

# Bestimmung der Nitratauswaschung für die Beratungspraxis der Wasserversorgung - Einsatz von Freilandlysimetern zur Ableitung einer Vorgehensweise bei räumlicher und zeitlicher Dynamik in der Agrarlandschaft

S. STURM und J. KIEFER

## Abstract

The leaching of nitrate from agriculturally used soils still represents a risk to groundwater. Temporally and spatially flexible control methods to assess the impact of agriculture on groundwater are thus far missing, however. During a research project funded by DVGW (German Technical and Scientific Association for Gas and Water) conducted between 2001 and 2003 a relatively simple control method, using only few soil characteristics and climatic input parameters, was developed and validated.  $N_{\min}$ -data (mineral nitrogen in soil) levels were raised several times at the pilot-site and resulting data was used to calculate nitrate losses from the soil. Calculations were done using the numeric capacity model INVAM, which was developed at the Water Technology Center Karlsruhe (TZW) in 1991. This indirect quantification of nitrate leaching was validated using soil-water-samplers and monolithic lysimeters. Tracer tests with bromide gave information on water and solute movement in the soil. The validation of lysimeter investigations confirms that the combination of soil controls and a functional model is a method well suited for the quantification of nitrate leaching. This project thus represents a suitable tool for the consultation of water suppliers to ensure groundwater protection through land management.

## Einleitung

Um die Wirksamkeit landwirtschaftlicher Maßnahmen für den Grundwasserschutz bewerten zu können, bedarf es eines flexibel anwendbaren, emissionsorientierten Kontrollinstrumentes zur Ermittlung der Nitratauswaschung. Im Fol-

genden werden die Ergebnisse eines von der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) geförderten Forschungsvorhabens vorgestellt, in dem am Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe ein Ansatz weiterentwickelt und validiert wurde, durch den es möglich ist, die Nitratausträge beliebiger Standorte aus wenigen boden- und klimaspezifischen Parametern zu berechnen (STURM et al., 2004). Anschließend werden Anwendungsmöglichkeiten der Methode für die Beratungspraxis in der Wasserversorgung erläutert.

## Material und Methoden

Auf einer zuvor landwirtschaftlich genutzten Versuchsfläche im WSG Bruchsal (Nördliche Oberrheinebene) wurden drei Niederschlagssammler zur Messung der Niederschlagshöhe und Stickstoffdeposition, drei 90 cm tiefe, freidränende monolithische Freilandlysimeter vom Typ FRIEDRICH-FRANZEN und sechs Saugkerzenanlagen zur Gewinnung von Sicker- bzw. Bodenwasser in 90 cm Tiefe installiert. Auf der Versuchsfläche finden sich Parabraunerden aus lehmigem Sand auf quartären Sanden und Kiesen des Rheins. Durch regelmäßiges Fräsen wurden der "Oasen-Effekt" bei den Lysimetern und ein unerwünschter Stickstoffentzug durch Pflanzen verhindert. Auf der Fläche wurden durch mehrfache Bodenkontrollen von Frühjahr 2001 bis Ende 2003  $N_{\min}$ -Ganglinien erhoben. Zudem wurden Markierungsversuche mit Bromid durchgeführt.

## Ergebnisse

Als Folge der Bodenbearbeitung stiegen die Nitratstickstoffgehalte durch Mine-

ralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs insbesondere im Oberboden jeweils im Frühjahr/Sommer bis zu einem Maximum im Herbst an. Insgesamt ergab sich bei den Lysimetermessungen vom ersten Sickerwasseranfall im November 2001 bis Dezember 2003 ein Nitrataustrag von etwa 320 kg  $NO_3$ -N/ha mit rund 850 mm Sickerwasser. Die Entwicklung der Nitratstickstoffgehalte des Bodens (0-90 cm), die mittleren Nitratkonzentrationen und die kumulierte Nitratauswaschung im Sickerwasser bei den Lysimetern und den Saugkerzen ist in der *Abbildung 1* dargestellt.

