmengen an das Grundwasser zeigte sich lediglich eine moderate Übereinstimmung. Offensichtlich findet durch das Modell eine Überschätzung der Denitrifikation statt. Dies wird vor allem im feuchten Jahr 1993 deutlich, denn hier wurde eine um die Hälfte verringerte N-Anlieferung an das Grundwasser im Vergleich zu den Lysimeteruntersuchungen berechnet. Jedoch zeigte sich auch bei diesem Vergleich, dass mit den Lysimetern die im Einzugsgebiet angetroffene Variationsbreite erfasst und widergespiegelt wird.

Tab. 26 Modellrechnungen zur Quantifizierung des Stickstoffeintragsrisikos in den oberen Grundwasserleiter auf der Grundlage von jährlichen Stickstoffbilanzen im Vergleich zu Lysimetermessergebnissen für das Untersuchungsgebiet „Schaugraben“

Teileinzugsgebiete des Schaugrabens	FE1 (612 ha)	FE2 (799 ha)	FE3 (793 ha)	FE4 (210 ha)
N-Flächenbilanzen				
N- Überschuß an der Bodenoberfläche **1993**	28	46	40	12
N- Überschuß an der Bodenoberfläche **1994**	19	35	42	33
N-Anlieferung an Grundwasser unter Berücksichtigung der Denitrifikation				
(in 0,5m Tiefe) **1993**	16	26	20	4
(in 0,5m Tiefe) **1994**	8	19	22	22
Gemessene N- Frachten nach Lysimeterwerten				
(0-1,25 m Tiefe) **1993/94**	46	43	42	40
(0-1,25 m Tiefe) **1994/95**	17	26	27	11

Im Interesse einer verbesserten Simulation von Lysimeter-, Feld- und Einzugsgebietsmessungen wurde neben dem bereits genannten Bilanzmodell auch mit Arbeiten zur Nutzung eines dynamischen Modells begonnen. Speziell handelt es sich hierbei um das im UFZ von Franko (1996) entwickelte Modell CANDY (Carbon and Nitrogen Dynamics). Gegenwärtig ist es gelungen, eine gute Übereinstimmung zwischen Lysimetermessungen und Modellrechnungen bezüglich der Ermittlung von N-Auswaschungen aus der Bodenzone zu erzielen (Abb. 26).

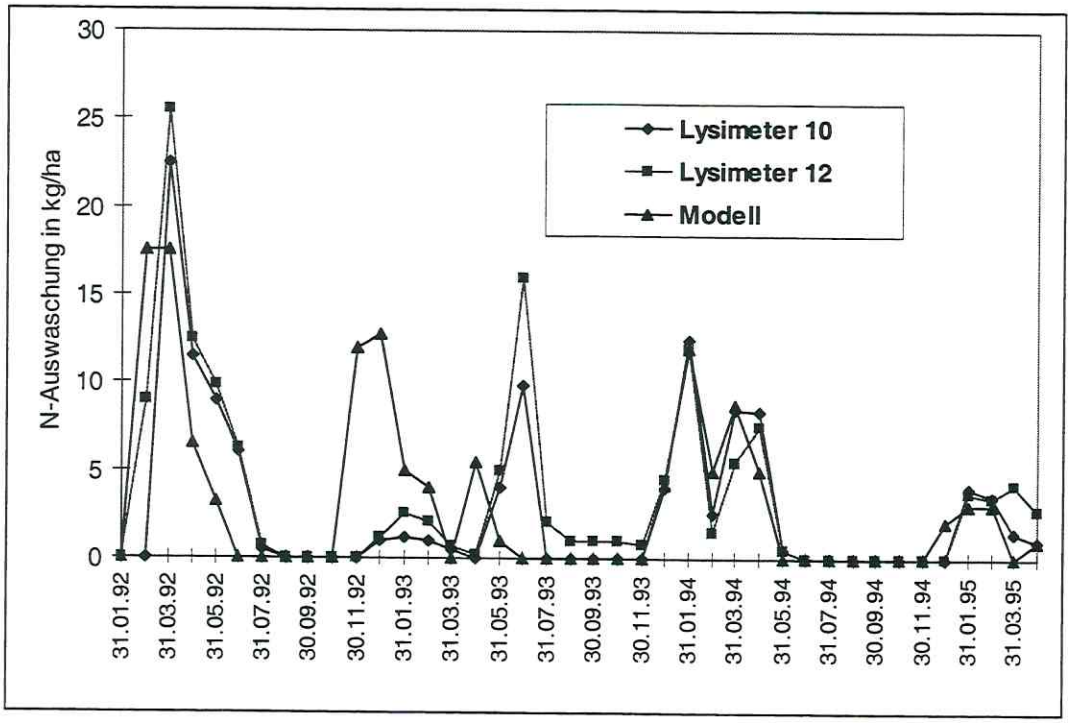


Abb. 26 Vergleich der N-Auswaschung, gemessen mit Lysimetern und berechnet mit dem Modell CANDY

An einer Übertragung dieser Ergebnisse auf das Schaugrabeneinzugsgebiet wird im Rahmen der Verbundforschung des UFZ (Vorhaben 2.1.3 „Kleineinzugsgebiete und Landnutzung im Elbeeinzugsgebiet") zur Zeit gearbeitet.

Des weiteren sind in Zusammenarbeit mit der Sektion Hydrogeologie des UFZ Untersuchungen zur Simulation des N-Transportes im Grundwasserleiter durchgeführt worden. Hierzu wurde eine Adaptierung des auf einem Finite-Elemente-Ansatzes beruhenden Modells FEFLOW (Finite Element Subsurface Flow System) an die Bedingungen des Schaugrabeneinzugsgebietes vorgenommen. Allerdings führten diese Berechnungen zu dem Ergebnis, dass der gesamte Grundwasserstrom in Richtung Elbe abgeführt wird und der Schaugraben keine Entwässerungsfunktion

für das Gebiet aufweist. Diese Aussage steht jedoch im Widerspruch zu Untersuchungen im Einzugsgebiet. Besonders mit Hilfe der bereits erwähnten Seepage-Messungen konnte ein eindeutiger Wasser- und damit auch Stofftransport von Flächen aus dem Einzugsgebiet in Richtung Schaugraben nachgewiesen werden. Es ist vorgesehen, diese Arbeiten in einem gesonderten Forschungsprojekt fortzusetzen (Tab. 27).

Tab. 27 Bodenkundliche Beschreibung der Seepage-Messpunkte im Untersuchungsgebiet „Schaugraben"

Nr. der Punkte/ Lage	Bewer-tung	Nutzung	MMK Standort-regionaltyp	MMK SFT	MMK Leitbo-denform	GW-Stand Beschreibung	Geologie Beschreibung	Boden-art KA 4
1 (bei Pegel 6)	+	Acker/ Grünland	D2b3	S	Sand-Rostgley	1-1,5 m grundnasser Sand	H/das Moorerde auf Talsand	Sl
2 (bei Pegel 5)	-	Acker	D4b4		Sandlehm-Gley	1-1,5 m grundnasser Sand	(ds/dm)Wa Mittelsand, schwach kiesig	uS
3 und 4 (bei Pegel 4)	-	Acker	D6b6	l-t	Lehm-Humusgley	0,6-1m stauvernässt, grundwasser-nah	DsWa Mittelsand mit kleinen Geschieben	Us
5 (bei Pegel 3)	-	Grünland/ Acker	D3b5	m/d	Decklehm Sand-Humusgley	0,6-1 m stauvernässt, grundwasser-nah	h/dsWa MOORERDE AUF HOCH-FLÄCHEN-SAND	sL
6 und 7 (zwi-schen Pegel 2 und 3)	++	Grünland	D4b8		Sandlehm-Gley anmoorig	0,6-1 m grundwasser-nah	das Fein-bis Mittelsand mit Kies	sL
8 (vor Pegel 2)	-	Grünland	D4b5	m/d + m/l	Sandlehm-Gley	0,6-1 m grundwasser-nah	t graubrauner schluffiger Ton	uS

4.4 Kopplung von Lysimeter- und Gebietsuntersuchungen

4.4.1 Ermittlung von N-Emissions- und N-Immissionswerten

Die Kalkulation des N-Austrages aus der Bodenzone (Emissionsbetrachtung) erfolgte durch die Kopplung von Lysimeter- und Gebietsuntersuchungen. Für die Berechnung der jährlichen N-Emissionswerte dienten neben den seit 1991 regelmäßig

durchgeführten Bestandsaufnahmen der Nutzungsstruktur und den Befragungen der ansässigen Flächennutzer über die Bewirtschaftungsintensität im Einzugsgebiet, die in weitgehend identisch bewirtschafteten Lysimetern gemessenen N-Austräge als Grundlage. Dazu wurden in kontinuierlichen Zeitabständen die Sickerwassermengen aus den einzelnen Versuchsgefäßen erfasst, die N-Konzentration im Sickerwasser analytisch im Labor bestimmt und der N-Austrag aus der Bodenzone ermittelt. Durch Kombination der im Einzugsgebiet jeweils festgestellten landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsstrukturen mit gemessenen N-Austrägen aus weitgehend pedologisch vergleichbaren und identisch bewirtschafteten Lysimetern wurden die N-Emissionswerte für die Teileinzugsgebiete und das Gesamtgebiet des Schaugrabens errechnet (Abb. 27).

