Ber. Naturhist. Ges. Hannover	137	99–107	Hannover 1995

Die modellgestützte Analyse von Stofftransporten in Stadtböden am Beispiel der Nitrateinträge in das Grundwasser der Nordstadt

von

J. BACHMANN, R. PAGEL und M. FAUST

mit 3 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung. Im Grundwasser der Stadt Hannover werden lokal Nitratkonzentrationen weit oberhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l gemessen. Es wird vermutet, daß diffuse Stoffausträge aus städtischen Grünflächen und Brachen zu der Nitratanreicherung des Grundwassers beitragen. Um die Zusammenhänge zwischen der Nutzungsstruktur im Stadtgebiet und den Stoffeinträgen zu klären, wurden von 1989 bis 1992 mehrfach jährlich Nitratmessungen an acht Standorten im Boden und an ca. 15 Meßstellen im Grundwasser innerhalb der sogenannten „Testfläche Nordstadt" durchgeführt. Die Nitratauswaschung im Winterhalbjahr wurde mit einem einfachen Stofftransportmodell auf Grundlage der herbstlichen Nitratgehalte für die jeweilige Nutzung berechnet und mit einem geographischen Informationssystem auf Flächenausträge extrapoliert. Die flächendeckend berechneten Austräge dienten als Inputgröße für ein Grundwasser-Stofftransportmodell.

Die Messungen zeigen, daß insbesondere die gewerbliche Gartenbaunutzung zu hohen Austrägen führt, aber auch von Kleingärten nennenswerte Belastungen des Grundwassers ausgehen können. Der Vergleich gemessener und simulierter Nitratkonzentrationen im Grundwasser zeigt, daß unter Berücksichtigung eines örtlich variablen Abbauparameters für Nitrat entlang großer Abwasserleitungen eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung erkennbar ist. Wegen der geringen Anzahl von Meßpunkten ist das Ergebnis als vorläufig zu bewerten und durch weitere Messungen abzusichern.

Summary: Model based analysis of nitrate inflow of the ground water in Hannover Nordstadt. The nitrate concentration in the ground water of Hannover exceeds the limit of 50 mg/l, which has been set by the drinking water decree. This is presumably due to an unknown outflow of substances from urban green areas as well as follows, which have contributed to the nitrate enrichment in the ground water. In order to establish a connection between the utilisation of green areas and the inflow of substances, a number of tests were carried out from 1989 until 1992. During that time the nitrate concentration was measured several times a year in eight different locations in the soil and in about 15 locations in the ground water – all within the test area of Hannover's Nordstadt. The nitrate concentrations of the soil in the winter months were calculated with the aid of a simulation model for soils based on

the nitrate concentration gathered during the autumn period. The nitrate inflow into the ground water of the hole area, estimated by the results of the simulation model with the aid of a geographic information system, was the input parameter for a ground water simulation model.

The research results showed that the commercial usage of green areas let a high outflow, but also allotment holders contributed considerably towards the polution of the ground water. The comparison of measured and simulated nitrate concentration in the ground water shows a reasonable correspondence taking into account local levels of nitrate along gutter and sewerage systems. Due to the relativly small number of measuring points all results must be regarded as provisional and need to be safeguarded by further and more extensive research.

Einleitung und Problemstellung

Die Untersuchung von Stadtökosystemen ist durch die vielfältig und kleinräumig variierende Nutzungsstruktur methodisch sehr aufwendig und erfolgte im Bereich der Geowissenschaften bislang nur in einem vergleichsweise geringen Umfang. Mit der vorliegenden Studie wurde beabsichtigt, das gemeinschaftlich im Rahmen des „Ökologischen Forschungsprogramms" der Stadt Hannover (ÖFH) entwickelte Umweltinformationssystem zur Analyse flächenhafter Stoffbewegungen einzusetzen und dabei aufzuzeigen, welche Probleme speziell in Stadtgebieten auftreten können. Als Stoff wurde Nitrat gewählt, das im Grundwasser des Stadtgebietes stellenweise in hohen Konzentrationen festzustellen ist.

