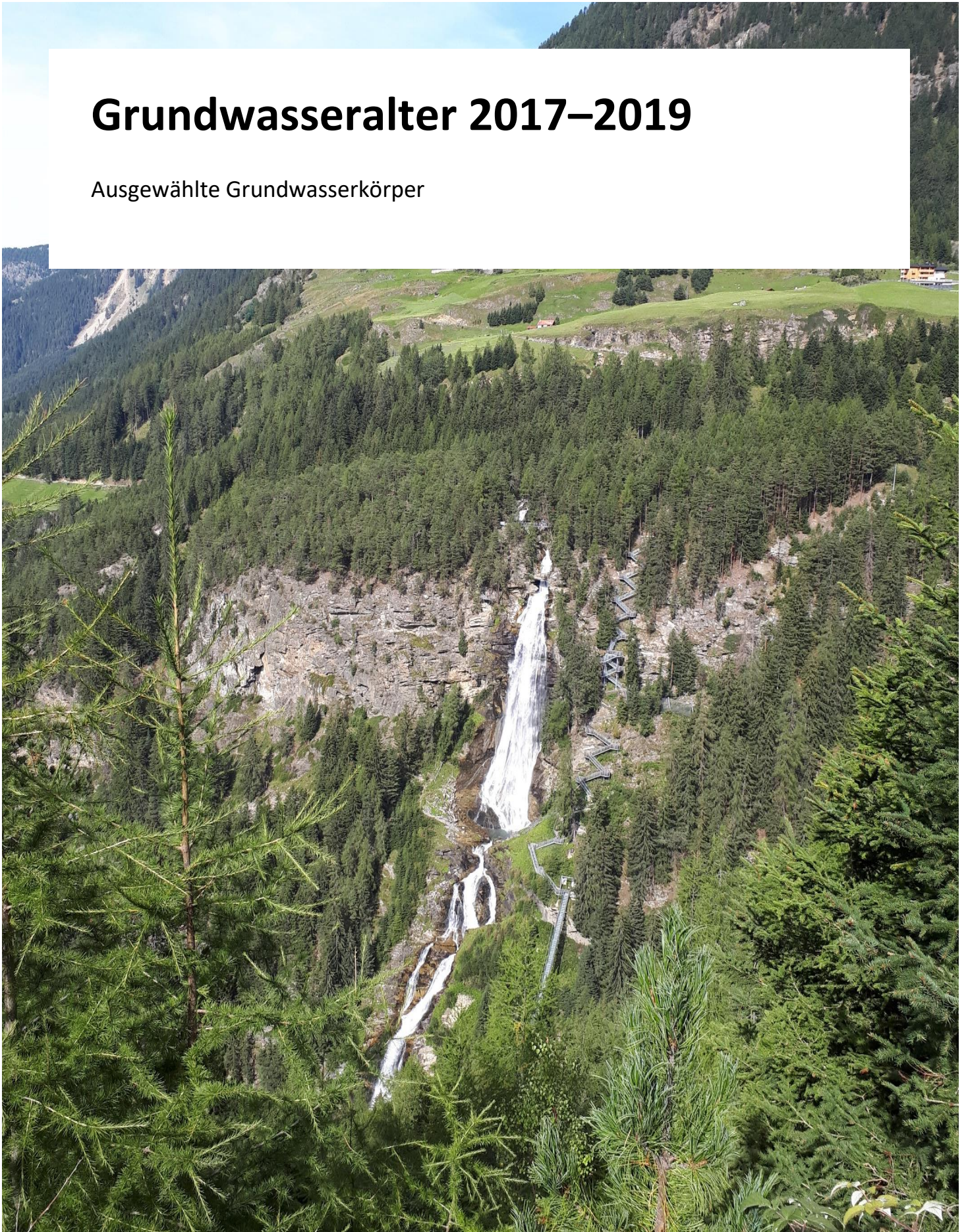


Grundwasseralter 2017–2019

Ausgewählte Grundwasserkörper



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus

Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren, Gesamtumsetzung: Franko Humer, Heike Brielmann, Uta Wemhöner, Christina Schartner