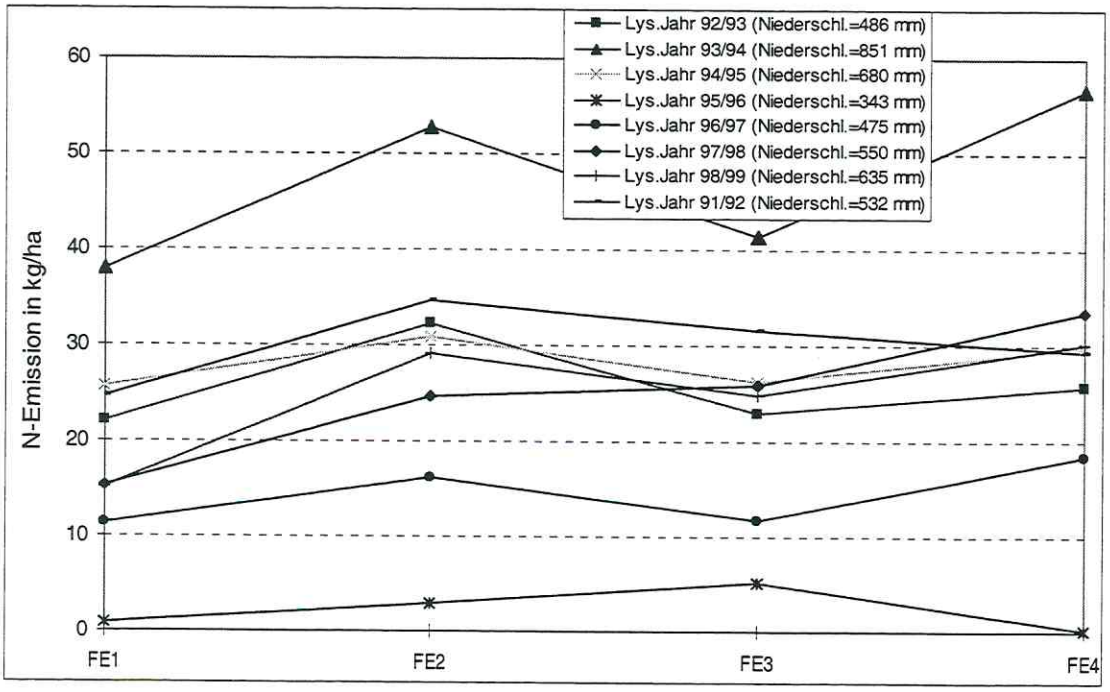


Abb. 27 Vergleich der N-Emissionen in den Teileinzugsgebieten (FE) des Schaugrabens für den Zeitraum 1991 - 1999

Zur Ermittlung der jährlichen N-Immissionen, dargestellt in Abb. 28, wurden zunächst in 2- bis 4-wöchigen und ab 1997 in wöchentlichen Abständen die Durchflüsse an den jeweiligen Pegeln im Schaugraben gemessen und die dazugehörenden N-Konzentrationen bestimmt.

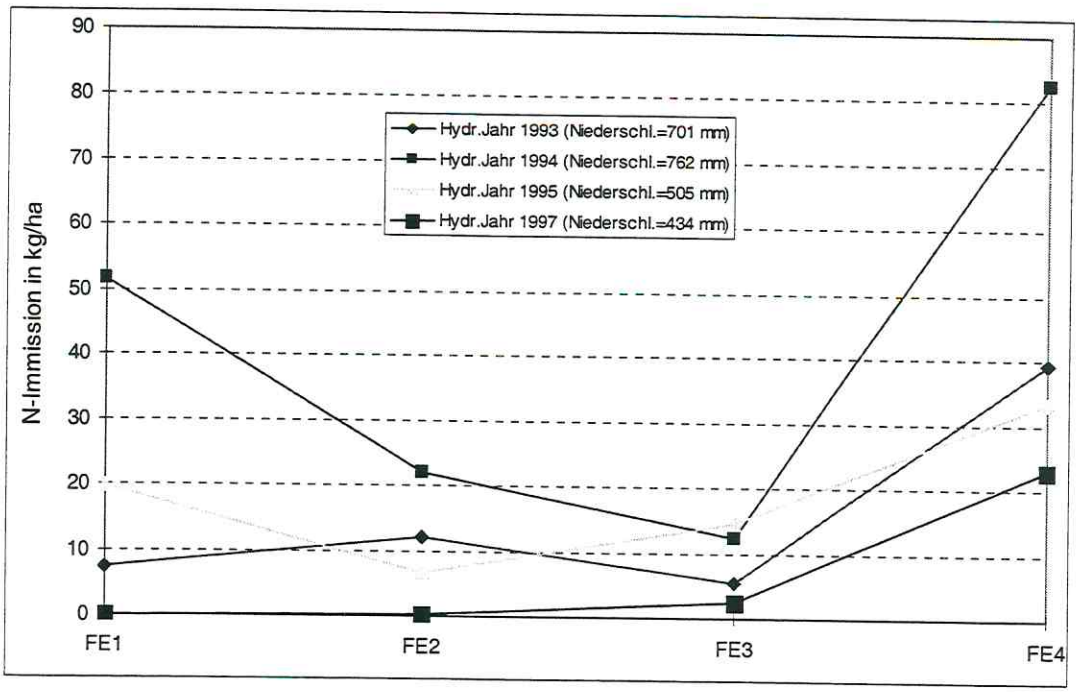


Abb. 28 Vergleich der N-Immissionen in den Teileinzugsgebieten (FE) des Schaugrabens im Zeitraum 1993 - 1998

Aus der Multiplikation der Durchflüsse mit den dazugehörigen N-Konzentrationen wurden die N-Frachten und damit die N-Immissionen an den jeweiligen Pegeln der Teileinzugsgebiete sowie für das Gesamtgebiet ermittelt. Entsprechend der vorher erläuterten methodischen Grundsätze wurde auch die Kalkulation der N-Emissions- und N-Immissionswerte für das russische Untersuchungsgebiet „Polkovo" vorgenommen (Abschn. 5).

4.4.2 Kalkulation von N-Exportkoeffizienten

Aus der Gegenüberstellung von N-Emissions- und N-Immissionsgrößen wurden in Anlehnung an Grant (1996) N-Exportkoeffizienten für die Teileinzugsgebiete und das Gesamtgebiet ermittelt. Sie sollen als Maßzahlen zur Charakterisierung der Stoffrückhaltefunktion von Ein- bzw. Teileinzugsgebieten sowie zur Beurteilung von dort stattgefundenen Landnutzungsänderungen dienen. Die in den Untersuchungsjahren erkennbaren Unterschiede resultierten neben der bereits genannten signifikanten Beeinflussung durch das Niederschlagsdargebot aus der unterschiedlichen Zusammensetzung der in den FE anzutreffenden prozentualen Flächenanteile an Wald, Acker- und Grünland. Während FE1 einen Waldanteil von

40% aufweist, dominiert in den FE2 und FE3 die Ackernutzung mit 76 bzw. 58%. Besonders hohe N-Exportkoeffizienten wurden für das FE4 ermittelt. Ursache hierfür dürfte der hohe Ackerflächenanteil von 98% sein. Die auf diesen meliorierten Flächen stattfindende Nutzung bedingt eine intensive Bodenbearbeitung, verbunden mit einem hohen Einsatz an Nährstoffen zur Erzeugung von Biomasse. Gleichzeitig besteht damit auch die Gefahr eines zunehmenden Wasser- und Stoffaustrages aus der Fläche in Richtung Grund- und Oberflächenwasser. Inwieweit N-Überschüsse aus zurückliegenden Jahren aufgrund der Transitzeiten zwischen Eintrag und Austrag eine Rolle spielen, kann mit den vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht geklärt werden. Für das Gesamtgebiet wurde ein mittlerer N-Exportkoeffizient von knapp 60% ermittelt.

Tab. 28 Vergleich von N-Exportkoeffizienten (in %) in den Teileinzugsgebieten des Schaugrabens

	FE1	FE2	FE3	FE4
1993	34	37	24	152
1994	136	42	30	146
1995	77	22	56	111
1997	0	2	20	124
1998	0	6	15	147
Mittelwert	**49**	**22**	**29**	**136**

4.4.3 Identifizierung von Einflussfaktoren des diffusen Stoffaustrages

Mit Hilfe von Clusteranalysen wurde im Rahmen einer Identifizierung versucht, Wichtungsfaktoren zu ermitteln, die maßgeblich für das N-Austragsverhalten aus einem Kleineinzugsgebiet verantwortlich sind. Diese Analysen wurden getrennt für die N-Auswaschung aus der Bodenzone des Einzugsgebietes (N-Emission) und den N-Austrag mit dem Fließgewässer (N-Immission) für die einzelnen Teileinzugsgebiete vorgenommen. Dabei konnte für die N-Emissionsgrößen im Versuchszeitraum 1991 bis 1999 in den Teileinzugsgebieten nachfolgende Reihung der Haupteinflussfaktoren bestimmt werden:

FE1 Niederschlag > Getreideanbau > Maisanbau > Stilllegung
FE2 Getreideanbau > Niederschlag > Maisanbau > Stilllegung
FE3 Getreideanbau > Niederschlag > Maisanbau > Stilllegung
FE4 Niederschlag > Getreideanbau > Maisanbau > Stilllegung

Die N-Emission war also in den FE1 und FE4 entscheidend vom Niederschlagsdargebot abhängig und dann erst von der Landnutzung. Dabei dominierte bei der Landnutzung die Beeinflussung des N-Eintrages durch den Getreideanbau gefolgt vom Maisanbau. Die Stilllegung von Ackerflächen spielte sowohl hier als auch bei den FE2 und FE3, in denen dem Getreideanbau die entscheidende Bedeutung zukam, nur eine untergeordnete Rolle (Abb. 29).

