

# Isotopengehalte im Münchner Leitungswasser

*Isotopic content of the tap water of Munich*

W. GRAF<sup>1)</sup>, W. RAUERT<sup>2)</sup>, J. SALVAMOSER<sup>3)</sup> & W. STICHLER<sup>1)</sup>

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung.....	41
2. Beprobung.....	43
3. Interpretation der Isotopengehalte mit Speicherdurchflußmodellen.....	43
4. Mittlere Verweilzeiten der untersuchten Wässer.....	44
4.1. Münchner Leitungswasser.....	44
4.2. Mangfalltal.....	46
4.3. Loisachtal.....	47
5. Folgerung.....	47
Zusammenfassung.....	48
Literatur.....	48
Summary.....	48

## 1. Einleitung

Die Stadtwerke München verfügen über drei Wassergewinnungsgebiete für die Versorgung von rund 1,4 Millionen Menschen (Fig. 1). Das älteste Gewinnungsgebiet liegt ca. 40 km südöstlich von München im Mangfalltal (Kreis Miesbach). Es deckt noch heute etwa 80 % des mittleren Wasserbedarfs der Stadt von ca. 4 m<sup>3</sup>/s (STADTWERKE MÜNCHEN, 1994). Kleinere Förderwerke in der Münchner Schotterebene dienen der Versorgung bei Spitzenbedarf und in Trockenzeiten. Seit 1983 wird auch Wasser aus dem Loisachtal (Kreis Garmisch-Partenkirchen) gefördert und zur Deckung des Grundlast- und Spitzenbedarfs über ca. 60 km nach München geleitet. Drei große Trinkwasserbehälter im S von München (Deisenhofen, Kreuzpullach, Forstenrieder Park) dienen dem Ausgleich tageszeitlicher Schwankungen des Verbrauchs. Um gleichen Wasserdruck trotz unterschiedlicher Höhenlage der Stadtgebiete zu gewährleisten, ist das Versorgungsgebiet in eine Hochzone, eine Mittelzone und eine Niederzone eingeteilt. Die Niederzone wird hauptsächlich über den Behälter Deisenhofen mit Wasser aus dem

<sup>1)</sup> Dr. W. GRAF & Dipl.-Phys. W. STICHLER, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Hydrologie, P.O. 1129, D-85758 Oberschleißheim.

<sup>2)</sup> W. RAUERT, Görresstraße 50, D-80797 München.

<sup>3)</sup> Dr. J. SALVAMOSER, IGU, Wörthseestraße 34a, D-82237 Wörthsee.