Im Vordergrund der Studie stand das methodische Vorgehen hinsichtlich der Datenerhebung und des Datentransfers zwischen den Arbeitsgruppen sowie das Entwickeln geeigneter Auswertungsmethoden. Daher konnte speziell bei der Beprobung der Böden angesichts der Größe der Testfläche auch nur stichprobenartig vorgegangen werden, so daß die inhaltlichen Aussagen durch ergänzende Messungen oder durch die Untersuchung eines weiteren Testgebietes abgesichert werden müßten. Für unterschiedlich genutzte Stadtböden, speziell für Kleingärten, lagen allerdings keine Daten für Nitratgehalte vor, so daß die Meßkampagne wertvolle Informationen und Anhaltspunkte lieferte.

In Hinblick auf die ökologische Fragestellung war zu untersuchen, ob ein nachvollziehbarer Zusammenhang zwischen der Nutzungsstruktur und der räumlichen Verteilung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser besteht. Dazu wurden in einem Testgebiet im Zeitraum 1989–1992 von mehreren Arbeitsgruppen Messungen in den Medien Luft, Boden und Grundwasser durchgeführt und gemeinsam ausgewertet. Die Nitratkonzentration im Grundwasser der Stadt Hannover übersteigt stellenweise deutlich den Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/Liter. Obwohl die Trinkwassergewinnung außerhalb der Stadtgrenzen Hannovers erfolgt, ist die Anreicherung von Nähr- oder Schadstoffen im städtischen Grundwasser aus verschiedenen Gründen nicht erwünscht. Beispielsweise sind Folgewirkungen auch außerhalb des Stadtgebietes dann nicht ausgeschlossen, wenn belastetes städtisches Grundwasser in Oberflächengewässer fließt und dort die Konzentration ökologisch bedenklicher Substanzen erhöht.

Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet „Testfläche Nordstadt" befindet sich etwa 3 km nordwestlich des Stadtzentrums und zeichnet sich durch eine vielfältige, teilweise kleinräumig variierende städtische Nutzungsstruktur der Bereiche Freizeit, Wohnen, Verkehr und Gewerbe aus. Von

den drei in Hannover auftretenden Landschaftseinheiten Leineaue, pleistozäne Talsand- und Grundmoränenlandschaft sowie der Lößbörde sind die beiden ersteren vertreten (vgl. Geologische Karte des Landes Niedersachsen 1:25000, Blatt 3624 und 3524). Das Untersuchungsgebiet wird im Südwesten von der Leine und den Herrenhäuser Gärten und im nördlichen Bereich durch die Schulenburger Landstraße und die Kleingartenanlage „Burg" begrenzt. Im größeren Teil der Testfläche treten sandige Böden mit unterschiedlichen Grundwasserflurabständen auf. Nur südlich, im direkten Bereich der Leineaue, werden grundwasserbeeinflußte Böden auf geschichtetem, schluffig-sandigem Material in größerer Verbreitung gefunden. Im zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes dominieren Böden auf holozänen fluviatilen Sanden und Dünensandbildungen, im nördlichen Bereich erfolgt dann der Übergang zu pleistozänen, ebenfalls überwiegend sandigen Ablagerungen.

Hydrologisch betrachtet ist die Testfläche im südwestlichen Bereich durch den Vorfluter Leine und im nordöstlichen Teil durch die Wasserscheide zwischen dem Leine- und dem Wietzeeinzugsgebiet begrenzt. Diese spezielle Situation bietet in Hinblick auf die hydrologischen Untersuchungen den Vorteil eines weitgehend abgrenzbaren Grundwassereinzugsgebietes.

Messung der Nitratgehalte und -konzentrationen

Zur Berechnung der Nitratausträge aus dem Boden wurde der Eintrag über den Luftpfad (Deposition), der Vorrat an mobilem mineralischem Stickstoff im Boden (N_{min}) zu Beginn der winterlichen Auswaschungsperiode und die Sickerwassermenge im Winterhalbjahr benötigt. Die Bodeneigenschaften des jeweiligen Standortes werden mit der Feldkapazität charakterisiert, die das Volumen der wassergefüllten Poren im Verhältnis zum gesamten Probenvolumen darstellt (*vgl. Abb. 1*).

