
Möglichkeiten und Grenzen der Stofftransportmodellierung (Nitrat) am Beispiel des Einzugsgebietes der Parthe

U. HAFERKORN, K. MÜLLER und S. KNAPPE

Abstract

Die Untersuchung landwirtschaftlicher Szenarien zum Schutz der Gewässer endet in der Regel mit der Ermittlung der entsprechenden Stoffausträge aus der Wurzelzone. Ziel der hier vorzustellenden Arbeiten war - am Beispiel des Parthegebietes - das aus der Bodenzone ausgetragene Nitrat über die Dränwasserzone, den Grundwasserpfad bis hin zum Eintrag in die Vorfluter zu verfolgen. Grundlage der Untersuchungen bildete ein gekoppeltes Grund-/Oberflächenwassermodell. Es konnten raum- und zeitbezogene Aussagen darüber getroffen werden, auf welchen Wegen und in welcher Höhe die in das Grundwasser diffus eingetragenen Stickstoffmengen das Einzugsgebiet wieder verlassen. Im Mittelpunkt standen die Fließwege zum Vorfluter, sowie Fließ- und Verweilzeiten des befrachteten Wassers in den einzelnen Grundwasserleitern.

1. Problemstellung

Die Intensität der landwirtschaftlichen Bodennutzung, insbesondere die Tierhaltung, ist in den neuen Bundesländern seit 1989 rückläufig. Trotzdem ist der diffuse Stickstoffaustrag über das Boden- und Grundwasser in die Vorfluter nicht proportional rückläufig. Neben hohen Nitratgehalten im Grundwasser zeigt sich örtlich in den quartären Grundwasserleitern, auch bei niedrigen Nitratgehalten, ein erhebliches Stoffdepot, das nicht standortspezifisch ist sondern aus Eintrags- und Umsatzprozessen resultiert. Grundwasserleiter sollten aber nur bedingt ein Raum für Managementmaßnahmen zur Verminderung der Stick-

stoff-Einträge in die oberirdischen Fließgewässer sein.

Gesucht werden landwirtschaftliche Szenarien zum Schutz der Gewässer vor wasser gebundenen Stoffeinträgen wobei derartige Untersuchungen in der Regel mit der Ermittlung der entsprechenden Austräge aus der Wurzelzone enden. Ziel der hier vorgestellten und am Beispiel des 360 km² großen Partheinzugsgebietes durchgeführten Arbeiten war, das aus der Bodenzone ausgetragene Nitrat über die Dränwasserzone, den Grundwasserpfad bis hin zum Eintrag in die Vorfluter zu verfolgen. In diesem Fall dienen die Zeitreihen der mit Nitrat befrachteten Sickerwassermengen, die im Ergebnis von Berechnungen mit dem Modell CANDY (FRANKO et al., 2000) oder mittels Brandiser Lysimeter (KNAPPE, HAFERKORN, 2002) ermittelt wurden, dem Grundwassermodell als Eingangsdaten.

Lange Verweilzeiten des Wassers in der Boden- und Grundwasserzone sowie diverse Transportwege, Möglichkeiten zur Mischung und Reaktion der nitratbefrachteten Wässer im Untergrund, stellen erhebliche Anforderungen an die Funktionalität prognosefähiger Einzugsgebietsmodelle und lassen letztlich im Untersuchungszeitraum von 17 Jahren auch kaum einen Zusammenhang zwischen Änderung der Landnutzung und Beschaffenheit der Grund- und Oberflächengewässer erwarten. Obwohl auf Grund der Größe des Einzugsgebietes und der Vielfältigkeit der Prozesse erhebliche Probleme bestanden einen geeigneten Parametersatz zur Simulation des Nitratstromes und für Szenariorechnungen zu erstellen, konnten raum- und zeitbezogene Aussagen darüber getrof-

fen werden, auf welchen Wegen und in welcher Höhe die in das Grundwasser diffus eingetragenen Stickstoffmengen das Einzugsgebiet wieder verlassen. Im Mittelpunkt standen dabei die Fließwege zum Vorfluter, sowie Fließ- und Verweilzeiten des befrachteten Wassers in den einzelnen Grundwasserleitern.