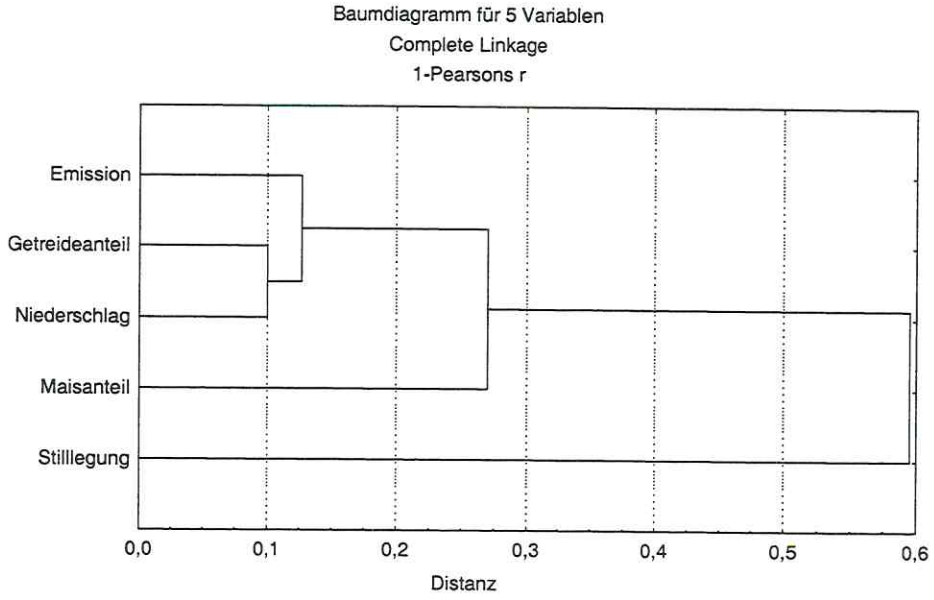


Abb. 29 Ergebnisse einer Clusteranalyse von N-Emissionswerten und relevanten Einflussgrößen im FE3 im Zeitraum 1991 – 1999

Eine Reihung der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Höhe der N-Immissionen in den Teileinzugsgebieten im Versuchszeitraum 1993 bis 1998 zeigte, dass in allen FE der Flächennutzung eine große Bedeutung zukommt. Während bei den FE1 und FE4 der Getreideanbau gefolgt vom Niederschlagsdargebot den größten Einfluss auf die jeweiligen N-Immissionen ausübte, konnte für das Teileinzugsgebiet FE3 die Höhe des Anteils der stillgelegten Fläche als entscheidendster Faktor für die Höhe des N-Austrages mit dem Fließgewässer ermittelt werden (Abb. 30).

FE1 Getreideanbau > Niederschlag > Maisanbau > Stilllegung
FE2 Maisanbau > Getreideanbau > Niederschlag > Stilllegung
FE3 Stilllegung > Getreideanbau > Maisanbau > Niederschlag
FE4 Getreideanbau > Niederschlag > Maisanbau > Stilllegung

Insgesamt zeigte sich jedoch, dass die messtechnische Erfassung des Einflusses von Landnutzungsänderungen auf die Wasserqualität im Vorfluter auf der Einzugsgebietsskala kompliziert ist. Speziell zur Aufklärung des Transportes von N aus dem Einzugsgebiet in das Oberflächenwasser über den Pfad Boden – Grundwasser sind zukünftig weitere Tracer-Untersuchungen unter Einsatz von stabilen und natürlichen Isotopen vorgesehen.

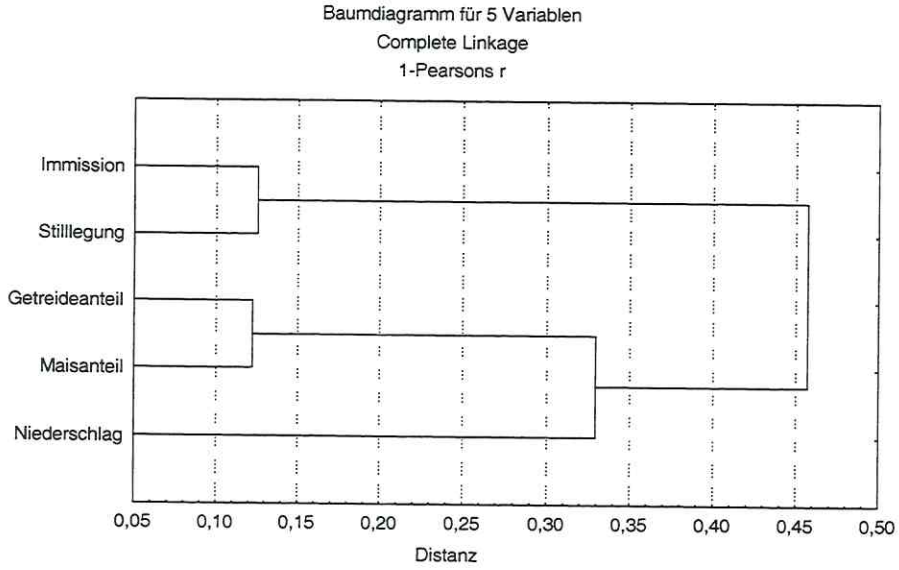


Abb. 30 Ergebnisse einer Clusteranalyse von N-Immissionswerten und relevanten Einflussgrößen im FE3 im Zeitraum 1993 - 1998

5 Zusammenfassung und Vergleich der Untersuchungsgebiete

5.1 Makroskalenbereich

Bei der zunächst im Makroskalenbereich vorgenommenen Gegenüberstellung der nach der Emissionsmethode (Austrag aus dem Einzugsgebiet in die Gewässer) ermittelten N-Einträge in die Elbe bzw. Oka wurde festgestellt, dass der Anteil der diffusen Quellen gegenüber den punktförmigen überwiegt (Abb. 31).

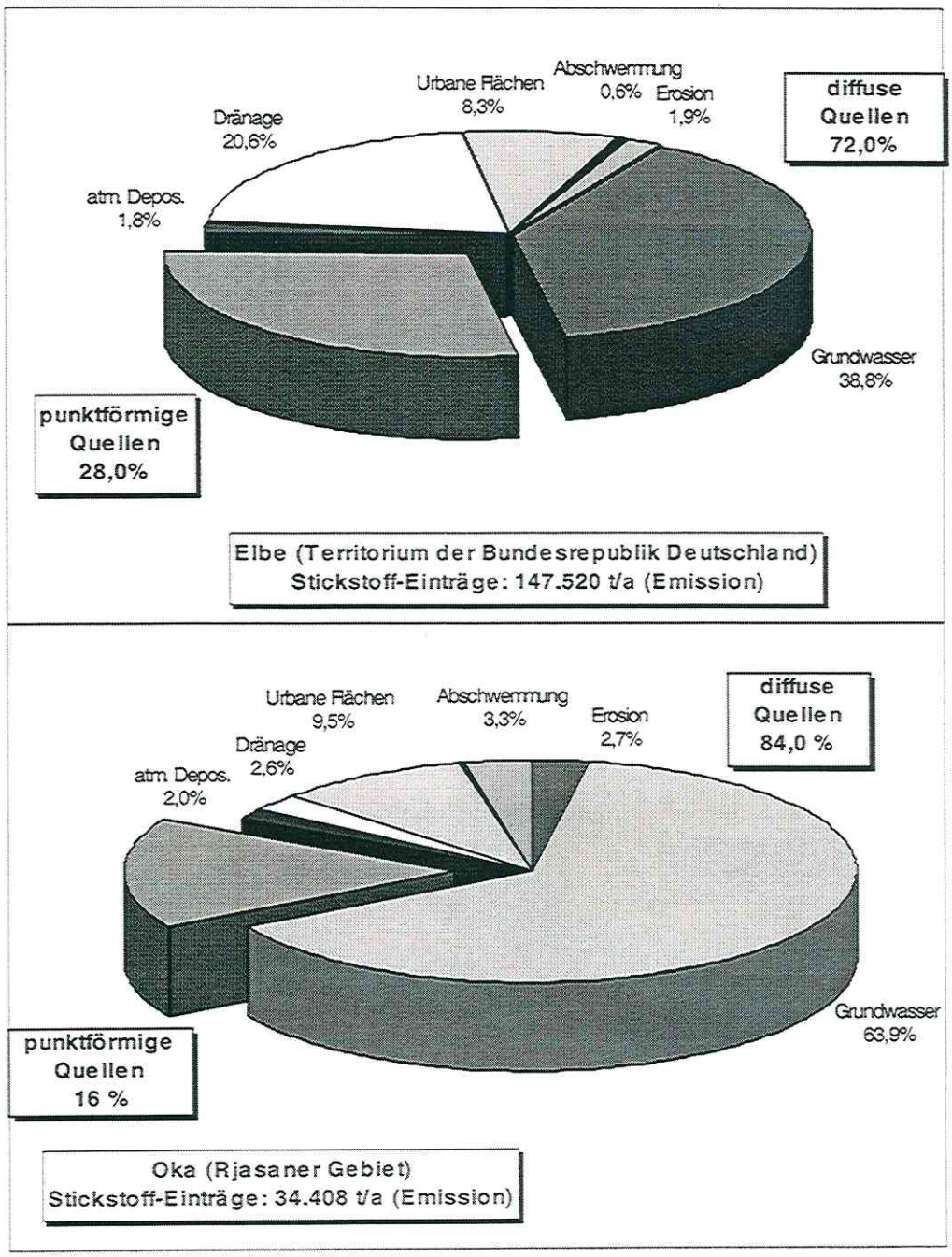


Abb. 31 Gegenüberstellung der nach der Emissionsmethode ermittelten N-Einträge in die Elbe und Oka

Demnach ist die Verminderung der punktförmigen Quellen, die meist durch den Bau von entsprechenden Kläranlagen erfolgt, nicht ausreichend, um eine nachhaltige Verbesserung der Gewässergüte zu erreichen. Obgleich die auf der Basis vorhandener Daten kalkulierten N-Einträge in die Oka im Vergleich zur Elbe aufgrund differenzierter Infrastrukturen und einer wesentlich niedrigeren Bevölkerungsdichte geringer sind, wird auch hier der dominierende Eintragspfad über das Grundwasser deutlich. Damit korrespondieren diese in einem russischen Einzugsgebiet ermittelten Ergebnisse mit Erkenntnissen, die bei der Aufklärung der N-Eintragspfade in die oberirdischen Gewässer in Deutschland gewonnen wurden. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die Höhe des diffusen Stoffeintrages hauptsächlich durch die im Einzugsgebiet stattfindende Landnutzung, vor allem die Intensität der agrarischen Bewirtschaftung, beeinflusst wird. Deshalb wird gegenwärtig in Deutschland – und zukünftig hoffentlich auch in Rußland - verstärkt an der praktischen Umsetzung von Strategien zur nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion unter Beachtung der Forderungen des Umwelt- und Gewässerschutzes gearbeitet.