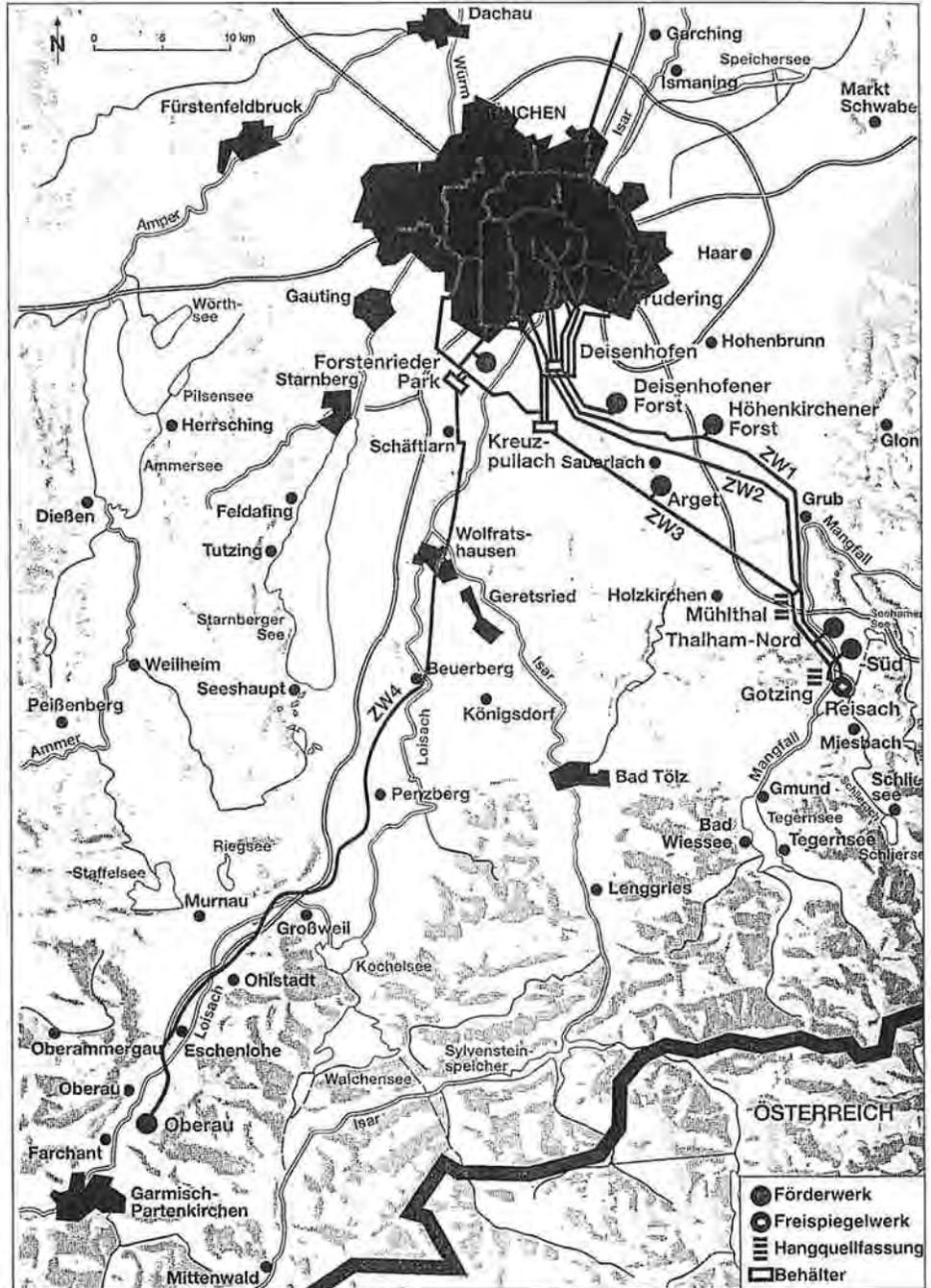


Fig. 1: Fassungsgebiete und Verteilungsnetz der Münchner Wasserversorgung (entnommen aus: STADTWERKE MÜNCHEN, 1994).  
Tapping areas and distribution plan of the water supply of Munich (from: STADTWERKE MÜNCHEN, 1994).

Mangfalltal versorgt, aber auch über die Behälter Forstenrieder Park und Kreuzpülach mit Wasser aus dem Loisachtal und der Schotterebene.

Obwohl im Münchner Leitungswasser die Anteile aus den genannten Einzugsgebieten schwanken, stammt das untersuchte Leitungswasser in München-Schwabing hauptsächlich aus dem Mangfallgebiet. Hier liegen, auf einer Strecke von 7 km verteilt, zwei Hangquellfassungen mit insgesamt rund 2000 m langen Quellsammelstollen (Mühlthal, Gotzing), eine Grundwasserfassung (Reisach) mit insgesamt ca. 1800 m langen Sammelkanälen und zwei Pumpwerke mit sechs 25 m bzw. 27 m tiefen Vertikalfilterbrunnen (Thalham-Nord und -Süd). Grundwasserleiter sind eiszeitliche Kalkschotter, dementsprechend besteht die Hauptmenge der gelösten Stoffe aus den Hydrogenkarbonaten des Kalziums und Magnesiums.

Der ebenfalls aus eiszeitlichen Schottern bestehende Grundwasserleiter des Gewinnungsgebiets im oberen Loisachtal wird durch eingelagerte, wasserundurchlässige Setonschichten in zwei Grundwasserstockwerke aufgeteilt, die stellenweise miteinander kommunizieren. In einer Tiefe zwischen 44 und 73 m wurden im unteren Grundwasserstockwerk zwischen Farchant und Oberau fünf Vertikal- und ein Horizontalfilterbrunnen mit einer Gesamtförderleistung von 2500 l/s erbohrt.