2. Das Untersuchungsgebiet

Das Einzugsgebiet der Parthe liegt im östlichen Teil der Leipziger Tieflandsbucht, zwischen den Flussgebieten der Mulde und der Weißen Elster. Das Parthegebiet ist ein Teil der Lössgefülle mit vorwiegend sandigen und lehmigen Böden und liegt im Bereich des stärker kontinental beeinflussten ostdeutschen Binnenklimas. Die Sommer sind niederschlagsreicher als die Winter. Der größte Teil des Parthegebietes gehört zum Naturraum Leipziger Land, ein kleinerer Teil östlich und südöstlich der Parthe zum Naturraum Nordsächsisches Platten- und Hügelland (MANNSFELD & RICHTER 1995).

Die Parthe entspringt auf 208 m ü. HN im Colditzer Forst und mündet nach rund 60 km langem Lauf von Südost nach Nordwest in Leipzig auf 105 m ü. HN in die Weiße Elster. Als Referenzpegel gilt der Pegel Thekla vor dem Eintritt der Parthe in das Leipziger Stadtgebiet mit 315 km² Einzugsgebiet und einem mittleren Durchfluss von 1,011 m³/s (1981-1995).

Unterhalb dieser seit 1938 betriebenen Messstelle wird das Einzugsgebiet zunehmend urban geprägt und ist nicht mehr Gegenstand der Untersuchungen. Die großen Standgewässer im Parthege-

Autoren: Dr. Ulrike HAFERKORN, Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, Kleisteinbergerstr. 13, D-04821 BRANDIS, Kai MÜLLER, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Zur Wetterwarte 11, D-01109 DRESDEN, Dr. Siegfried KNAPPE, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Theodor-Lieser Straße 4, D-06120 HALLE

biet verdanken ihre Existenz dem Kiestagebau.

Im wesentlichen lassen sich die hydrogeologisch bedeutsamen Lockergesteine im Untersuchungsgebiet in die tertiären Ablagerungen des Weißelsterbeckens und die hängenden quartären Sedimente des Pleistozän gliedern. Alle Grundwasserleiter bilden aufgrund ihrer unterschiedlichen Höhenlagen und hydraulischen Verbindungen untereinander und mit den Oberflächengewässern ein kompliziertes Abflusssystem. Eine ausführliche stratigraphische und lithologische Beschreibung der Grundwasserleiter des Untersuchungsgebietes findet sich in LfUG & IBGW 1994. Vertiefende Einblicke in das Tertiär und Quartär gewährt die Veröffentlichung von EISSMANN 1970.

Die Flächennutzung des Parthegebietes ist zu mehr als 70 % Landwirtschaft. Die Waldbedeckung wurde zugunsten der Landwirtschaft weitgehend reduziert. Größere Waldflächen sind rund um Naunhof und auf den Festgesteinsauftragungen zu finden. Mit der Inbetriebnahme der Wasserwerke Naunhof (Ostfassung 1887, Westfassung 1896) für die Wasserversorgung des Großraumes Leipzig begann eine starke Inanspruchnahme der Grundwasservorräte des Parthegebietes. Nach der politischen Wende und der Umstrukturierung des Wassermarktes sank der Wasserverbrauch und damit auch die Wasserförderung.

3. Verwendete Modelle und Datengrundlage

Die Berechnungen der Grund- und Oberflächenwasserabflüsse wurde mit dem hydrodynamisch-numerischen Programmsystem PCGEOFIM[®] (BOY & SAMES, 1997) zur Simulation der Geofiltration und Geomigration durchgeführt. Grundlage der Simulationsrechnungen bildete das 2-dimensional-horizontalebene Modell PART (LfUG & IBGW 1994) mit einem Modellraster von 500 x 500 m einschließlich zweier lokaler Ortsdiskretisierungen (Lupen) mit einem Raster von 250 x 250 m bzw. 125 x 125 m. Das Modell berücksichtigt 5 (teils in Verbindung stehende) Modellgrundwasserleiter und das gesamte Vorflusssystem der Parthe. Es wurde 1994