Die **Gesamtdeposition von Nitrat** wurde vom Geographischen Institut mit insgesamt 50 Meßstationen im gesamten Stadtgebiet bestimmt. Im Mittel wurde beispielsweise im Zeitraum Juli 90 bis Juli 91 ein Gesamtwert von ca. 18 kg Nitrat pro Hektar gemessen. Für die durchschnittliche Konzentration des Sickerwassers an der Bodenoberfläche ergibt sich daraus unter Berücksichtigung der aktuellen Niederschlagsmenge ein Wert von ungefähr 3 mg Nitrat/Liter.

Die **Nitratmenge im Boden** wurde an 8 Standorten (3 Kleingärten, 3 Stadtparkstandorte, 1 Hausgarten und ein Gartenbaubetrieb für Zierpflanzen auf dem Universitätsgelände) an jeweils fünf Zeitpunkten pro Jahr durch die Entnahme von Bodenproben aus den Tiefen 0–30, 30–60 und 60–90 cm bestimmt. Zur Kontrolle der berechneten Sickerwasserkonzentrationen wurden zusätzlich an zwei der beprobten Standorte Anlagen mit Unterdruck-Saugkerzen installiert, um Bodenlösung in kurzen zeitlichen Abständen direkt aus dem Boden gewinnen zu können. Die Analysen erfolgten im Labor der Stadtwerke Hannover.

Die **Nitratkonzentration im oberflächennahen Grundwasser** kann im gesamten Stadtgebiet durch die Entnahme und Analyse von Wasserproben aus zahlreichen Brunnen oder Grundwasserpeilrohren gemessen werden. Direkt im Testgebiet befinden sich ca. 10 Grundwasserentnahmestellen, die an mehreren Zeitpunkten vom Institut für Wasserwirtschaft beprobt wurden. Im Jahr 1990 schwankten die Werte zwischen 3 und 122 mg Nitrat/Liter.

Berechnung der Austräge aus dem Boden und Regionalisierung der Werte

Allgemein tritt bei terrestrischen Böden in Mitteleuropa das Sickerwasser und damit auch der Transport gelöster Stoffe aus dem Wurzelraum in Richtung Grundwasser überwiegend im Winterhalbjahr auf. Für die Abschätzung der Sickerwassermenge auf Basis der aktuel-

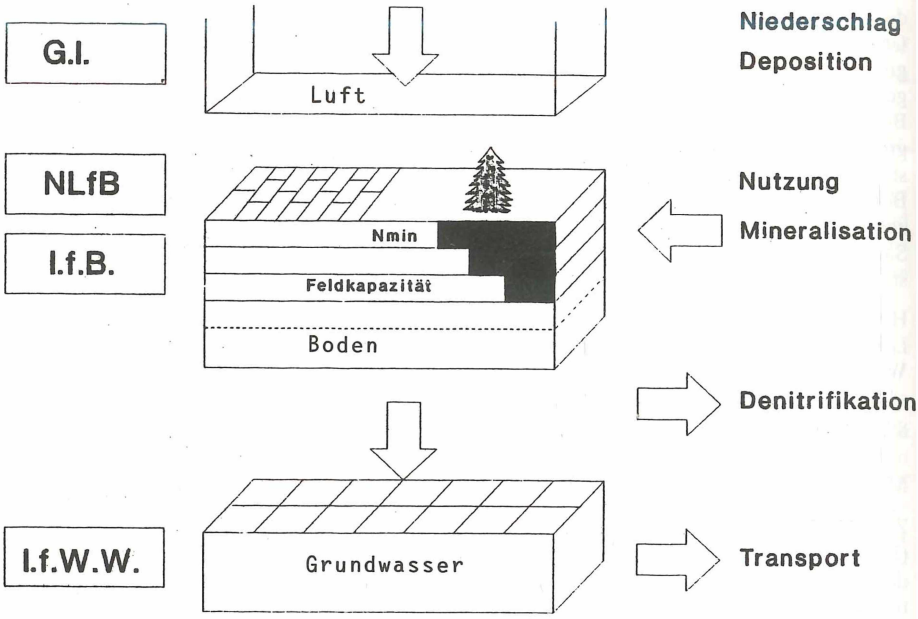


Abb. 1: Schema zur Nitratverlagerung und der beteiligten Arbeitsgruppen.
G.I.: Geographisches Institut, NLfB: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, I.f.B.: Institut für Bodenkunde, I.f.W.W.: Institut für Wasserwirtschaft.

