

# Isotopenuntersuchungen in der Münchner Schotterebene

*Isotope investigations in the Munich gravel plain*

L. EICHINGER<sup>1)</sup> & W. STICHLER<sup>2)</sup>

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung.....	27
2. Untersuchungsgebiet.....	27
3. Ermittlung der Sickergeschwindigkeit.....	28
4. Ermittlung des <sup>14</sup> C- und <sup>13</sup> C-Gehaltes.....	29
Zusammenfassung.....	31
Literatur.....	31
Summary.....	31

## 1. Einleitung

In den 80iger Jahren wurden in der Münchner Schotterebene umfangreiche isotopenhydrologische Untersuchungen vorgenommen. Die Ziele waren dabei, die natürliche Sickergeschwindigkeit in der ungesättigten Zone zu erfassen und die Herkunft des im Wasser gelösten anorganischen Kohlenstoffs zu bestimmen. Erst die Kenntnis über die Herkunft des im Wasser gelösten Kohlenstoffs ermöglicht eine realistische Interpretation von Kohlenstoff-14-Meßwerten an Grundwässern.

## 2. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet war der quartäre Kiesgrundwasserleiter der Münchner Schotterebene mit speziell dafür eingerichteten Versuchsfeldern in München–Harlaching und München–Großhadern (B. MERKEL et al., 1982).

Der meist homogene Aufbau des Kieskörpers wird des öfteren von Mittelsand- und Rollkieslagen unterbrochen. Örtlich werden Nagelfluhbänke angetroffen, deren Mächtigkeit meist bei wenigen Dezimetern liegen, im Einzelfall aber auch mehrere Meter

<sup>1)</sup> Dr. L. EICHINGER, Hydroisotop GmbH, Woelkestraße 9, D-85301 Schweitenkirchen, Deutschland.

<sup>2)</sup> Dipl.-Phys. W. STICHLER, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Hydrologie, P.O. 1129, D-85758 Oberschleißheim.

erreichen können. Geochemisch gesehen besteht der Schotter aus überwiegend Kal-ken und Dolomiten und zu einem geringen Anteil aus kristallinem Material und Sand-steinen. Die Mächtigkeit dieser Schotter kann im südlichen Teil bis zu etwa 60 m be-tragen. Der Aquifer selbst ist meist nur wenige Meter mächtig.

### 3. Ermittlung der Sicker-geschwindigkeit

An den beiden Versuchsfeldern München-Großhadern und München-Harlaching wurde mit verschiedenen Methoden die natürliche Sicker-geschwindigkeit ermittelt. Sie liegt zwischen 2 und 25 m/a (L. EICHINGER et al., 1984).

Die Höhe der ermittelten Sicker-geschwindigkeit richtet sich nach der Vegetation (Wald - Wiese) und auch nach der Untersuchungsmethode. Im folgenden wird näher auf die Ermittlung der Sicker-geschwindigkeit aus Ergebnissen von  $^{18}\text{O}$ -Bestimmun-gen eingegangen. In Fig. 1 ist der Kurvenverlauf der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Sickerwasser für vier verschiedene Tiefen im Zeitraum Juli 1982 bis Februar 1984 dargestellt. Die Schwan-kungsbreite der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte in den Proben aus 50 cm Tiefe liegt bei 10 ‰ und ist mit jener der Niederschläge vergleichbar. Sie wird mit zunehmender Tiefe gedämpft und liegt bei 9 m Tiefe bei etwa 2 ‰ im  $\delta^{18}\text{O}$ . Aus dieser Dämpfung ergibt sich unter Ver-wendung des hydraulischen Exponentialmodells eine mittlere Verweilzeit von etwa 0,7 Jahren und damit eine Sicker-geschwindigkeit von etwa 12 m/a.

