

VERTIKALE VERLAGERUNG GELÖSTER STOFFE UNTERHALB DES WURZELRAUMES UND GRUNDWASSERBELASTUNG

O. STREBEL & M. RENGER*

Abstract

The „solute load“ from unsaturated soil to groundwater table is very important figure for groundwater pollution problems. This can be measured by separate determinations of the vertical water flux and the solute concentration (with suction probes). An example for a gley-podzol sandy soil under arable cultivation is given (Fig. 1). Furthermore, the problem of climatically induced average values, and extreme values resp., of the yearly „solute load“ is discussed by means of frequency distribution statistics. Finally, it is pointed out that the actual condition of the whole aquifer, his „solute load capacity“, should be taken into consideration when considering „solute load“ values.

1. Einleitung

Zur Beurteilung einer Grundwasserbelastung durch vertikale Verlagerung gelöster Stoffe unterhalb des Wurzelraumes benötigt man Daten über die Anlieferung dieser Stoffe an die Grundwasseroberfläche als Funktion der Zeit. Soweit es sich um standorts- bzw. nutzungsspezifische Probleme handelt, führen großräumige Gebietsuntersuchungen nicht zum Ziel. In solchen Fällen muß man an kleinen repräsentativen Testflächen Sickerrate und Konzentration im Sickerwasser in entsprechender Tiefe bestimmen.

Die jährliche Sickerwassermenge und damit die Stoffanlieferung an die Grundwasseroberfläche sind jedoch unter sonst gleichen Bedingungen von den jeweiligen Witterungsverhältnissen abhängig. Deshalb sind häufigkeitsstatistische Untersuchungen notwendig, um aus kurzfristigen (z.B. ein- bis zweijährigen) Messungen langfristig gültige Mittelwerte bzw. die ebenso wichtigen Extremwerte abschätzen zu können.

Schließlich muß man bei der Beurteilung einer bestimmten Stoffanlieferung an die Grundwasseroberfläche auch die bereits vorhandene Vorbelastung des gesamten Grundwasserkörpers (z.B. Höhe *und* Tiefenfunktion der Stoff-Konzentration im Aquifer) berücksichtigen. Von diesen Daten hängt die „Belastbarkeit“ des Aquifers ab.

Am Beispiel von Untersuchungen über die Nitratverlagerung in Sandböden sollen im folgenden einige methodische Aspekte dieser vorher genannten drei Probleme näher behandelt werden.**

* Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für die finanzielle Unterstützung der Untersuchungen.

** Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse wird an anderer Stelle erfolgen.

Fuhrberg S 3, Acker, 80 cm Tiefe
Gley - Podsol aus Fein - Mittelsand

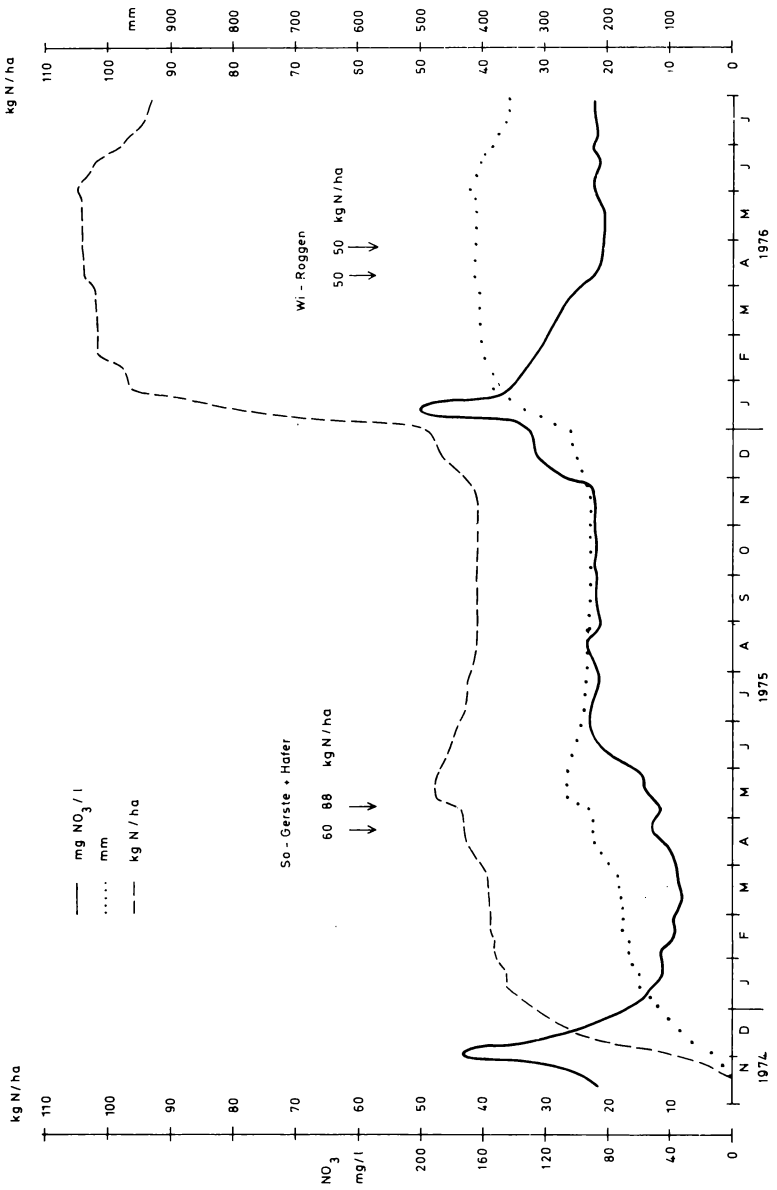


Abb. 1. Nitratkonzentration (mg NO₃/l) und Summenkurven für Sickerwassermengen (mm) und Nitratauswaschung (kg N/ha) bei einem Gley-Podsol aus Fein- bis Mittelsand unter Ackernutzung.

2. Bestimmung des vertikalen Stofftransports

Wegen der lysimetereigenen Probleme, die bereits verschiedentlich kritisch erörtert wurden (z.B. van Bavel 1961, Lützke 1965, Strebel et al. 1973) benutzen wir eine kombinierte Geländemethode, die zudem nur einen sehr geringen Eingriff in den Boden notwendig macht. Dabei gehen wir von der vereinfachenden Annahme aus, daß der Stofftransport im wesentlichen durch Massenfluß erfolgt und mit dem Produkt aus Wasserfluß und Konzentration genügend genau erfaßt ist. Dies trifft nach Berechnungen der Chloridbilanz unterhalb des Wurzelraumes weitgehend zu (Strebel & Renger 1976).

Zur Bestimmung der Konzentration wird die Bodenlösung aus mehreren Tiefen wöchentlich einmal mit 4-6 Parallelen entnommen. Als Saugkörper verwenden wir kleine (40 mm, ϕ 25 mm) Zellen aus Nickelsintermetall (Porenvolumen $< 1 \text{ cm}^3$, Wasserleitfähigkeit 0,3-1 cm/Tag). Während der 1-4 tägigen Ansaugperiode werden die Differenz $\Delta\psi$ zwischen Bodenwasserspannung und angelegtem Unterdruck möglichst klein gehalten und nicht mehr als ca. 50 ml in die Bodensonde eingesaugt.

Die vertikale Wasserbewegung wird über regelmäßige Wasserspannungsmessungen (Tensiometer) und Wassergehaltmessungen (z.T. Neutronensonde, z.T. Gamma-Doppelsonde) in verschiedenen Tiefen ermittelt (vgl. Giesel et al. 1970, Renger et al. 1975). Unterhalb des Wurzelraumes ist eine „Senke“ infolge Wasserentzugs durch die Wurzeln nicht vorhanden, der Gesamtwasserfluß ist identisch mit dem kapillaren Wasserfluß.

In Abb. 1 ist der Ablauf der Nitratauswaschung bei einem Gley-Podsol aus Sand unter Ackernutzung dargestellt. Der Flurabstand des Grundwassers schwankt zwischen 80 und 180 cm Tiefe. Unsere Bezugstiefe ist 80 cm und unterhalb des Wurzelraumes. Die wöchentlichen Meßdaten sind der Übersichtlichkeit wegen in die Kurve der Nitratkonzentration und in die Summenkurven für Sickerwassermenge und Nitratauswaschung nicht eingetragen. Bei diesem grundwassernahen Standort entspricht der Konzentrationsverlauf sogenannten „Durchbruchskurven“. Wenn eine Nitratfront die Untersuchungstiefe erreicht hat (Nov./Dez. 1974, Dez. 1975/Jan. 1976), erfolgen kurzfristige und starke Konzentrationsänderungen, die nur bei einer entsprechend hohen zeitlichen Meßdichte richtig erfaßt werden. Weiterhin ist festzustellen, daß zwischen der Konzentration und der jeweiligen Sickerwasser (= der Steilheit der Versickerungssummenkurve) keine feste Beziehung besteht. Eine Berechnung der Nitratauswaschung aus der mittleren Konzentration über längere Perioden (z.B. mehrmonatiges Mittel) und der jeweiligen Sickerwassermenge dieser Perioden würde deshalb zu deutlichen Fehlern führen. Schließlich treten Perioden mit abnehmenden Summenkurven auf, die durch kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser verursacht sind. Z.B. stiegen von Mai-Nov. 1975 38 mm (7 kg N/ha) und von Mai-Aug. 1976 61 mm (12 kg N/ha) nach oben. Dieser kapillare Aufstieg kann z.B. mit normalen Lysimetern nicht erfaßt werden. Beispiele für den Ablauf der Nitratauswaschung bei grundwasserfernen Standorten bzw. bei unterschiedlicher Bodennutzung sind bei Strebel et al. (1975) zu finden.

