

MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWEERTES
ÖSTERREICH

bmlfuw.gv.at



WASSERISOTOPENKARTE
ÖSTERREICHS.
ERLÄUTERUNGEN.



Medieninhaber und Herausgeber:
BUNDESMINISTERIUM
FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT,
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT
Stubenring 1, 1010 Wien

Text und Redaktion: M. Kralik (Umweltbundesamt GmbH), R. Benischke (JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH) und S. Wyhlidal (AIT Austrian Institute of Technology GmbH), R. Philippitsch (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft)

Bildnachweis: Umweltbundesamt
Konzept und Gestaltung: M. Kralik
Lektorat/Layout: E. Stadler

ERLÄUTERUNGEN ZUR
**WASSERISOTOPENKARTE
ÖSTERREICHS**
DER NIEDERSCHLAGS-, OBERFLÄCHEN-, GRUND-
WASSER- UND TIEFENGRUNDWASSERSTATIONEN

Wir bedanken uns bei allen Kolleginnen und Kollegen, die uns Isotopendaten zukommen ließen oder uns auf das Vorhandensein von Isotopendaten aufmerksam machten. Leider war es uns aus zeitlichen, finanziellen Gründen und der Unmöglichkeit manche Messwerte zu lokalisieren nicht möglich alle Daten in die Karte aufzunehmen.

Besonders bedanken wir uns bei der Geologischen Bundesanstalt (GBA) für die Überlassung der geologischen Hintergrundkarte und beim Kollegen Mag. R. Berka (GBA) für spezielle Änderungen der geologischen Information für diese Karte.

INHALT

1	ZUSAMMENFASSUNG	5
2	SUMMARY	7
3	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	9
3.1	EINLEITUNG	9
3.2	INHALT UND ZIELE	9
4	WASSERISOTOPE	11
4.1	SAUERSTOFF-18 ($\delta^{18}\text{O}$) UND WASSERSTOFF-2 ($\delta^2\text{H}$, DEUTERIUM).....	11
4.2	TRITIUM (^3H).....	12
5	ANGEWANDTE METHODEN.....	13
5.1	SAUERSTOFF-18 ($\delta^{18}\text{O}$) UND WASSERSTOFF-2 ($\delta^2\text{H}$, DEUTERIUM).....	13
5.2	TRITIUM.....	13
5.3	DATENSAMMLUNG UND DARSTELLUNG	14
6	ERGEBNISSE	15
6.1	SAUERSTOFF-18 UND DEUTERIUM.....	16
6.2	TRITIUM.....	16
7	DISKUSSION.....	18
7.1	ALLGEMEIN	18
7.2	SAUERSTOFF-18 UND WASSERSTOFF-2 (DEUTERIUM)	18
7.3	TRITIUM (^3H).....	19
8	SCHLUSSFOLGERUNGEN	20
9	LITERATURVERZEICHNIS	21
10	GLOSSAR DER FACHBEGRIFFE.....	28
11	KONTAKTE.....	30

1 ZUSAMMENFASSUNG

DIE ISOTOPENVERHÄLTNISSE DES WASSERS ($^2\text{H}/^1\text{H}$ und $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) sind wichtige Charakterisierungen von Wässern in deren Kreislauf. Das beginnt in der Atmosphäre in Form von Regen und Schnee über die Oberflächengewässer (Flüsse und Seen) und reicht bis zum oberflächennahen Grundwasser (Brunnen und Quellen) bzw. zu den Tiefengrundwässern. Das durch die natürliche Höhenstrahlung in der Atmosphäre und in der Vergangenheit durch die Wasserstoffbombenversuche im vorigen Jahrhundert gebildete Tritium (^3H) ist durch seinen Zerfall mit einer Halbwertszeit von 12,32 Jahren eine ideale Altersmarkierung im Bereich der letzten 60 Jahre bzw. ob in einer Probe Anteile von Wässern > 60 Jahre enthalten sind.

Um die Herkunft und das Alter von Wässern bei zahlreichen Wasserversorgungs- und Ingenieursprojekten (z.B. Tunnelbau, Wasserkraft) sowie wissenschaftlichen Arbeiten bestimmen zu können, wurden in den letzten 45 Jahren an über 1.350 Stellen über 40.000 Isotopenmessungen durchgeführt. Um eine Übersicht über die durchschnittliche Isotopenverteilung in verschiedenen Regionen Österreichs zu geben und als wichtige Basis für weitere praktische und wissenschaftliche Anwendungen wurden die Messstellen aus zahlreichen Berichten und Publikationen lokalisiert und die Daten in Farbklassen dargestellt.

In einer Internetversion der Wasserisotopenkarte von Österreich (<https://secure.umweltbundesamt.at/webgisportal/isotopen/map.xhtml>) sind Daten elektronisch abrufbar.

Der Medianwert aller Messstellen liegt bei Sauerstoff ($\delta^{18}\text{O}$) bei -10,7 ‰ und bei Wasserstoff ($\delta^2\text{H}$) bei -75 ‰. Da die Änderung der Isotopenverhältnisse vorwiegend temperaturabhängig ist, kommen die niedrigsten Werte der in Promill-Abweichung vom Meerwasser (VSMOW) dargestellten negativen Messwerte im Winterniederschlag (Sauerstoff-18 bis $\delta^{18}\text{O}$ -23 ‰) und in Quellen des Kaunertales ($\delta^{18}\text{O}$ bis -15,1 ‰) vor. Der überwiegende Anteil der alpinen Quellen zeigt wegen der Höhenlage der Einzugsgebiete relativ leichte $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (< -12,4 bis -11,4 ‰; grün in der Karte).

Dagegen finden sich die höchsten Werte im Sommerregen ($\delta^{18}\text{O}$ bis -0,5 ‰) und in den durch Verdunstung angereicherten Lacken und Seen des Seewinkels ($\delta^{18}\text{O}$ bis +5 ‰).

Da die Isotopenzusammensetzung des Wassers neben dem Temperatureffekt auch vom Ursprung der verdunsteten Wassermassen abhängt, gibt es auch augenscheinliche regionale Unterschiede in Österreich. So zeigen die Niederschläge und oberflächennahen Grundwässer in der Region Osttirol, Kärnten und Südoststeiermark ca. 1 ‰ höhere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte als solche mit gleicher Höhenlage und Temperatur im Rest von Österreich. Das ist wahrscheinlich durch den verstärkten Niederschlagseinfluss aus dem mediterranen Raum bedingt. Das wird auch durch den höchsten Durchschnittswert einer Niederschlagsstation in Graz ($\delta^{18}\text{O}$ -8,3 ‰) und den hohen Werten im Grundwasser entlang der Mur bestätigt ($\delta^{18}\text{O}$: -9,7 bis -8,9 ‰; orange in der Karte).

Der Medianwert aller 1.120 Messstellen mit Tritiummessungen ergibt zerfallskorrigiert bezogen auf das Jahr 2015 6,2 Tritiumeinheiten (TE). Das ist etwas weniger als der Medianwert aller Niederschlagsstationen von 7,2 TE, da die Tritiumkonzentrationen in der überwiegenden Zahl der Grundwässer bereits während der Verweilzeit im Untergrund durch Zerfall abgenommen haben. Ähnlich wie bei den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten erreichen die Sommerniederschläge Tritiumwerte von 10 - 11 TE und sinken im Winter auf 3 - 4 TE ab, was auf die bessere Durchmischung des durch natürliche Höhenstrahlung gebildeten Tritiums in der Atmosphäre im Frühling bedingt ist. Tritiumgehalte kleiner ca. 3,5 TE enthalten meist große Mengen von Wässern, die älter als 60 Jahre sind. Tritiumgehalte kleiner 0,3 TE zeigen an, dass diese Wässer alle älter als 60 Jahre sind.

Hingegen enthalten Wässer mit mehr als ca. 12 TE alte Wässer mit Wasserstoffbomben-Tritium aus den 1960er bis 1970er Jahren bzw. mehr als ca. 23 TE Wässer, die durch Tritiumverunreinigungen z.B. aus Deponien oder Kernkraftanlagen beeinflusst wurden. In Österreich zeigen die Flüsse Donau und March periodische bzw. permanente Tritiumbelastungen von bis zu 70 TE aus Kernkraftanlagen aus den Nachbarländern.

ZUSAMMENFASSUNG

Regional ist nur bemerkenswert, dass im Weinviertel und im nordöstlichen Marchfeld viele Brunnen mit weniger als 2,8 TE aufscheinen, was auf den geringen Niederschlag und die nachgewiesenen hohen Wasseralter zurückzuführen ist.

Das dominierende Auftreten von hohen Tritiumwerten (^3H : > 9 TE) im Seewinkel ist mehr dem Zerfallskorrekturereffekt zuzuschreiben, da bei den alten Messungen vor den 1990er Jahren der verdünnende Effekt der jungen an Tritium armen Wässern nicht berücksichtigt werden konnte.

Die Wasserisotopenkarte zeigt, dass Wasserisotope, in einem weitgehend alpinen Land mit verschiedenen Klimaeinflüssen, eine gute Grundlageninformation bilden, die Herkunft von Wässern mit vorwiegend jüngeren Verweilzeiten zu unterscheiden.

2 SUMMARY

THE ISOTOPIC RATIOS OF OXYGEN AND HYDROGEN IN WATER ($^2\text{H}/^1\text{H}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) are important tools to characterise waters and their cycles. This starts in the atmosphere as rain or snow and continues in the surface water (rivers and lakes) and ends in shallow groundwater as well as in deep groundwater. Tritium formed by natural cosmic radiation in the upper atmosphere and in the last century by tests of thermonuclear bombs in the atmosphere, is characterised by its radioactive decay with a half-life of 12.32 years and is an ideal age-marker during the last 60 years or whether a sample consists of considerable proportions > 60 years.

To determine the origin and mean age of waters in many projects concerning water supply, engineering (e.g. tunnels, hydroelectric power plants) and scientific projects in the last 45 years on more than 1,350 sites more than 40,000 isotope measurements were performed in Austria. To give an overview about the mean isotope distribution in different regions of Austria and as an important information for further practical and scientific applications the sampling sites were determined from many reports and publications and the median values classified and shown in different colours in the map.

In an electronic version of the “water isotope map of Austria” most of the data are available in the internet. The median value of all sites of oxygen-18 is $\delta^{18}\text{O}$ -10.7 ‰ and for hydrogen-2 $\delta^2\text{H}$ -75 ‰. These isotopes are measured as the negative per mille deviation from the heavier Vienna Mean Ocean Water standard (V-SMOW). As the fractionation is mainly temperature dependent the lowest negative values are observed in winter precipitation (oxygen-18 as low as $\delta^{18}\text{O}$ -23 ‰) and in springs in the Tyrolean Kauner valley ($\delta^{18}\text{O}$ -15.1 ‰) deriving their water from high mountains and glaciers. The majority of the Alpine springs due to the altitude of their recharge areas show relatively light $\delta^{18}\text{O}$ -values (< -12.4 till -11.4 ‰ (green colour in the map)).

In contrast the highest values were observed in summer precipitation (up to $\delta^{18}\text{O}$ -0.5 ‰) and in shallow lakes further depleted in oxygen-18 by evaporation in the Seewinkel area close to the Hungarian border (up to $\delta^{18}\text{O}$ +5 ‰).

As the isotopic ratios of the Austrian waters besides the dominant temperature effect at the site of precipitation are influenced by the origin of the evaporated water masses (clouds) as well, obvious regional differences are observed in Austria. Therefore the precipitation and the shallow groundwater in the region of South of the main Alpine crest (East-Tyrol, Carinthia and South-East Styria) is approximately 1 ‰ higher in $\delta^{18}\text{O}$ -values as sites at the same altitude and temperature as the rest of Austria. This is most probably caused by the stronger influence of precipitation from the Mediterranean area. This is supported by the highest oxygen-18 median values of a precipitation station in Graz ($\delta^{18}\text{O}$ -8.3 ‰) and the relatively high values of shallow groundwater along the river Mur ($\delta^{18}\text{O}$: -9.7 to -8.9 ‰ (orange colour in the map)) in the South-East of Austria.