5.2 Mikroskalenbereich

Bei den in Deutschland und Rußland nach gleichen methodischen Grundsätzen durchgeführten Lysimeteruntersuchungen konnte der Nachweis erbracht werden, dass damit in relativ kurzen Zeiteinheiten Bewertungen über den Einfluss von Landnutzungsänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt möglich sind. Sie dienen als wesentliche Stützstellen für die Aufklärung von Prozessen sowie deren Modellierung. Die Übertragbarkeit von Erkenntnissen aus Lysimeterversuchen auf Kleineinzugsgebiete ist prinzipiell möglich. Jedoch sind weiterführende Untersuchungen notwendig, da vor allem das wechselnde Niederschlagsdargebot die Abflusskomponenten (d.h. Stofftransport und Stofffracht) maßgeblich beeinflusst und der Umfang von Landnutzungsänderungen im Verhältnis zur Gesamtgröße des Untersuchungsgebietes gering und damit kaum signifikant quantifizierbar ist.

In Abb. 32 wurde ein Vergleich vorliegender Ergebnisse aus beiden Stationen bezüglich des Ertragsniveaus ausgewählter Ackerfrüchte und der damit verbundenen N-Konzentrationen im Sickerwasser in Abhängigkeit vom N-Düngungsniveau vorgenommen.

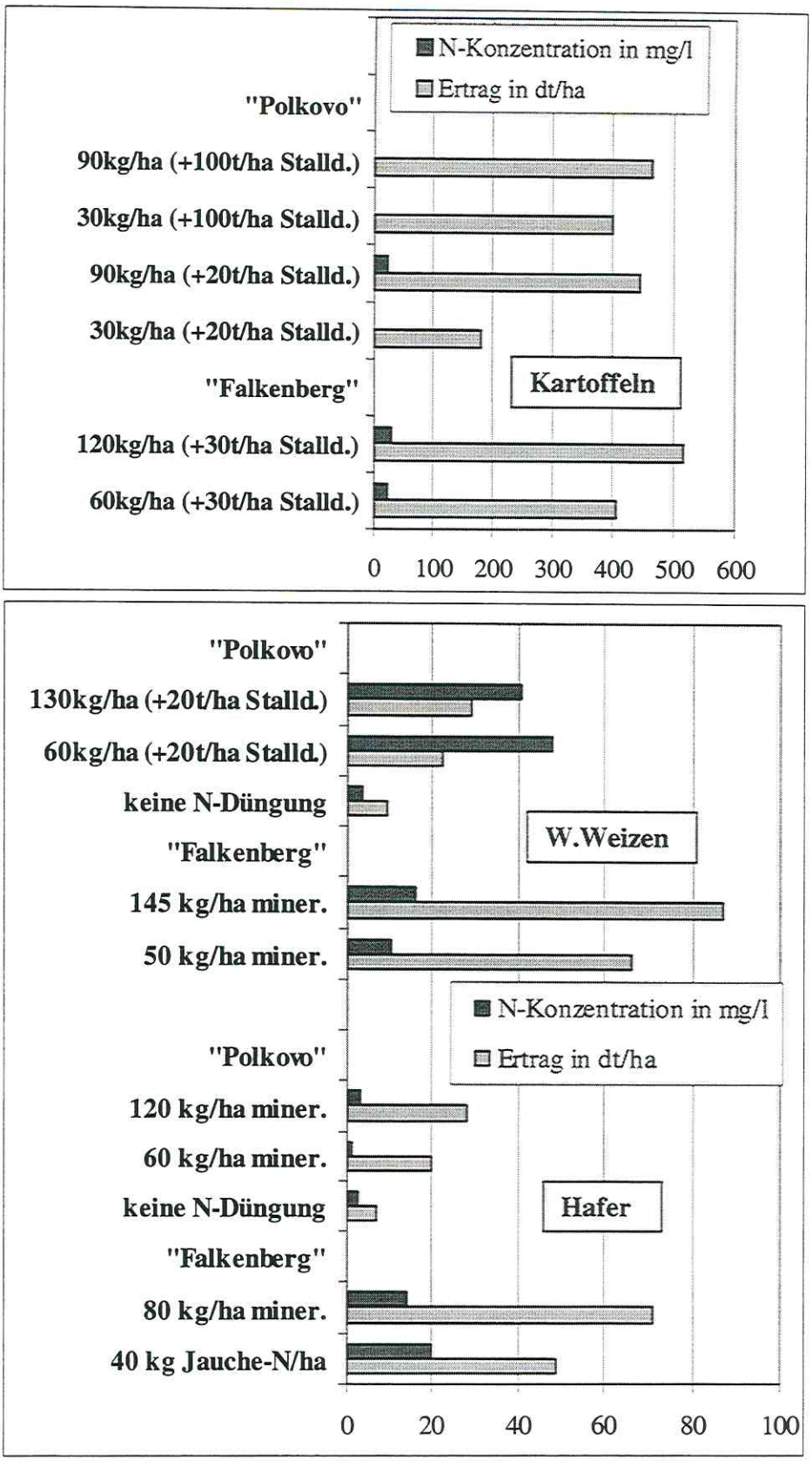


Abb. 32 Vergleich des Ertragsniveaus und der mittl. N-Konzentrationen im Sickerwasser bei verschiedenen Ackerfrüchten in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung in Lysimetern der Stationen Falkenberg und Polkovo im Anbaujahr 1998

Aus der Gegenüberstellung geht deutlich hervor, dass auf beiden Stationen erwartungsgemäß das Ertragsniveau mit zunehmender N-Düngermenge anstieg. Waren dabei bei ähnlichem Düngungsniveau die Ertragsmengen beim Kartoffelanbau vergleichbar, konnten beim Getreideanbau große Differenzen festgestellt werden. Bedingt durch den kälteren und auch längeren Winter war es dem Wintergetreide in Polkovo offensichtlich nicht gelungen, das vorhandene N-Dargebot optimal in Biomasse umzusetzen. Die daraus resultierende im Boden verbleibende größere N-Menge stellte damit ein hohes N-Auswaschungsrisiko für die nachfolgende winterliche Sickerungsperiode dar. Auffällig war beim Vergleich des Getreideanbaues an beiden Standorten, dass es besonders bei zusätzlicher Versorgung mit organischen N-Düngemitteln (Stalldung bzw. Jauche) zu höheren N-Konzentrationen im Sickerwasser kam. Die Gegenüberstellung der N-Konzentrationen im Getreideanbau zeigte auch, dass eine Reduzierung der Mineraldüngeraufwandmenge um jeweils 50% - sowohl in Falkenberg als auch in Polkovo - nicht gleichzeitig mit einer Verminderung der N-Konzentrationen im Sickerwasser verbunden war. In mehreren langjährig durchgeführten Untersuchungen auf der Lysimeterstation in Falkenberg konnte keine statistisch gesicherte Abnahme des sickerwassergebundenen N-Austrages bei Verminderung des N-Dargebotes ermittelt werden (Meissner et al., 1995). Es wurde daraus die Schlussfolgerung abgeleitet, dass eine wirksame Senkung der Gewässerbelastung nicht ausschließlich durch Maßnahmen einer reduzierten Mineraldüngung erreicht werden kann.

5.3 Mesoskalenbereich

Der Nachweis von Änderungen der Landnutzung auf den Wasser- und Stoffhaushalt ist auf der Einzugsgebietsskala kompliziert, da erhebliche Zeitverzögerungen zwischen Ursache und Wirkung bestehen. Nach Untersuchungen des Institutes für Hydrologie im ZALF Müncheberg sind „flussnahe Gebiete" (schmale Bach- und Flusstäler mit grundwassernahen Auen, zum Teil vermoort und kurzen Fließwegen zum Vorfluter) besonders geeignet, um derartige Effekte messtechnisch erfassen zu können. Deshalb wurden in den Einzugsgebieten von Elbe und Oka die Repräsentativgebiete „Schaugraben" und „Polkovo" für vertiefende experimentelle Arbeiten zur Quantifizierung von diffusen N-Austrägen ausgewählt.