len Niederschläge bedeutet dies eine erhebliche Vereinfachung, da die unterschiedlichen Vegetationstypen nicht differenziert betrachtet werden müssen und ein mehr oder weniger konstanter Wasserfluß im Bodenprofil vorausgesetzt werden kann. Während der Vegetationsperiode ist dagegen der Einfluß der Pflanzen auf die Verdunstung, insbesondere bei sehr uneinheitlichen Vegetationsbeständen, nur sehr schwierig zu bestimmen und somit die Angabe der Sickerwassermenge im Verlauf des Sommerhalbjahres entsprechend vage.

Deshalb wurde als Annäherung bei allen Nutzungsklassen der für die Auswaschungsperiode im Winterhalbjahr berechnete Wert für den Austrag mit dem Faktor 1,2 multipliziert und als Jahresaustrag bewertet. Die Austräge wurden für die jeweilige Nutzungsklasse mit einem Stofftransportmodell, das dem Prinzip der Mischzellentheorie nachgebildet ist (VAN DER PLOEG & HUWE, 1990), separat berechnet. Bei dem Modell wird von der Vorstellung ausgegangen, daß das im Boden festgehaltene Porenwasser durch das von oben in den Boden vordringende Niederschlagswasser in Richtung Grundwasser verdrängt wird. Dies führt bei insgesamt konstanter Wassermenge im Boden zu einer Verschiebung aller Wasserpakete und der darin gelösten Stoffe, wobei auch die Mischung von Porenwasser unterschiedlicher Konzentrationen in einer Mischzelle berücksichtigt wird.

Zur Regionalisierung, also zur Übertragung der punktweise berechneten Resultate in die Fläche, müssen in einem ersten Schritt die für die jeweilige Nutzung berechneten Austräge lückenlos der Nutzungsstruktur im Testgebiet zugewiesen werden. Die Zuordnung der beprobten Standorte zu den Nutzungsklassen erfolgte mit der digitalisierten Biotopkarte gemäß dem folgenden Zuordnungsschlüssel:

Hauptklasse A Biotope der Wohnbebauung: Zuordnung: Hausgarten.
Hauptklasse B Biotope der Nichtwohnbebauung: Zuordnung: Parkrasen.
Hauptklasse C Biotope der vegetationsarmen Flächen, fällt flächenmäßig nicht sehr ins Gewicht. Keine Zuordnung.
Hauptklasse D Gartenland: Zuordnung: Kleingarten.
Hauptklasse E Erwerbsgartenbau: Zuordnung: gewerblicher Gartenbau.
Hauptklasse F Friedhöfe: nicht beprobt; aus den Werten für Gartenbau und Hausgarten gemittelt.

Der zweite wichtige Schritt bei der Untersuchung in Stadtgebieten besteht in der Ermittlung des durchschnittlichen Versiegelungsgrades der jeweiligen Nutzungsklasse, da vermutlich nur in nicht-versiegelten Teilflächen nennenswerte Nitratgehalte auftreten. Der für jede Nutzungsklasse berechnete Durchschnittswert für den Nitrataustrag wurde proportional um den durchschnittlichen Versiegelungsgrad der jeweiligen Nutzungsklasse vermindert. Der Versiegelungsgrad ergibt sich aus der Summe der voll- und teilversiegelten Flächen, inklusive der Gebäude, bezogen auf die Gesamtfläche der jeweiligen Nutzung. Als Arbeitsgrundlage zur Ermittlung der nutzungsabhängigen Versiegelung diente ebenfalls die Biotopkarte. Orientiert an den dort ausgewiesenen Klassen wurde stichprobenartig der Versiegelungsanteil im Bereich der Nordstadt durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLfB) kartiert. Anschließend erfolgte eine Klassenbildung im Bereich zwischen 10–100 Prozent mit dekadischer Abstufung. Eine flächengetreuere Analyse in höherer Auflösung bezüglich der Nutzungsklassen und der räumlichen Differenzierung erschien wegen der exponentiell zunehmenden Daten- und Arbeitsmenge nicht sinnvoll.