The median value of all 1,120 sampling sites of decay corrected (2015) tritium measurements is 6.2 tritium units (TU). This is somewhat smaller than the median value of all precipitation stations with 7.2 TU. This can be explained by the fact that in most cases in groundwater the median value has been reduced by decay according to the residence time underground. Similar to the $\delta^{18}\text{O}$ -values the tritium concentration increases in the summer up to 10 – 11 TU and decreases in winter down to 3 – 4 TU. This is due to the better circulation in the atmosphere in spring which brings the tritium formed by cosmic radiation down to the lower atmosphere and precipitation. Mean tritium concentration in water smaller than approximately 3.5 TU or smaller 0.3 TU contains large amounts of water or consists completely of water older than 60 years. Waters containing approximately more than 12 TU or more than approximately 23 TU consists of older water containing still tritium from the 1960s and 1970s formed originally by thermonuclear bomb experiments or of tritium contamination coming e.g. from waste disposal sites or nuclear power plants along rivers. In Austria the rivers Danube and March at the Czech – Slovakian border show periodic or permanent tritium contamination up to 70 TU coming from nuclear power plants in the neighbouring countries.

SUMMARY

In a regional context remarkable are the low tritium concentration of less than 2.8 TU in many springs and wells in the North – East of Austria (Weinviertel and parts of Marchfeld) which is related to low precipitation and older groundwater in this region.

The frequent occurrence of higher tritium values (^3H : > 9 TU) in the Seewinkel area at the Hungarian border is a sort of artefact as in investigations before about 1990 the tritium decay can be corrected, but not the dilution effect by young tritium-poor waters .

The Austrian water isotope map shows that in an alpine country with different climatic influences water isotopes are a useful tool to differentiate between water sources of variable, mostly short residence times.

3 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

3.1 EINLEITUNG

WASSERISOTOPE (^2H , ^3H UND ^{18}O) sind integrale Bestandteile des Wassermoleküls H_2O und als solche sind sie hervorragend geeignete natürliche Markierungsstoffe zur Erforschung von Zusammenhängen und Wechselwirkungen im Wasserkreislauf.

Woher stammt unser Grundwasser? Wie alt sind unsere Grundwasservorkommen und wie schnell erneuern sie sich? Gibt es klimabedingte Veränderungen des Wasserkreislaufes? Wie anfällig ist das Grundwasser gegenüber Einträgen von der Oberfläche? Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen Grund- und Oberflächengewässern? Welchen Einfluss hat die Verdunstung auf den Wasserhaushalt unserer Seen? Diese und andere Fragen lassen sich durch die Beobachtung der Isotope im Wasserkreislauf beantworten. Untersuchungen von Wasserisotopen können auch bei Fragen zur Lebensmittel-Authentizität und -herkunft sowie in der Umweltforensik ergänzend eingesetzt werden.

Aus diesem Grunde wurde im Jahr 2006 vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Sektion Wasserwirtschaft, im Einvernehmen mit den wasserwirtschaftlichen Planungsorganen in den Bundesländern, zur Sicherung der Fortführung der seit den 1970er Jahren laufenden Isotopenbeobachtungen (Umweltbundesamt/Seibersdorf/Arsenal) dieses Messprogramm auch in die Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV 2006 i.d.g.F.) aufgenommen und so auch auf eine rechtliche Basis gestellt.

Seit diesem Zeitpunkt ist das bundesweite Wasserisotopenmessnetz fester Bestandteil des staatlichen Monitoringsystems geworden und bereichert damit den Untersuchungsumfang sowie die Kenntnis um unsere heimischen Gewässer wesentlich. Neben den regelmäßigen Untersuchungsintervallen wird auch das Messnetz periodisch auf seine Eignung untersucht und gleichermaßen die Ergebnisse interpretiert und veröffentlicht. Im internationalen Vergleich können nur wenige Staaten auf ein derartiges umfassendes, langjähriges Beobachtungsprogramm zurückgreifen, das nicht nur wissenschaftlich, sondern vor allem auch praktisch von großem Nutzen für Österreich ist.

Um insbesondere Amtsorganen in den Gebietskörperschaften, privaten FachexpertInnen und gleichermaßen auch ForscherInnen rund um die Wasserwirtschaft eine Übersicht über die in Österreich bereits gemessenen Informationen zusammenzustellen und die Möglichkeit zu geben, die Einzelheiten der Messstellen rascher zu erfassen und mit neuen Messungen zu vergleichen, wurden der Großteil der bestehenden Publikationen, Berichte und Daten der oben erwähnten Wasserisotopen erfasst und in einer Digitalkarte (inkl. Papierversion) dargestellt.

3.2 INHALT UND ZIELE

AUS DEN IN DER EINLEITUNG ERWÄHNTEN GRÜNDEN ist es vorteilhaft, gute Informationen darüber zu haben, wie und wie schnell sich Grundwasservorkommen in einem Gebiet erneuern oder woher Lebensmittel bzw. wasserhaltige Handelsgüter stammen. Gerade vor längerer Zeit oder über einen längeren Zeitraum durchgeführte Studien mit Wasserisotopenanalysen können sehr wertvoll sein, Veränderungen im Wasserhaushalt und Wasserbewegungen in Jahrzehnten zu bewerten.

Die in den letzten 45 Jahren durchgeführten Wasserisotopenmessungen werden erstmalig zusammenfassend und übersichtlich dargestellt, sowie regionale Trends mit Farbsymbolen sichtbar gemacht. Überdies können in der digitalen Karte die Einzeldaten bzw. die statistischen Kennwerte benutzerfreundlich (z.B. in „pop up Fenstern“) zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus werden die hier über das GZÜV-Beobachtungsprogramm (Sondermessprogramm) erhobenen Wasserisotopen mit den gleichzeitig stattfindenden projektbe-

zogenen bundesweiten Altersdatierungen von Grundwasserkörpern durch das Umweltbundesamt bei der Interpretation der Daten miteinbezogen.

Damit können die beidseitigen Ergebnisse bei der Interpretation der Daten betreffend Einzugsgebietsdarstellungen und mittlere Verweilzeiten bzw. „Alter“ der Wässer bestmöglich ergänzt und auch abgesichert werden: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/wasser/grundwasser/gw-alter/>.

4 WASSERISOTOPE

4.1 SAUERSTOFF-18 ($\delta^{18}\text{O}$) UND WASSERSTOFF-2 ($\delta^2\text{H}$, DEUTERIUM)

SAUERSTOFF-18- UND WASSERSTOFF-2 (DEUTERIUM)-WERTE werden als Delta (δ)-Werte ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) ausgedrückt, welche Promille-Abweichungen von den international akzeptierten Standards darstellen. Die Delta-Einheit ist als

$$\delta(\text{‰}) = \frac{R_{\text{Probe}} - R_{\text{VSMOW}}}{R_{\text{VSMOW}}} \times 10^3$$

definiert, wobei R das Isotopenverhältnis $^2\text{H}/^1\text{H}$ oder $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ anzeigt. Die zu messende Wasser-Probe wird in Beziehung zu dem „Vienna Standard Mean Ocean Water“ (VSMOW) einem Standard der International Atomic Energy Agency (IAEA) in Wien gesetzt.

Die in dieser Karte dargestellten Daten werden vorwiegend mit einem Fehler von $\pm 0.1\text{‰}$ für Sauerstoff-18 und $\pm 1\text{‰}$ für Deuterium bei einfacher Standardabweichung angegeben. Diese beiden Isotope sind Bestandteil des Wassermoleküls (H_2O) und bilden so eine natürliche Markierung von verschiedenen Wasserpaketen. Normalerweise liegen $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^2\text{H}$ -Werte auf der meteorischen Wasserlinie (Abbildung 1). Da die leichteren Isotope ^{16}O und ^1H schneller verdunsten als die schwereren (^{18}O , ^2H) ist das Wasser in den Wolken bzw. im Regen leichter als Meerwasser. Daher ist die Abweichung vom Meerwasserstandard mit einem negativen (Minus-) Vorzeichen gekennzeichnet.

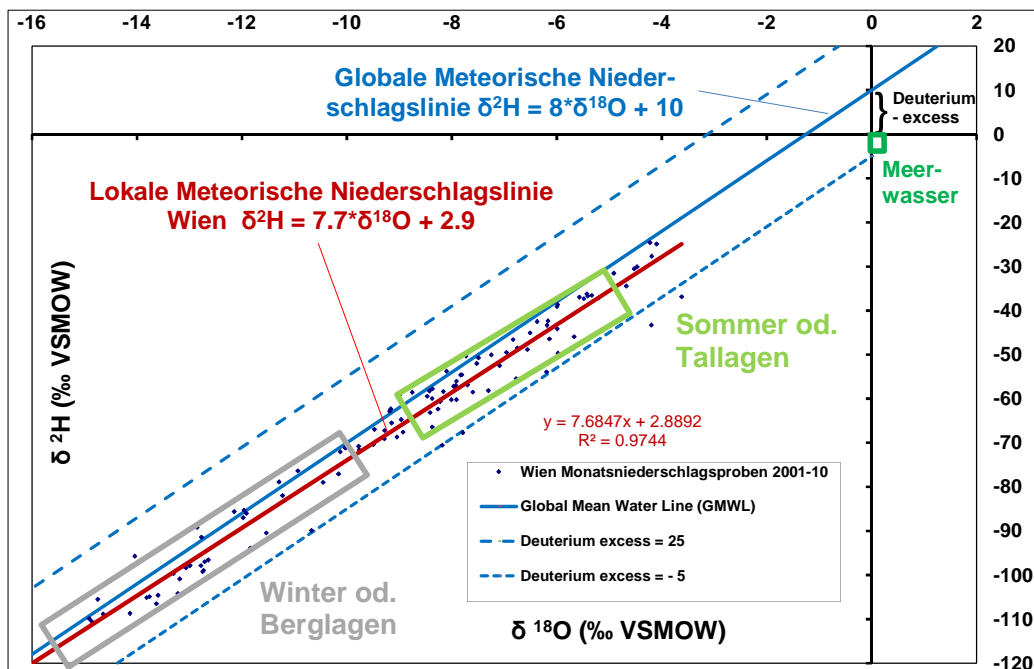


Abbildung 1: Beispiel eines $\delta^{18}\text{O}$ gegen $\delta^2\text{H}$ -Wertediagramms mit globaler Niederschlagslinie (blau) und als Beispiel die Sommer- (grün) und Winterhalbjahres- (grau) Monatsniederschläge bzw. die daraus berechnete „lokale meteorische Niederschlagslinie“ (Rot). Der Deuterium-excess wird durch den Schnittpunkt an der y-Achse bestimmt.

Da beim Ausregnen der Wolken die schweren Isotope ^{18}O , ^2H bevorzugt mit dem Niederschlag fallen, werden die Deltawerte landeinwärts immer negativer (Kontinentaleffekt). Die Isotopenzusammensetzung des Niederschlags (z.B. Regen und Schnee) an einer bestimmten Stelle wird durch die Herkunft der feuchten Luftmassen (z. B. Wolken), der Temperatur und einer komplizierten Fraktionierung während des Tropfenfalls bestimmt. Diese Fraktionierung wird weitgehend von der Lufttemperatur an Ort und Stelle bestimmt. Bei höheren Temperaturen (Tallagen oder Sommer) ist der ^{18}O -Anteil höher (also schwerer), bei niederen

Temperaturen ist der ^{18}O -Anteil niedriger (also leichter; Berglagen oder Winter). Bei Monatssammelproben kann für jede Stelle ein Jahresmittelwert errechnet werden, der über viele Jahre gemittelt relativ konstant bleibt. Abhängig von den Infiltrationsbedingungen in den Untergrund und letztendlich ins Grundwasser stellen sich auch dort mehr oder minder konstante Werte ein, die sich nur über Jahrzehnte (Dekaden), bedingt durch den Klimawandel, ändern.