erstellt und zunächst für den Zeitraum 1988-94 parametrisiert und kalibriert um die neu realisierte Kopplung zwischen den Grundwasserleitern und Vorflutern zu testen (HAFERKORN, U., KUHN, K., MANSEL, H., 1999). Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten wurde das Modell PART für die Grundwasserströmungs- und die Stofftransportsimulation (Nitrat) für den Zeitraum 1980-1997 qualifiziert. Die benötigten zeit- und ortsvariablen Zeitreihen der des nitratbefruchteten Sickerwassers lieferte das eindimensionale Modell CANDY (Carbon and Nitrogen DYNAMICS) bzw. die auf das Einzugsgebiet extrapolierten Lysimetermessreihen.

Dieser Modellverbund zwischen ungesättigter Bodenzone (CANDY bzw. Lysimeter), Grund- und Oberflächenwasser (PART) berücksichtigt keine Abflussbildung und -konzentration auf der Landoberfläche und keine lateralen Flüsse in der ungesättigten Zone. Den obersten Modellgrundwasserleitern wird bei Standorten mit flurfernen Wasserständen mittels CANDY oder Lysimetermessungen das Gesamtdargebot aus Niederschlag minus Verdunstung aufgeprägt. Die Vorfluter werden also nur aus dem grundwasserbürtigem Zufluss gespeist so dass bei einem Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Abflüssen der Parthe und ihrer Nebenflüsse auch nur ein Vergleich der Basisabflüsse eine Übereinstimmung erwarten lässt. Deshalb wurde für die drei wichtigsten Abflussmessstellen mit dem Programm DIFGA (Differenzganglinienanalyse, SCHWARZE 1985) eine Abflussganglinienseparation vorgenommen (MEL-LENTIN, 1999). So erfolgte für die am Pegel Glasten (durch Festgestein und Wald geprägtes Teileinzugsgebiet im Oberlauf der Parthe), am Pegel Großbardau (am Schnellbach) und am Pegel Thekla gemessenen Ganglinien des Gesamtabflusses eine Zerlegung in die einzelnen Abflusskomponenten:

- Landoberflächenabfluss (Direktabfluss)
- lateraler bodeninnere Abfluss (schneller Basisabfluss)
- grundwasserbürtige Abfluss (langsamer Basisabfluss).

Die angestrebte Simulation der Nitrat-Transport- und Umsatzprozesse erfor-

derte Informationen über den Istzustand der Stoffbelastung im Grundwasser und Kenntnisse über die im Untergrund ablaufenden Teilprozesse. Aus diesem Grund bildeten Gebietsuntersuchungen zur Identifikation der Stoffumsatzprozesse im Parthegebiet einen Schwerpunkt der Arbeiten. Wichtigste Grundlage neben Literaturrecherchen und eigenen Messungen bildeten hierfür die langjährigen Messreihen der landeseigenen Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen und Messstellen der kommunalen Wasserwerke Leipzig sowie die hydrologischen Messreihen zu Abflussmenge und Beschaffenheit der Parthe und ihrer Zuflüsse.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Ganglinienseparation

Die Größe und der zeitliche Verlauf der einzelnen Abflusskomponenten widerspiegeln integral die wichtigsten Gebiets-eigenschaften wie klimatischen Einflussfaktoren, Hydrogeologie, Gebietsgröße und -form, Bodenverhältnisse, Landnutzung und Gefälleverhältnisse. Die Dynamik im zeitlichen Verlauf der einzelnen Abflusskomponenten im Untersuchungszeitraum von 1980-97 demonstriert *Abbildung 1* am Beispiel der Ganglinienseparation am Pegel Thekla.

Die Messstellen Thekla und Großbardau registrieren jeweils Abflüsse aus dem Lockergesteinsbereich mit teils erheblichen Deckschichten aus Geschiebelehm. Die Auswertung der Wasseranalysen dieser Messstellen zeigte, dass in diesen Gebieten vermutlich hohe Denitrifikationspotenziale und vorwiegend langsamer Wasserumsatz zu geringeren Nitratkonzentrationen im Gewässer führen als an der Messstelle Glasten mit einem vom Festgestein geprägten Teileinzugsgebiet. Mit Zunahme der schnellen Abflusskomponenten in Feuchtperioden ist an den Messstellen Thekla und Großbardau aber eine überproportionale Mobilisierung des Nitrates zu beobachten, d. h. mit zunehmendem Durchfluss steigen auch die Nitratkonzentrationen während sie am Pegel Glasten sinken.