Ergebnisse und Diskussion

Die Nitratgehalte der Bodenproben geben einen ersten Hinweis auf die potentielle nutzungsabhängige Grundwassergefährdung. In der Abbildung 2 sind die durchschnittlichen Gehalte an mobilem Nitrat von Juli 1990 bis Juli 1991 für die drei beprobten Tiefen dargestellt.

Die Durchschnittswerte zeigen die höchsten Werte bei der Gartenbaufläche, gefolgt von den Kleingärten und dem Hausgarten und die geringsten Werte für die Parkrasenstandorte. An den parallel beprobten Standorten innerhalb einer Nutzungsklasse wird deutlich, daß bezüglich der Gesamtgehalte keine Überschneidungen zu benachbarten Klassen auftreten.

Tab. 1: Berechnete winterliche Nitratausträge und Konzentration im Sickerwasser im Winterhalbjahr 1990/1991.

Standort	Konzentration in mg Nitrat/Liter	Austrag in kg Nitrat/Hektar
Gartenbaubetrieb Herrenh.	139	70
Kleingarten 1	64	32
Kleingarten 2	49	25
Kleingarten 3	38	19
Hausgarten	35	17
Parkrasen 1	29	14
Parkrasen 2	22	11
Parkrasen 3	9	5

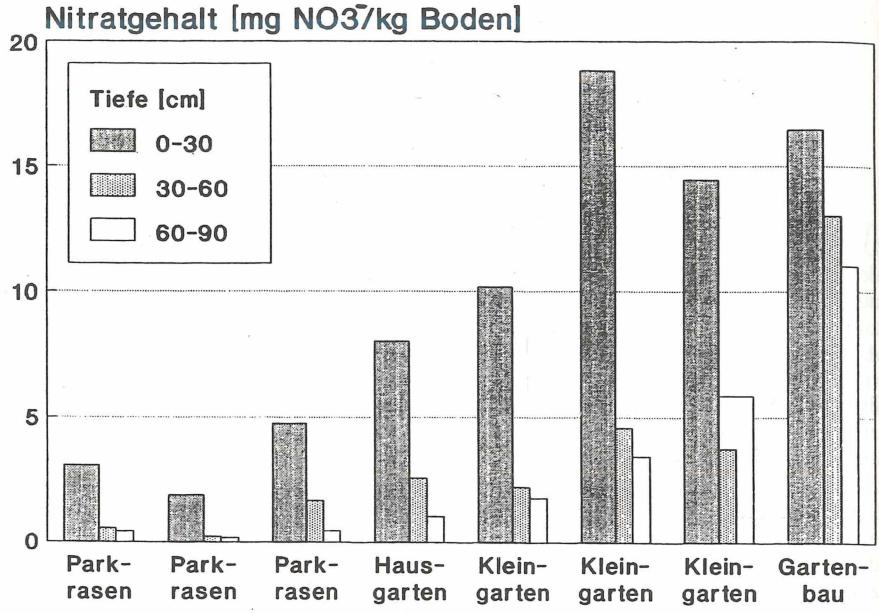


Abb. 2: Jahresmittelwerte der Nitratgehalte (N_{min}) im Boden in der Tiefe 0–30, 30–60 und 60–90 cm für die untersuchten Standorte.

Zur Abschätzung der Grundwassergefährdung muß der Austrag aus dem Wurzelraum als mittlere Konzentration des Sickerwassers oder als Fracht in kg/Flächeneinheit in der eingangs beschriebenen Weise mit einem einfachen Transportmodell berechnet werden. Die ausgewaschene Nitratmenge für den Zeitraum Anfang November bis Ende April und die durchschnittliche Konzentration des Sickerwassers zeigt die Tabelle 1.