4.2 TRITIUM (^3H)

ALS BESTANDTEIL DES WASSERMOLEKÜLS ist Tritium der einzige Datierungstracer, der den Wasserkreislauf direkt widerspiegelt. Erste Anwendungen der Methode begannen in einer Zeit, in der die Konzentration im Niederschlag bereits durch die Freisetzung von Tritium aus oberirdischen Kernwaffentests dominiert wurde. Dazu wurde insbesondere der starke Eintrag durch die oberirdischen Wasserstoffbombenexperimente am Anfang der 1960er-Jahre (Erhöhung der natürlichen Konzentration im Niederschlag um etwa das 300-fache) und der anschließende Konzentrationsabfall als Markierung für neu gebildetes Grundwasser genutzt (Abbildung 2).

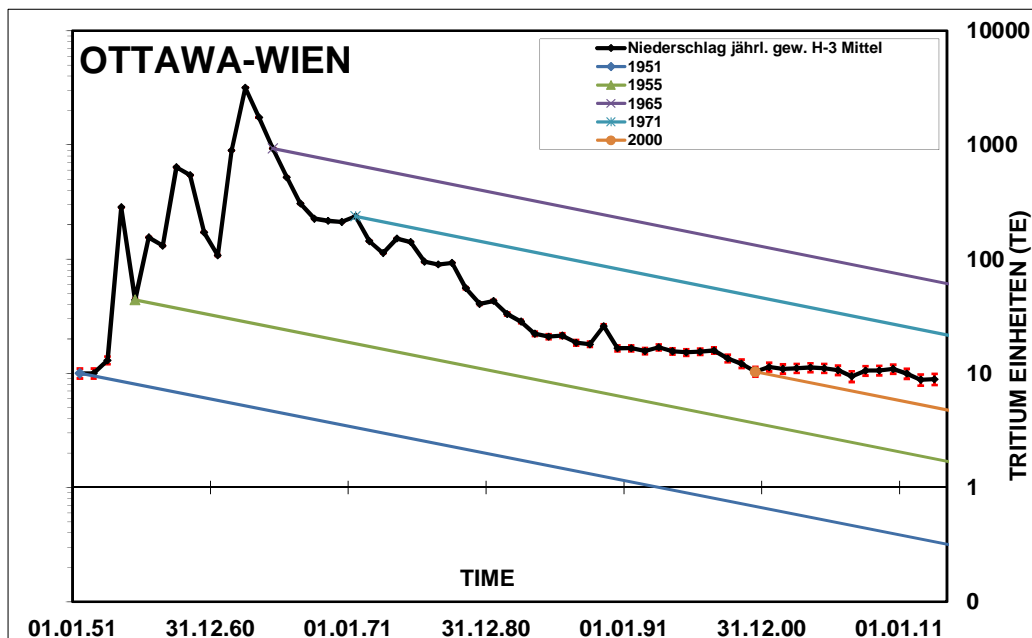


Abbildung 2: Die gewogenen Jahresmittel der Tritiumgehalte von Ottawa (1953-1960) und Wien (vorhanden 1961-2013) sind in logarithmischer Skala dargestellt. Die parallelen Linien zeigen den Pfad des Tritiumzerfalls (^3H) im Grundwasser, das in den Jahren 1951, 1955, 1965, 1971 und 2000 aus dem Niederschlag neu gebildet wurde.

Wenn in einer Region die Tritium-Konzentration der in den Untergrund infiltrierenden Niederschlagswässer bekannt ist (siehe Abbildung 2), kann an Brunnen oder Quellen aufgrund der Abnahme durch den radioaktiven Zerfall des Tritiums (Halbwertszeit $T_{1/2} = 12,32$ Jahre) der Zeitpunkt der Infiltration als sogenannte „Mittlere Verweilzeit“ (MVZ) oder „Grundwasseralter“ berechnet werden. Wie aus Abbildung 2 für Wien ersichtlich ist, bleiben in den meisten Regionen die durchschnittlichen Tritiumjahresmittel im Niederschlag zwischen zehn und sieben Tritiumeinheiten (TE) nur mehr leicht fallend (seit 2000).

Wenn zum Beispiel Grundwasser vor 1950 neu gebildet worden ist und sich nicht mit jüngeren Wässern vermischt hat, muss es weniger als 0,3 TE enthalten. Grundwasser, das 1965 aus dem Niederschlag neu gebildet wurde, würde 57 TE enthalten. Während der 1980er und 1990er Jahre nahm der ^3H -Gehalt im Niederschlag mit ca. der gleichen Rate wie der Tritium-Zerfall ab. Grundwasser, das ungefähr seit 2000 neugebildet wurde, kann wieder für Altersberechnungen genutzt werden, solange in sehr jungen Wässern die jahreszeitliche Variation nicht sichtbar wird oder anthropogene Quellen (z. B. Atomkraftwerke, alte Deponien) nicht ausgeschlossen werden können (Kralik 2015a).

5 ANGEWANDTE METHODEN

5.1 SAUERSTOFF-18 ($\delta^{18}\text{O}$) UND WASSERSTOFF-2 ($\delta^2\text{H}$, DEUTERIUM)

DIE MEISTEN WASSERANALYSEN vor ca. 2011 wurden mit folgenden Methoden durchgeführt: Die ^{18}O -Analysen wurden an einem Gasisotopenmassenspektrometer durchgeführt. Separat oder an das Gerät gekoppelt ist eine Equilibriereinheit zur Probenaufbereitung mittels Isotopenaustausch nach EPSTEIN und MAYEDA (1953). Probenmenge: Einige Milliliter Probenwasser wurden über einige Stunden bei einer genau definierten Temperatur mit dem Gas darüber equilibriert. Das Messgas wurde vor dem Eintritt ins Massenspektrometer mit einer Kältemischung ($-70\text{ }^\circ\text{C}$) getrocknet.

Die ^2H -Analysen wurden ebenfalls an einem Gasisotopenmassenspektrometer durchgeführt. Separat oder an das Gerät gekoppelt ist eine Equilibriereinheit zur Probenaufbereitung mittels Isotopenaustausch unter Verwendung verschiedener Katalysatoren. Die Datenauswertung erfolgt sowohl für $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^2\text{H}$ über zwei mitlaufende Laborstandards, die gegen die internationalen Standards „V-SMOW“ und „SLAP“ der International Atomic Energy Agency (IAEA) kalibriert wurden.

Ab ca. 2012 erfolgten die meisten ^{18}O - und ^2H -Analysen an einem Laserspektrometer. Die Datenauswertung erfolgt ebenfalls über zwei mitlaufende Laborstandards, die gegen die internationalen Standards „V-SMOW“ und „SLAP“ der IAEA kalibriert wurden. Die Ergebnisse des Kontrollstandards werden in den Regelkarten aufgezeichnet.

Die in der Karte dargestellten Daten werden vorwiegend mit einem Fehler von $\pm 0.1\%$ für Sauerstoff-18 und $\pm 1\%$ für Deuterium bei einfacher Standardabweichung angegeben. Da die Analysen von verschiedenen Labors zu verschiedenen Zeiten durchgeführt wurden, können die genauen analytischen Details nur mittels Nachfrage bei dem durch eine Labornummer identifizierten Labor erfragt werden:

Liste der angeführten analytischen Isotopenlabors:

- Austrian Institute of Technology (AIT) [vorm. Bundesversuchsanstalt Arsenal]
- Helmholtzzentrum München [vorm. Gesellschaft f. Strahlenforschung, GSF]
- International Atomic Energy Agency (IAEA) Isotope Hydrology Section Vienna
- Joanneum Research, Graz
- Hydroisotop, Schweitenkirchen, Deutschland
- Universität Innsbruck, Inst. f. Geologie
- Universität Wien, Dept. Umweltgeowissenschaften
- Universität Wien, Inst. f. Ökologie
- Fa. Hydrosys, Budapest, Ungarn

5.2 TRITIUM

DIE MEISTEN DER HIER ANGEFÜHRTEN 0,25 bis 1L Wasserproben wurden zunächst destilliert und nach Zugabe von Natriumperoxid in einer Stahlzelle elektrolytisch zersetzt. Nach erneuter Destillation wurde die Tritium-Konzentration in einem Flüssigkeitsszintillationsmessgerät (LSC) gemessen. Die angegebene Aktivitätskonzentration (TE bzw. Bq/kg) bezieht sich auf die Probe zum Probenahmezeitpunkt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden alle Messwerte auf den 15.07.2015 mit einer Halbwertszeit von 12,32 Jahren zerfallskorrigiert. Alle Tritiumanalysen wurden in einem mit der Labornummer ausgewiesenen Labor durchgeführt:

Liste der angeführten analytischen Tritiumlabors:

- Austrian Institute of Technology (AIT) [vorm. Bundesversuchsanstalt Arsenal]
- Helmholtzzentrum München [vorm. Gesellschaft f. Strahlenforschung, GSF]

- International Atomic Energy Agency (IAEA) Isotope Hydrology Section Vienna
- Hydroisotop, Schweitenkirchen, Deutschland
- Fa. Hydrosys, Budapest, Ungarn

5.3 DATENSAMMLUNG UND DARSTELLUNG

DAS AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Joanneum Research und das Umweltbundesamt stellten die zahlreichen Publikationen, unpublizierte Berichte und auf Datenträger vorhandene Daten von Sauerstoff-18, Deuterium und Tritiummessungen im Wasser im österreichischen Bundesgebiet zusammen (siehe Kap. Literaturverzeichnis).

In einem weiteren Schritt wurden die Messstellen im geodätisches Referenzsystem WGS84 verortet und je nach der Genauigkeit der Koordinaten wurden diese folgendermaßen klassifiziert:

- Eingemessen + GPS-Messungen;
- Koordinaten aus Skizzen ca. ± 20 m;
- Koordinaten aus Beschreibung u. Vermutungen ca. ± 200 m).

Die Verortung erfolgte bevorzugt von Daten, die in letzter Zeit gemessen wurden und von Messstellen an denen möglichst mehrere Messungen erfolgten.

Die statistische Bearbeitung der Daten einer Messstelle erfolgte wie unten beschrieben:

Niederschlagsdaten wurden bei Vorhandensein von Monatsmengen auf gewogene Jahresmittel korrigiert. Bei einzelnen fehlenden Messwerten wurden diese als Mittel des vorangegangenen und dem nachfolgenden Monatswert ergänzt. Aus diesen gewogenen Jahresmitteln wurde über die letzten zehn Jahre, falls vorhanden, ein Medianwert gebildet. Für alle Oberflächengewässerdaten, Quellen-, Brunnen- und Tiefenwässerdaten wurden Medianwerte von mindestens zwei zu unterschiedlichen Zeitpunkten genommenen Proben gebildet. Um eine gewisse Vergleichbarkeit der Tritiumdaten zu erreichen wurde jede einzelne Tritiummessung auf den 15.07.2015 zerfallskorrigiert und von diesen Werten ein Median errechnet.

6 ERGEBNISSE

VON DEN DREI INSTITUTIONEN Austrian Institute of Technology, Joanneum Research und Umweltbundesamt wurden insgesamt 41.866 Einzelmessungen von Sauerstoff-18- ($\delta^{18}\text{O}$), Wasserstoff-2 ($\delta^2\text{H}$, Deuterium)- und Tritium- (^3H)-Isotopen von österreichischen Wässern im Zeitraum 1971 bis 2014 zusammengetragen und teilweise neu digitalisiert. Ungefähr die Hälfte sind $\delta^{18}\text{O}$ -Messungen und je ein Viertel ^3H und $\delta^2\text{H}$ -Messungen (Tabelle 1).

Bezogen auf Probenahmestellen sind das 1.359 Wasserstellen, die fast ausschließlich mehrmals beprobt wurden. Überwiegend sind das Brunnen bzw. Sonden als auch Quellen und in geringerem Maße Oberflächengewässer (Flüsse und Seen), Niederschlagsstationen und Tiefengrundwässer (Tabelle 1).

Tabelle 1: Statistische Daten aller $\delta^{18}\text{O}$ -, $\delta^2\text{H}$ -, ^3H -Werte einzelner Probenarten.