Auch die innerjährliche Dynamik des am Pegel Thekla separierten Basisabflusses ist die integrale Gebietsantwort auf Ge-

Tabelle 1: Verteilung der Grundwasserneubildung (GWN) auf die Modellgrundwasserleiter (MGWL), Zustrom Q_{zu} aus anderen MGWL, Grundwasservorrat (V_{GW}) und theoretische Aufenthaltszeit des Grundwassers in den MGWL

MGWL	GWN [m ³ /min]	$Q_{zu, MGWL}$ [m ³ /min]	VGW [Mio m ³]	Aufenthaltszeit [Jahre]
1	24,3	2,5	117,7	8,4
2	38,0	26,5	651,8	19,2
3	4,0	4,9	177,6	38,1
4	0	8,3	329,6	75,5
5	1,5	5,1	524,4	152,2

Legt man den Grundwasservorrat aller MGWL und die durchschnittliche Grundwasserneubildungsrate zugrunde, resultiert daraus eine theoretische Aufenthaltszeit des Grundwassers im Bilanzgebiet von ca. 50 Jahren. Dabei bestehen aber zwischen den einzelnen Grundwasserleitern große Unterschiede, wie aus *Tabelle 1* hervorgeht. In die Berechnung gingen die jeweilige Grundwasserneubildungsrate (GWN), der Zustrom aus anderen Modellgrundwasserleitern ($Q_{zu, MGWL}$) und der Grundwasservorrat (V_{GW}) ein.

4.3 Ergebnisse zum Nitrattransport und -umsatz

Die Höhe der in die Parthe eingetragenen Stickstoff-Fracht wird auf dem Weg vom Ort des Eintrages (Gebiet der Grundwasserneubildung) bis zur Flussauflage durch zahlreiche Stoffumwandlungsprozesse im Grundwasser-Sediment-Gemisch beeinflusst, wobei auch die Parthe selbst im Bereich der Infiltrationsstrecken einen Belastungsfaktor für das Grundwasser darstellt. Anhand von Gebietsdaten, Laboruntersuchungen und einer Literaturrecherche wurde der Versuch unternommen, wesentliche Prozesse zu analysieren. Wichtigste Umsatzprozesse sind die von Bakterien katalysierten Reaktionen der chemo-organotrophen (durch organische Stoffe genährte) und der chemo-lithotropen (durch Anorganika genährte) Denitrifikation. Die organotrophe Denitrifikation kann in den quartären Grundwasserleitern, in denen partikulär-organisches Material nur örtlich vorhanden ist, vor allem durch Anlieferung von gelöstem organischem Kohlenstoff (C_{org}) mit der Grundwasserneubildung erfolgen. In Batch-Versuchen konnte eine starke Reaktivität des kohlehaltigen tertiären Substrates nachgewiesen werden, aber auch die tonig-schluffigen Aquitarden mit partikulärem

C_{org} besitzen wahrscheinlich ein hohes Denitrifikationspotenzial. Die meist tiefliegenden tertiären Fazies spielen jedoch insgesamt nur eine untergeordnete Rolle für die Denitrifikation im Parthegebiet.

Die lithotrophe Denitrifikation ist abhängig vom Vorhandensein sulfidischer Verbindungen (Pyrit, Markasit). Herkunft dieser Verbindungen sind die anaeroben Bodenzonen sowie marine Flachwasser-sedimente. Im Modellgebiet wurden hohe Gehalte an sulfidischen Verbindungen bisher in den tertiären Substraten, besonders in Vergesellschaftung mit Braunkohle festgestellt. Die quartären Grundwasserleiter mit deutlich geringeren Gehalten an sulfidischen Verbindungen lassen nur eine sehr geringe lithotrophe Denitrifikation erwarten, was durch Batch-Versuche bestätigt wurde.

