



Doctoral Thesis

Transport of bromide and chloride in a sandy and a loamy field soil

Author(s):

Flury, Markus

Publication Date:

1993

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000905512> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 10185

Transport of Bromide and Chloride in a Sandy and a Loamy Field Soil

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by
MARKUS FLURY
dipl. phil. II, University of Zürich
born April 3, 1963
citizen of Deitingen SO

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Hannes Flühler, examiner
Prof. Dr. William A. Jury, co-examiner
Prof. Dr. Rainer Schulin, co-examiner

1993

Kurzfassung

Der Boden schützt als Filtersystem das Grundwasser vor Verunreinigungen. Einsickerndes Wasser kann Schadstoffe enthalten, die in Wechselwirkung mit mineralischen und organischen Bodenbestandteilen treten können. Gewisse Schadstoffe werden im Boden festgehalten und abgebaut. Fliesst aber das einsickernde Wasser nur durch einen kleinen Teil des Bodenvolumens, so kann der Boden seine Filterfunktion nur beschränkt wahrnehmen. Schadstoffe kommen nur in geringem Masse mit den festen Bodenbestandteilen in Kontakt und werden schnell in die Tiefe verlagert. Man spricht dann von präferentiellen Transport von Wasser und den darin gelösten Substanzen. Die experimentelle Messung dieses Prozesses ist schwierig, weil die Bodenstruktur, die massgeblich den präferentiellen Transport beeinflusst, leicht durch Messinstrumente zerstört wird. Bodensäulen in Laborversuchen sind aus ihrer natürlichen Lagerung entfernt worden und entsprechen nicht mehr natürlichen Bedingungen. Feldversuche sind nicht minder problematisch, da präferentielle Fliesspfade örtlich wie auch zeitlich nur sehr begrenzt auftreten und die Messung daher erschwert wird.

In dieser Arbeit wurde versucht, den präferentiellen Fluss experimentell in einem Feldversuch zu messen. Ziel dieser Arbeit war es, die Prozesse des Stofftransportes besser zu verstehen, und damit unsere Möglichkeiten der Modellierung des Transportes von adsorbierenden Substanzen zu verbessern.

An zwei verschiedenen Standorten wurde im Monat September ein Feldversuch durchgeführt: auf einem sandigen Boden (Mollic/Aquic Udifluent) in Les Barges (Wallis) und auf einem lehmigen Boden (Typic Hydraquent) in Obfelden (Zürich). Der Versuchsaufbau war an beiden Standorten identisch. Sechs Flächen der Grösse $1.4 \text{ m} \times 1.4 \text{ m}$ wurden ausgeschieden. Um den Einfluss des Wassergehaltes des Bodens auf das Transportverhalten zu testen, wurden drei Flächen einen Monat vor Beginn des Experimentes mit einem Plastikdach vor Niederschlag geschützt. Bei Beginn des Experimentes wurde eine Chloridlösung (CaCl_2) mit Hilfe eines Spritzbalkens auf alle sechs Flächen appliziert. Die Flächen wurden anschliessend mit einer Beregnungsapparatur bewässert. Das infiltrierende Wasser enthielt Bromid

(CaBr₂) und einen Farbstoff (Brilliant Blue FCF). Die Bewässerung fand in Intervallen statt, wobei die durchschnittliche Intensität 30 mm in 8 Stunden betrug. Eine solche Intensität entspricht einem Starkregen mit einer Wiederkehrperiode von einem oder zwei Jahren in den Untersuchungsgebieten. Es handelt sich also um ein extremes Ereignis, bei dem das Auftreten von präferentiell Transport erwartet werden könnte. Zwei der sechs Flächen, eine „trockene“ und eine „feuchte“, wurden mit insgesamt 30 mm bewässert, zwei weitere Flächen erhielten 60 mm und die übrigen zwei Flächen 90 mm. Einen Tag nach dem die gewünschte Menge appliziert war, wurden die Untersuchungsflächen bis auf eine Tiefe von 1.2 m aufgegraben und ein 1 m breites und 1 m tiefes vertikales Bodenprofil präpariert. Bodenproben wurden mit einem zylindrischen Bohrer aus einem regulären 0.1 m × 0.1 m Raster entnommen und im Labor auf Chlorid und Bromid untersucht.

Im sandigen Boden trat kein präferentieller Transport auf. Chlorid und Bromid drangen bis maximal 0.6 m Tiefe vor. Die Hauptmasse des Chlorids erreichte eine Tiefe von 0.25 m, und die räumliche Verteilung war gleichförmig. Im lehmigen Boden trat präferentieller Transport in Form von Makroporenfluss auf. Die räumliche Verteilung der Tracer war ungleichförmig und die Hauptmasse von Chlorid blieb an der Bodenoberfläche.