.Mst.-Typ	$\delta^{18}\text{O}$ Anzahl	$\delta^{18}\text{O}$ Mittelwert	$\delta^{18}\text{O}$ Median	$\delta^{18}\text{O}$ Stdabw.
Niederschlag	72	-9.95	-9.86	1.30
Brunnen	667	-10.04	-10.05	1.22
Oberflächen- gewässer	159	-10.28	-10.80	1.98
Quellen	434	-11.47	-11.36	1.17
Tiefenwässer	27	-11.15	-11.40	0.67
Summe	1.359			
Mst.-Typ	$\delta^2\text{H}$ Anzahl	$\delta^2\text{H}$ Mittelwert	$\delta^2\text{H}$ Median	$\delta^2\text{H}$ Stdabw.
Niederschlag	67	-71.6	-69.9	10.1
Brunnen	523	-72.4	-72.3	9.5
Oberflächen- gewässer	129	-75.1	-77.2	10.8
Quellen	280	-78.1	-75.7	9.8
Tiefenwässer	23	-76.3	-80.0	18.3
Summe	1.022			
Mst.-Typ	^3H Anzahl	^3H Mittelwert	^3H Median	^3H Stdabw.
Niederschlag	46	6.7	7.2	1.6
Brunnen	628	6.6	6.4	3.1
Oberflächen- gewässer	61	7.1	6.3	3.1
Quellen	358	6.1	6.0	2.1
Tiefenwässer	27	0.7	0.6	0.6
Summe	1.120			

6.1 SAUERSTOFF-18 UND DEUTERIUM

DIE TIEFSTEN $\delta^{18}\text{O}$ -MEDIANWERTE weisen die Tiefengrundwässer und Quellen auf und nehmen bei Oberflächengewässern, Brunnen- und Niederschlagswässern zu. Ähnliches gilt für $\delta^2\text{H}$ und ^3H -Medianwerte (Tabelle 1).

Wie aus Abbildung 3 und Abbildung 4 ersichtlich erreichen extreme Winterniederschläge $\delta^{18}\text{O}$ -Werte bis -23,88 ‰ bzw. $\delta^2\text{H}$ -Werte bis -181,9 ‰ (Sillian und Obergurgl). Die Niederschlagsstation mit den niedrigsten $\delta^{18}\text{O}$ - bzw. $\delta^2\text{H}$ -Jahres-Medianwerten von -13,63 ‰ und -101,2 ‰ liegt in Obergurgl.

Der extremste Sommerniederschlag wurde mit $\delta^{18}\text{O}$ - bzw. $\delta^2\text{H}$ -Werten von -0,32 ‰ und -4,0 ‰ in Naßwald gemessen. Die Station mit den höchsten Jahres-Medianwerten von von -8,28 ‰ und -55,32 ‰ befindet sich bei der Universität in Graz.

Regional befinden sich bei allen Messstellentypen die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im alpinen West- und Zentralbereich in den Klassen -12,40 bis -11,40 ‰ (dunkelgrün in der Karte) und < -12,40 ‰ (hellgrün in der Karte). Dagegen ist im flacheren Ostbereich des Burgenlandes, Niederösterreichs und der Steiermark die Klasse -9,73 bis -8,90 ‰ (orange) vorherrschend.

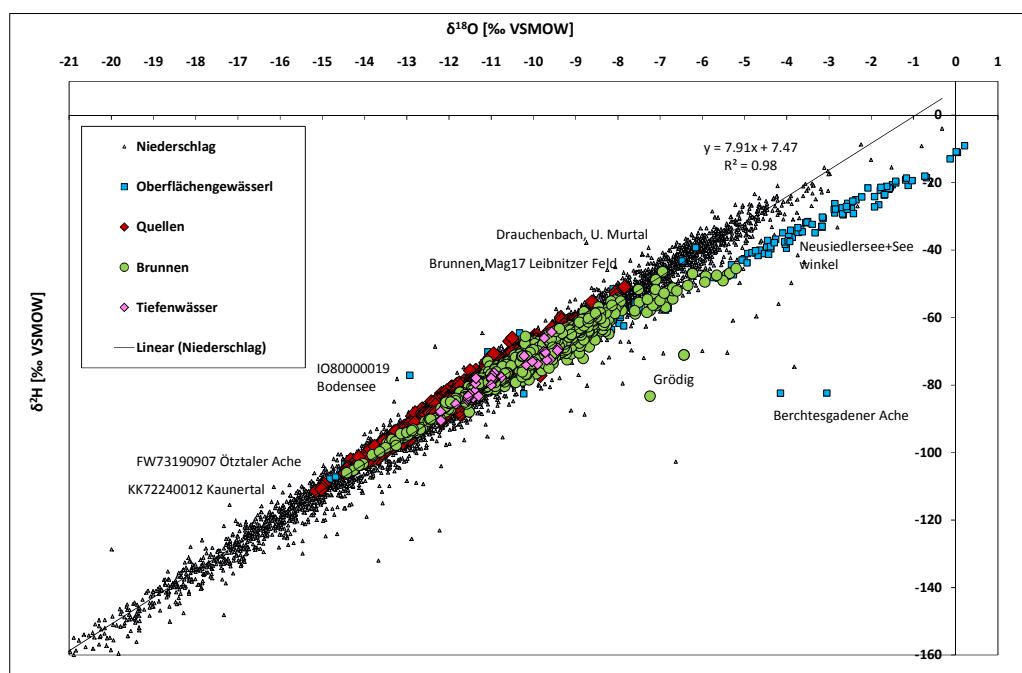


Abbildung 3: Sauerstoff-18-Werte gegen Wasserstoff-2-Werte (Deuterium) von allen Messungen der Wasserisotopenkarte. Eine lineare Niederschlagsgerade wurde von allen Niederschlagsmessungen berechnet. Ausgewählte Extremwerte von Messungen sind beschriftet.

6.2 TRITIUM

DER MEDIANWERT ALLER 1.120 MESSSTELLEN mit Tritiummessungen ergibt zerfallskorrigiert bezogen auf das Jahr 2015 6,2 Tritiumeinheiten (TE). Das ist etwas weniger als der nicht regenmengen-gewichtete Medianwert von 7,2 TE der österreichischen Niederschlagsstationen. Ebenso sind die Medianwerte der Oberflächengewässer, Quellen und Brunnen mit 6,1 – 6,4 TE etwas niedriger (Tabelle 1). Die Tiefenwässer enthalten definitionsgemäß (ca. < 2 TE) kein Tritium oder nur sehr geringe Beimengungen davon.

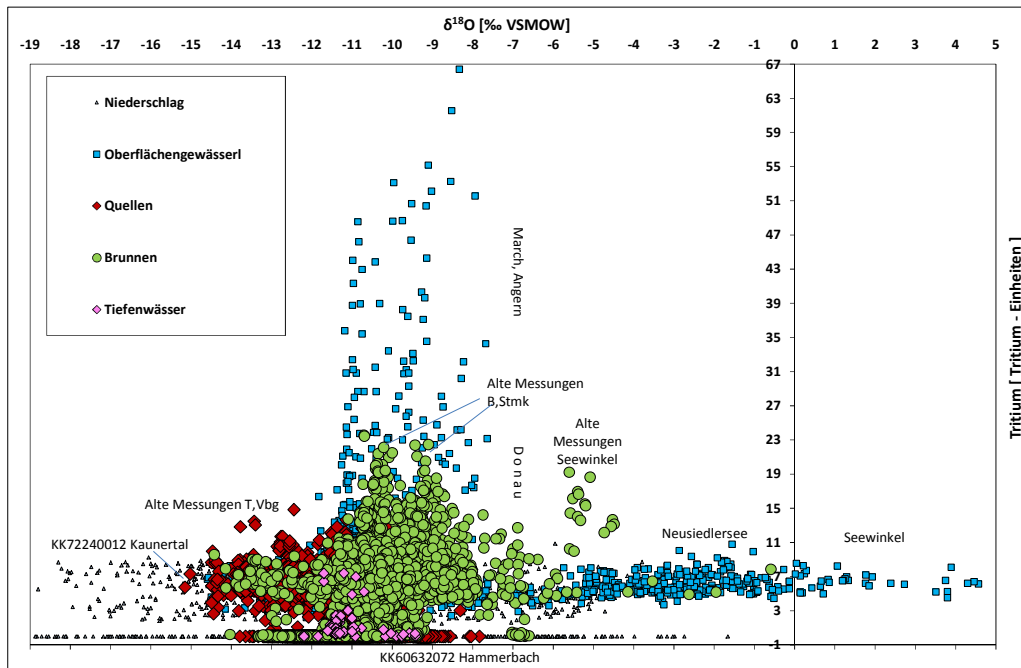


Abbildung 4: Sauerstoff-18-Werte gegen Tritium-Werte von allen Messungen der Wasserisotopenkarte. Ausgewählte Extremwerte von Messungen sind beschriftet.

7 DISKUSSION

7.1 ALLGEMEIN

DIE HIER GESAMMELTEN UND DARGESTELLTEN WASSERISOTOPENDATEN stellen einen guten Rahmen der zu erwartenden Variationen der einzelnen Wasserpakete im Niederschlag, in Flüssen und Seen bzw. im oberflächennahen und tiefen Grundwasser dar. Auch wenn man jede Messstelle einzeln bewerten muss und häufig nahegelegene Messstellen sowohl in Herkunft und Mittlerer Verweilzeit stark variieren, so gibt es doch statistisch regionale Unterschiede, die bei einer Bewertung von größeren Grundwasserkörpern wesentlich sind. Zusätzlich können langfristige Veränderungen an einer Messstelle wichtige Indikatoren für z.B. Klimawandel oder Übernutzung sein, die mit einmaliger oder kurzfristiger Beobachtung nicht erkannt werden könnten.

Überdies verlangen Wasserisotopen als Indikator für die Herkunft von Lebensmitteln und wasserhaltigen Handelsgütern flächenhafte Informationen und die Variationsbreite von Isotopendaten, um belastbare Aussagen machen zu können.

7.2 SAUERSTOFF-18 UND WASSERSTOFF-2 (DEUTERIUM)

GENERELL SPIEGELN DIE MEDIAN UND MITTELWERTE der Niederschläge, Oberflächengewässer, der Brunnen und Quellen die mittleren Höhenlagen der Einzugsgebiete wider. Die mittleren Einzugsgebietsseehöhen sind in den Quellen höher als bei den Oberflächengewässern und die der Brunnen höher als die der Niederschlagsstationen. Das zeigt sich auch in einer hochgelegenen Quelle (KK72240012) des Kaunertales mit $\delta^{18}\text{O}$ -Werten bis zu $-15,15\text{‰}$ und Werten der Ötztaler Ache (FW73190907) bis zu $-14,82\text{‰}$, die im Juni Schmelzwässer von hochgelegenen Gebirgslagen und Gletschern führen (Abbildung 3). Bei den extremsten Winter-Monatsniederschlägen von $\delta^{18}\text{O}$ bis $-23,88\text{‰}$ bzw. von $\delta^2\text{H}$ bis $-181,9\text{‰}$ in Sillian und Oburgul überlagern sich die relativ hohe Höhenlage (1075 und 1940 m) der Stationen mit extremen Winterwetterlagen.

Die an ^{18}O angereichtesten Messstellen sind Grundwasserbrunnen im Leibnitzer Feld und Sommerwässer in Bächen des Unteren Murtales, die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte bis $-6,16\text{‰}$ erreichen können (Abbildung 3).

Die Serie von Brunnen- und Oberflächenwassermessstellen, die signifikant vom oberen Ende der österreichischen Niederschlagsgeraden ($y = 7,91x + 7,47$) abweichen repräsentieren überwiegend Wasser, das in Seen und Teichen durch Verdunstung in ^{18}O angereichert wurde. Das ist besonders stark im Neusiedler See und in den Steppenseen des Seewinkels ausgeprägt, in denen sogar positive $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von $+5,95\text{‰}$ erreicht werden (Abbildung 3). Unklar sind die Prozesse die zu einer $\delta^{18}\text{O}$ -Anreicherung in Brunnen bei Grödig und in der Berchtesgadener Ache geführt haben.