## 2. Beprobung

Im Zeitraum 1972 bis zur Gegenwart wurde monatlich Leitungswasser aus einer Zapfstelle der Niederzone in München-Schwabing entnommen. An diesen Wasserproben wurden  $^3\text{H}$ -Analysen und seit 1980 zusätzlich  $^{18}\text{O}$ -Bestimmungen durchgeführt.

Proben des Wassers aus den Quell- und Grundwasserfassungen im Mangfalltal, aus dem bis 1983 das gesamte und danach 80 % des Münchner Leitungswassers stammen, wurden in den Jahren 1980/81 genommen. Zusätzlich wurden aus vier Entnahmestellen im August 1981 Wasserproben für  $^{85}\text{Kr}$ -Bestimmungen gezogen.

Die Beprobungen im Loisachtal aus dem Horizontalfilterbrunnen wurden im Laufe des Jahres 1978 vorgenommen. Die Probenahme für die  $^{85}\text{Kr}$ -Messungen wurde dort im Oktober 1978 durchgeführt.

## 3. Interpretation der Isotopengehalte mit Speicherdurchflußmodellen

Die Isotopengehalte werden mit einem Speicherdurchflußmodell (P. MALOSZEWSKI & A. ZUBER, 1982) interpretiert; es geht davon aus, daß die Häufigkeit von Wasserteilchen verschiedenen Alters einer dispersiven Altersverteilung entspricht. Ausgehend von den  $^{18}\text{O}$ - und  $^3\text{H}$ -Gehalten der Niederschläge in der Vergangenheit als Input werden durch Variation der mittleren Verweilzeit ( $t_0$ ) und des Dispersionsparameters ( $P_D$ ) in der Verteilungsfunktion (Gl. 2) diejenigen Parameterwerte gesucht, mit denen eine optimale Anpassung zwischen Modellergebnissen ( $C_{\text{out}}$ ) und Meßwerten ( $C_{\text{gem}}$ ) erreicht werden kann:  $\sum(C_{\text{out},i} - C_{\text{gem},i})^2 = \text{Min}$ .

Die Lösungsmenge und damit die Streubreite möglicher mittlerer Verweilzeiten (MVZ) der Wässer im Untergrund kann groß sein, nimmt aber im allgemeinen drastisch mit der Anzahl der zur Verfügung stehenden Meßwerte, dem Umfang der Zeitreihen und der Anzahl der betrachteten Tracer ab, da alle Meßwerte mit ein und dem-

selben Parametersatz modellierbar sein müssen und die Inputfunktionen für die verschiedenen Isotope jeweils einen anderen Verlauf haben:

$$C_{\text{out}}(t) = \int_0^{\infty} C_{\text{in}}(t - \tau) g(\tau) e^{-\lambda\tau} d\tau, \quad (1)$$

$$g(t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi P_D t/t_0}} \frac{1}{t} \exp\left(-\frac{(1-t/t_0)^2}{4P_D t/t_0}\right). \quad (2)$$

- $C_{\text{out}}$ : berechnete Isotopenkonzentration an der Meßstelle,
- $C_{\text{in}}$ : Isotopenkonzentration im Niederschlag,
- $g(t)$ : Wichtungsfunktion für das Dispersionsmodell,
- $t$ : Beobachtungszeit,
- $\tau$ : Integrationskonstante,
- $\lambda$ : Zerfallskonstante,
- $t_0$ : mittlere Verweilzeit des Wassers,
- $P_D$ : Dispersionsparameter (=  $D/(vx)$ ).

Parametersätze, mit denen die Meßwerte innerhalb der Fehlergrenzen modellierbar sind, bilden mögliche Lösungen des Problems. Werden keine Lösungen gefunden, entspricht die Altersverteilung der Wasserpartikel im Grundwasser offensichtlich nicht der vorgegebenen dispersiven Verteilung. In diesem Fall wird versucht, unter Berücksichtigung von wenigstens zwei Komponenten eine Näherungslösung für das Problem zu finden. Falls eine solche Lösung existiert, wird sie den realen Verhältnissen sicherlich gerechter als eine Einkomponentenlösung.