Fotonachweis/Copyright Fotos (©/Quellenangaben jeweils auch im Alternativtext vermerkt): Stuibenfall im Ötztal, Elisabeth Stadler, Umweltbundesamt (Titelbild); Lamprechtsofen, Elisabeth Stadler, Umweltbundesamt (S. 7); Probenahme, Rudolf Philippitsch (S. 15); Drautal, Günter Eisenkölb, Umweltbundesamt (S. 27); Gailtal, Rudolf Philippitsch (S. 43); Dohlenkrebs, Rudolf Philippitsch (S. 44); Bodensee, Elisabeth Stadler, Umweltbundesamt (S. 55); Gail, Uta Wemhöner, Umweltbundesamt (S. 57); Talebene, Sabine Janesch (S. 65); Wasserspiegelung, Elisabeth Stadler, Umweltbundesamt (S. 79); Grünsee, Rudolf Philippitsch (S. 86); Drautalebene, Elisabeth Stadler, Umweltbundesamt (S. 93); Förolacher Stollen, Rudolf Philippitsch (S. 100); Karawanken, Elisabeth Stadler, Umweltbundesamt (S. 105)

Wien, 2020. Stand: Februar 2020

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an service@bmlrt.gv.at.

Inhalt

1 Einleitung	6
2 Methodik	9
2.1 Mittlere Verweilzeiten	9
2.2 Bestimmung von Mittleren Grundwasserverweilzeiten	12
2.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium (² H).....	14
2.2.2 Tritium (³ H)	18
2.2.3 Tritium/Helium-3	21
2.3 Umfang und Art der Untersuchungen	25
3 Drautal [DRA] (Tiroler Anteil)	27
3.1 Überblick.....	27
3.2 Ergebnisse	30
3.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium	30
3.2.2 Tritium/Helium-3	33
3.3 Diskussion – Ergebnis.....	35
4 Gailtal [DRA]	43
4.1 Überblick.....	43
4.2 Ergebnisse	45
4.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium	45
4.2.2 Tritium/Helium-3	49
4.3 Diskussion – Ergebnis.....	52
5 Krappfeld [DRA]	65
5.1 Überblick.....	65
5.2 Ergebnisse	67
5.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium	67
5.2.2 Tritium/Helium-3	70
5.3 Diskussion – Ergebnis.....	73
6 Südliche Kalkalpen [DRA]	86
6.1 Überblick.....	86
6.2 Ergebnisse	89
6.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium	89
6.2.2 Tritium/Helium-3	92
6.3 Diskussion – Ergebnis.....	95
6.3.1 Karnische Alpen	97
6.3.2 Gailtaler Alpen	99

6.3.3 Karawanken	101
7 Literaturverzeichnis	108
7.1 Allgemein	108
7.2 Drautal [DRA]	110
7.3 Gailtal [DRA].....	110
7.4 Krappfeld [DRA]	112
7.5 Südliche Kalkalpen [DRA].....	113
8 Abkürzungen	115
9 Kontaktinformationen zu den Autorinnen.....	118
10 Anhang: Gebietsbeschreibungen	119
10.1 Drautal [DRA] (Tiroler Anteil)	119
10.1.1 Allgemeines.....	119
10.1.2 Grundwasserkörpergrenzen	120
10.1.3 Überlagernde Schichten	120
10.1.4 Grundwasserleiter	121
10.1.5 Grundwasserbilanz	122
10.1.6 Grundwasser – Chemie und Monitoring	123
10.1.7 Anthropogene Einflüsse.....	124
10.1.8 Literatur	125
10.2 Gailtal [DRA].....	128
10.2.1 Allgemeines.....	128
10.2.2 Grundwasserkörpergrenzen	129
10.2.3 Überlagernde Schichten	129
10.2.4 Grundwasserleiter	130
10.2.5 Grundwasserbilanz	132
10.2.6 Grundwasser – Chemie und Monitoring	133
10.2.7 Anthropogene Einflüsse.....	133
10.2.8 Literatur	135
10.3 Krappfeld [DRA]	137
10.3.1 Allgemeines.....	137
10.3.2 Grundwasserkörpergrenzen	138
10.3.3 Überlagernde Schichten	138
10.3.4 Grundwasserleiter	139
10.3.5 Grundwasserbilanz	141
10.3.6 Grundwasser – Chemie und Monitoring	141
10.3.7 Anthropogene Einflüsse.....	142