Nicht sofort in der Wasserisotopenkarte erkennbar, aber beim Vergleich gleicher geographischer Höhen beobachtbar, sind - vermutlich wegen des mediterranen Wettereinflusses - die Niederschlagswässer und daher auch die Grundwässer südlich des Alpenhauptkammes weniger in ^{18}O angereichert. Dies ist wahrscheinlich auch die Erklärung der Dominanz der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Klasse $-9,73$ bis $-8,90\text{‰}$ (orange in der Karte) im Murtal und in Teilen von Kärnten.

Die in der Legende der Karte neben den $\delta^{18}\text{O}$ -Klassen angegebene Interpretationshilfe für die Herkunft der Wässer wie z.B. „Hochgebirge, Mittelgebirge“ etc. kann natürlich nur eine grobe Charakterisierung sein, die im Medianwert für viele Messstellen richtig sein kann, aber wegen der dargelegten Komplexität der Prozesse nicht für alle Messwerte stimmen kann und vielmehr einer sorgfältigen Analyse durch Fachleute bedarf.

7.3 TRITIUM (^3H)

ÄHNLICH WIE BEI DEN $\Delta^{18}\text{O}$ -WERTEN erreichen die Sommerniederschläge etwas höhere Tritiumwerte von 10 - 11 TE und sinken im Winter auf 3 - 4 TE ab, was auf die bessere Durchmischung der Atmosphäre im Frühling und daher auch des durch natürliche Höhenstrahlung gebildeten Tritiums bedingt ist.

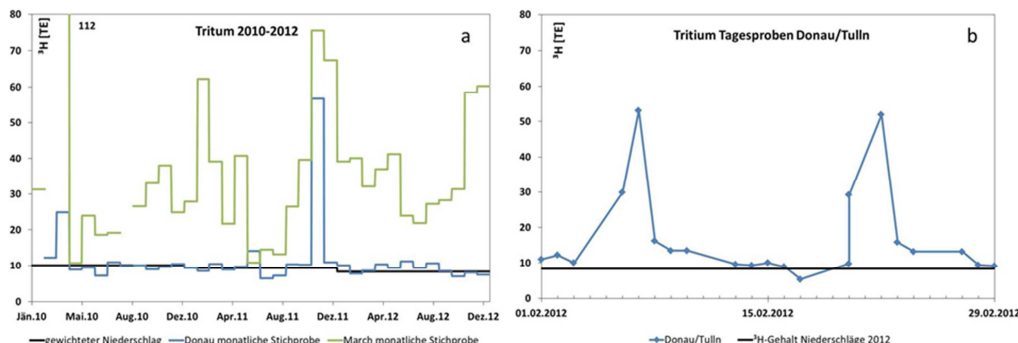


Abbildung 4: (Links:) Tritiumkonzentrationen aller ANIP-Niederschlagsstationen von 2010 bis 2012 (gewichtet, schwarze Linie) sowie die Tritiumwerte der monatlichen Stichproben der Flüsse Donau (blaue Linie) und March (grüne Linie). (Rechts:) Tritiumkonzentration von täglichen Stichproben an der Donau im Februar 2012. Die periodischen Tritiumpulse zeigen eine Durchgangszeit von ca. 3 Tagen (Wyhlidal et al. 2014).

Tritiumgehalte kleiner ca. 3,5 TE enthalten meist große Mengen von Wässern, die älter als 60 Jahre sind. Tritiumgehalte kleiner 0,3 TE zeigen an, dass diese Wässer alle älter als 60 Jahre sind.

Hingegen enthalten Wässer mit mehr als ca. 12 TE alte Wässer mit Wasserstoffbomben-Tritium aus den 1960er bis 1970er Jahren bzw. mehr als ca. 23 TE Wässer, die durch Tritiumverunreinigungen z.B. aus Deponien oder Kernkraftanlagen beeinflusst wurden. In Österreich zeigen die Flüsse March und Donau periodische Tritiumbelastungen bis zu 110 TE bzw. 70 TE, die ursprünglich in ausländischen Atomkraftwerken generiert wurden (Abbildung 4).

Regional ist nur bemerkenswert, dass im Weinviertel und im nordöstlichen Marchfeld viele Brunnen mit weniger als 2,8 TE aufscheinen, was auf die nachgewiesenen hohen Wasseralter zurückzuführen ist (KRALIK et al. 2009, KRALIK et al. 2015).

Das dominierende Auftreten von hohen Tritiumwerten ($^3\text{H} > 9$ TE) im Seewinkel ist mehr den Messungen vor 1990 zuzuschreiben, da zwar der Zerfall des Tritiums berechnet werden kann, aber nicht die häufig auftretende Verdünnung mit tritiumarmen, jungen Wässern berücksichtigt werden konnte (Abbildung 4). Die in der Legende der Karte neben den Tritium-Klassen angegebene Interpretationshilfe für eine grobe Alterseinstufung der Wässer wie z.B. „> 60 Jahre“ etc. kann natürlich nur eine Unterstützung für die Interpretation sein, die im Medianwert für viele Messstellen richtig sein kann, aber noch mehr als bei den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten oft falsch ist. Für eine genauere Analyse bedarf es zusätzlicher Eingangsmesswerte, die mittels hydrologischer Modelle durch Fachleute als Mittlere Verweilzeiten der Gewässermischungen berechnet werden können.

8 SCHLUSSFOLGERUNGEN

WASSERISOTOPE (^2H , ^3H UND ^{18}O) sind integrale Bestandteile des Wassermoleküls H_2O und als solche vielfältig einsetzbare Indikatoren für den Wasserkreislauf und dessen Verweilzeiten sowie für Paläotemperaturen, Klimawandel und Herkunft von wasserhältigen Lebensmitteln und Handelsgütern.

Aus diesem Grund sind die in dieser Karte erfassten über 1.300 Messstellen mit ihren mehr als 40.000 Messungen eine wertvolle Datengrundlage, auf der Ingenieure, Planer und Wissenschaftler aufbauen können. Überdies erlaubt es besonders die elektronische Version der Karte eine Aktualisierung bisher noch nicht erfasster und in der Zwischenzeit neu gemessener Daten in naher Zukunft durchzuführen.

Die jährlichen $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Durchschnittswerte hängen temperaturbedingt vorwiegend von der Höhenlage ab. Daher sind die Quellwässer, deren Einzugsgebiete meist höher gelegen sind als die der Brunnen, im ^{18}O mehr abgereichert als in den Brunnenwässern. Regional sind jedoch die Wässer südlich des Alpenhauptkammes in Osttirol, Kärnten und in der Steiermark wegen des stärkeren mediterranen Wettereinflusses statistisch im ^{18}O etwas stärker angereichert.

Die Tritium-Werte nähern sich generell den natürlichen Werten an, die durch die Höhenstrahlung entstehen, sind aber (va. in Kombination mit anderen Methoden) immer noch ein guter Indikator für die Verweilzeiten des Grundwassers. Erhöhte Tritiumwerte werden nur in den Flüssen Donau und March, durch ausländische Kernkraftwerke bedingt, und vereinzelt nahe von Deponien und Altlasten gemessen. Regional macht sich der mediterrane Einfluss südlich des Alpenhauptkammes durch etwas geringere Tritiumkonzentrationen bemerkbar. Tritiumfreie oder Wässer mit sehr geringen Tritiumgehalt sind nur in sehr alten Tiefenwässern (> 60 Jahre) und in den niederschlagsarmen Gebieten der österreichischen Ostregion zu beobachten.

9 LITERATURVERZEICHNIS

AIT Database 1971 -1990

- Anip – Austrian Network of Isotopes in Precipitation (2015): Österreichisches Netzwerk für Isotopen (^{18}O , ^2H , ^3H) in Niederschlägen und Oberflächengewässern. BMLFUW, Ämter d. Landesregierungen, AIT und Umweltbundesamt, Wien. ([HTTP://WWW.UMWELTBUNDESAMT.AT](http://www.umweltbundesamt.at)).
- BENISCHKE, R., BRENČIČ, M., LEIS, A., POLTNIG, W. & STROBL, E. (2003): Hydrogeologie der Karawanken – Abschnitt Petzen, Endbericht.- Unveröff. Ber., Joanneum Research, Institut für WasserRessourcenManagement, 76 S., 5 Beilagen, Graz.
- BENISCHKE, R., HARUM, T., GRAF, F., DUTTER, Ch. & ZOJER, H. (1985): Endbericht STA 28A/82-HÖ22 "Erfassung der Wasserreserven Eisenerzer Alpen, Teil IV. Unveröff. Ber., Forschungsges. Joanneum, Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, 80 S., Anh., Graz.
- BENISCHKE, R. & PILZ, A. (1993): Endbericht. Totes Gebirge - Vordernbachalm. Untersuchung von Quelleinzugsgebieten.- Unveröff. Ber., Forschungsges. Joanneum, Inst. f. Geothermie und Hydrogeologie, 57 S., 2 Anh., Graz.
- BENISCHKE, R. & ZOJER, H. (1986): Endbericht. Hydrogeologie der nördlichen Kalkvorpalen, Höllengebirge - Schafberg, Teil V (Detailprogramm 1985), HÖ 18. Unveröff. Ber., Forschungsges. Joanneum, Inst. f. Geothermie und Hydrogeologie, Forschungsges. Joanneum, 50 S., Anh., Graz.
- Berka, R., Philippitsch, R., Katzberger, Ch., Schubert, G. & Hörhan, Th. (2014): Radionuklide in den Grundwässern, Gesteinen und Bachsedimenten Österreichs 1:500.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Bichler, B. & Reischer, M. (2013): Hydrogeologie des Untersberges und des angrenzenden Salzburger Beckens. , 208 S., Masterarbeit. Universität Innsbruck, Innsbruck.
- REISCHER, M., BICHLER, B., SPÖTL, C., HÖFER-ÖLLINGER, & WYHLIDAL, S. (2015): "Karst hydrogeology of the Untersberg massif and its interaction with the porous aquifer in the adjacent Salzburg Basin". Austrian Journal of Earth Sciences (AJES), Vienna. Angenommen.
- Blaschke, A. P., Haidinger, G., Reitinger, J., Schmalfusz, R. & Steiner, K. H. (1994): Untersuchungen über den Mechanismus des Stickstoffeintrages in Kluftgrundwasser im Schlier im Raum Dietachdorf (Steyr – OÖ). 45 S., Endbericht, Forschungsprojekt OA22 der Bund-Bundesland Kooperation, Inst. F. Hydraulik, Gewässerkunde & Wasserwirtschaft der Techn. Universität Wien.
- Boroviczény F., Deák J., Liebe P., Mahler H., Neppel F., Papesch W., Pinczés J., Rajner V., Rank D., Reitinger J., Schmalfuß R. & Takáts T. (1992): Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geophysik und Geochemie 1980-1990. TU Wien, Forschungsbericht 16, 214 S., Wien.
- BRENČIČ, M., BUDKOVIČ, T., FERJANČIČ, L. & POLTNIG, W. (1994): Hydrogeologie der Westlichen Karawanken. Endbericht.- Unveröff. Ber., Joanneum Research, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, 70 S., 1 Anhangband, Graz.
- BRENČIČ, M., FERJANČIČ, L., POLTNIG, W. & STROBL, E. (1995): Hydrogeologie der Westlichen Koschuta (Abschnitt Loiblpaß - Westliche Koschuta).- Unveröff. Endber., Joanneum Research, Institut f. Hydrogeologie u. Geothermie, 62 S., mit Anhangband, 3 Beilagen, Graz, Ljubljana.
- Brielmann, H., Humer, F. & Zieritz, I. (2015): Isotopenuntersuchungen an zusätzlichen Messstellen im Inn-tal. 27 S., Unpubl. Ber. Umweltbundesamt f. das Amt d. Tiroler Landesregierung, Innsbruck.
- BVFA Arsenal (1982): 2. Bericht über Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geochemie und der Geophysik. Auftraggeber: Bundesministerium für Bauten und Technik Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung"
- BVFA Arsenal (1983): 3. Bericht über Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geochemie und der Geophysik. Auftraggeber: Bundesministerium für Bauten und Technik Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung"