Die am Standort Gartenbau berechnete Konzentration im Sickerwasser entspricht etwa den Werten, die auch bei landwirtschaftlich genutzten Flächen auftreten können. Die berechneten Konzentrationen für die Kleingartenstandorte und Hausgärten sind deutlich geringer. Die Werte für die Parkrasen 1 und 2 sind für die nicht gärtnerisch genutzten Flächen verhältnismäßig hoch. Möglicherweise liegt die Ursache in der früher üblichen Düngung auch dieser Rasenstandorte. Da nach Angabe des Grünflächenamtes diese Nährstoffzufuhr seit einigen Jahren unterbleibt, dürfte sich der Austrag in Zukunft vermindern.

Mit aller gebotenen Vorsicht in Hinblick auf die verhältnismäßig geringe Anzahl der beprobten Standorte und den selektiven Zugang zu beprobbaren Kleingärten ergibt sich tendenziell für das untersuchte Testgebiet das folgende Ergebnis. Bezüglich der Grundwassergefährdung im Sinne der Trinkwasserverordnung kommt die Hauptklasse E (Gewerblicher Gartenbau) in Frage. Die ausgedehnte Kleingartenanlage „Burg“ bildet ein Konglomerat vieler kleiner Flächen mit einer weiten Streuung um den Grenzwert von 50 mg Nitrat/Liter. Alle Lokalitäten, auch die Parkrasenstandorte, weisen Konzentrationen weit über der durchschnittlichen Nitratkonzentration des Niederschlags auf und stellen Quellen für einen Nitrataustrag dar.

Zur Kontrolle der berechneten Sickerwasserkonzentrationen wurde an zwei Standorten (Gartenbaubetrieb Herrenhausen, Parkrasen 2 vor dem Wilhelm-Busch-Museum) Bodenlösung mit Saugkerzen aus dem Boden gewonnen und analysiert. Im Bereich der für die Testfläche typischen trockenen Standorte (Beispiel: Herrenhausen) ist die Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung zufriedenstellend (Tab. 2). Im Bereich der flächenmäßig geringer vertretenen grundwasserbeeinflußten Böden sind dagegen erhebliche Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Werten festzustellen, wie das Beispiel der Parkrasenfläche am Wilhelm-Busch-Museum zeigt.

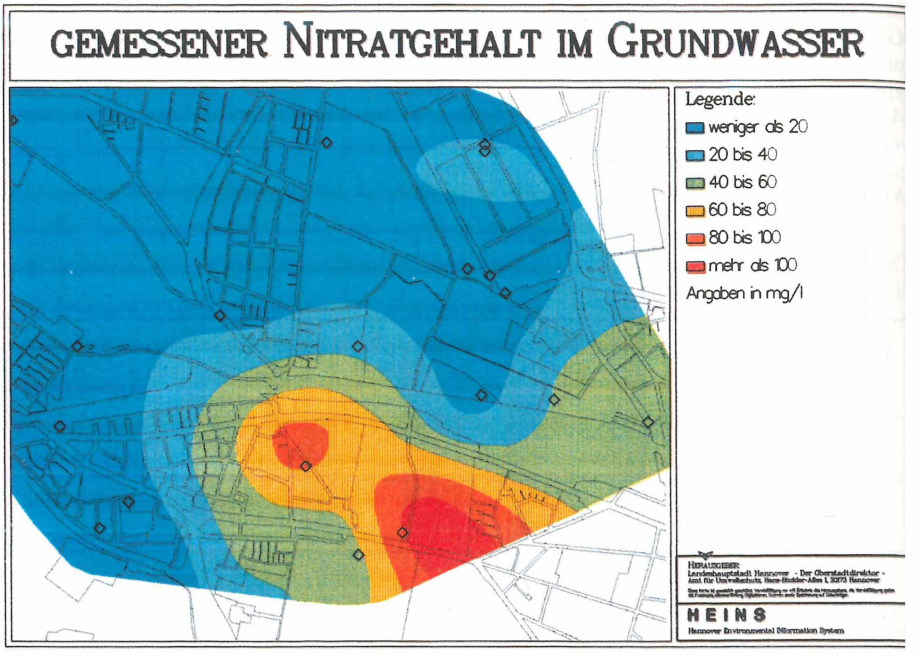
Tab. 2: Vergleich berechneter und gemessener Nitratkonzentrationen im Sickerwasser. Halbjahresmittelwerte von zwei Standorten.