Zur Bewertung des N-Austragspotentials aus der Fläche können den seit 1992 auf ausgewählten Schlägen im Einzugsgebiet des „Schaugrabens" in monatlichen Abständen gewonnenen Nmin-Werten Ergebnisse aus einer im Frühjahr 1998 durchgeführten Messkampagne im „Polkovo"-Einzugsgebiet gegenübergestellt werden (vgl. hierzu auch Abb. 4 und 21). Die in Abb. 33 dargestellten Resultate der Bodenuntersuchungen stellen einen repräsentativen Ausschnitt aus den jeweiligen Untersuchungsgebieten vom Beginn der Oberflächenabflussbildung (Input) bis zum Gebietsauslass (Output) dar. Ein Vergleich der Nmin-Gehalte zeigte für vergleichbare Bodensubstrate (Sand und lehmiger Sand) und Nutzungen (Acker und Grünland) einen ähnlich hohen Wertebereich und macht das im Boden beider Untersuchungsgebiete befindliche Stoffaustragspotential deutlich.

Für den Vergleich der N-Immissionen wurden den im „Schaugraben" seit Ende 1992 durchgeführten Mengen-Güte-Untersuchungen entlang der Fließstrecke Messergebnisse aus dem russischen Untersuchungsgebiet gegenübergestellt, die ebenfalls aus der gemeinsam durchgeführten Messkampagne vom Frühjahr 1998 stammen (Abb. 34).

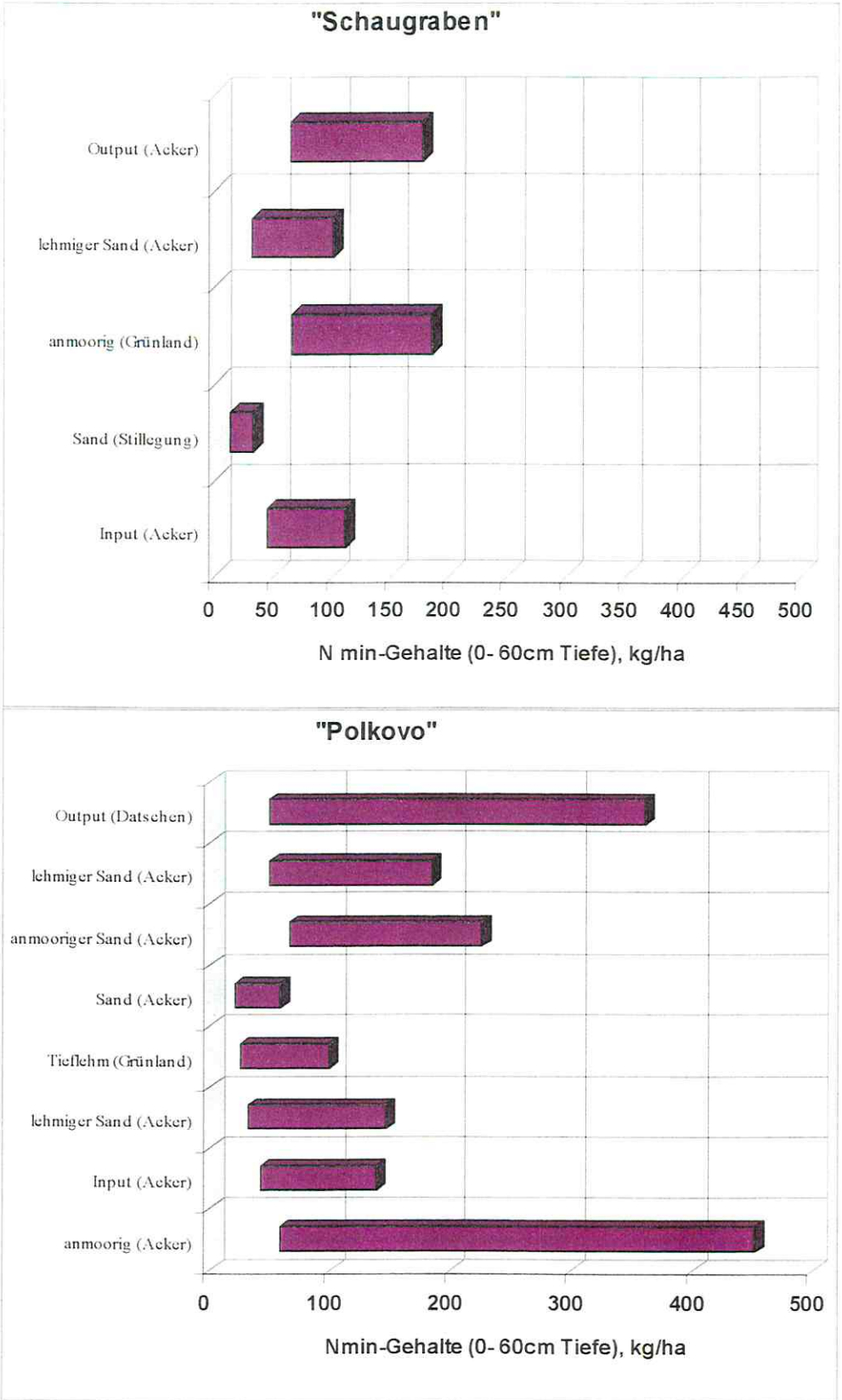


Abb. 33 Vergleich von Nmin-Gehalten ausgewählter Messplätze in den Untersuchungsgebieten „Schaugraben“ und „Polkovo“

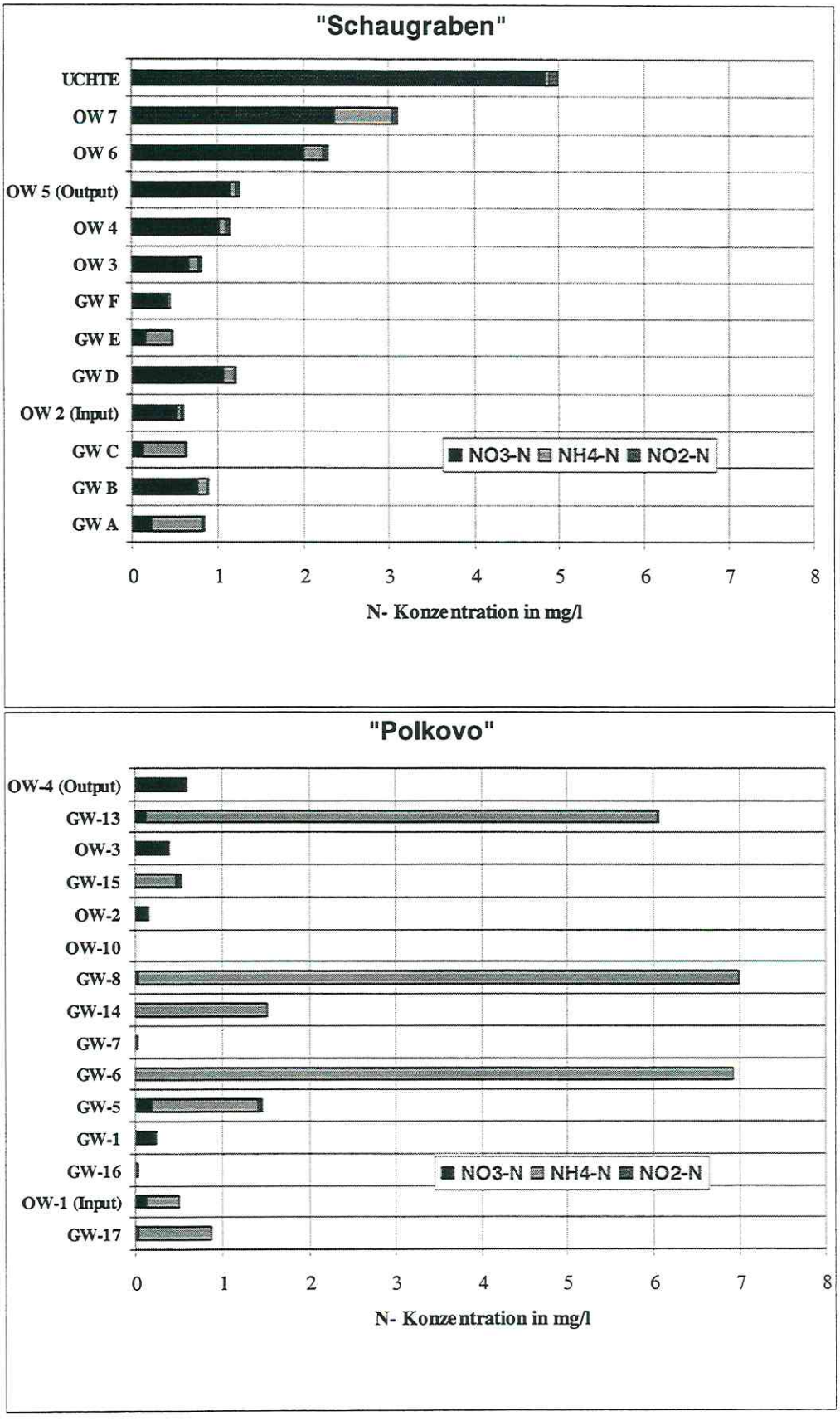


Abb. 34 Vergleich von N-Konzentrationen im Grund- und Oberflächenwasser ausgewählter Messstellen in den Untersuchungsgebieten „Schaugraben“ und „Polkovo“

Die mittleren N-Konzentrationen von etwa 1 mg/l im Oberflächenwasser sind in den beiden überwiegend landwirtschaftlich genutzten Teilen der untersuchten Einzugsgebiete relativ gering. Erhöhte N-Konzentrationen von 2 bis 5 mg/l wurden im „Schaugraben" an den Pegeln OW6 bis zur Einmündung in die Uchte aufgrund von Abwassereinleitungen festgestellt. Während die N-Konzentrationen im Grundwasser des „Schaugraben"-Einzugsgebietes bei < 1 mg/l lagen, wurden im „Polkovo"-Einzugsgebiet an drei Messstellen erhöhte NH_4-N-Konzentrationen gemessen.