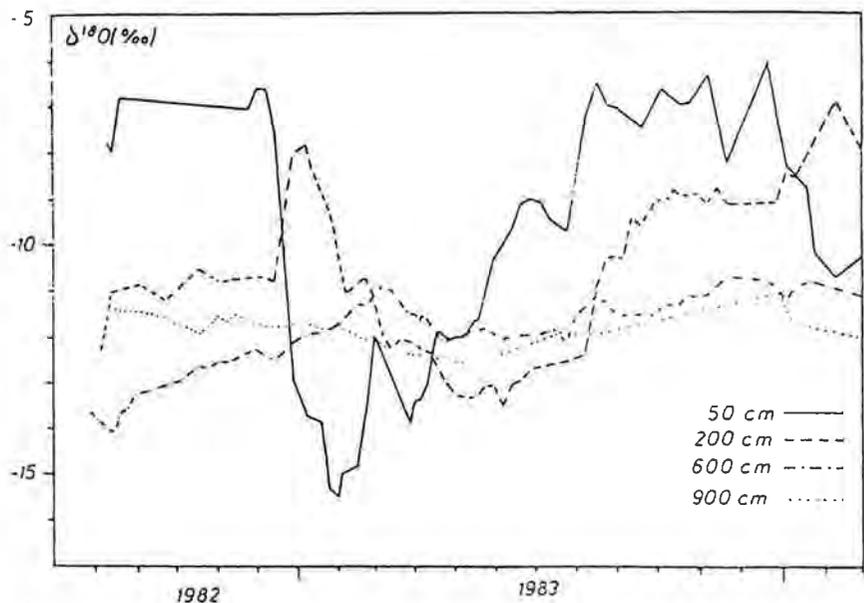


Fig. 1: Zeitlicher Verlauf der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte im Sickerwasser verschiedener Tiefen. Die Proben wur-den über Saugkerzen am Schacht „Münchner Loch“, Versuchsfeld München-Großhadern, ge-wonnen.

$\delta^{18}\text{O}$  values of seepage water over a period of one and a half year. The samples were sucked with ceramic cups in the research shaft "Münchner Loch", investigation area München - Groß-hadern.

Werden in Fig. 1 die Minima und Maxima der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte in den verschiedenen Tiefen betrachtet, so ergibt sich aus den Maxima in den Tiefen 0,5 und 6 m eine Sickergeschwindigkeit von 20–25 m/a und aus den Minima eine solche von 10–15 m/a. Dies gibt einen Hinweis, daß zu verschiedenen Zeiten deutlich unterschiedliche Sickergeschwindigkeiten auftreten können. In jeder Tiefe standen drei verschiedene Vorrichtungen für die Probenahme zur Verfügung. Werden wie oben nicht die über jede Tiefe gemittelten Werte betrachtet, sondern die einzelnen Entnahmestellen für sich, so ergeben sich für den gleichen Zeitraum ebenfalls um den Faktor 2 unterschiedliche Sickergeschwindigkeiten. Dies bestätigen auch Markierungsversuche mit Tritium, Uranin und Eosin. Es zeigt sich eine starke räumliche und zeitliche Variation, die auf die geologischen Inhomogenitäten sowie auf die Variation des Niederschlags zurückzuführen ist.

#### 4. Ermittlung des $^{14}\text{C}$ - und $^{13}\text{C}$ -Gehaltes

Die C-Isotopengehalte ( $^{14}\text{C}$  und  $^{13}\text{C}$ ) von Grundwässern werden in der Regel bestimmt durch die C-Isotopengehalte des biogen produzierten  $\text{CO}_2$  und durch das vom  $\text{CO}_2$  aufgelöste geogene Karbonat sowie von der hydrochemischen Zusammensetzung des im Wasser gelösten anorganischen Kohlenstoffs (DIC), also von der Verteilung von Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ). In den hier beschriebenen Untersuchungen wird gezeigt, daß die C-Isotopenzusammensetzung des DIC zudem stark

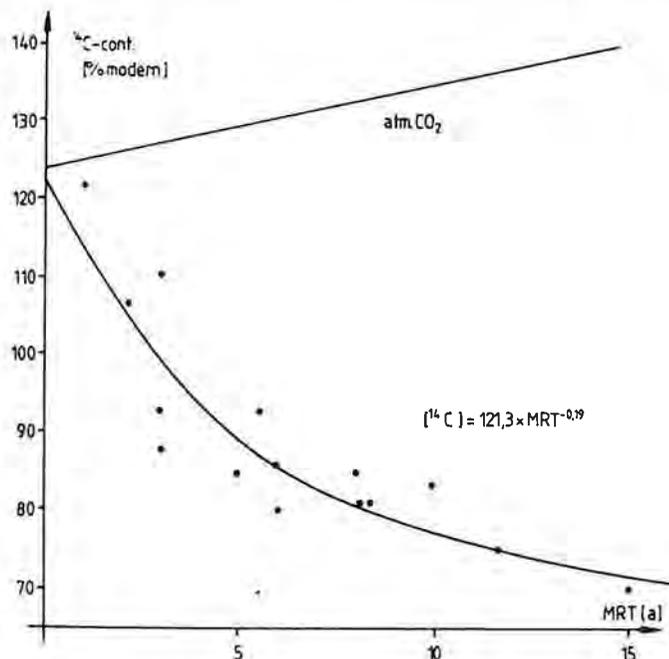


Fig. 2:  $^{14}\text{C}$ -DIC-Gehalte in Abhängigkeit von der aus  $^3\text{H}$ -Messungen ermittelten mittleren Verweilzeit (MRT). Mit dargestellt sind die  $^{14}\text{C}$ -Gehalte des atmosphärischen  $\text{CO}_2$ . Bezugsjahr 1984/85.  $^{14}\text{C}$  concentration of ground water samples as a function of mean residence time (MRT) in comparison with the  $^{14}\text{C}$  concentration of atmospheric  $\text{CO}_2$ . Sampling time 1984/85.