Über die Eindeutigkeit der gefundenen Lösung kann keine Aussage getroffen werden, denn es sind auch andere Altersverteilungen denkbar, die zu anderen MVZ führen. Zur Modellierung wurden die  $^3\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte der Niederschläge auf dem Hohenpeißenberg herangezogen (W. GRAF & P. TRIMBORN, 1997). Die  $^{18}\text{O}$ -Gehalte wurden dabei an die Mittel der Meßwerte angepaßt, d. h. es wurden nur die Variationen der  $^{18}\text{O}$ -Gehalte modelliert. Die  $^3\text{H}$ -Gehalte können für die Modellierung von 1960–1972 durch Werte der Station Hohe Warte (Wien) und von 1954–1959 durch Werte der meteorologischen Station Ottawa ergänzt werden (IAEA, 1969–1990), da trotz der großen Entfernung zwischen den Stationen die  $^3\text{H}$ -Konzentrationen in überlappenden Zeiträumen eine gute Übereinstimmung zeigen. Für die Interpretation der  $^{85}\text{Kr}$ -Werte wurde eine Input-Funktion, die für Neuharberg bestimmt wurde, herangezogen.

## 4. Mittlere Verweilzeiten der untersuchten Wässer

### 4.1. Münchner Leitungswasser

Das Münchner Leitungswasser kann auch nach der Modellierung nicht aus einer einzigen Wasserkomponente bestehen. Vielmehr müssen mehrere Komponenten mit unterschiedlichen mittleren Verweilzeiten vertreten sein. Unter der Annahme von zwei Wasserkomponenten sind die Ganglinien der  $^{18}\text{O}$ - und  $^3\text{H}$ -Gehalte des Münchner Leitungswassers (Fig. 2) mit den in Tab. 1 angegebenen Parametern nachvollziehbar.

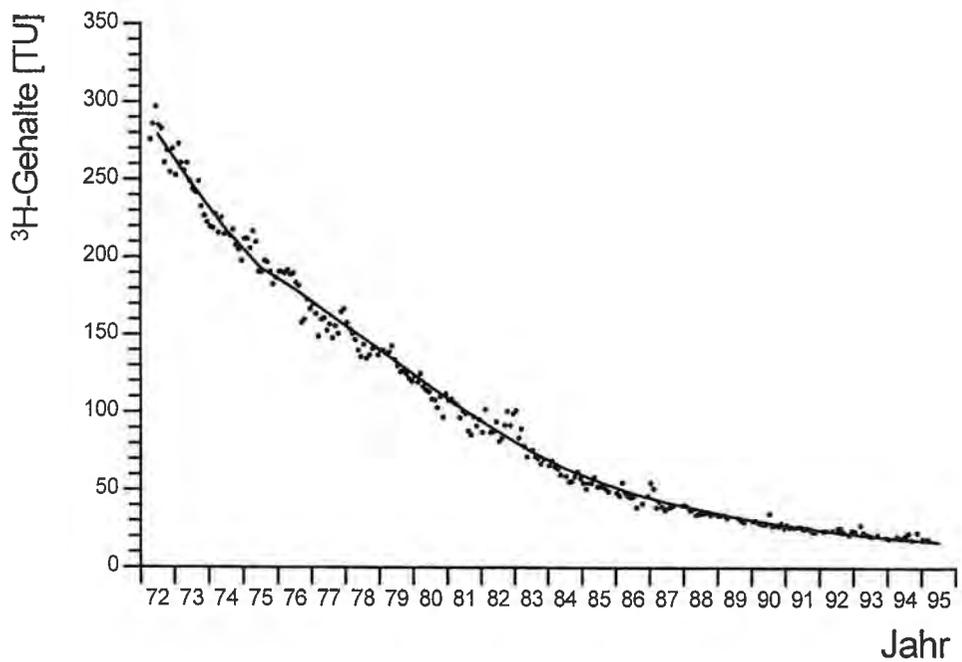
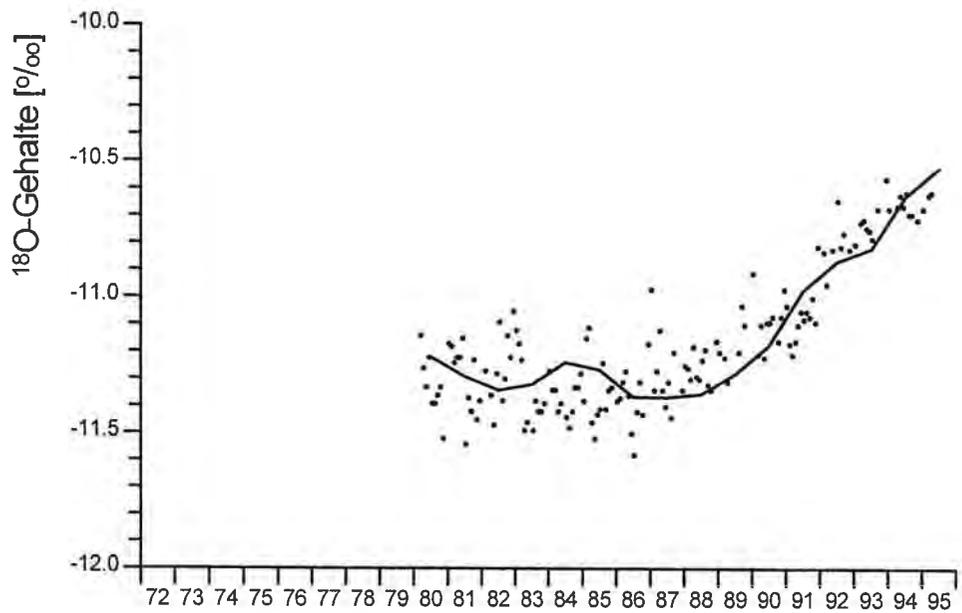