Die Nitratauswaschung wurde zudem durch die Kombination der erhobenen  $NO_3$ -N-Ganglinien mit dem numerischen Simulationsmodell INVAM (© Rödelsperger & Rohmann, ROHMANN, 1996) berechnet. Für dieses am TZW entwickelte Kapazitäts- oder Schichtenmodell werden als Eingangsgrößen lediglich die Feldkapazität des Bodens, der aktuelle Bodenwassergehalt, ein Ausgangs-Nitratstickstoffprofil sowie die sickerungsrelevante Niederschlagsmenge benötigt. Die Stickstoffdeposition mit dem Niederschlag kann berücksichtigt werden. Ähnliche Ansätze enthalten beispielsweise auch die Modelle von BURNS (1974) oder von VAN DER PLOEG et al. (1995). Die mathematischen Grundlagen von INVAM sind bei STURM et al. (2004) dokumentiert.

Die Änderungen der Nitratstickstoffprofile des Bodens innerhalb der Auswaschungsperiode konnten bei der Modellierung durch niederschlagsbedingte Verlagerungseffekte gut nachgebildet werden. Gegebenenfalls wurden eine mineralisierungsbedingte Nitratfreisetzung oder aber Stickstoffverluste durch De-

**Autoren:** Dipl.-Geoökol. Sebastian STURM und Dipl.-Geol. Joachim KIEFER, DVGW Technologiezentrum Wasser Karlsruhe (TZW), Abteilung Grundwasser & Boden, Karlsruher Str. 84, D-76139 KARLSRUHE