von der Verweilzeit der Wässer und hauptsächlich von der Aufenthaltszeit in der wasserungesättigten Zone abhängig ist. So liegen die  $^{14}\text{C}$ -Gehalte von Grundwässern, die nach den  $^3\text{H}$ -Gehalten eine mittlere Verweilzeit zwischen 1 und 15 Jahre aufweisen, zwischen 70 und 122 %-modern (Fig. 2) und weisen auf einen  $^{14}\text{C}$ -Anfangsgehalt von 50–100 %-modern bezogen auf den  $^{14}\text{C}$ -Gehalt des atmosphärischen  $\text{CO}_2$  hin. Die Grundwässer besitzen alle eine etwa gleiche hydrochemische Zusammensetzung und auch ähnliche  $^{13}\text{C}$ -DIC-Gehalte von  $-14,5$  bis  $-12,2$  ‰. Aus der hydrochemischen Zusammensetzung und aus den  $^{13}\text{C}$ -Gehalten würde man für alle Proben ähnliche  $^{14}\text{C}$ -Gehalte und sogar mit zunehmender Verweilzeit eine Zunahme des gemessenen  $^{14}\text{C}$ -DIC-Gehaltes erwarten, bedingt durch den Verlauf des  $^{14}\text{C}$ -Gehaltes in  $\text{CO}_2$  der Atmosphäre („Bomben- $^{14}\text{C}$ “).

Wie aber in Fig. 2 zu ersehen ist, zeigt sich genau das Gegenteil. Mit zunehmender Verweilzeit nimmt der  $^{14}\text{C}$ -DIC-Gehalt ab. Ursache ist die lange Aufenthaltszeit des Sickerwassers bzw. des im Sickerwasser gelösten DIC in der ungesättigten Zone. Durch  $\text{CO}_2$ -Partialdruckschwankungen, die eindeutig bis Tiefen von 9 m u. GOK nachgewiesen wurden und sich für Tiefen bis 20 m u. GOK andeuten, laufen Lösungs- und Fällreaktionen des Karbonates ab. Es wird bei Erniedrigung des  $\text{CO}_2$ -Partialdruckes  $^{14}\text{C}$ -haltiges Karbonat aus dem DIC ausgefällt und bei Erhöhung des  $\text{CO}_2$ -Partialdruckes  $^{14}\text{C}$ -freies geogenes Karbonat aufgelöst.

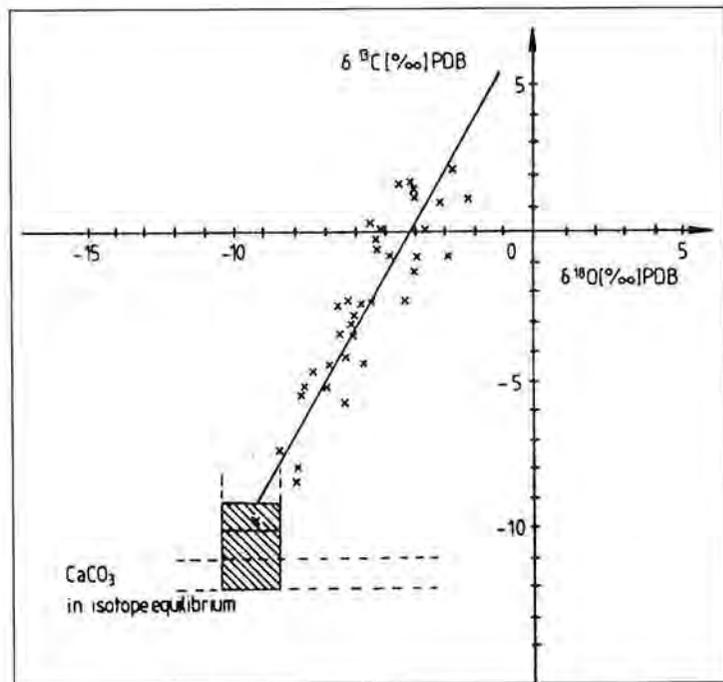


Fig. 3:  $^{13}\text{C}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte von Karbonaten entnommen aus verschiedenen Stellen der Münchner Schotterebene. Der schraffierte Bereich entspricht den sich einstellenden  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten bei Gleichgewichtsbedingungen bzw. kinetischer Isotopentrennung.