Fig. 2:  $^{18}\text{O}$ - und  $^3\text{H}$ -Gehalte des Leitungswassers von München-Schwabing. Die Meßwerte lassen sich mit den in Tab. 1 angegebenen Parametern erklären (durchgezogene Linie).  
 $^{18}\text{O}$  and  $^3\text{H}$  contents of the tap water of Munich-Schwabing. The measured values can be explained by the parameters listed in tab. 1 (solid line).

Tab. 1: Die im Münchner Leitungswasser vertretenen Wasserkomponenten und deren mittlere Verweilzeit, abgeschätzt nach dem Speicherdurchflußmodell, wobei die mittlere Verweilzeit MVZ ( $t_0$ ) zwischen 1 und 20 Jahren und der Dispersionsparameter  $P_D$  zwischen 0,01 und 0,50 variiert wurde.

The water components of the tap water of Munich and their mean residence time estimated by using the dispersion model. The fitting parameters  $t_0$  and  $P_D$  were varied between 1 to 20 years and 0.01 to 0.50, respectively.

jüngere Komponente		ältere Komponente	
Anteil [%]	MVZ [Jahre]	Anteil [%]	MVZ [Jahre]
40 (34-54)	5,0 (4,5-5,5)	60 (46-66)	10 (9-10)

## 4.2. Mangfalltal

Die  $^3\text{H}$ -Gehalte aller Wässer aus den Hangquellfassungen Mühlthal und Gotzing, den Grundwasserfassungen Reisach und der Mangfall nehmen in dem Beobachtungszeitraum deutlich ab (Fig. 3). Von den Hangquellfassungen Mühlthal 6 und