Standort	Konzentration in mg/Liter Winterhalbjahr 1990–1991		Konzentration in mg/Liter Winterhalbjahr 1991–1992	
	berechnet	gemessen	berechnet	gemessen
Gartenbaubetrieb Herrenhausen	139	166	141	130
Parkrasen 2 Wilhelm-Busch-Museum	22	3	25	4

Die Differenz am Standort Parkrasen 2 ist möglicherweise auf den Nitratabbau (Denitrifizierung) im Boden zurückzuführen. Dieser Prozess wurde bei den Rechnungen nicht berücksichtigt. Grundsätzlich begünstigt eine hohe Wassersättigung und das Vorhandensein von organischer Substanz im Boden die Denitrifizierung. Beide Faktoren sind am feuchten Standort in der Leineaue zu finden.

Der letzte methodische Schritt bei der Analyse der Transportprozesse besteht in der Verknüpfung der berechneten Nitratausträge aus dem Boden mit dem fließenden Grundwasser. Dies erfolgte mit einem für das Testgebiet geeichten Grundwasser-Stofftransportmodell mit der Auflösung 100×100 m. Die Kopplung wird erzeugt, indem an den Knotenpunkten der im Informationssystem festgelegten Rasterpunkte der jeweils berechnete Nitrataustrag aus dem Boden als Inputgröße für das Grundwassermodell verwendet wird.

Die Simulationsrechnungen ergaben prinzipiell eine Übereinstimmung zwischen den berechneten und den gemessenen Werten im Grundwasser bezüglich der räumlichen Verteilung von Minima und Maxima. Es stellte sich aber heraus, daß die simulierten Werte, regional verschieden, etwa um den Faktor 1,5 bis 2,5 zu hoch sind. Dieses Resultat führte zu der Hypothese, daß in dem Bereich unterhalb der Beprobungstiefe im Boden und dem Grundwasser möglicherweise ein Nitratabbau stattfindet. Die Abbildung 3 zeigt die gemessenen und die in der beschriebenen Arbeitsweise simulierten Nitratkonzentrationen im Grundwasser unter der Berücksichtigung eines räumlich variablen Abbauparameters. Entsprechend der im Institut für Wasserwirtschaft durchgeführten Modellrechnungen ist erkennbar, daß die Berücksichtigung des Nitratabbaus eine weitgehend deckungsgleiche Verteilung gemessener und berechneter Nitratkonzentrationen über weite Bereiche erzielt (Abb. 3). Relativ gering ist die Übereinstimmung der Nitratkonzentrationen im nördlichen Bereich der Kleingartenanlage Burg, erkennbar an den höheren Nitratkonzentrationen in der Mitte des oberen Randes auf der Karte mit den berechneten Nitratgehalten. Dieser Kartenausschnitt befindet sich in unmittelbarer Nähe der Wasserscheide, so daß die exakte Abgrenzung des Grundwassereinzugsgebietes und somit die Berechnung



