



Doctoral Thesis

Water residence times and runoff generation in a small prealpine catchment (Rietholzbach, Northeastern Switzerland)

Author(s):

Vitvar, Tomáš

Publication Date:

1997

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001852324> →

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 12298

Water residence times and runoff generation in a small
prealpine catchment (Rietholzbach, Northeastern
Switzerland)

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

presented by
TOMÁŠ VITVAR
M. Sc. Charles University Prague
born 1 March 1967
citizen of Czech Republic

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. H. Lang, examiner
PD Dr. W. Balderer, co-examiner
Prof. Dr. J. A. McKenzie, co-examiner
Dr. habil. J. Gurtz, co-examiner
Dr. J.-L. Michelot, co-examiner

1997

Abstract

A concept of groundwater residence time distributions and flowpaths in the prealpine catchment Rietholzbach in northeastern Switzerland has been developed. The catchment covers an area of 3.18 km² and ranges from 680 to 950 m a.s.l. It is part of the Upper Freshwater Molasse overlaid by Quaternary deposits. The work was based on the use of environmental tracers and is divided into two basic parts. The first one focusses on the estimation of mean residence times and the second one treats the determination of source areas and flowpaths.

In the first part the mean water residence times were estimated by means of inverse lumped-parameter simulations of ¹⁸O output functions under quasi steady-state conditions between January, 1994 and June, 1996. Comprehensive measurements of ¹⁸O content in precipitation and at various outlet sites were carried out. The dating of the oldest groundwater component was carried out using ⁸⁵Kr. New approaches for parametrization of the ¹⁸O input function were developed. They improve the quality of the simulations and consist of two techniques: (1) an extrapolation of the local input function using nearby stations Konstanz and Bern, and (2) its weighting by use of percolation water amounts of a lysimeter. The computations were performed for three groups of water: (1) stream waters at three runoff gauging sites, (2) water percolated through the soil in the lysimeter, and (3) shallow groundwaters in boreholes and captured wells representing the basic types and locations of aquifers. Investigations on the natural groundwater regime, as well as pumping tests on the boreholes, were performed. For the stream water baseflow sampled at the catchment outlet, a mean residence time of about 1 year was obtained. An even longer mean residence time of the groundwater in the Quaternary deposits close to the bottom-valley (more than 2 years) is caused by a buffering effect. The vertical fluxes through the soil layer in the lysimeter are characterized by the displacement of water previously stored within the pores. This results in a relatively long mean residence time of the percolated water in the depth of 2.20 m (about 7 months).

In the second part, the components of storm runoff were determined using the tracer mass balance. A volume-proportional sampling of rainfall and the runoff at the catchment outlet was performed during five flood events in the summer 1995. The following tracers were used: the isotope ¹⁸O, the ionic substances calcium, chloride, magnesium and silica, as well as the electrical conductivity. A new variant of the mixing calculation using electrical conductivity as tracer was applied. A contribution of the previously stored pre-event water ranging between 50-80 % of the total runoff was computed by use of ¹⁸O. The identification of flowpaths by ions resulted in three components: (1) stored groundwater mobilized during the event, (2) chemically enriched water passing through the soil matrix, and (3) water flowing through the macropores and the drainage network or routed as overland flow. The contributions of these components to the total runoff vary during the flood event.

The results form a contribution to the understanding of the water turnover processes in small hilly prealpine watersheds with porous structures. The developed methodological techniques have to be tested by applications in similar catchments.

Zusammenfassung

Die Arbeit analysiert Grundwasser-Verweilzeiten, -Herkunftsräume und -Flusswege im Einzugsgebiet Rietholzbach in der Nordostschweiz. Das Einzugsgebiet misst 3.18 km² und liegt zwischen 680 und 950 m ü.M. Es gehört zur Oberen Süsswassermolasse und ist zum Teil mit Quartärsedimenten überdeckt. Die Untersuchung beruht auf der Verwendung von Umwelttracern und besteht aus zwei Teilen: der erste Teil befasst sich mit der Ermittlung der Verweilzeiten, und der zweite Teil behandelt die Bestimmung der Herkunftsräume und Flusswege.