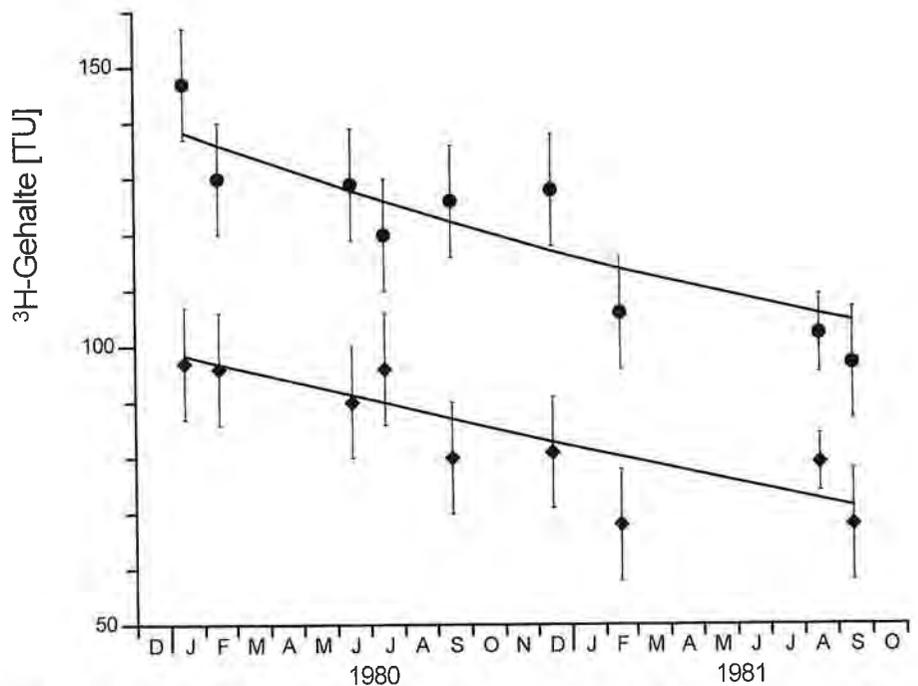


Fig. 3:  $^3\text{H}$ -Gehalte der Wässer aus der Grundwasserfassung Reisach 2 (◆) und der Hangquellfassung Mühlthal 6 (●), die die niedrigsten bzw. höchsten mittleren Verweilzeiten im Mangfalltal haben. Die durchgezogenen Linien sind die berechneten  $^3\text{H}$ -Gehalte, die mit den in Tab. 2 angegebenen Parametern nach dem Speicherdurchflußmodell zu erwarten sind.

$^3\text{H}$  contents of waters from the groundwater tapping Reisach 2 (◆) and the spring tapping Mühlthal 6 (●), which show the lowest and highest mean residence time in the Mangfall valley, respectively. The solid lines represent the  $^3\text{H}$  contents calculated with a dispersion model using the parameters listed in tab. 2.

Gotzing 1 sowie den Grundwasserfassungen Reisach 2 und 3 liegen außerdem Meßwerte der  $^{85}\text{Kr}$ -Gehalte vom August 1981 vor, die in die Modellierung mit einbezogen werden konnten. Wie die Ergebnisse in Tab. 2 zeigen, lassen die  $^3\text{H}$ -Gehalte allein einen relativ großen Interpretationsspielraum zu, der durch die  $^{85}\text{Kr}$ -Werte deutlich eingeschränkt werden kann.  $^{85}\text{Kr}$  stellt für jüngere Grundwässer im Bereich bis zu einigen Jahrzehnten eine Alternative bzw. Ergänzung zu  $^3\text{H}$  für die Datierung von Grundwässern dar. Aufgrund der unterschiedlichen Entstehungsgeschichte, Ausbreitung und Verteilung von  $^{85}\text{Kr}$  und  $^3\text{H}$  lassen sich differenziertere Aussagen über Grundwässer treffen. Besonders deutlich wird dies an den abgeschätzten mittleren Verweilzeiten des Wassers der Hangquellfassung Mühlthal 6.

Tab. 2: Die mittleren Verweilzeiten der Wässer aus den Hangquell- und Grundwasserfassungen im Mangfalltal, abgeschätzt nach dem Speicherdurchflußmodell, wobei die mittlere Verweilzeit MVZ ( $t_0$ ) zwischen 1 und 20 Jahren und der Dispersionsparameter  $P_D$  zwischen 0,01 und 0,50 variiert wurde.