- BVFA Arsenal (1984): 4. Bericht über Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geochemie und der Geophysik. Auftraggeber: Bundesministerium für Bauten und Technik Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung"
- BVFA Arsenal (1987): 5. Bericht über Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geochemie und der Geophysik. Auftraggeber: Bundesministerium für Bauten und Technik Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung Burgenländische Landesregierung
- BVFA Arsenal (1988): 6. Bericht über Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geochemie und der Geophysik. Auftraggeber: Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung Burgenländische Landesregierung.
- Datenarchiv Joanneum Research (1971-2015) Hammerbachquelle.
- Daten Amt d. Vorarlberger Landesregierung (2014 C. Mathis): Weissbachquelle -Stollenquelle
- Davis, G. H., Gattinger, T., Payne, B.R., Dincer, T. & Florkowski, T. (1967): Jahreszeitliche Schwankungen des Tritiumgehaltes von Grundwässern des Wiener Beckens. Verh. Geol. Bundesanst., 212-232, Wien.
- Davis, G.H., Payne, B.R., Dincer, T., Florkowski, T., Gattinger, T. (1968): Seasonal variations in the tritium content of groundwaters of the Vienna Basin, Austria. - In: Isotopes in Hydrology SM-83, 451-473, IAEA, Vienna.
- Deák, J.; Kurcz, I; Papesch, W.; Rajner, V; Rank, D. & Schwarz, U. (2002): Zur Versickerung und Verdunstung im Neusiedler See-Gebiet. Messung der Isotopenverhältnisse in der ungesättigten Bodenzone. Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland – BFB-Bericht 71, 53-60.
- Dreher, J.; Rajner V.; Rank D. & Reitingner J. (1986): Grundwasseruntersuchungen am Ostufer des Neusiedlersees und im Seewinkel; Biologische Station Neusiedlersee – BFB-Bericht 58
- Edelmann, E. (2007): Hydrochemische Auswertung von Quellwasserdaten des österreichischen Wassernetzes (GZÜV) – Überlagerung von geogenen und anthropogenen Einflüssen: Unter besonderer Berücksichtigung von vier ausgewählten oststeirischen Quellen. 114 S., Unpubl. Dipl. Arb., Univ. Wien.
- Epstein, S. & Mayeda, T. (1953): Variation of ¹⁸O content of waters from natural sources. Geochimica et Cosmochimica Acta, 4, 213-224, 1953.
- GEWÄSSERZUSTANDSÜBERWACHUNGSVERORDNUNG (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern.
- Goldbrunner, J.; Rampsbacher, P.; Riepler, F. & Zojer, H. (1984): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeologie der zentralen Gailtaler Alpen (Weißensee). Projektjahr 1983. 57 S., Unpubl. Ber. Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz.
- Götzl, G., Bottig, M., Hoyer, S., Janda, C., Zekiri, F. & Schubert, G. (2012): Projekt NA-72 / Thermalp-NÖ: Die Nutzbarmachung geothermischer Grundlagenforschung für das Land Niederösterreich (Thermalwassermodell Hochscholle südliches Wiener Becken) Endbericht. 191 S., Amts der Niederösterreichischen Landesregierung, St. Pölten.
- H2O Fachdatenbank (1991-2015): (<https://secure.umweltbundesamt.at/h2odb/>)
- H₂O Fachdatenbank (2014 - 2015): Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLFUW, Sektion VII/Abteilung 1 Nationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; (<http://www5.umweltbundesamt.at/h2ogispub/>).
- Hacker, P. & Kollmann, W. (1981): Isotopenhydrologische und hydrochemische Untersuchungen im südlichen Burgenland, Österreich. Mitt, österr. geol. Ges., 74/75.
- Hacker, P. (1984): Hydrogeologie Baden (AIT)
- Hacker, P. (1985): Hydrogeologie Baden (AIT)
- Hacker, P. (1986): Hydrogeologie Baden (AIT)
- Hacker, P. (1989): Isotopenhydrologische Untersuchungen im Südlichen Wiener Becken, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung; Landesbaudirektion.
- HACKER, P. (1990): Badener Heilquellen (UBA)

- Hacker, P. (1992): Die hydrogeologischen Untersuchungen im Bereich der Badener Heilquellen. Unveröffentlichter Bericht, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien.
- Hacker, P. (1992): SW Wr. Becken (UBA)
- Häusler, H. & Straka, W. (1998/99): „Tiefengrundwasser Traun Enns Platte“, Teilprojekt: Kremsmünster – Bad Hall – Wartberg der O.-Ö. L.-R.: BauW-II/LG-930007/8-1998/KOL/HB. Endbericht 1998/Endbericht 1999. – Bericht, Institut für Geologie, Universität Wien.
- Heischmann, J. (2006): Isotopenhydrogeologische Untersuchungen des Nordöstlichen Leithagebirges.- Bakkalaureatsarbeit, 29 S., Department für Umweltgeowissenschaften, Universität Wien.
- Hofmann, T. & Müllegger, C. (2011): Mittlere Verweilzeit des Seewassers und Grundwasserbilanz: Einfluss von Nassbaggerungen auf die Oberflächen- und Grundwasserqualität. Unpubl. Bericht, Anhang O (80 S.), Anhang A-N, Dept. f. Umweltgeowissenschaften, Univ. Wien.
- Humer, F., Brielmann, H., Kralik, M. & Wemhöner, U. (2015): Grundwasseralter von ausgewählten Grundwasserkörpern (GW-Alter 2014-15) – Böhmisches Masse [MAR], Hügelland zwischen Mur und Raab, Lafnitztal, Mittleres Ennstal, Stooberbachtal, Weststeirisches Hügelland, Zentralzone (Tiroler Anteil). Endbericht 2015. Umweltbundesamt, Wien im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, BMLFUW, Wien.
- Hydrographischer Dienst (2014): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung IV/4 - Wasserhaushalt (HZB), Marxergasse 2, 1030 Wien, Österreich. (<http://ehyd.gv.at/>).
- Joanneum Research, Fachhochschule Technikum Wien, Wasser Tirol Wasserdienstleistungs-GesmbH, Illwerke-Wassermanagement GmbH, W.E.I.Z. Weizer Energie-Innovations-Zentrum GmbH, Logotronic GmbH & Hereschwerke Automation GmbH (2008): KNet Endbericht. Netzknoten-2, Work Package 2.1.1 “Erkundung alpiner Wasserressourcen, 253 S., 4 Kartenbeil., Graz.
- Kaiser, A.; Scheifinger, H.; Kralik, M.; Papesch, W.; Rank & Stichler, W.; (2002): Links between meteorological conditions and spatial / temporal variations in long – term isotopic records from the Austrian precipitation network. Intern. Conf. “Study of Environmental Change Using Isotope Techniques”, 23-27 Apr. 2001, C&SPaperSeries 13/P, 67-77, IAEA, Vienna.
- Kollmann, W., Bieber, G., Ćorić, S., Hadfi J., Hobiger, G., Moshhammer, B., Rabeder, J. & Römer, A. (2010): Geologische Auswertung von hydrogeologischen Erkundungsbohrungen als Grundlage für eine erfolgreiche Tiefengrundwassererschließung im Neogen des nördlichen Burgenlandes. Jb. Geol. Bundesanst., 150, 351–387; Wien.
- Kopecny, A. (2006): Isotopenhydrogeologische Untersuchungen im Südwestabschnitt des Leithagebirges (Nördliches Burgenland).- Bakkalaureatsarbeit, 30 S., Department für Umweltgeowissenschaften, Universität Wien.
- Kralik, M. (1999): B/4.3 Niederschlags-Isotopenmessnetz. In: WWK /Umweltbundesamt (Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt) (Hg.): Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 1998, 96–103. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien. (<http://www.umweltbundesamt.at>).
- Kralik, M. (2013): Grundwasserkörper Traun Enns Platte: Zusammenstellung und Interpretation von vorhandenen Isotopendaten. Unpubl. Bericht Umweltbundesamt, 18 S., Wien.
- Kralik, M. (2015a): How to Estimate Mean Residence Times of Groundwater. Procedia Earth and Planetary Science, 13, 301-306, 11th Applied Isotope Geochemistry Conference, AIG-11 BRGM, Orleans.
- Kralik, M. (2015b): Bestimmung der Mittleren Verweilzeiten ausgewählten Brunnen- und Quellwässern in Vorarlberg mittels Isotopen- und Spurengasanalysen. 70 S., Unpubl. Ber. Amt der Vorarlberger Lrg. Bregenz.
- Kralik, M., Brielmann, H., Hummer, F., Wemhöner, U. (2015): Grundwasseralter ausgewählter Grundwasserkörper, 2011/2012: Eferdinger Becken, Hügelland Rabnitz, Ikvatal, Inntal, Seewinkel, Stremtal, Südl. Wr. Becken, Tullner Feld, Unteres Murtal, Vöckla-Ager-Traun-Alm, Weinviertel. 230 S., Bericht d. Bundesministerium f. Land-, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasser, Wien . (<http://www.bmlfuw.gv.at/publikationen/wasser/Grundwasseralter-ausgewaehlter-Grundwasserkoeper-2010-2014.html>)

- KRALIK, M.; HUMER, F.; BRIELMANN, H.; SÜLTENFUß, J.; PURTSCHERT, R. & GERBER, C. (2012): ISOMETH – Endbericht: Evaluierung von Isotopen- und Spurengasmethoden zur Ermittlung von Grundwasseraltern: Fische-Dagnitz-Quelle und Wagna Lysimeter. 27 S., Datenbank für Forschung zur Nachhaltigen Entwicklung (DaFNE), Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. (<http://www.lebensministerium.at/publikationen/wasser/flieszgewaesser/-ISOMETHEndbericht.html>).
- Kralik, M., Humer, F., Fank, J., Harum, T., Klammler, D., Gooddy, D., Sültenfuß, J., Gerber, C. & Purtschert, R. (2014): Using $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^3\text{H}/^1\text{H}$, ^{85}Kr and CFCs to determine mean residence times and water origin in the Grazer and Leibnitzer Feld groundwater bodies (Austria). *Applied Geochemistry*, 50, 150-163, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.04.001>.
- Kralik, M.; Humer, F.; Brielmann, H.; Sültenfuß, J.; Purtschert, R.; Gerber, C. (2012): ISOMETH – Endbericht: Evaluierung von Isotopen- und Spurengasmethoden zur Ermittlung von Grundwasseraltern: Fische-Dagnitz-Quelle und Wagna Lysimeter. 27 S., **Datenbank für Forschung zur Nachhaltigen Entwicklung (DaFNE)**, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. (<http://www.lebensministerium.at/publikationen/wasser/flieszgewaesser/-ISOMETHEndbericht.html>).
- Kralik, M.; Humer, F.; Loishandl-Weisz, H. & Grath, J. (2009): Pilotprojekt Grundwasseralter: Endbericht 2008. Reports, Bd. REP0220. Umweltbundesamt, Wien. 174 S. http://www.umweltbundesamt.at/publikationen/publikationsliste/?&pub_category_id=12.
- Kralik M., Humer F., Papesch W., Tesch R., Suckow A., Han L.F. & Gröning, M. (2009): Karstwater-ages in an alpine dolomite catchment, Austria: $\delta^{18}\text{O}$, ^3H , $^3\text{H}/^1\text{H}$, CFC and dye tracer – investigations. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 11, EGU2009-11403, EGU General Assembly 2009, Vienna.
- Kralik, M.; Papesch, W. & Stichler, W. (2003a): Austrian network of isotopes in precipitation (ANIP) as a tool for assessing good status in groundwater. In: Kralik, M.; Häusler, H. & Kolesar, C. (eds.): Abstracts of the 1st conference of Applied Environmental Geology in Central and Eastern Europe. 7–10th Oct. 2003. Reports, Bd. REP-228. Umweltbundesamt Wien. pp. 190–191.
- Kralik, M.; Papesch, W.; Stichler, W.; Rank, D. & Scheifinger, H. (2003b): Austrian Network of Isotopes in Precipitation (ANIP): Quality assurance and climatological phenomenon in one of the oldest and densest networks in the world. Intern. Sympos. On Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, 19-23 May 2003, C&SPaperSeries, IAEA, Vienna.
- Kralik, M. & Schartner, C. (2010): Alp Water Scarce: Temperature and Isotope – Trends in Carinthian and Styrian Springs, Final Report 2010. Unpubl. Ber. d. Umweltbundesamt im Rahmen des Europäischen E.T.C.-Projektes „Alp Water Scarce“ für die Ämter der Kärntner und Steiermärkischen Landesregierung, 142 S., Klagenfurt – Graz.
- Kralik, M. & Schartner, C. (2013): ALP WATER SCARCE: Temperature and Isotope-Trends in Carinthian and Styrian Springs, Final Report, ETC - ALPINE SPACE Program – Applied Research project ALP-WATER-SCARCE: Hydrochemical and isotope investigations in the pilot area Carinthia and Styria: Unpubl. Rep., Environment Agency Austria, Vienna.
- Kralik, M., Wenter, F., Humer, F. & Grath, J. (2011): Grundwasseralter ausgewählter Grundwasserkörper, 2009/2010: Grazer Becken, Jauntal, Leibnitzer Feld, Rheintal, Unteres Salzbachtal, Wulkatal. 205 S., Ber. S259, Umweltbundesamt, Wien. (<http://www.lebensministerium.at/publikationen/wasser/grundwasser/Grundwasseralter-ausgewaehlter-Grundwasserk-rper-2009-2010.html>).
- Kralik, M.; Zieritz, I.; Grath, J.; Vincze, G.; Philippitsch, R. & Pavlik, H. (2005): Hydrochemische Karte Österreichs Oberflächennaher Grundwasserkörper und Fließgewässer: Mittelwerte von Wassergüteerhebungsdaten (WGEV-Daten) 1991–2001. Berichte, Bd. BE-269. Umweltbundesamt Wien. 2. überarb, Aufl. 19 S. (http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/publikationen/publikationssuche/publikationsdetail/?pub_id=1536).
- Leditzky, H.P., Ramspacher, P. & Sutterlütti, R. (1990): Hydrogeologische Untersuchungen zur Abklärung des Einzugsgebietes der Weißbachquellen (Gamperdonnatal. Vorarlberg). *Steirische Beiträge zur Hydrogeologie*, 41, 6-34, Graz.