$^{13}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}$  concentrations of carbonates sampled in different places of the Munich gravel plain. The hatched area marks the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values of carbonates precipitated in equilibrium with the seepage water or under kinetic fractionation, respectively.

Dies hat zur Folge, daß der ursprünglich im Bereich der Bodenzone vorhandene  $^{14}\text{C}$ -DIC-Gehalt des Sickerwassers erniedrigt wird.

Der Ablauf dieses hier beschriebenen Prozesses ist durch die Erniedrigung des  $^{14}\text{C}$ -Gehaltes im  $\text{CO}_2$  der Bodenluft mit zunehmender Tiefe zu erkennen (L. EICHINGER, 1984). Eine Folge dieses Lösungs- und Fällprozesses ist auch die Bildung von Nagelfluh in der wasserungesättigten Zone. Daß dieser Prozeß stattfindet, wird durch die gemessenen  $^{14}\text{C}$ -Gehalte an Nagelfluh mit Werten bis 38 %-modern gezeigt. Auch die  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Messungen an auf Gesteinsoberflächen abgelagerten Karbonaten bestätigen den Prozeß der Karbonatfällung. Wie die Fig. 3 zeigt, liegen die Meßwerte alle auf einer Mischungsgeraden. Ein Endpunkt repräsentiert dabei die primären Karbonate mit  $\delta^{13}\text{C} \approx 1 \text{ ‰}$  und  $\delta^{18}\text{O} \approx -4 \text{ ‰}$  und der andere Endpunkt widerspiegelt das ausgefällte Karbonat, dessen  $^{13}\text{C}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte aus den Ergebnissen der Isotopengehaltsbestimmungen des Sickerwassers abgeleitet werden können (J. HOPPE et al., 1987).

## Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigten, daß die Sickergeschwindigkeit räumlich und zeitlich variiert, was auf die geologischen Inhomogenitäten sowie auf die Variation der Niederschlagsmenge zurückzuführen ist. Ferner zeigen die Untersuchungen, daß in karbonatischen Aquiferen der  $^{14}\text{C}$ -Anfangsgehalt von der Aufenthaltszeit in der wasserungesättigten Zone abhängt. Schwankungen des  $\text{CO}_2$ -Partialdrucks bewirken einen C-Isotopenaustausch zwischen  $\text{CO}_2$ , DIC und Gesteinskarbonat, der den  $^{14}\text{C}$ -Anfangsgehalt stark erniedrigen kann.

## Literatur

- EICHINGER, L., J. SALVAMOSER, W. STICHLER, B. MERKEL & G. NEMETH (1984): Seepage velocity determination in unsaturated quaternary gravel.- In: UDLUFT, P., B. MERKEL & K. H. PROESL (Eds., 1984): Recent investigation in the zone of aeration.- Internat. Symposium Proc. Techn. Univ. Munich, 1, 303-313, Munich.
- EICHINGER, L. (1989): Investigating gas-water-rock carbon isotope exchange in the field.- Radiocarbon, 31/3, 934-939, Tucson.
- HOPPE, J., B. MERKEL, L. EICHINGER & M. HOFMANN (1987): Nachweis von Carbonatausfällung im Boden mit Hilfe von Isotopenuntersuchungen.- Z. Wasser Abwasserforschung, 20, 16-21, Weinheim.
- MERKEL, B., G. NEMETH, P. UDLUFT & W. GRIMMEISEN (1982): Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen in der ungesättigten Zone eines Kiesgrundwasserleiters. Teil 1: Entwicklung und Erstellung eines begehbaren Probenahmeschachtes zur Boden-, Wasser und Luftuntersuchung.- Z. Wasser Abwasserforschung, 15/4, 191-195, Weinheim.

## Summary

The investigations show that the ground water seepage velocity varies in space and time. The variations depend on geological inhomogeneities and different precipitation amounts. In the investigated carbonate aquifers the initial  $^{14}\text{C}$  concentration of ground water samples is a function of the mean residence time of seepage water in the unsaturated zone. The variations of the  $\text{CO}_2$  partial pressure in the soil cause a carbon isotope exchange between  $\text{CO}_2$ , DIC and rock carbonates and therefore the initial  $^{14}\text{C}$  concentration can be strongly lowered in comparison to the  $^{14}\text{C}$  content of atmospheric  $\text{CO}_2$ .