Die N-Emissionsberechnung erfolgte in Deutschland und Rußland nach den gleichen methodischen Grundsätzen unter Verwendung von Lysimetermessergebnissen und unter Berücksichtigung der im jeweiligen Gebiet angetroffenen Landnutzungsstruktur. Aus der in Tab. 29 vorgenommenen Zusammenstellung der Ergebnisse ist ersichtlich, dass in beiden Untersuchungsgebieten erhebliche Unterschiede zwischen den N-Emissionen und N-Immissionen zu verzeichnen sind. Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand resultieren die in den einzelnen Untersuchungsjahren festgestellten differenzierten N-Einträge und N-Austräge vorrangig aus der Variabilität des hydrologischen Regimes und der Intensität der Flächennutzung im Einzugsgebiet. Allerdings korrespondieren die hier auf der Basis von Messungen ermittelten Differenzen mit Angaben aus der Literatur (z.B. Berendt et al., 1999). Die sehr großen Unterschiede zwischen den N-Einträgen und N-Austrägen in „Polkovo" sind wahrscheinlich auf Messungenauigkeiten infolge des großen zeitlichen Abstandes und auf die Retentionswirkung der in diesem Untersuchungsgebiet noch vorhandenen Torfgebiete zurückzuführen. Die Aufklärung der Differenzen zwischen den N-Emissionen und N-Immissionen und die vollständige Modellierung der Stofftransportpfade ist in weiterführenden Untersuchungen vorgesehen.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass auch bei der im Einzugsgebiet des „Schaugrabens" angetroffenen weitgehend ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung nach wie vor hohe Gefährdungspotentiale bezüglich des N-Austrages aus der Bodenzone bestehen. Deshalb sind weitere Anstrengungen notwendig, um den diffusen Stoffeintrag in die Gewässer zu vermindern.

Trotz des insgesamt im Untersuchungsgebiet „Polkovo" zu verzeichnenden geringeren Intensitätsgrades der landwirtschaftlichen Produktion gegenüber dem

deutschen Vergleichsgebiet sind auch hier beachtliche N-Austragspotentiale vorhanden. Diese sind in weiterführenden Untersuchungen zu präzisieren, und es sind Bewirtschaftungsstrategien für eine umweltgerechte Landbewirtschaftung zu erarbeiten.

Tab. 29 Vergleich von ermittelten N-Einträgen und N-Austrägen in den Untersuchungsgebieten „Schaugraben“ und „Polkovo“

Hydrologisches Jahr*)	Jährl. Niederschlag (mm)	N-Emission **) (kg/ha)	N-Immission ***) (kg/ha)	Differenz (%)
„Schaugraben“				
1993	701	24	11	54
1994	762	45	32	29
1995	505	25	12	54
1997	434	10	3	65
1998	650	20	8	60
1999	506	31	20	36
„Polkovo“				
1995	846	28	10	65
1997	444	16	5	71
1998	615	23	6	75
1999	591	33	6	83

*) Im Versuchsjahr 1996 konnte aufgrund einer stabilen Dauerfrostperiode von Dezember 1995 bis April 1996 keine mit den anderen Jahren vergleichbare Messreihe erstellt werden; im russischen Untersuchungsgebiet konnten 1996 wegen finanzieller Probleme keine chemischen Analysen vorgenommen werden

**) Austrag aus der Fläche auf der Grundlage von Lysimeterergebnissen unter Berücksichtigung der aktuellen Landnutzung im Gebiet

***) Austrag aus dem Gebiet über das Oberflächenwasser (Fracht = Konzentration x Durchfluss am Auslasspegel)

6 Schlussfolgerungen

- Die bilateral durchgeführten Forschungsarbeiten zur Quantifizierung von diffusen Stoffausträgen, vornehmlich N, aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung in den Einzugsgebieten von Elbe und Oka stellen passfähige Bestandteile des BMBF-Leitprojektes „Elbe 2000“ (Elbe-Ökologie), des UFZ-Verbundprojektes 2.1 „Flusslandschaft Elbe im Wandel“ sowie des russischen Regierungsprogrammes „Oka – der reine Fluss“ dar. Es wird ein Beitrag zur Aufklärung der Beziehungen zwischen den im Einzugsgebiet stattfindenden Nutzungen und deren Auswirkungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt geleistet. Speziell ist es gelungen, sowohl in Deutschland als auch in Rußland Untersuchungen zum diffusen N-Austrag in differenzierten Skalenbereichen, ergänzt durch mathematische Modellierungen vorzunehmen. Während die im deutschen Untersuchungsgebiet „Schaugraben“ erzielten Ergebnisse eine wesentliche Basis für die Durchführung von weiterführenden Versuchen zur Aufklärung des Verbleibs von N während der Boden- und Grundwasserpassage darstellen, ist mit dem geförderten Projekt in Rußland zunächst eine Sensibilisierung der Wissenschaftler sowie der in der Umweltverwaltung tätigen Mitarbeiter gegenüber den Problemen des diffusen Stoffeintrages erfolgt. Die nach einheitlichen methodischen Grundsätzen durchgeführten Arbeiten bilden eine solide Grundlage für die eigenständige Weiterführung und die zukünftige Sicherung der Trinkwasserversorgung aus dem Oberflächenwasser der Oka.

- Die Anwendbarkeit der in Deutschland entwickelten Methoden zur Abschätzung von diffusen und punktförmigen N-Einträgen nach dem Emissions- und Immissionsansatz konnte unter den russischen Bedingungen erfolgreich nachgewiesen werden. Es zeigte sich, dass im Rjasaner Teileinzugsgebiet der Oka etwa 84% des gesamten N-Eintrages diffus über den Grundwasserpfad (64%) eingetragen werden. Ähnlich wie in Deutschland muss damit vor allem der landwirtschaftliche Bereich als maßgeblicher Flächennutzer im Einzugsgebiet als einer der Hauptverursacher für den diffusen N-Eintrag in die Oberflächengewässer angesehen werden. Bedingt durch die noch im Gange befindlichen Umstrukturierungen und aus den vorliegenden Erfahrungen bei der Wiedervereinigung im Elbegebiet muss diesem Wirtschaftszweig zukünftig

verstärkte Aufmerksamkeit bezüglich des Einsatzes von umweltschonenden Produktionsverfahren gewidmet werden.

- Die im Untersuchungsgebiet „Polkovo" gemeinsam durchgeführte Nmin-Untersuchung stellt eine einfach und wirksam zu handhabende Methodik zur Aufspürung von erhöhten N-Belastungspotentialen im Boden dar. Diese Untersuchungen sind unbedingt eigenständig von den russischen Partnern weiterzuführen. Die Ergebnisse sollten gemeinsam mit den Flächennutzern (vor allem Landwirte, aber auch Datschenbesitzer) ausgewertet werden. Basierend darauf sind abgestimmte Strategien zur Verminderung oder vollständigen Beseitigung der Belastungspotentiale zu entwickeln und umzusetzen.

- Aufgrund des übergebenen Equipments sind die russischen Partner befähigt, die begonnenen Untersuchungen selbständig fortzusetzen. Besonders die Auswertung der gemeinsam angelegten Tracerversuche zur N-Verlagerung lassen wichtige Aufschlüsse über die Wanderungsgeschwindigkeit einer Kontaminationsfront in Richtung Grundwasser und die Ableitung von Reaktionszeiten bezüglich der Ergreifung von Gegenmaßnahmen zum Schutz der Wasserressourcen erwarten. Die begonnenen Modellierungsarbeiten mit dem Modell MODFLOW sind auf der Basis der aus Feld- und Lysimeterexperimenten gewonnenen Ergebnisse fortzusetzen, um realistische Szenarien über den N-Transport aus dem Einzugsgebiet in die Gewässer berechnen zu können.

- Weiterer Forschungsbedarf zum diffusen Stofftransport wird vor allem in der Erweiterung der untersuchten Parameter (d.h. neben Stickstoff auch Phosphor, Sulfat und andere für den Gewässerschutz relevante Stoffe), der detaillierteren Aufklärung des Verbleibs von Stoffen als Differenz zwischen der Emissions- und Immissionsbetrachtung, des „up and down scaling" in verschiedenen Maßstabsbereichen sowie der mathematischen Beschreibung des gesamten Stofftransportes und –umsatzes in der ungesättigten und gesättigten Zone bis zum Wiedereintritt in den Vorfluter gesehen.

7 Literaturverzeichnis

BEHRENDT, H. (1993): Point and diffuse load of selected pollutants in the River Rhine and ist main tributaries. Research report, RR-1-93, IIASA, Laxenburg, Österreich.

BEHRENDT , H., HUBER, P., OPITZ, D., SCHMOLL, O., SCHOLZ, G., UEBE, R. (1999): Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. Forschungsbericht 29625515 UBA-FB 99-087, 288 S.

BRAUN, P. 1999: Das Skalenproblem in der Hydrologie. In: UFZ-Bericht Nr. 31/1999.

DANNOWSKI, R., QUAST, J., BALLA, H., FRITSCHE, S. (1994): In WERNER, W., Wodsak H.-P. (Ed.) (1994): Stickstoff- und Phosphateintrag in die Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragsgeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR. agrarspectrum, Band 22.

DANNOWSKI, R. (1997): In: Okrusko, H. and Dirksen, W. (Ed.) (1997): Diffuse entries in rivers of the Odra Basin. PAN/DVWK Joint Project, Final Report, ZALF Müncheberg.