3. Abschätzung von witterungsbedingten langfristig gültigen Mittelwerten und von Extremwerten der Stoffauswaschung

Für eine Abschätzung von langfristig gültigen Mittelwerten bzw. von Extremwerten, die bei sonst gleichen Bedingungen ausschließlich witterungsbedingt sind, benötigt man zunächst einmal die Häufigkeitsverteilung der jährlichen Sickerwassermenge. Diese Häufigkeitsverteilung läßt sich über die klimatische Wasserbilanz unter Berücksichtigung der pflanzenverfügbaren Wassermenge des Bodens berechnen (Renger et al. 1974).

In der folgenden Tabelle ist als Beispiel die Häufigkeitsverteilung der jährlichen Sickerwassermengen für den Gley-Podsol-Standort der Abb. 1 für den Zeitraum 1955-1971 zusammengestellt:

Häufigkeit in %	10	20	33	50	33	20	10
mm/Jahr	385	325	255	190	115	70	20

Ein Vergleich mit den gemessenen Sickerwassermengen (Abb. 1) zeigt, daß dieser Wert mit 232 mm für den Zeitraum Nov. 1974-Nov. 1975 etwas über dem langjährigen Mittel (50% Häufigkeit) liegt, während er für 1975/76 mit ca. 120 mm deutlich niedriger ist. Wenn unter sonst gleichen Bedingungen eine enge Beziehung zwischen Jahressickerwassermenge und jährlicher Stoffauswaschung besteht, so könnte man über die Häufigkeitsverteilung der Jahressickerwassermengen auch die der jährlichen Stoffauswaschung abschätzen, also aus kurzfristigen Meßdaten langfristige Mittel- und Extremwerte ausrechnen. Über eine solche Beziehung liegen bisher jedoch noch kaum Daten vor. Unterstellt man einmal eine annähernd lineare Beziehung, wie sie Kolenbrander (1969) fand, so ergäbe sich in unserem Fall folgende Häufigkeitsverteilung der jährlichen Nitrat- auswaschung:

Häufigkeit in %	10	20	33	50	33	20	10
kg N/ha u. Jahr	68	57	45	34	20	13	4

4. Stoffkonzentration als Funktion der Tiefe im gesamten Aquifer

In Abb. 2 sind für drei in Grundwasserfließrichtung angeordnete Meßstellen die Nitratkonzentrationen als Funktion der Tiefe eingetragen. Unter dem Waldstandort ist keine Nitratbelastung des Grundwassers vorhanden, das Grundwasser gelangt also ohne Vorbelastung in den Bereich des Gebietes mit Ackernutzung.

Bei den beiden Ackerstandorten dagegen kann man im oberen Bereich des Aquifer deutlich höhere Nitratkonzentrationen und damit eine gewisse Belastung erkennen. Dieser Befund entspricht der Vorstellung, daß das an die Grundwasser- oberfläche angelieferte Nitrat im Bereich nahe der Grundwasser- oberfläche verbleibt. Es ist allerdings noch nicht eindeutig geklärt, warum entgegen den

Erwartungen diese Belastung bei dem Standort Fuhrberg Nord 5 offensichtlich weniger tief reicht als bei Fuhrberg Süd 3.

Für die Beurteilung einer Nitratbelastung mit dem Sickerwasser (also einer bestimmten Nitratanlieferung) spielt die bereits vorhandene Vorbelastung des Grundwassers eine wesentliche Rolle. Ein vorbelasteter Aquifer weist unter sonst gleichen Bedingungen eine geringere „Belastbarkeit“ auf als ein weitgehend unbelasteter Aquifer. Die Vorbelastung hängt u.a. sehr stark von Größe sowie von Nutzungsformen und -intensität des gesamten Grundwassereinzugsgebiets oberhalb der Meßstelle ab. Fließgeschwindigkeit, Grundwasserchemismus sowie mögliche Mischungs-, Retentions- und Abbauprozesse für den jeweiligen Stoff beeinflussen die „Belastbarkeit“ eines Aquifers ebenfalls sehr stark.

5. Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit Grundwasserbelastungsproblemen ist die Stoffanlieferung an die Grundwasseroberfläche von großer Bedeutung. Dazu wurde eine kombinierte Methode zur Bestimmung von vertikaler Wasserbewegung und Stoffkonzentration an einem Beispiel erläutert. Weiterhin wird eine Möglichkeit für die Abschätzung von klimatisch bedingten Mittel- und Extremwerten der jährlichen Stoffauswaschung über häufigkeitsstatistische Untersuchungen diskutiert. Abschließend wird auf die unterschiedliche „Belastbarkeit“ von Grundwasserkörpern hingewiesen.

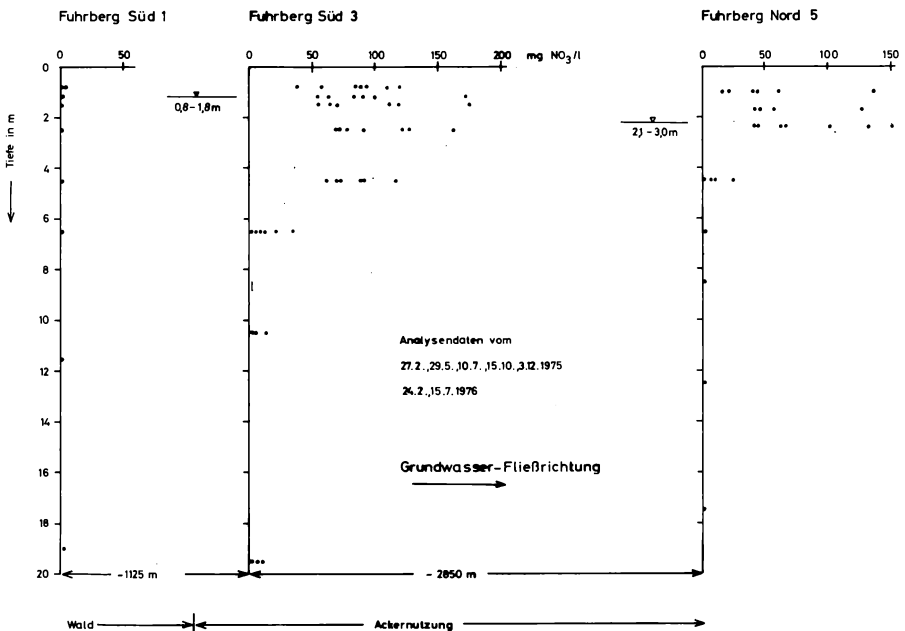


Abb. 2. Nitratkonzentration im wasserungesättigten Boden und im Grundwasser als Funktion der Tiefe bei einem Wald- und zwei Acker-Standorten.

Literatur

- Giesel, W., S. Lorch, M. Renger, & O. Strebel, (1970): Water-flow calculations by means of gamma-absorption and tensiometer field measurements in the unsaturated soil profile. *Isotope Hydrology 1970*, IAEA Wien, 663–672.
- Kolenbrander, G.J. (1969): Nitrate content and nitrogen loss in drainwater. *Netb. J. agric. Sci.* 17: 246–255.
- Lützke, R. (1965): Über die Tauglichkeit der Lysimetermethode für Wasserhaushaltsuntersuchungen. Vergleichsmessungen mit Groß- und Kleinlysimetern. *Bes. Mitt. z. Gewässerkd. Jb. der DDR* 4: 4–43.
- Renger, M., O. Strebel, & W. Giesel, (1974): Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten. 4. Bericht: Grundwasserneubildung. *Z. f. Kulturtechnik u. Flurber.* 15: 353–366.
- Renger, M., O. Strebel, W. Giesel, & J. von Hoyningen-Huene, (1975): Bestimmung der Wasserhaushaltskomponenten von Böden (Verfahrensvergleich). *Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges.* 22: 113–120.
- Strebel, O., M. Renger, & W. Giesel, (1973): Bestimmung des vertikalen Transports von löslichen Stoffen im wasserungsättigten Boden. *Wasser u. Boden* 25: 251–253.
- Strebel, O., M. Renger, & W. Giesel, (1975): Vertikale Wasserbewegung und Nitratverlagerung unterhalb des Wurzelraumes. *Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges.* 22: 277–286.
- Strebel, O. & M. Renger, (1976): Kapillarer Aufstieg und Stoffbilanzen unterhalb des Wurzelraumes. *Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges.* 23: 89–94.
- Van Bavel, C.H.M. (1961): Lysimetric measurements of evapotranspiration rates in eastern United States. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 25: 138–141.

Anschrift der Verfasser:

Dr. O. Strebel, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51
Dr. M. Renger, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51