Es wird angenommen, dass die Sickerwasserbeschaffenheit örtlich bereits in der Dränwasserzone verändert wird. So ist das Sickerwasser im nördlichen Einzugsgebiet auf Grund der mächtigeren Deckschichten vermutlich weitgehend nitratfrei, wenn es das Grundwasser erreicht, wobei es jedoch eine erhöhte Sulfatkonzentration aufweist, da in den lehmigen und mergeligen Deckschichten bei Vorkommen von Sulfiden (BERGER 2000) auch in der ungesättigten Zone mit einer lithotropen Denitrifikation zu rechnen ist.

Die Heterogenität der Nitrateinträge überschneidet sich mit der Heterogenität des Denitrifikationspotentials und es existieren Zonen „echter“ Denitrifikation und Zonen „scheinbarer“ Denitrifikation. Letztere resultieren aus hydraulischen Verbindungen und dem Mischungseffekt, der durch aufsteigendes unbelastetes oder denitrifiziertes Wasser aus liegenden, tertiären Grundwasserleitern hervorgerufen wird. Eine detaillier-

te Klärung dieser Prozesse kann nur mit Hilfe der Isotopenhydrologie erreicht werden.

Die derzeitige Grundwasserbeschaffenheit ist das Ergebnis dieser vielfältig stattfindenden Umsatzprozesse. So war als Ausgangspunkt für Modellrechnungen zunächst auf der Basis von Wasserproben aus Grundwassermessstellen und Wasserfassungen eine Ist-Standsanalyse für das Untersuchungsgebiet zu erstellen. Die größte Messstellendichte besteht im Einflussgebiet der Wasserwerke Naunhof. Diese nutzen seit mehreren Jahrzehnten die Muldeschotter, einen Grundwasserleiter vom schwach gepufferten $Ca^{2+} - SO_4^{2-} - HCO_3^{2-}$ -Typ. *Tabelle 2* zeigt das Ergebnis der Auswertung von Grundwasseranalysen aus 35 Messstellen für den Zeitraum 1996-2000. Zu Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit im übrigen Teil des Untersuchungsgebietes standen neben einzelnen Wasseranalysen aus Grundwassermessstellen vor allem die Rohwasseranalysen zahlreicher Kleinwasserwerke zur Verfügung. Auch hier handelt es sich bis auf das Wasserwerk Belgershain ausschließlich um Untersuchungsergebnisse aus dem Hauptgrundwasserleiter, den Muldeschottern. Die Auswertung der vorliegenden Einzelanalysen, hier am Beispiel von Nitrat und Sulfat, bestätigte die vorstehend beschriebenen Einflussfaktoren auf die Grundwasserbeschaffenheit.

Im südlichen Teil des Modellgebietes sind Nitrat-Konzentrationen bis 200 mg/l (auch im oberflächennahen Grundwasser) zu beobachten, wobei die Rohwasseranalysen der Fassung Großsteinberg einen stetig steigenden Trend aufweisen (1967: 15-35 mg/l, 1992: 75-115 mg/l). Das Rohwasser der Wasserwerke im südöstlichen Bereich zeigt allgemein hohe Nitrat-Gehalte (Großsteinberg, Grimma, Naunhof), nordwestlich gelegene Wasserfassungen unter mächtigen Deckschichten weisen dagegen nur noch Nitrat-Konzentrationen um 2 mg/l auf (z.B. Beucha, Borsdorf, Taucha). Einen Hinweis auf die Beschaffenheit des tertiären Grundwasserleiter „Thierbacher Schichten“ liefern die Rohwasseranalysen der Fassung Belgershains. Sie zeigen eine geringe Gesamtmineralisation des Grundwassers (Nitrat < 10 mg/l, Sulfat < 100 mg/l, Chlorid = 15 bis 90 mg/l).