10.3.8 Literatur	143
10.4 Südliche Kalkalpen [DRA].....	145
10.4.1 Allgemeines.....	145
10.4.2 Grundwasserkörpergrenzen	146
10.4.3 Überlagernde Schichten	147
10.4.4 Grundwasserleiter	148
10.4.5 Grundwasserbilanz	149
10.4.6 Grundwasser – Chemie und Monitoring	150
10.4.7 Anthropogene Einflüsse.....	150
10.4.8 Literatur	152
Tabellenverzeichnis.....	155
Abbildungsverzeichnis.....	156

1 Einleitung

Die bedeutenden Grundwasservorkommen in den Tal- und Beckenlagen in Österreich, die die wesentliche Ressource für die Trinkwasserversorgung, für Industrie und Gewerbe und für die landwirtschaftliche Bewässerung darstellen, können als „träge Systeme“ bezeichnet werden. Das bedeutet, dass sich das Grundwasser im Untergrund in der Regel langsam bewegt, der Erneuerungszeitraum Jahre bis Jahrzehnte umfasst und es daher lange dauert, bis Maßnahmen wirken, die auf eine Verminderung von Stoffeinträgen abzielen.

Eine wesentliche Kenngröße für die Wasserwirtschaft stellt das Grundwasser-Alter dar. Als Grundwasser-Alter oder korrekter die „mittlere Verweilzeit“ wird die mittlere Aufenthaltsdauer des Grundwassers im Untergrund bezeichnet. Sie umfasst den Zeitraum von der Versickerung des Niederschlags bis zur Förderung aus einem Brunnen oder bis zum Abfluss in einer Quelle.

In den Grundwasser-Alter-Berichten werden vom Umweltbundesamt im Auftrag des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT) Fachgrundlagen erarbeitet mit denen ein statistisch flächenhafter Überblick über die mittleren Verweilzeiten in den obersten genutzten Grundwasserstockwerken in Österreich gegeben wird.

Eine Abschätzung der Mittleren Verweilzeit (MVZ) des Grundwassers bzw. die Erkundung der natürlichen Gegebenheiten der Grundwasserkörper im Hinblick auf ihre Reaktionsgeschwindigkeit bzw. -trägheit ist mit Hilfe des Einsatzes von isotopehydrologischen Messungen (Sauerstoff-18, Tritium/Helium-3 etc.) und Spurengasen (FCKW, SF6 etc.) in Kombination mit hydrogeologischen Untersuchungen möglich, falls nicht weitreichende anthropogene Tritium-Kontaminationen wie beispielsweise aus Deponien oder Kläranlagen vorliegen.

Aufgrund unterschiedlich langer Verweilzeiten des Grundwassers im Untergrund kann die Wirksamkeit von Maßnahmen, die den chemischen Zustand des Grundwassers verbessern sollen, nicht sofort gemessen werden. Für die Evaluierung muss ein entsprechender Zeithorizont berücksichtigt werden. In den Grundwasseralter-Berichten wird ein statistisch

flächenhafter Überblick über die mittleren Verweilzeiten in den obersten genutzten Grundwasserstockwerken in Österreich gegeben.

Diese Informationen sind eine wichtige Grundlage für wasserwirtschaftliche Fragestellungen – wie z.B. für die Unterstützung bei der Abschätzung des Zeithorizontes, innerhalb dessen Maßnahmen im Grundwasserkörper messbar werden können. Darauf nimmt auch die EU Wasserrahmenrichtlinie in ihren Ausnahmeregelungen für die Fristen der Zielerreichung Rücksicht.

Überdies liefert die Abschätzung der Mittleren Verweilzeiten eine Evaluierung der hydrogeologischen Konzepte der Grundwasserkörper, z.B. in Bezug auf die Interaktion zwischen Oberflächengewässern und dem Grundwasser oder die Höhe von Einzugsgebieten, was wiederum eine Basis für praktische Umsetzungen wie Einrichtungen und Bemessungen von Wasserschutzgebieten, Festlegung von Entnahmekonsensmengen etc. darstellen kann.



Wasserüberlauf im Lamprechtsofen, Salzburg

Ausgehend von der wasserwirtschaftlichen Bedeutung der Grundwasserkörper wurden – unter Berücksichtigung der bereits im Rahmen der bisherigen Grundwasseralter-Projekte bearbeiteten Grundwasserkörper – die nachfolgend angeführten Grundwasserkörper in das gegenständliche Projekt aufgenommen. Die Probenahmen erfolgten im Zeitraum 2. Quartal 2017 bis einschließlich 1. Quartal 2018.