- Leopold, P. (1998): Hydrogeologie der Molassezone im Bereich St. Florian – Steyr – Sierning (Oberösterreich). – Unpubl. Dipl.-Arb., Univ. Wien.
- Leopold, P. & Häusler, H. (2004): Beitrag zur nachhaltigen Bewirtschaftung “seichtliegender Tiefengrundwässer” in der oberösterreichischen Molassezone. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, 56. 71–78, Wien.
- Maloszewski, P. & Zuber, A. (1996): Lumped parameter models for the interpretation of environmental tracer data. 9-58, IAEA-TECDOC-910, 207 S. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- MÖRTL, G. (2006): Hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet Schützen am Gebirge (Nördliches Burgenland).- Bakkalaureatsarbeit, 41 S., Department für Umweltgeowissenschaften, Universität Wien.
- Mühlmann, E. (2015): Analysen der Wassertemperaturen und Hydrochemie ausgewählter österreichischer Quellen von 1992 bis 2013 und Interpretation der möglichen Beeinflussung durch den Klimawandel. 138 S., Unpubl. Masterarbeit, Univ. Wien.
- Papesch, W. (1992): Isotopenuntersuchung zur Erfassung der Wasserbewegung in der ungesättigten und gesättigten Zone (Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen, Ü 34/90; 2. Projektjahr 1991/92). Bundesversuchs- u. Forschungsanstalt Arsenal, Wien (unpubl.). 23 S.
- Papesch, W. (1993): VKW - Stollenquelle in Lorüns. Hydrogeologisches Untersuchungsprogramm 1990 - 1992. Umweltisotope (³H, ¹⁸O). Unpubl. Ber., S. 1 - 10, Bundesversuchs- u. Forschungsanstalt Arsenal, Wien.
- Papesch, W. (1995): Isotopenuntersuchungen (³H- und ¹⁸O-Analysen) an Wasserproben der Stollenquelle Lorüns und der Weißbachquelle Nenzig. Unpubl. Ber., S. 1 - 5, Bundesversuchs- u. Forschungsanstalt Arsenal, Wien.
- Papesch, W., Rank, D. (1997): Altersbestimmung (3H, 18O) an Wässern im Rahmen der Wassergüteehebung in NÖ 1996/97: Interpretation der Meßdaten (5. Teilbericht)
- Papesch, W., Rank, D. (1998): Altersbestimmung (3H, 18O) an Wässern im Rahmen der Wassergüteehebung in Salzburg 1996/97: Interpretation der Meßdaten (5. Teilbericht)
- Papesch, W., Rank, D. (1998): Altersbestimmung (3H, 18O) an Wässern im Rahmen der Wassergüteehebung in Tirol 1996/98: Interpretation der Meßdaten (11. Teilbericht).
- Papesch, W., Rank, D. (2000): Windener Quelle
- POLTNIG, W., BENISCHKE, R., HARUM, T., LEIS, A., ORTNER, G., RUCH, Ch. & WINKLER, G. (2004): Hydrogeologische Untersuchungen der Sattnitzberge; Abschnitt Maria Rainer Senke (Einzugsgebiet Brunnenanlage Straschitz) KA 41/01, Endbericht.- Unveröff. Ber., Joanneum Research, Institut f. WasserRessourcenManagement, 96 S., Anhang, 5 Kartenbeilagen, Graz.
- POLTNIG, W., HARUM, T., RUCH, Ch., WINKLER, G., LEIS, A., ORTNER, G. & REICHL, P. (2007): Hydrogeologie Sattnitzberge – Sattnitzplateau-West KA 42/04.- Unveröff. Ber., Joanneum Research, Institut f. WasserRessourcenManagement, 110 S., Anhang, 2 Kartenbeilagen, Graz.
- POLTNIG W., RUCH, Ch. & SCHAFFLER, M. (2011): Hydrogeologie Sattnitzberge – Wasserhoffungsgebiet Sattnitz-Ost, Endbericht.- Unveröff. Ber., Joanneum Research, Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, 41 S., Anhang, 2 Beil., Graz.
- POLTNIG, W. & STROBL, E. (1994): Hydrogeologische Untersuchung der Entwässerung des Hochobir-Massivs. Mit besonderer Berücksichtigung der Jakobsquelle (Marktgemeinde Eisenkappel).- Unveröff. Ber., Joanneum Research, Institut f. Hydrogeologie u. Geothermie, 82 S., 2 Karten, Graz.
- POLTNIG, W. & STROBL, E. (1996): Grundwasserstudie "Altes Gurktal", Bereich Griffen-Ruden-Lippitzbach.- Unpubl. Endbericht, Joanneum Research, Institut f. Hydrogeologie u. Geothermie, 55 S., 6 Beil., Graz.
- POLTNIG, W. & STROBL, E. (1997): Hydrogeologie der Karawanken - Abschnitt Hochstuhl - Loiblpaß.- Unveröff. Endber., Joanneum Research, Institut f. Hydrogeologie u. Geothermie, 67 S., mit Anhang, 9 Beilagen, Graz.

- POLTNIG, W., STROBL, E., BENISCHKE, R., BUDKOVIČ, T., LEIS, A. & SACCON, P. (2001): Hydrogeologie der Karawanken – Abschnitt östliche Koschuta – Uschowa; Endbericht – Österreichischer Teil. - Unveröff. Ber., Joanneum Research, Institut für Hydrogeologie und Geothermie, 104 S., Graz.
- PROBST, G., LEIS, A., YEDHEGHO, B. & ZOJER, H. (1998): Hydrogeologie Reisskofel-Jauken unter Berücksichtigung umweltrelevanter Kriterien, Teil 3 (KA-24E/F96). Endbericht 3. Projektjahr.- Unpubl. Ber. Joanneum Research, Inst. f. Hydrogeol. u. Geothermie, 64 S., Anhang, Graz.
- PROBST, G., BRANDNER, R., HACKER P., HEISS G., LEIS, A., PRAGER, CH., STROBL, E. & ZOJER, H. (2002): Hydrogeologische Grundlagenstudie Westliche Gailtaler Alpen - Lienzer Dolomiten (Kärnten - Osttirol), Endbericht. Unveröff. Ber., Joanneum Research, Institut f. Hydrogeologie u. Geothermie, Universität Innsbruck, Institut f. Geologie u. Paläontologie, 425 S., Graz.
- RAMSPACHER, P. & STROBL, E. (1998): 2-gleisiger Ausbau der Tauernbahn. Abschnitt Mallnitz-Lindisch. Baudokumentation (Jahresauswertung 1993-1997), Beweissicherung (Jahresauswertung 1993-1997), Joanneum Research, Graz.
- RAMSPACHER, P. & STROBL, E. (1999): 2-gleisiger Ausbau der Tauernbahn Abschnitt Mallnitz – Lindisch, Beweissicherung Kaponigtunnel, Endbericht. Unveröff. Ber., Joanneum Research, Inst. f. Hydrogeologie u. Geothermie, 59 S., Graz.
- Rank, D., Papesch, W. & Pavlik, W. (1990): Isotopenuntersuchung zur Erfassung der Wasserbewegung in der ungesättigten und gesättigten Zone (Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen, Ü 34/90).
- Rank, D. & Papesch, W. (1992): GWW Seewinkel: Isotopenuntersuchung. Arsenal/Seibersdorf Research, Seibersdorf (unpubl. Bericht, 4 246/91.21). 14 S.
- Rank, D. & Papesch, W. (2003): Determination of groundwater flow velocity in the Southern Vienna Basin from long-term environmental isotope record. In: Kralik, M.; Häusler, H. & Kolesar, C. (eds.): Abstracts of the 1st conference of Applied Environmental Geology in Central and Eastern Europe. 7-10th Oct. 2003. Reports, Bd. REP-228. Umweltbundesamt, Wien. pp. 206–207.
- Rank, D. & Papesch, W. (2007): Study on the age and distribution of base flow in the upper Danube River Basin: status 2007. In: CRP on isotopic age and composition of streamflow as indicators of groundwater sustainability. Mid-term report, 15 S., IAEA Research Agreement No. AUS-12952, Wien.
- Rank, D. & Rajner, V. (1984): isotopenhydrologische Voruntersuchungen am Westufer des Neusiedlersees. BFB-bericht, 51, 123-128. Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien
- Rank, D.; Papesch, W. & Pavlik, H. (1991): Isotopenuntersuchung zur Erfassung der Wasserbewegung in der ungesättigten und gesättigten Zone (Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen, Ü 34/90; 1. Projektjahr 1990/91). Bundesversuchs- u. Forschungsanst. Arsenal, Wien (unpubl.). 17. S
- Rank, D., Papesch, W., Heiss, G. & Tesch, R. (2012): Environmental isotope ratios in river water in the Danube Basin. – In: Monitoring Isotope in Rivers: Creation of Global Network of Isotope in Rivers (GNIR). IAEA-TECDOC-1673, 13-40.
- Rank, D. & Wyhldal, S., 2011. Zur Geschichte des Österreichischen Messnetzes für isotopenhydrologische Basisdaten (ANIP). Unpubl. Ber. ÖWAV, Praktische Isotopen Anwendung, 40 Jahr Isotopenmessnetz ANIP, S. 1-13.
- Rank, D., Wieselthaler, F., Papesch, P. & Kuschnig, G. (2006): Separation of discharge components at a karst spring on the basis of event investigation (Wasseralmquelle, Austria) . Austrian Journal of Earth Sciences, 102/2, 170-180, Vienna.
- Salzer, F. (1997): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Niederösterreich: Hydrogeologie der Karbonate zwischen Wien-Fluß und Schwechat-Fluß im Wienerwald-Bereich. Unpubl. Ber. Forschungszentrum Arsenal / Niederösterreichische Landesregierung, 90 S., Wien.
- SCHROFFENEGGER, V. (1999): Untersuchung zur Verfügbarkeit von Grundwasser im mittleren Burgenland (Bezirk Oberpullendorf) unter besonderer Berücksichtigung von Neubildung, Dynamik und Qualität der Wässer sowie der Überprüfung bestehender Schutz- und Schongebiete. „Grundwasserhöflichkeit im mittleren Burgenland“. Unveröff. Diss. d. Universität Wien, 332 S., Wien.
- Schubert, G., Roetzel, R. & Rank, D. (2000): Wasserreserven im Obermarkersdorfer Becken - eine Detailanalyse. Jahresbericht 1999, S. 28-29. Geologische Bundesanstalt, Wien.