Tabelle 2: Parameter der Grundwasserbeschaffenheit im Einflussgebiet der Wasserwerke Naunhof (Daten: LfUG, zugelassener Ionenbilanz-Fehler $\pm 10\%$) Anzahl: Anzahl einbezogener Analysen, Min: Kleinster Wert, Max: Größter Wert, Median: Häufigster Wert

Parameter	Einheit	Anzahl	Min	Median	Max
Ammonium	mg/l	315	0,00	0,02	4,33
Calcium	mg/l	389	56,8	108,2	289,4
Chlorid	mg/l	389	15,5	42,3	344,5
Eisen	mg/l	389	0,00	0,18	83,10
m-Wert	mmol/l	389	0,04	0,93	4,83
Magnesium	mg/l	389	8,0	25,0	49,4
Mangan	mg/l	360	0,00	0,12	1,63
Natrium	mg/l	389	10,20	21,9	93,0
Nitrat	mg/l	389	0,0	37,2	194,3
Nitrit	mg/l	289	0,00	0,02	0,60
pH-Wert		388	4,39	6,21	7,66
Sauerstoff	mg/l	162	0,00	0,55	10,00
Sulfat	mg/l	389	110	287	715
Ionenbilanz	%	389	-9,97	-0,15	8,31

Für das Sulfat im Rohwasser der Wasserwerke ist eine zur Nitrat-Konzentration konträre Verteilung im Einzugsgebiet zu beobachten (1995: im Südosten um 300 mg/l und im Nordwesten bis 500 mg/l). Im Verlauf der Jahre 1965-95 ist im Rohwasser der Wasserwerke ein Anstiegstrend der Sulfat-Konzentrationen zu verzeichnen. Geogen bedingte hohe Sulfat-Gehalte in den im Untergrund angeschnittenen tertiären Grundwasserleitern wurden nicht beobachtet, weshalb eine Einmischung aus diesen Bereichen unwahrscheinlich ist.

Die Sauerstoffkonzentrationen in den quartären Grundwasserleitern liegen allgemein um 0,5 mg/l. Der pH-Wert des Grundwassers liegt um 6, lokal tritt aber auch ein pH-Wert um 5 auf. Aufgrund des schwachen Puffervermögens der quartären Substrate ist das Grundwasser anfällig gegen Säureinträge. Die Grundwasserleiter-Deckschichten sind bereits tiefgründig entkalkt. Die nachfolgende Stoffbilanz für den Nitrat-Stickstoff stützt sich auf gemessene bzw. simulierte Stofffrachten. Die Einzelposten für den Bilanzzeitraum von 17 Jahren sind:

- Diffuser Eintrag über die gesamte Einzugsgebietsfläche aus der CANDY-Simulation (22000 t $\text{NO}_3\text{-N}$)
- Punktueller Eintrag durch Einleitung von Abwässern in die Oberflächengewässer (470 t $\text{NO}_3\text{-N}$)
- Austrag durch die Grundwasserentnahme der Wasserwerke (1050 t $\text{NO}_3\text{-N}$)
- Fracht am Referenzpegel Thekla (2500 t $\text{NO}_3\text{-N}$).

Mit der Grundwasserförderung wird eine nicht unerhebliche Masse an Nitrat-Stickstoff aus dem System entfernt („Wasserexport“ über die Einzugsgebietsgrenze). Aus der Bilanz aus Ein- und Austrag lässt sich ein „Überschuss“ von 19.160 t (bei Ermittlung der flächenhaften, diffusen N-Zufuhr mittels CANDY) bzw. 6.160 t (bei Ermittlung mittels Lysimeter) ableiten. D.h., dass im Bilanzzeitraum von 17 Jahren eine große Menge an Nitrat-Stickstoff im System verbleibt bzw. auf einem anderen Weg das System verlässt. Dafür verantwortlich sind einerseits Denitrifikation, Sorption und Retention in der ungesättigten Zone unterhalb der Wurzelzone und andererseits Denitrifikation und Retention in der gesättigten Zone durch die beschriebenen Prozesse.

5. Schlussfolgerungen

Tiefendifferenzierte, auf einzelne Grundwasserleiter bezogene hydrochemische Untersuchungen erfordern umfangreiche Geländearbeiten und sind mit der überwiegenden Anzahl der verfügbaren Grundwassermessstellen nicht möglich. So ist in Einzelmessstellen mit großen Filterstrecken in einem Grundwasserleiter keine tiefenorientierte Probenahme möglich und es besteht die Gefahr der vertikalen Verschleppung von Stoffen. Auch werden die verschiedenen Grundwasserleiter nur unzureichend durch Messstellen repräsentiert.