Tabelle 1: Ausgewählte Grundwasserkörper

GWK-Nr.	GWK-Bezeichnung	Dominierender Aquifertyp
GK100059	Draultal [DRA] (Tiroler Anteil)	Porengrundwasserleiter
GK100060	Gailtal [DRA]	Porengrundwasserleiter
GK100064	Krappfeld [DRA]	Porengrundwasserleiter
GK100077	Südliche Kalkalpen [DRA]	Karstgrundwasserleiter

Anmerkung: GWK ... Grundwasserkörper

Quelle: Umweltbundesamt

Ein Gesamtüberblick über die Ergebnisse aus bisherigen Grundwasseralter-Studien und eine Grundwasseralter-Karte im Maßstab von 1:500.000 mit Mittleren Verweilzeiten in ausgewählten Grundwasserkörpern ist in einem eigenen zusammenfassenden Bericht auf der Internetseite des BMLRT unter: [Wasserqualität und Gewässerschutz / Grundwasseralter – Bericht und Karte](#) abrufbar. Details sind den jeweiligen Endberichten zu entnehmen.

2 Methodik

Voraussetzung für die richtige Einordnung der erzielten Abschätzungen des Wasseralters an den untersuchten Grundwassermessstellen ist das Verständnis für das Konzept der Mittleren Verweilzeit (MVZ) sowie für die Aussagekraft und Einschränkungen der verwendeten Untersuchungsmethoden. Diese werden im Folgenden kurz dargelegt.

2.1 Mittlere Verweilzeiten

Als Mittlere Verweilzeit (MVZ) wird die mittlere Aufenthaltsdauer des Wassers im Untergrund vom Zeitpunkt der Infiltration bis zum Abfluss in einer Quelle oder der Förderung in einem Brunnen bezeichnet. Sie ist von

- den topographischen Gegebenheiten,
- der Durchlässigkeit des Untergrundes,
- den hydrologischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Probenahme und
- dem Ausbau der beprobten Messstelle abhängig.

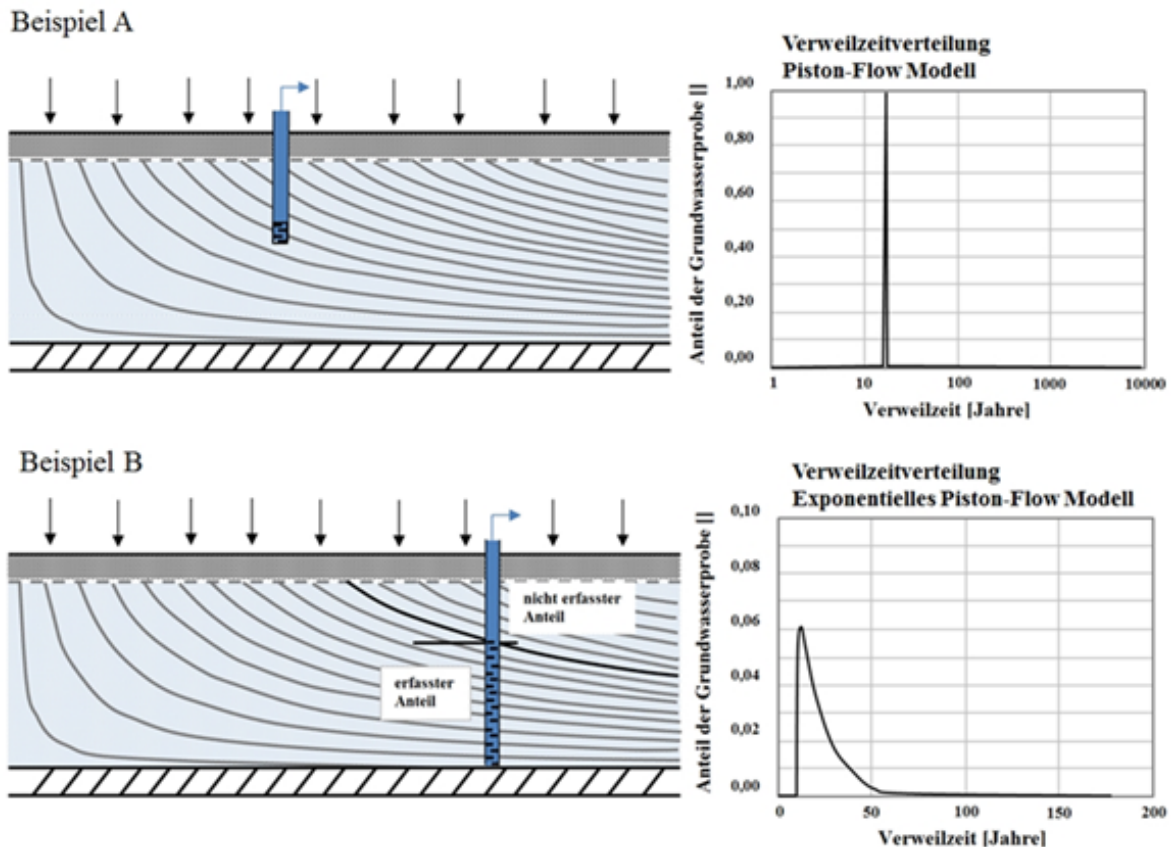
Wegen der heterogenen Natur des Bodens, der ungesättigten Zone und des Grundwasserleiters und der Mischung von Wässern mit unterschiedlicher Verweildauer – insbesondere an Messstellen mit langen Filterstrecken – handelt es sich in der Regel um **Verweilzeitverteilungen** (siehe Abbildung 1).