*The mean residence time of waters from groundwater and spring tapping in the Mangfall valley, estimated by using the dispersion model. The fitting parameters  $t_0$  and  $P_D$  were varied between 1 to 20 years and 0.01 to 0.50, respectively.*

	MVZ aus $^3\text{H}$ -Gehalten [Jahre]	MVZ aus $^3\text{H}$ - und $^{85}\text{Kr}$ - Gehalten [Jahre]
Reisach 1	3,0– 5,5	
Reisach 2	3,0– 5,0	3,0– 4,0
Reisach 3	4,5– 6,5	4,5– 5,5
Gotzing 1	5,5–11,5	8,0–10,0
Gotzing 5	4,6–11,0	
Mühlthal 1	4,5– 6,5	
Mühlthal 6	4,5–10,5	10,5–12,5
Mangfall	2,5– 3,5	

### 4.3. Loisachtal

Die MVZ, abgeschätzt aus den  $^3\text{H}$ - und  $^{85}\text{Kr}$ -Meßwerten nach dem Speicherdurchflußmodell unter Annahme einer dispersiven Altersverteilung, liegen zwischen vier bis sieben Jahre. Mit der in diesem Fall ebenfalls verwendeten exponentiellen Altersverteilung ergab die Abschätzung ein Intervall zwischen fünf und neun Jahren.

## 5. Folgerung

Es konnte gezeigt werden, daß mit Zeitreihen von Isotopendaten mittlere Verweilzeiten des Grundwassers, aus dem das untersuchte Trinkwasser gewonnen wird, relativ genau abgeschätzt werden können. Wie ausgeführt, handelt es sich bei den untersuchten Proben des Münchner Trinkwassers um Mischwässer aus Fassungen mit sehr unterschiedlich mächtigen Überdeckungen in benachbarten Einzugsgebieten des Mangfallgebietes, dem zeitweise noch Wasser aus den beiden anderen Einzugsgebieten zugemischt sein kann. Die Modellierung ergab, daß sich das Münchner Trinkwasser aus Grundwässern zusammensetzt, die unterschiedliche mittlere Verweilzeiten um fünf bzw. zehn Jahre besitzen.

Die zum Vergleich herangezogenen Abschätzungen der MVZ von Wasserproben direkt aus den Einzugsgebieten Mangfall- und Loisachtal unterstützen diese Modellalter.

## Zusammenfassung

Im Münchner Leitungswasser wurden über etwa zwei Jahrzehnte Messungen des Tritium ( $^3\text{H}$ )- und Sauerstoff-18 ( $^{18}\text{O}$ )-Gehalts durchgeführt, um das Wasseralter abzuschätzen. Zur Absicherung wurden die Grundwässer in den Fassungsgebieten (Mangfall- und Loisachtal) herangezogen. Dazu wurden in den Jahren 1980 und 1981 Tritium ( $^3\text{H}$ ) und Krypton-85 ( $^{85}\text{Kr}$ ) Analysen vorgenommen. Unter Verwendung eines Speicherdurchflußmodells ergab sich, daß sich das Münchner Trinkwasser aus mindestens zwei Grundwasserkomponenten zusammensetzt, die unterschiedliche mittlere Verweilzeiten um fünf bzw. zehn Jahre besitzen.

## Literatur

- IAEA (1969–1990): Environmental isotopes data Nos. 1–9. World survey of isotope concentrations in precipitation (1953–1987).– International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series, Nos. 69, 117, 129, 147, 165, 192, 226, 264, 311, Wien.
- GRAF, W. & P. TRIMBORN (1997): Isotopengehalte der Niederschläge an Stationen im süddeutschen Raum.– Beiträge z. Hydrogeologie, 48/I, 7–16, Graz.
- MALOSZEWSKI, P. & A. ZUBER (1982): Determining the turnover time of groundwater systems with the aid of environmental tracers.– Journal of Hydrology, 57, 207–231, Amsterdam.
- STADTWERKE MÜNCHEN (1994): Wasser für München.– Broschüre der Stadtwerke München, Hauptabteilung Wasserversorgung, München.

## Summary

Measurements of the tritium ( $^3\text{H}$ ) and oxygen-18 ( $^{18}\text{O}$ ) content were carried out on the tap water of Munich for more than two decades to estimate the age of the tap water. In addition the groundwater of the tapping areas (Mangfall and Loisach valley) was investigated by tritium ( $^3\text{H}$ ) and krypton-85 ( $^{85}\text{Kr}$ ) measurements during the years 1980 and 1981. According to the dispersion model the tap water of Munich consists of at least two groundwater components with different mean residence times of about five years and ten years, respectively.