DOBRATSCHEV, J.P. (1998): Persönliche Mitteilungen, Allrussisches Forschungsinstitut für Hydrotechnik und Melioration Moskau (VNIIGiM).

DOBRATSCHEV, J.P. (1999): Persönliche Mitteilungen, Allrussisches Forschungsinstitut für Hydrotechnik und Melioration Moskau (VNIIGiM).

DOERHOEFER, G., JOSOPAIT, V. (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. In: Geol.Jahrb. Series C, 27, S. 45-65.

DOTTERMUSCH, H. (1982): Untersuchungen der Abflußbedingungen im Bereich der WWD Untere Elbe.

DRIESCHER, E., DRIESCHER, H. (1991/92): Verfahren zur Feststellung von Sickerbewegungen an der Grenzfläche von Oberflächen- und Grundwasser (Seepage Meßgerät). In: Acta hydrophys., Berlin 35 (1991/92) 3, 281-287.

EULENSTEIN, F., DRECHSLER, H. (1992): Ursachen, Differenzierung und Steuerung der Nitratkonzentration im Grundwasser überwiegend agrarisch genutzter Wassereinzugsgebiete. Diss. Am Fachbereich Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen, 269 S.

FRANKO, U. (1996): Modelling approaches of soil organic matter turnover within the CANDY System. In: Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long Term Datasets, D.S. Powlson, P. Smith and J.U. Smith (Eds), Springer, Berlin, Heidelberg, S. 247-254.

GÄTH, S., WOHLRAB, B. (1992): Strategien zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat. Hrg.: Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft , AG Bodennutzung in Wasserschutzgebieten.

GLUGLA, G. (1978): In Dyck, S. (Ed.) Angewandte Hydrologie. Vol.2, Verlag für Bauwesen, Berlin, S. 318-342.

GRANT, R. (1996): Integrated environmental assessment on eutrofication. In: IEA meeting on eutrofication of inland and marine waters.

HAMM, A. (1991): Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern. Sankt Augustin.

HEATHWAITE, L. (Ed.)(1999): Impact of Land-Use Change on Nutrient Loads from Diffuse Sources. IAHS-Publication 1999, Nr. 257, 271 P.

JASCHIN, V. (1999): Persönliche Mitteilungen, Allrussisches Forschungsinstitut für Hydrotechnik und Melioration Moskau (VNIIGiM).

KÖHNE, Ch., WENDLAND, F. (1992): Modellgestützte Berechnung des mikrobiellen Nitratabbaus im Boden. In: Interner Bericht KFA-STE-IB-1/92, FZ Jülich GmbH, 77 S.

KÖNIG, B., GLUGLA, G. (1988): Anwenderdokumentation zum Arbeitsplatz GW-Dargebot (GWD), Vers. 3.0. Wasserwirtschaftsdirektion Berlin, Institut für Wasserwirtschaft, Berlin, Oktober 1988.

LAWA (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland – Chemische Gewässergüteklassifikation. Kulturbuchverlag Berlin, 35 S.

LIEBSCHER, H.J., KELLER, R. (1979): Abfluß. In: Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland (Textband, Leitung: R. Keller. Hrsg. Im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn, S. 90-159.

Mashajskij, J.A. (1999): Persönliche Mitteilungen, Allrussisches Forschungsinstitut für Hydrotechnik und Melioration Moskau (VNIIGiM).

MEISSNER, R., KRAMER, D., TAEGER, H., SEEGER, J., SCHONERT, P. (1991): Lysimeterversuchsergebnisse über Möglichkeiten zur optimierten wasser- und landwirtschaftlichen Bewirtschaftung von Trinkwasserschutzgebieten (TSG). In: Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, 35, Heft 6, S. 425-434.

MEISSNER, R. (1993): Erfahrungen und Ergebnisse bei der Bearbeitung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen durch den Einsatz von Lysimetern unterschiedlicher Bauart. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 71, S. 153-156.

MEISSNER, R., SEEGER, J., RUPP, H., SCHONERT, P. (1993): Der Einfluss von Flächenstilllegung und Extensivierung auf den Stickstoffaustrag mit dem Sickerwasser. In: Vom Wasser, Band 81, S. 197-215.

MEISSNER, R., RUPP, H., SEEGER, J., SCHONERT, P. (1995): Influence of mineral fertilizers and different soil types on nutrient leaching; results of lysimeter studies in East Germany. In: Land Degradation & Rehabilitation, 6, S. 163-179.

MEISSNER, R. (1996): Veränderte Landnutzung in einem Einzugsgebiet. In: Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 46, Heft 5, S. 30-34.

MEISSNER, R., BALLA, H., BEHRENS, M., BÜTTNER, O., STRATSCHKA, M., HAGEMANN, H. (1997): Modellierung diffuser Stoffeinträge in das oberflächennahe Grundwasser im Einzugsgebiet des Schaugrabens. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 85, Heft II, S. 963-966.

MEISSNER, R., SEEGER, J., RUPP, H. (1998): Lysimeter studies in East Germany concerning the influence of set aside of intensively farmed land on the seepage water quality. In: Agriculture, Ecosystems & Environment 67, S. 161-173.

MEISSNER, R, SEEGER, J, RUPP, H., BALLA, H. (1999): Assessing the impact of agricultural land use changes on water quality. In: Wat.Sci.Tech. Vol.40, Nr. 2, S. 1-10.

MEISSNER, R., SEEGER, J., RUPP, H., SCHONERT, P. (1999): Estimating the effects of set-aside on water quality: scaling-up of lysimeter studies. In: Land Degradation & Development, 10, S. 13-20.

MEISSNER, R., SEEGER, J. (1999): Lysimeterstudien – Auswirkungen von differenzierten Stilllegungszeiträumen auf das Austragsverhalten von Stickstoff. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 91, Heft 2, S. 731-734

MÜLLER, L., DANNOWSKI, R., SCHINDLER, U., EULENSTEIN, F., MEIßNER, R. (1996): Gebietsabflüsse aus Agrarlandschaften Nordost- und Mitteldeutschlands. In: Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd., 40(1996)3, S. 345-362.

N-A-U- Karte (RASTER), (1958): Großblätter der Topographischen Übersichtskarte (Maßstab 1: 200000); Institut für Wasserwirtschaft, Berlin.

OSTAPCZUK, P. (1994): Niederschläge – Regen und Schnee. In: Stoeppler, M. (Hrsg.) (1994): Probenahme und Aufschluß. Basis der Spurenanalytik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 9-17.

OKRUSZKO, H., DIRKSEN, W. (1999): Quantifizierung diffuser Stoffeinträge in die Gewässer in die Einzugsgebiete der Oder und der Pommerschen Bucht mit dem Ziel der Erarbeitung von Entscheidungshilfen für den integrierten Gewässerschutz. Final Report-Phase II, FKZ UBA 31005016.

RENGER, M., WESSOLEK, G. (1990): Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen und Nutzungsänderungen auf die Grundwasserneubildung. In: Mitt. D. Inst. f. Wasserwesen; 386, S. 295-305.

Russow, R., KNAPPE, S., FÖRSTEL, H., MEISSNER, R. (1995): Doppeltracer-Studie zur Wasser- und Nitratbewegung in tiefengestaffelten Lysimetern. Bericht über die 5. Gumpensteiner Lysimetertagung „Stofftransport und Stoffbilanz in der ungesättigten Zone", BAL Gumpenstein, S. 13-18.

SEEGER, J., MEISSNER, R., RUPP, H., Müller, L., EULENSTEIN, F. (1999): Erfahrungen beim Einsatz von konservativen Tracern als Hilfsmittel zur Übertragung von Lysimeterergebnissen auf Freilandflächen. In: GSF-Bericht 1/99 „Bestimmung der Sickerwassergeschwindigkeit in Lysimetern", S. 37-42.

WENDLAND, F., ALBERT, H., BACH, M., SCHMIDT, R. (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

WERNER, W., Wodsak H.-P. (1994): Stickstoff- und Phosphateintrag in die Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragsgeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR. In: agrarspectrum, Band 22.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Strukturschema über die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Rußland im Rahmen des bilateralen „Oka-Elbe" Projektes

Abb. 2 Prinzipskizze der in der UFZ-Forschungsstelle in Falkenberg eingesetzten Lysimeter

Abb. 3 Prinzipskizze der in der VNIIGiM-Lysimeteranlage in Polkovo (bei Rjasan, Rußland) eingesetzten monolithisch gewonnenen Gravitationslysimeter mit (oben) und ohne variabel einstellbarem Grundwasserstand

Abb. 4 Kleineinzugsgebiet „Schaugraben" im norddeutschen Tiefland der Elbe

Abb. 5 Blick auf den trocken gefallenen Schaugraben hinter Pegel 1 (März 1997)

Abb. 6 Blick auf den Schaugraben am Pegel 2 (März 1997)

Abb. 7 Blick auf das definierte Grabenprofil für den automatischen Pegel 5 im Schaugraben (März 1997)

Abb. 8 Blick auf den Schaugraben hinter Pegel 7, kurz vor der Einmündung in die Uchte (März 1997)

Abb. 9 Überhöhter hydrogeologischer Schnitt durch das Schaugrabengebiet südlich von Osterburg in Süd-Nord-Richtung nach den Schichtenverzeichnissen 0068, 0063, 0062 und 0044

Abb. 10 Spannbreite der Änderung der Landnutzungsanteile im Untersuchungsgebiet „Schaugraben" für den Versuchszeitraum 1991 - 1999

Abb. 11 Vergleich der automatisch ermittelten Niederschläge im Einzugsgebiet „Schaugraben" mit den manuell erfassten Mengen auf der Lysimeterstation in Falkenberg