- Schubert, G., Bayer, I., Lampl, H., Shadlau, S., Wurm, M., Pavlik, W., Pestal, G., Rupp, C. & Schild, A. (2003): Hydrogeologische Karte von Österreich 1:500.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Semmering-Basistunnel (1988-2014): ÖBB - SBTN - Hydrodatenbank
- Spendlingwimmer, R. & Heiß, G. (1996): Endbericht zum Projekt: Schongebiet Petzen/Jaunfeld: Sondermeßprogramm 1993/94 und Meßnetzverdichtung. Unveröff. Ber. d. Bundesversuchs- und Prüfzentrum Arsenal, für das Amt d. Kärntner Landesregierung u. Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, 85 S., Wien.
- Stolp, B. J., Solomon, D.K., Suckow, A., Vitvar, T., Rank, D., Aggarwal, P. K. & Han, L. F. (2010): Age dating base flow at springs and gaining streams using helium-3 and tritium: Fischa-Dagnitz system, southern Vienna Basin, Austria, *Water Resour. Res.*, 46, 1-13.
- Straka, W. (2008): Quartär- und Hydrogeologie der Traun-Enns-Platte im Bereich Kremsmünster – Bad Hall, Oberösterreich. Unpubl. Diss. Universität Wien, 187 S., Wien.
- Suckow, A., Gerber, C., Kralik, M., Sültenfuss, J. & Purtschert, R. (2013): The Fischa-Dagnitz spring, Southern Vienna Basin: a multi tracer time series study reassessing earlier conceptual assumptions. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 15, EGU2013-6610, 2013, EGU General Assembly.
- Sutterlütti, R. (1990): Die Hydrogeologie des Gamperdonatales unter besonderer Berücksichtigung der Weissbachquellen (Rätikon, Vorarlberg). Unpubl. Dissertation, 80 S., Technische Universität Graz, Graz.
- Sutterlütti, R. (2012): Neuer 11er Brunnen III, Hydrogeologische Dokumentation & Vorschlag betreff Schutzzone 3. Unpubl. Ber. S. 3-6, Beilage zum Schreiben, 12.07.2012, 11er Verwaltungs GmbH, Frastanz.
- Wieselthaler, F. (2006): Abflusskomponentenanalyse bei einer Karstquelle auf der Basis von Ereignisuntersuchungen (Wasseralmquelle, Schneealpe). Diplomarbeit. Universität Wien.
- Wyhlidal, S. (2012): Interpretation von Isotopenanalysen (^{18}O , ^2H und ^3H) an Wasserproben der Stollenquelle und der Weißbachquelle im Zeitraum 1990 - 2011. Unveröff. Gutachten, LFW/170699/12g, 10 S., Austrian Institute of Technology, Tulln.
- Wyhlidal, S., Rank, D., Schott, K., Heiss, G. & Goetz, J. (2014): Analysis of isotopic signals in the Danube River water at Tulln, Austria, based on daily grab samples in 2012, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 60, 448-460.
- Wyhlidal, S., Rank, D., Schuster, K. & Jung, M. (2013): The Mean Residence Time (MRT) of exfiltrating groundwater in the Southern Vienna Basin (Fischa-Dagnitz spring area. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 15, EGU2013-1500, 2013, EGU General Assembly 2013.
- Zojer, H. (1980): Erforschung des Naturraumpotentials ausgewählter Tallandschaften: Jaunfeld (Endbericht). Unpubl. Ber., Joanneum Research, Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, 33 S., Graz.
- Zojer, H.; Domberger, G. & Yehdegho, B. (1994): UVP – Sonderabfalldeponie Enzersdorf a. Fischa. Endbericht d. hydrologischen Untersuchungen. Unpubl. Ber. Joanneum Research, Inst. f. Geothermie u. Hydrogeologie, Graz.

10 GLOSSAR DER FACHBEGRIFFE

Deuterium: [griechisch] das, schwerer Wasserstoff, chemisches Symbol D oder ^2H . 1931 von H. C. Urey und Mitarbeitern entdecktes natürliches stabiles Isotop des Wasserstoffs der Massenzahl 2. Es besteht im Gegensatz zum ^1H -Wasserstoff, bei dem der Atomkern aus einem einzigen Proton besteht, aus einem Proton und einem Neutron. Der Anteil an Deuterium in natürlich vorkommendem Wasserstoff beträgt 0,015 %. In natürlichen Wässern befinden sich unter einer Million Wassermolekülen mit der "normalen" Isotopenzusammensetzung $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ etwa 160 Moleküle $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$, bei denen eines der beiden Wasserstoffatome ^1H durch das schwere Wasserstoffisotop ^2H (Deuterium) ersetzt ist. Die Abweichung des Isotopenhäufigkeitsverhältnisses der Probe gegenüber dem des Standards wird als δ -Wert in Promille (‰) angegeben, $\delta^{2\text{H}}$ - und $\delta^{18\text{O}}$ -Werte beziehen sich auf den internationalen Standard VSMOW (Vienna-Standard-Mean-Ocean-Water). Prinzipiell ist bei Niederschlägen eine lineare Korrelation zwischen dem ^2H und dem ^{18}O -Gehalt zu verzeichnen. Spielen Verdunstungsprozesse bei der Grundwasserneubildung eine Rolle (z. B. Infiltration von Seewasser) oder ist ein Sauerstoffisotopenaustausch mit dem Gestein zu verzeichnen (z. B. bei hochtemperierten Thermalwässern), so drückt sich dies in einer charakteristischen, abweichenden Lage des Messwertpaares von der mittleren Niederschlagsgeraden aus.

Grundwasseralter: siehe Mittlere Verweilzeit (MVZ).

Grundwasser-Modelle veranschaulichen vereinfacht, als konzeptionell angelegte Modelle, Grundwasserströmungen, bzw. die Dynamik von "Wasserpaketen". Man versteht darunter eine homogene Wassermasse in Bezug auf einen gewissen Parameter, wie z. B. Alter, Salinität oder Temperatur. Die "Transit-Time-Distribution" (TTD) spielt in diesem Zusammenhang eine sehr wichtige Rolle. Sie gibt an wie die Altersverteilung der unterschiedlichen Komponenten einer Wasserprobe aussieht.

GZÜV-Untersuchungen: Erhebung der Wassergüte in Österreich gemäß Hydrographiegesetz i.d.F. des BGBl. Nr. 252/90 (gültig bis Dezember 2006) bzw. Gewässerzustandsüberwachung in Österreich gemäß Wasserrechtsgesetz, BGBl. I Nr. 123/06, i.d.g.F.; BMLFUW, Sektion VII/Abteilung 1 Nationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen.

Mittlere Verweil-Zeit (MVZ) (= Grundwasseralter): Mittlere Aufenthaltsdauer des Wassers im Untergrund (in Jahren) vom Zeitpunkt der Infiltration bis zum Abfluss in einer Quelle oder der Förderung in einem Brunnen. Die MVZ nimmt an, dass eine Wasserprobe eine gute Mischung unterschiedlicher Komponenten darstellt, die mathematisch mittels eines Integrals dargestellt werden kann („lumped parameter model“) und als „Anpassungsparameter“ in diesem Modell das „gewichtete Mittel“ von Teilverweilzeiten beschreibt.

Quelle: räumlich begrenzte, natürliche Austrittsstelle von Grundwasser (ÖNORM B 2400: 2015).

Radionuklide: radioaktive Elemente, die sich durch radioaktiven Zerfall (Radioaktivität), vor allem unter Aussendung von α -, β - oder γ -Strahlung, in andere Elemente umwandeln. Radionuklide eines chemischen Elements mit unterschiedlichen Massenzahlen heißen Radioisotope.

Tracer (Markierungsstoff): eine Verbindung, die in ein Strömungssystem eingeleitet wird, um das Verhalten bestimmter Komponenten (z. B. Wasser, Sedimentpartikel etc.) dieses Systems zu verfolgen. Es ist notwendig, dass sich der Tracer, der beobachtet werden kann, ebenso verhält wie die zu verfolgende Komponente, deren Verhalten nicht leicht beobachtet werden kann (ÖNORM EN ISO 772: 2011). Die bekanntesten Umwelttracer sind die stabilen Isotope des Wassers, Sauerstoff-18 (^{18}O) und Deuterium (^2H), sowie das häufig zur Datierung benutzte Tritium (^3H) und der Radiokohlenstoff (^{14}C). Des Weiteren werden auch häufig Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW, CFC-11, CFC-12, CFC-113) und Schwefelhexafluorid (SF_6) als anthropogener Tracer verwendet.

Tritium (^3H): Tritium ist das radioaktive Isotop des Wasserstoffs. Tritium entsteht auf natürliche Weise vor allem in der STRATOSPHERE. Schnelle Protonen der kosmischen Strahlung bilden durch Spallation (Kernspaltung) teilweise direkt Tritium, vor allem aber sekundäre Neutronen, die in der Stratosphäre und oberen Troposphäre in Reaktionen mit Stickstoff Tritium bilden. Bedeutung als Umwelttracer erlangte das Tritium durch den Eintrag während der oberirdischen thermonuklearen Wasserstoffbombentests in den 50er und 60er Jahren des letzten Jahrhunderts. Die Konzentration von Tritium wird gewöhnlicherweise in der Einheit „Tritium Einheit“ (TE) angegeben, wobei eine TE einem Tritiumatom in 10^{18} gewöhnlichen Wasserstoffatomen entspricht. Die aus 1 TE resultierende Radioaktivität ist gleich 0,118 Bq/L. Das Tritium zerfällt über einen β^- Zerfall zu ^3He mit einer Halbwertszeit von 12,32 Jahren (Lucas & Unterwiesing, 2000).

ungesättigte Zone: Boden- oder Gesteinsbereiche, in denen die Hohlräume nicht vollständig mit Wasser gefüllt sind (ÖNORM B 2400: 2015).

Verweildauer in der gesättigten Zone: Zeitspanne vom Eintritt eines Wassers in das Grundwasser (Aquifer) und seinem Austritt aus diesem.

11 KONTAKTE

Dr. Martin Kralik

Umweltbundesamt GmbH
Abteilung Grundwasser
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien
Telefon. +43 1 31304 3546
Email: martin.kralik@umweltbundesamt.at

Dr. Ralf Benischke

JOANNEUM RESEARCH
Elisabethstraße 18/II
8010 Graz
Telefon: +43 316 876-1360
Fax: +43 316 8769-1360
Email: ralf.benischke@joanneum.at

Dr. Stefan Wyhlidal

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Konrad Lorenz Strasse 24
3430 Tulln
T +43(0) 50550-3615
Email: stefan.wyhlidal@ait.ac.at

Dr. Rudolf Philippitsch

Abteilung IV/3: Nationale und internationale Wasserwirtschaft
Marxergasse 2, 1030 Wien
Telefon: +43 1 71100 7118
Email: rudolf.philippitsch@bmlfuw.gv.at

Dipl.-Ing. Dr. Heike Brielmann

Umweltbundesamt GmbH
Abteilung Grundwasser
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien
Telefon. +43 1 31304 3546
Email: heike.brielmann@umweltbundesamt.at



**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH**

bmlfuw.gv.at

FÜR EIN LEBENSWERTES ÖSTERREICH.

UNSER ZIEL ist ein lebenswertes Österreich in einem starken Europa: mit reiner Luft, sauberem Wasser, einer vielfältigen Natur sowie sicheren, qualitativ hochwertigen und leistbaren Lebensmitteln.

Dafür schaffen wir die bestmöglichen Voraussetzungen.

WIR ARBEITEN für sichere Lebensgrundlagen, eine nachhaltige Lebensart und verlässlichen Lebensschutz.



**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWEERTES
ÖSTERREICH**