Zur Analyse der experimentellen Resultate des sandigen Bodens wurde das Konvektions-Dispersions Modell für stationäre Fließbedingungen und das stochastisch-konvektive lognormale Transferfunktionenmodell benutzt. Beide Modelle konnten die experimentellen Daten gleich gut beschreiben. Die Modellanalysen zeigten, dass die Hauptmasse von Chlorid im „feuchten“ Boden signifikant tiefer verlagert wurde als im „trockenen“ Boden.

Zur Beschreibung der Daten des lehmigen Bodens wurde das Diffusions-Limitierende Aggregierungsmodell von Witten and Sander [1981] verwendet. Dieses „Random Walk“ Modell wurde zur Beschreibung des Stofftransportes in unserem Feldexperiment modifiziert. Das modifizierte Modell liefert die räumliche Verteilung eines Stoffes in einem porösen Medium und erwies sich als äusserst flexibel: es können homogene Verteilungen von Substanzen, wie bei Kolbenfluss einerseits, und komplizierte, ungleichförmige Verteilungen wie bei Makroporenfluss andererseits simuliert werden. Mit der Annahme, dass die Anzahl der Partikel in einer Modellsimulation proportional ist zur Masse von Bromid im Feldversuch, konnten Modellprognosen gemacht werden.

Abstract

Preferential flow of water and solutes may be responsible that even strongly adsorbing chemicals can travel large distances through the soil and reach the ground water. Measuring preferential flow is difficult because the soil structure, which is of paramount importance, is easily destroyed. The structural geometry of soil in columns studied in the laboratory is always disturbed to some degree and it does therefore not represent natural conditions. Even in the field experiments preferential flow pathways are difficult to observe because they are confined locally to small volumes and because the processes occur very irregularly in time. Furthermore, the measurement instruments may have an undesired and undefined impact on the process being measured.

This study aimed to verify experimentally the occurrence of preferential flow in a sandy and a loamy soil on the field scale. The ultimate goal was to improve our understanding of the processes and therefore our ability to model transport of adsorbing solutes in unsaturated, heterogeneous soils.

A field experiment was carried out on a sandy soil (Mollic/Aquic Udi-fluvent) in Les Barges (Valais) and on a loamy soil (Typic Hydraquent) in Obfelden (Zürich), Switzerland. The experimental design was identical at the two field sites, at each of which there were six small plots (1.4 m × 1.4 m). To achieve two different initial water contents of the topsoil, three plots were protected against rain by covering them with plastic roofs one month before the start of the experiment. At the beginning of the experiment the conservative tracer chloride (CaCl_2) was applied as a single pulse with a spray bar on to the six plots. The plots were then irrigated with a sprinkling apparatus, using water containing bromide (CaBr_2) and a dye tracer (Brilliant Blue FCF). The irrigation was intermittent, but with an average intensity of 30 mm in 8 hours. This corresponds to heavy rain occurring once in one or two years in the experimental areas, and this is a scenario, in which preferential flow can be expected and which the experiment is designed to represent. Two of the six plots, one "dry" and the other "wet", received in total 30 mm cumulative infiltration, two other plots received

60 mm, and the remaining two plots received 90 mm. One day after the plots had reached their full applications they were excavated to a depth of 1.2 m. Soil samples were taken horizontally in a regular 0.1 m \times 0.1 m grid from a vertical soil profile with a cylindrical soil corer. The samples were analyzed in the laboratory for chloride and bromide.

In the sandy soil no preferential flow was observed. The solute was confined to the top 0.6 m of the soil. The main peak of chloride reached a maximum depth of 0.25 m, and the spatial distribution was uniform. In the loamy soil there was preferential flow through macropores, and solutes moved to a depth of 1.1 m. The spatial distribution of the chemicals was irregular, and the main peak of chloride remained at the soil surface for all cumulative infiltrations.

The data of the sandy soil were modeled by the steady-state convection-dispersion equation and by the stochastic-convective lognormal transfer function model. Both models were equally well suited to describe the experimental data; the two models could not be discriminated. Based on the results, the peak of chloride moved significantly deeper in the wet plots than in the dry plots.

To describe the data of the loamy soil the diffusion-limited aggregation model of Witten and Sander [1981] was used. This random walk model was adapted by modifying the walking probabilities of the random walker and by introducing layers. The modified model is versatile: homogeneous distributions of chemicals such as occur with piston flow on the one hand, and complicated distributions arising from macropore flow and viscous fingering on the other hand can be simulated. By assuming that the number of particles in a cluster is proportional to the cumulative mass of bromide in the field experiment allowed predictions to be made from the model.