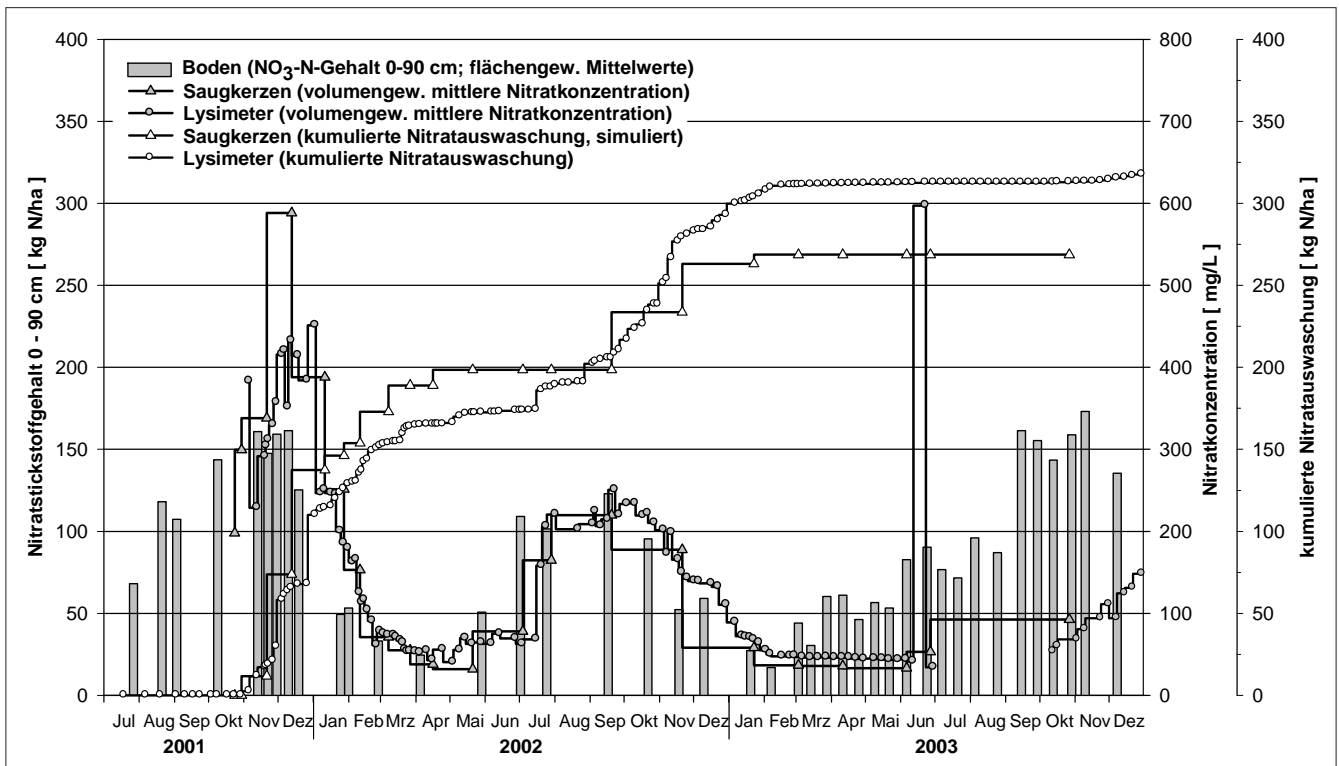


Abbildung 1: Nitratstickstoffgehalte im Boden (0-90 cm), volumengewichtete mittlere Nitratkonzentrationen und kumulierte Nitratauswaschung in den Lysimetern und Saugkerzen

nitrifikation berücksichtigt. Diese indirekte Methode zur Quantifizierung der Nitratauswaschung durch Bodenkontrollen und Modellrechnungen wurde über die direkten Messungen aus den Lysimeteruntersuchungen und Markierungsversuche mit Bromid erfolgreich validiert. Über den gesamten simulierten Untersuchungszeitraum zeigte sich eine sehr gute Übereinstimmung der modellierten und der gemessenen Nitratauswaschung. In diesem Vorhaben konnte gezeigt werden, dass die zunächst standortgebundenen Erkenntnisse aus stationären Freilandlysimetern genutzt werden können, um Vorgehensweisen für die Praxis abzuleiten und zu validieren. Da Bodenkontrollen flexible flächenrepräsentative Untersuchungen erlauben, ist es durch die Kombination mit numerischen Simulationsmodellen möglich, trotz der räumlichen und zeitlichen Dynamik in der Agrarlandschaft, beispielsweise durch wechselnde Bodeneigenschaften oder veränderte Bewirtschaftungsbedingungen, mit vertretbarem Aufwand fachlich begründete Aussagen über die Höhe der Nitratauswaschung zur Beurteilung einer grundwasserschonenden Landwirtschaft zu erhalten.

### Einsatz in der Beratungspraxis für Wasserversorgungsunternehmen

Im Rahmen der SchALVO-Kontrollen des Landes Baden-Württemberg werden jährlich die Nitratstickstoffreste von rund 40.000 Standorten am Ende der Vegetationszeit erhoben. Derartige Bodenkontrollen am Ende der Vegetationszeit können dazu dienen, problematische Nutzungsverhältnisse sowie Problembetriebe zu identifizieren oder die Auswirkungen von Bewirtschaftungskonzepten zu überprüfen. Teilweise parallel zu solchen landesweiten Kontrollen führen einige Wasserversorgungsunternehmen auch in anderen Bundesländern bereits seit 1986 eigenständige Überwachungsprogramme zur Ermittlung der Nitratstickstoffreste von Böden im Herbst in Zusammenarbeit mit dem Technologiezentrum Wasser (TZW) Karlsruhe durch. Diese Programme beinhalten zusätzlich Mehrfachkontrollen auf ausgewählten Flächen vor und nach dem Herbstkontrolltermin (Ganglinienflächen), aus denen mit Hilfe des Simulationsmodells INVAM die Nitratauswaschungsverluste abgeschätzt werden können. Da die Sickerrate in der Praxis

meist unbekannt ist, kann die versickerungsrelevante Niederschlagsmenge für die Modellrechnungen über die Bodenwasserbilanz simuliert oder durch regionale Niederschlagsdaten abzüglich eines pauschalen Verdunstungsanteils im Herbst-Winterzeitraum veranschlagt werden. Gemeinsam mit Bestimmungen der Bodenwassergehalte auf den mehrfach untersuchten Flächen kann so der Wassersättigungszeitpunkt des Bodens bis zur Feldkapazität ermittelt werden. Nur dadurch kann eine sachgerechte Beurteilung der Nitratstickstoffreste von Kontrollflächen am Ende der Vegetationszeit im Hinblick auf Auswaschungseffekte ins Grundwasser vor der Herbstkontrolle erfolgen.