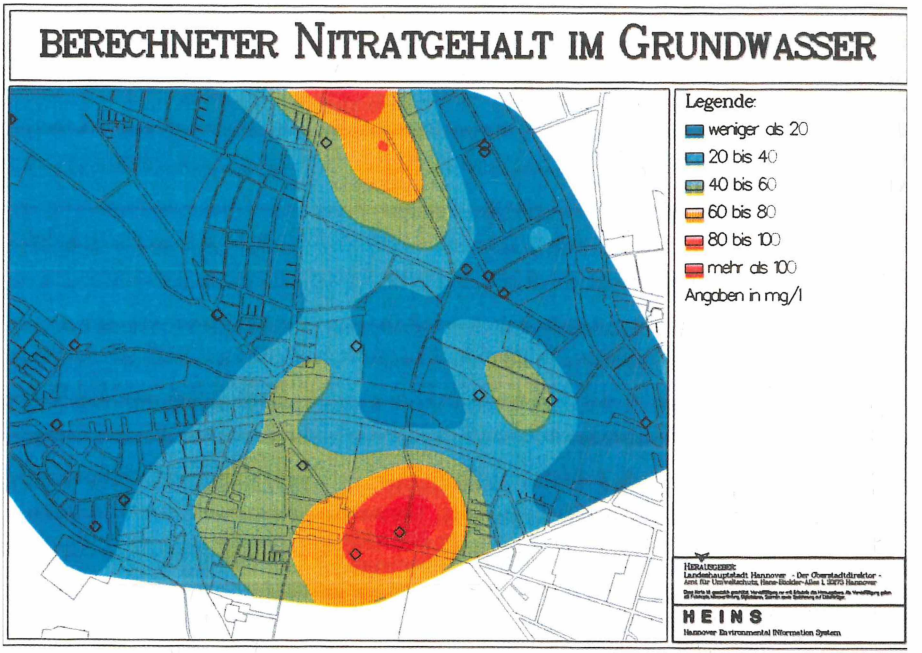


Abb. 3: Gemessene Nitratkonzentration (oben) und berechnete Nitratkonzentration im Grundwasser unter der Annahme eines räumlich variablen Nitratabbaus (unten).

der Grundwasserfließrichtung an dieser Stelle möglicherweise unsicher ist. Weiterhin ist in Betracht zu ziehen, daß die lokal gemessene Nitratkonzentration nur auf einen Brunnen mit hohem Grundwasserstand zurückzuführen ist, so daß insbesondere der nördliche Abschnitt einer weiteren Überprüfung bedarf.

Die Intensität des Nitratabbaus wurde an die Wahrscheinlichkeit gekoppelt, mit der abbaufördernde Substanzen im Unterboden anzutreffen sind. Dies kann beispielsweise in der Umgebung großer Abwasserrohrleitungen (Bereich südliches Herrenhausen) der Fall sein oder auf Sickerwässer aus Kompostaufhäufungen (Bereich Burg) mit hohen Gehalten an gelöster organischer Substanz zurückzuführen sein. Die Werte für die Abbaurate des oberflächennahen Grundwassers, ausgedrückt als Halbwertszeit, ergibt kurze Zeiten von etwa 1,5 Jahren im Bereich Burg, mittlere Werte von 1,5 bis 3 Jahren im Bereich des Stöckener Stadtfriedhofes und eine geringe Abbauleistung mit Halbwertszeiten von über 3 Jahren im zentralen Bereich der Nordstadt. Als Halbwertszeit wird die Zeit bezeichnet, innerhalb derer 50 % des Stoffes abgebaut ist.

Folgerungen

Die vorgestellte Studie gibt ein Beispiel für die Beschreibung eines im Prinzip komplexen, aber vereinfacht dargestellten Transport- und Transformationsvorgangs eines reaktiven Stoffes in einem Stadtgebiet. Dies erfolgt durch die Verbindung eines Geographischen Informationssytems zur Bereitstellung von ortsbezogenen Basisdaten mit mathematischen Modellen zur Beschreibung von dynamischen Zustandsänderungen. Angesichts des verhältnismäßig geringen Datenbestands werden plausible Resultate erzielt, deren Gültigkeit aber nicht weiter überprüft wurde. Diese Untersuchung ist nur als ein Beispiel für die Verwendung eines Umweltinformationssystems zu verstehen. Die Qualität der Aussagen dürfte mit zunehmer Nutzung des Systems und Ergänzung des Datenbestandes verbessert werden.

Literatur

VAN DER PLOEG, R.R. & B. HUWE (1990): A rational approach towards estimating soil nitrate seepage losses during winter. In: R. CALVET (ed.): Proceedings of the International Symposium on Nitrates – Agriculture – Water, Paris, 233–238.

Manuskript eingegangen am: 20. Februar 1995

Anschrift der Autoren:
J. Bachmann, R. Pagel
Institut für Bodenkunde
Herrenhäuserstr. 2
30149 Hannover

M. Faust
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlichen Wasserbau
Appelstr. 9A
30167 Hannover

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 137

Autor(en)/Author(s): Bachmann J., Pagel R., Faust M.

Artikel/Article: Die modellgestützte Analyse von Stofftransporten in Stadtböden am Beispiel der Nitrateinträge in das Grundwasser der Nordstadt 99-107