So ist es nicht weiter erstaunlich, dass schon allein durch die natürlich bedingten geologisch-hydrogeologischen Inhomogenitäten innerhalb ein und desselben zusammenhängenden Grundwasservorkommens, wie beispielsweise bedingt durch die unterschiedliche Bodenausbildung oder durch Wechsellagerungen von fein- und grobkörnigen Sedimenten, entsprechend unterschiedliche Grundwasseralter resultieren können.

Dieser Aspekt ist im Zusammenhang mit der Bewertung von Maßnahmenwirksamkeiten in Bezug auf die Grundwasserqualität, aber auch mit Blick auf wasserwirtschaftliche Fragen von besonderer Bedeutung, wenn man bedenkt, dass mit den etablierten Methoden zur Bestimmung Mittlerer Verweilzeiten in Grund- und Oberflächengewässern die jungen

Komponenten tendenziell überrepräsentativ erfasst werden, die langfristigen Komponenten aber häufig „übersehen“ werden.

Abbildung 1: Schematisches Diagramm idealisierter Bedingungen in einem Grundwasserleiter mit den entsprechenden Transferfunktionen und erwarteten Verweilzeitverteilungen



Anmerkung: Die eingezeichneten Fließlinien sind vereinfacht dargestellt und entsprechen nicht der korrekten Darstellung von Strömungslinien unter hydraulischen Gesichtspunkten.

Quelle: verändert nach Maloszewski & Zuber, 1982; Juergens et al., 2012

Erläuterungen zu Abbildung 1:

- Beispiel A zeigt die idealisierte Situation eines flachen, ungespannten Grundwasserleiters, in dem ein Beobachtungsbrunnen mit einer kurzen Filterstrecke installiert wurde. Das Niederschlagswasser infiltriert im Grundwasserneubildungsgebiet vertikal in den Boden, durch die ungesättigte Zone und fließt dann lateral zum Brunnen. Geht man davon aus, dass das infiltrierende

Niederschlagswasser ohne signifikante Beeinflussung durch Verteilungs- oder Mischungsprozesse entlang einer Grundwasserfließlinie quasi wie ein Paket vom Ort der Grundwasserneubildung zum kurzen Brunnenfilter transportiert wird, entspricht die Mittlere Verweilzeit nahezu dem Alter des Tracers (im Falle der Anwendung von Wasserisotopen also z.B. dem Tritium/Heliumalter).