Wenn die klimatischen und standörtlichen Verhältnisse eine Auswaschung vor und während der Bodenkontrollen im Herbst bedingen, kommt dem tatsächlichen Kontrolltermin entscheidende Bedeutung zu. Mit inversen Modellrechnungen ausgehend von einem Messwert während oder nach der Auswaschungsperiode kann ein theoretischer Gebietsmittelwert abgeschätzt werden, wie er ohne Auswaschungsverluste vorgelegen hätte. Die Simulation muss sich in diesen Fällen in der Regel allerdings auf

eine reine Auswaschungsrechnung, d.h. ohne Verwendung von Anpassungsgrößen, beschränken. So konnte in vielen Fällen gezeigt werden, dass bereits zwischen dem Zeitpunkt der Wassersättigung des Bodens und dem Termin der Hauptkontrolle Nitratstickstoffverluste durch Auswaschung aufgetreten waren (KIEFER et al., 2003). Derartige Effekte werden bei der Bewertung der Emissionsseite auf Grundlage von einmaligen Herbstkontrollen nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse von Herbstkontrollen in Wasserschutzgebieten machen deutlich, dass eine überregional einheitliche Beurteilung eines etwaigen Trends der Nitratstickstoffrestgehalte in der Regel fachlich nicht begründbar ist. Solche Betrachtungsweisen lassen die Einflüsse regionaler und standortspezifischer Gegebenheiten unberücksichtigt. Für eine sachgerechte Bewertung der Nitratstickstoffgehalte im Herbst sind zu-

sätzlich Ergebnisse aus Mehrfachkontrollen, Bodenwassergehalte und regionale Klimadaten notwendig. Bei Anwendung des Simulationsmodells für Ergebnisse aus solchen Mehrfachkontrollen, die auf unterschiedlich bewirtschafteten Flächen durchgeführt wurden, lassen sich die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Nitratauswaschung abschätzen und damit Rückschlüsse auf die Vorteile verschiedener Wirtschaftsweisen für den Grundwasserschutz ziehen. Damit bieten diese realistischen Abschätzungen der Auswaschungsverluste eine wertvolle fachliche Grundlage für die Beratung beispielsweise von Problembetrieben mit überdurchschnittlichen Emissionen (KIEFER, 2004).

## Literatur

BURNS, I. G., 1974: A model for predicting the re-distribution of salts applied to fallow soils after excess rainfall or evaporation. - *Journal of Soil Science* 25, 2, 165-178.

KIEFER, J., S. STURM und T. BALL, 2003: Nitratstickstoffrestgehalte von landwirtschaftlich genutzten Böden Baden-Württembergs - Regionale Fallbeispiele und Überlegungen zur Aussagekraft der SchALVO-Herbstkontrollen. In: *Grundwasserdatenbank Wasserversorgung* (Hrsg.) (2003): 11. Jahresbericht, Ergebnisse der Beprobung 2002: 83-100; Stuttgart.

KIEFER, J., 2004: Eine Methode zur Berechnung der Nitratauswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Böden - Ergebnisse der Validierung und regionale Anwendungsbeispiele. In: *Bender, S., Wisotzky, F., Wohnlich, S.: Bochumer Geowissenschaftliche Arbeiten, Heft 5* (2004), S. 48-56.

ROHMANN, U., 1996: Nitratrestgehalte von Böden unter verschiedenen Nutzungsbedingungen und standortabhängige Nitratauswaschung. - Veröff. aus dem Technologiezentrum Wasser 1, 51-69.

STURM, S., J. KIEFER und M. RÖDELSPERGER, 2004: Validierung und Weiterentwicklung eines standortunabhängigen Bodenkontrollverfahrens zur Ermittlung der Nitratauswaschung mit Modellrechnungen. Veröff. aus dem Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe 26.

VAN DER PLOEG, R.R., H. RINGE and G. MACHULLA, 1995: Late fall site - specific soil nitrate upper limits for groundwater protection purposes. - *J. Environ. Qual.* 24, 725-733.