Bei der Simulation mit dem Modell PART2000 werden auf Grundlage der gewählten Gebietsdiskretisierung (hier

finite Volumen-Elemente) die chemischen und physikalischen Eigenschaften eines Elementes (Wasservolumens) als örtliche Mittelwerte behandelt. Für die Simulation der Grundwasserströmung war die Auflösung des vorliegenden Modell-Rasters ausreichend, da der Grundwasser-Stand in Porengrundwasserleitern auch lokal sehr ausgeglichen ist. Die für die Simulation des Stofftransportes erforderlichen Parameter zur Berücksichtigung von Ionenaustausch, Ionensorption, Dispersion und Diffusion sind dagegen viel ortsabhängiger, d.h. sie weisen je nach Parameter sehr große Gradienten in alle Raumrichtungen auf. Auch das Stoffumsatzpotenzial ist räumlich und zeitlich sehr variabel und die reale Konzentrationsverteilung im Modellgebiet lokal stark durch weitere Einflussfaktoren überprägt. So war es schwierig einen geeigneten Parametersatz für das Modell zu finden, der eine plausible Stofftransportsimulation ermöglichte. Aus diesem Grund konnte die angestrebte Stoffbilanz nicht an die modellgestützte Wasserbilanz gekoppelt werden, sondern stützt sich auf gemessene bzw. simulierte Stofffrachten.

6. Literatur

- FRANKO, U. et al., 2000: Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf den N-Austrag aus Agrarökosystemen. UFZ-Bericht Nr. 10. Leipzig.
- KNAPPE, S. und U. HAFERKORN, 2002: Dauerfeldversuche in Lysimetern, II. Mitteilung: Witterungs-, boden- und nutzungsbedingte N-Auswaschungspotentiale von typischen Pedohydrotopen des Mitteldeutschen Trockengebietes. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 48.
- MANNSELD, K. und H. RICHTER (Hrsg.), 1995: Naturräume in Sachsen. Forschungen zur deutschen Landeskunde, 238.
- LfUG, IBGW, 1994: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) und Ingenieurbüro für Grundwasser (IBGW) Leipzig GmbH (1994): Hydrogeologisches Modell für den Raum des Parthegebietes (PART).
- EISSMANN, L., 1970: Geologie des Bezirkes Leipzig, Eine Übersicht. Natura regionis Lipsiensis, Heft 1, Naturwissenschaftliches Museum Leipzig.
- BOY, S. und D. SAMES, 1997: PCGEOFIM®-Anwenderdokumentation, Ingenieurbüro für Grundwasser Leipzig.
- HAFERKORN, U., K. KUHN, und H. MANSEL, 1999: Einsatz eines gekoppelten Grund- und Oberflächenwassermodells am Beispiel des Parthegebietes. Wasser und Abfall 11.

SCHWARZE, R., 1985: Gegliederte Analyse und Synthese des Niederschlag-Abfluss-Prozesses von Einzugsgebieten. Dissertation, Fakultät für Bau-Wasser-und Forstwesen der TU Dresden.

MELLENTIN, U. und U. HAFERKORN, 1999: Bericht zur Ganglinienseparation an Oberflächenwassermessstellen der Parthe und des Schnellbaches. Arbeitsbericht (unveröff.). Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, Lysimeterstation Brandis.

HAFERKORN, U., 2000: Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftliche Nutzung im Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes. Diss. FB Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen.

BERGER, W., 2000: Stoffinventar und Stoffänderung durch Redoxreaktionen in Sedimenten des Lausitzer Braunkohlenreviers. Diss. Proceedings des Dresdner Grundwasserforschungszentrums e. V., Heft 18.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des BMFT-Forschungsvorhaben „Gebietswasserhaushalt in der Lössregion des Elbegebietes als Grundlage für die Durchsetzung einer nachhaltigen Landnutzung“, Teilthema: „Bestimmung des Nitratstromes im Grund- und Oberflächenwasser mit dem Modell PART auf Basis von PCGEOFIM“ durchgeführt.