Im ersten Teil wurden die mittleren Wasser-Verweilzeiten mit Hilfe von Speicher-Durchfluss-Simulationen der ¹⁸O- und ⁸⁵Kr-Outputfunktionen ermittelt. Die Modellierung unter der Annahme eines quasi-stationären Zustandes wurde für den Zeitraum zwischen Januar 1994 und Juni 1996 durchgeführt. Ein umfangreiches Messprogramm wurde realisiert, das zum Ziel hatte, den Verlauf des ¹⁸O-Gehaltes im Niederschlag und in Wässern an verschiedenen Ausflusstellen zu bestimmen. Die Datierung der ältesten Grundwasserkomponente erfolgte mit Hilfe des Isotops ⁸⁵Kr, da die zugehörige ¹⁸O-Outputfunktion keine relevanten Aufschlüsse ermöglichte. Es wurden neue Methoden für die Parametrisierung der ¹⁸O-Inputfunktion entwickelt. Sie verbessern die Güte der Simulationen der Outputfunktionen und bestehen aus zwei Schritten: (1) aus der Extrapolation der lokalen Inputfunktion mit Hilfe der Stationen Konstanz und Bern, (2) aus einer Wichtung mit Hilfe der gemessenen Ausflüsse aus einem Lysimeter. Die Simulationen wurden für drei Wasserarten durchgeführt: (1) für Bachwasser an drei Abflussmessstellen, (2) für Perkolationswasser im Ausfluss des Lysimeters, (3) für Grundwasser in Bohrlöchern und Wasserfassungen, welche die Aquifer-Grundtypen repräsentieren. Zusätzlich wurden Untersuchungen zum Grundwasserregime und Pumpversuche in den Bohrlöchern durchgeführt. Die mittlere Verweilzeit des am Schlusspegel gemessenen Basisabflusses beträgt 1 Jahr. Die noch längere mittlere Grundwasser-Verweilzeit im Quartär-Aquifer von über 2 Jahren ist dem Pufferungseffekt der Schichten in der Talsohle zuzuschreiben. Die vertikalen Flüsse durch die Bodenschicht im Lysimeter bewirken eine Auspressung des in den Poren gespeicherten Wassers. Die mittlere Verweilzeit des Perkolationswassers am Lysimetausfluss in 2.20 m Tiefe ist jedoch insgesamt relativ lang und ergibt sich zu etwa 7 Monaten.

Im zweiten Teil wurden die Abflusskomponenten von Hochwasserereignissen unter Anwendung der Tracer-Massenbilanz bestimmt. Während 5 Ereignissen im Sommer 1995 wurden vom Niederschlag und vom Bachwasser Proben genommen. Es wurden folgende Tracer gemessen: das Isotop ¹⁸O, die Ionen Ca, Cl, Mg, Si sowie die elektrische Leitfähigkeit. Für die Verwendung der elektrischen Leitfähigkeit als Tracer wurde eine neue Technik angewendet. Sie berechnet die Mischung der Abflusskomponenten mit Hilfe unterschiedlicher Leitfähigkeiten der Grundwasserkomponente vor und nach einem Ereignis. Mit dem Tracer ¹⁸O wurde ein Anteil von 50-80 % des Gesamtabflusses ermittelt, der dem im Gebiet über längere Zeit gespeicherten Wasser zuzuordnen ist. Die Untersuchung der Flusswege anhand von Ionen ergab 3 Komponenten: (1) aus dem Untergrund stammendes, mobilisiertes Wasser, (2) Wasser, das durch die Bodenmatrix fließt und dort mit Ionen angereichert wird, und (3) Wasser aus den Makroporen, aus dem Drainage-Netz oder von der Landoberfläche. Die Beiträge der Komponenten zum Gesamtabfluss variieren jeweils während eines Hochwasserereignisses.

Die Resultate können als Beitrag zur Verbesserung der Kenntnisse über die hydrologischen Prozesse in voralpinen hügeligen Kleinzugsgebieten angesehen werden. Die entwickelten methodischen Ansätze sind durch weitere Anwendungen in Einzugsgebieten zu testen.