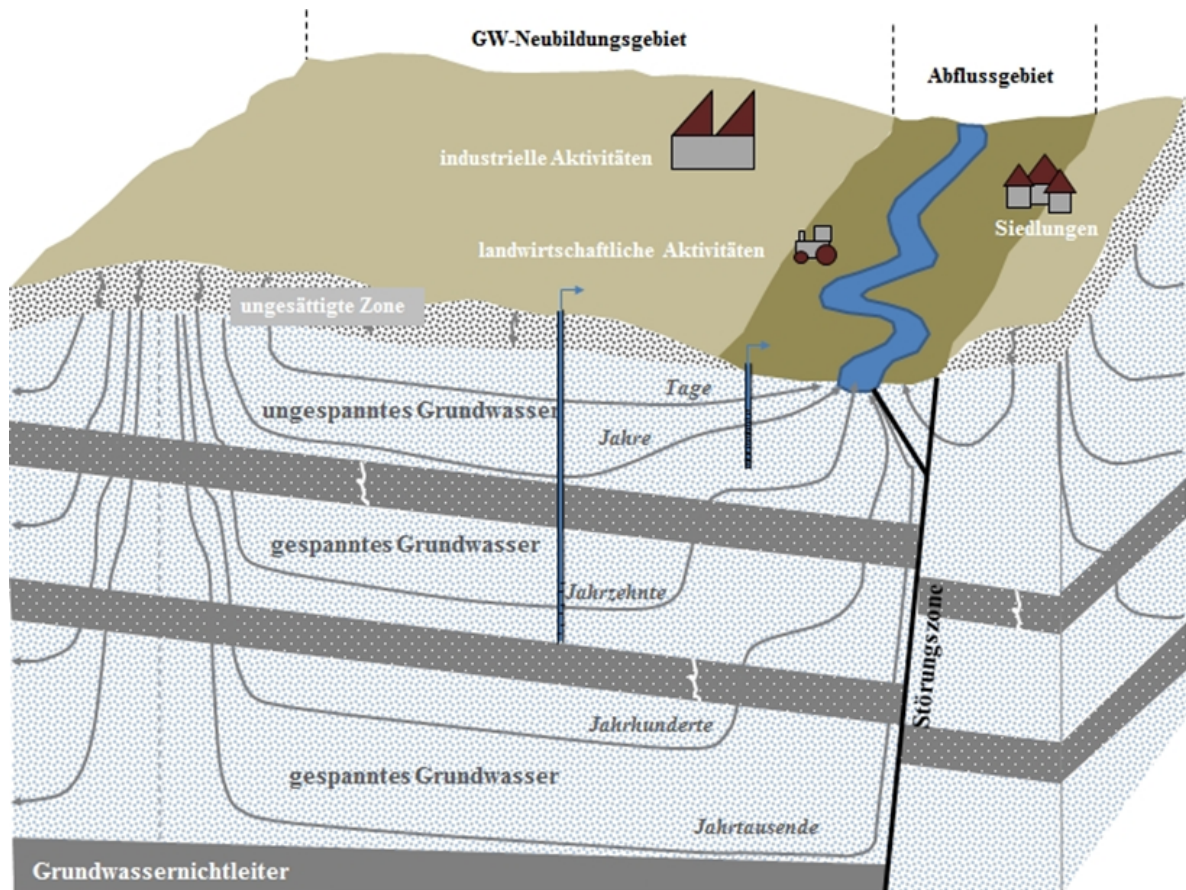
- In Beispiel B ist im gleichen Grundwasserleiter ein Brunnen mit deutlich längerer Filterstrecke installiert. Die Filterstrecke erfasst in diesem Fall nur den unteren Teil des Grundwasserleiters. Diese Situation ist z.B. charakteristisch für Wasserversorgungsbrunnen. Wiederum infiltriert das Niederschlagswasser im Grundwasserneubildungsgebiet vertikal in den Boden, durch die ungesättigte Zone und fließt dann lateral zum Brunnen. Die Verweilzeiten nehmen im Grundwasserleiter mit der Tiefe zu. Der Filterstrecke fließen also Wässer zu, deren Infiltration unterschiedlich lange zurückliegt.
- Durch den Brunnenausbau im unteren Bereich des Grundwasserleiters wird erst kürzlich infiltriertes Wasser (= sehr kurzen Verweilzeiten) nicht erfasst, es dominieren kurze bis mittlere Verweilzeiten, der Anteil von vor langer Zeit infiltriertem Wasser (= sehr lange Verweilzeiten) nimmt exponentiell ab. Während die Mittlere Verweilzeit des Wassers an diesem Brunnen durchschnittlich etwa 15 Jahre beträgt, bedeutet das gleichzeitig, dass ein signifikanter Anteil des an diesem Brunnen entnommenen Wassers deutlich jünger ist und ein nicht zu vernachlässigender Anteil deutlich älter.