Abb. 12 Darstellung der Tagesmittelwerte des Durchflusses im Schaugraben (Pegel 5) im Vergleich zu täglichen Niederschlagsmengen im hydrologischen Jahr 1998

Abb. 13 Darstellung der Tagesmittelwerte des Durchflusses im Schaugraben (Pegel 5) im Vergleich zu täglichen Niederschlagsmengen im hydrologischen Jahr 1999

Abb. 14 Sommer- und Winter-Abflussspenden nach wöchentlich gemessenen Durchflüssen an den MP1 - MP5 im Untersuchungsgebiet „Schaugraben"

Abb. 15 Zeitlicher Verlauf der wöchentlich mit dem Durchfluss bestimmten NO_3-Konzentrationen am MP5 während des Projektzeitraumes

Abb. 16 Gegenüberstellung der mit dem Durchfluss bestimmten NO_3-Konzentrationen nach automatischer (täglich) und manueller (wöchentlich) Probenahme am Pegel 5

Abb. 17 Dynamik der Grundwasserflurabstände an den Grundwasserbeobachtungsrohren A bis F

Abb. 18 Blick auf die Grundwasserbeobachtungsrohre „B" (vorn) und „C" auf einem Grünlandstandort in der Nähe von MP2

Abb. 19 Dynamik der NO_3-Konzentrationen in den Grundwassermesspegeln ABC und DEF im Zeitraum vom Winter 1996/97 bis zum Herbst 1998 im Vergleich zu den Oberflächenwasserpegeln MP2 und MP3

Abb. 20 Niederschlagsdargebot und Verlauf der Nmin-Gehalte (0-90 cm) an 3 ausgewählten Ackerschlägen im Einzugsgebiet des Schaugrabens

Abb. 21 Kleineinzugsgebiet „Polkovo" in der Meschtscherer Niederung der Oka bei Rjasan

Abb. 22 Einfluss des Mineraldüngereinsatzes auf den N-Austrag mit dem Durchfluss im russischen Untersuchungsgebiet „Polkovo" (nach Dobratchev et al., 1998)

Abb. 23 Durchflussganglinien für den Gebietsein- und -auslass sowie monatlich bestimmte NO_3-Konzentrationen am Gebietsauslass des russischen Untersuchungsgebietes „Polkovo"

Abb. 24 Darstellung der NO_3-N- und NH_4-N-Gehalte im Oberboden (0-30 cm) ausgewählter Standorte im Untersuchungsgebiet „Polkovo"

Abb. 25 Vergleich der Cl-Konzentrationsverläufe in verschiedenen Bodenschichten von Freilandparzellen mit Ackernutzung zur ersten Beprobung am 2.4.1995

Abb. 26 Vergleich der N-Auswaschung, gemessen mit Lysimetern und berechnet mit dem Modell CANDY

Abb. 27 Vergleich der N-Emissionen in den Teileinzugsgebieten (FE) des Schaugrabens für den Zeitraum 1991 - 1999

Abb. 28 Vergleich der N-Immissionen in den Teileinzugsgebieten (FE) des Schaugrabens im Zeitraum 1993 - 1998

Abb. 29 Ergebnisse einer Clusteranalyse von N-Emissionswerten und relevanten Einflussgrößen im FE3 im Zeitraum 1991 - 1999

Abb. 30 Ergebnisse einer Clusteranalyse von N-Immissionswerten und relevanten Einflussgrößen im FE3 im Zeitraum 1993 - 1998

Abb. 31 Gegenüberstellung der nach der Emissionsmethode ermittelten N-Einträge in die Elbe und Oka

Abb. 32 Vergleich des Ertragsniveaus und der mittl. N-Konzentrationen im Sickerwasser bei verschiedenen Ackerfrüchten in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung in Lysimetern der Stationen Falkenberg und Polkovo m Anbaujahr 1998

Abb. 33 Vergleich von Nmin-Gehalten ausgewählter Messplätze in den Untersuchungsgebieten „Schaugraben“ und „Polkovo“

Abb. 34 Vergleich von N-Konzentrationen im Grund- und Oberflächenwasser ausgewählter Messstellen in den Untersuchungsgebieten „Schaugraben“ und „Polkovo“

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 N-Einträge aus diffusen und punktuellen Quellen in die deutschen Teile des Stromgebietes der Elbe für die Zeiträume 1983 - 1987 und 1993 - 1997 sowie deren Veränderung (nach Behrendt et al., 1999)

Tab. 2 Abschätzung der gegenwärtig jährlich in die Oka eingetragenen Stoffmengen (nach Dobratschev, 1999)

Tab. 3 Diffuse und punktuelle N-Einträge aus dem Rjasaner Gebiet in die Oka für den Zeitraum 1994 - 1998 (nach Dobratschev, 1999)

Tab. 4 Bewirtschaftungsregime 1- bzw. 5jährig stillgelegter Lysimeter im Vergleich zu Versuchsgefäßen aus dem Integrierten Landbau im Zeitraum 91/92 - 95/96

Tab. 5 Sickerwassermenge und N-Austräge unter Rotationsbrachelysimetern im Vergleich zu Versuchsgefäßen aus dem Integrierten Landbau

Tab. 6 Sickerwassermenge und N-Austräge unter Dauerbrachelysimetern im Vergleich zu Versuchsgefäßen aus dem Integrierten Landbau

Tab. 7 Bewirtschaftungsregime der Grundwasserlysimeter in Polkovo für das Versuchsjahr 1998

Tab. 8 Vergleich der im Sickerwasser gemessenen Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen sowie der Erträge bei differenzierter Düngung und variablem Grundwasserstand (Versuchsjahr 1998)

Tab. 9 Prozentuale Aufteilung der Flächennutzung in den Teileinzugsgebieten

Tab.10 Darstellung der Landnutzungsanteile (in %) im Untersuchungsgebiet „Schaugraben“ während des Zeitraumes 1991 – 1999

Tab.11 Zusammenstellung des jährlichen Niederschlagsdargebotes (in mm) im Untersuchungszeitraum 1991 - 1999, gemessen an der UFZ-Forschungsstelle in Falkenberg

Tab.12 Vergleich von zeitgleich gemessenen Niederschlagsmengen (in mm) auf der Lysimeterstation in Falkenberg und im Schaugrabengebiet

Tab. 13 Zusammenfassende Darstellung der im Oberflächen-, Dränage- und Grundwasser erfassten Mengen- und Güteparameter

Tab. 14 Vergleich der NO_3-Konzentrationen in den Oberflächenwasserpegeln MP1 -MP5 (MEDIANWERTE sowie 10-und 90- Perzentilwerte in mg/l)

Tab. 15 Beeinflussung der ermittelten Höhe der NO_3-N-Fracht (in kg/a) durch den Messrhythmus am Pegel 5 in den Versuchsjahren 1997 und 1998

Tab. 16 Anteile der Landnutzung und der dränierten Flächen im Untersuchungsgebiet „Schaugraben“

Tab. 17 NO_3-Konzentrationen an ausgewählten Dränageausläufen im Zeitraum 1997 - 1999 (Medianwerte sowie 10- und 90-Perzentilwerte in mg/l)

Tab. 18 NO_3-Konzentrationen an den ausgewählten Grundwassermessstellen A bis F im Zeitraum 1997 - 1999 (Medianwerte sowie 10-und 90- Perzentilwerte in mg/l) der hydrologischen Sommer- bzw. Wintermonate im Untersuchungszeitraum

Tab. 19 Überblick über die Fruchtfolge und das N-Düngungsniveau einer überwiegend als Brachfläche genutzten Freilandparzelle (Erx2) im Vergleich zu intensiv ackerbaulich bewirtschafteten Flächen (Erx3, 16) im Versuchszeitraum 1993 - 1999

Tab. 20 Struktur der Landnutzung im Einzugsgebiet „Polkovo“ im Jahre 1998

Tab. 21 N-Konzentrationen im Oberflächen- und Grundwasser des Untersuchungsgebietes „Polkovo“ (GW - Grundwasserbeobachtungsrohr, OW - Mengen/Güte-Pegel im Oberflächenwasser)

Tab. 22 Vergleich von gemessenen Sickerwassermengen (in mm) aus Langzeit-lysimeterstudien mit berechneten mittl. jährl. Grundwasserneubildungsraten im Kleineinzugsgebiet “Schaugraben”

Tab. 23 Vergleich der mit Lysimetern und an Gebietspegeln gemessenen Abflüsse mit kalkulativ ermittelten Werten nach Renger und Wessolek (1990)

Tab. 24 Angebaute Fruchtarten auf den Ackerparzellen

Tab. 25 Vergleich von mit Lysimetern gemessenen und auf der Basis von Freilanduntersuchungen berechneten Sickerwassermengen

Tab. 26 Modellrechnungen zur Quantifizierung des Stickstoffeintragsrisikos in den oberen Grundwasserleiter auf der Grundlage von jährlichen Stickstoff-bilanzen im Vergleich zu Lysimetermessergebnissen für das Untersuchungsgebiet „Schaugraben“

Tab. 27 Bodenkundliche Beschreibung der Seepage-Messpunkte im Untersuchungsgebiet „Schaugraben“

Tab. 28 Vergleich von N-Exportkoeffizienten (in %) in den Teileinzugsgebieten des Schaugrabens

Tab. 29 Vergleich von ermittelten N-Einträgen und N-Austägen in den Untersuchungsgebieten „Schaugraben“ und „Polkovo“

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Forschungsstelle Falkenberg/Sektion Bodenforschung
Dorfstraße 55
D-39615 Falkenberg

Telefon 039386/971-0