Auch Beispiel B gibt eine idealisierte Situation wieder. In der Realität haben wir es:

- mit einer Vielzahl von topographischen Gegebenheiten zu tun, die z.B. zu einer erheblichen Verlängerung der Verweilzeiten in der ungesättigten Zone führen können;
- mit äußerst heterogenen Durchlässigkeiten im Untergrund zu tun. So können z.B. gut durchlässige Schottergrundwasserleiter nahezu undurchlässige Tonlinsen enthalten; Karst- und Kluftgrundwasserleiter sind durch unterschiedliche Wegigkeiten in Spalten, Klüften und der Gesteinsmatrix gekennzeichnet und
- mit wechselnden hydrologischen Bedingungen zu tun, die je nach Hoch- oder Niedrigwasserbedingungen zu jahreszeitlich völlig unterschiedlichen Verweilzeitverteilungen an einzelnen Grundwassermessstellen führen können.

Die mögliche Spannweite von Mittleren Verweilzeiten in Grundwassersystemen ist in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Spannweite von Grundwasserverweilzeiten in einem hydrogeologischen System



Quelle: verändert nach Kazemi et al. 2006

2.2 Bestimmung von Mittleren Grundwasserverweilzeiten

Eine etablierte Vorgehensweise zur Abschätzung von Mittleren Verweilzeiten in einem Grundwassersystem ist die Messung geeigneter Tracer im Niederschlags-, Grund- und Oberflächengewässer. Tracer sind Wasserinhaltsstoffe oder künstlich hinzugegebene Markierstoffe, mit denen sich das Fließverhalten von Grund- und Oberflächengewässern untersuchen lässt.

Die Auswertung der im Wasser gemessenen Tracerkonzentrationen mittels empirischer Funktionen, den sogenannten **Lumped Parameter Modellen** (Zuber, 1986; Amin & Campana, 1996; Maloszewski & Zuber, 1996), erlaubt die Abschätzung von Mittleren Wasserverweilzeiten. Dabei handelt es sich vereinfacht gesagt um Transferfunktionen, die alle Eigenschaften des Grundwasserleiters und deren Variationen zusammenfassen und mit deren Hilfe das Eingangssignal (die Tracerkonzentration im Niederschlag) und das Ausgangssignal (die Tracerkonzentration im Grund- oder Oberflächengewässer) über die „Stellschraube“ Mittlere Verweilzeit miteinander in Beziehung gesetzt wird. Anders gesagt, sind Eingangs- und Ausgangssignal in ausreichender Datenqualität verfügbar, kann die Mittlere Verweilzeit mit Hilfe dieser Transferfunktionen berechnet werden.

Die stabilen Wasserisotope Sauerstoff-18 (^{18}O) und Deuterium (^2H) sowie das Radionuklid Tritium (^3H) sind natürliche Bestandteile des Wassermoleküls und des Wasserkreislaufes und sind damit – mit allen bekannten Einschränkungen – sehr gut geeignete Tracer zur Bestimmung der Mittleren Verweilzeiten im Grundwasser.

Für umfassende Informationen zur Anwendung von Isotopen als Tracer in der Hydrosphäre wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen (Moser & Rauert, 1980; Kendall & McDonnell, 1998; Cook & Herczeg, 2000; Aggarwal et al., 2005).

Die Konzentrationen der Wasserisotope im Niederschlag werden österreichweit an zahlreichen Stationen im Rahmen des Isotopenmessnetzes ANIP (= Austrian Network of Isotopes in Precipitation) erfasst (ANIP 2018). Das Isotopenmessnetz ist ein Sondermessprogramm entsprechend § 28 und Anlage 12 der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV 2006 i.d.g.F.). Damit steht österreichweit fast flächendeckend das Eingangssignal zur Abschätzung von Mittleren Verweilzeiten in Grund- und Oberflächengewässern zur Verfügung.

Die im Rahmen der GZÜV erhobenen Daten sind über das Wasser-Informationssystem Austria (WISA) auf der Homepage des Umweltbundesamtes (www.umweltbundesamt.at) über die H₂O-Fachdatenbank abrufbar.

Grundlagen der Isotopenhydrologie können dem Bericht zur Wasserisotopenkarte Österreichs entnommen werden, der auf der Homepage des BMLRT unter Wasserqualität und Gewässerschutz (www.bmlrt.gv.at) zur Verfügung steht.

Folgende Methoden kamen im vorliegenden Projekt im Einzelnen zur Anwendung (Kapitel 2.2.1 – 0):

2.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium (^2H)

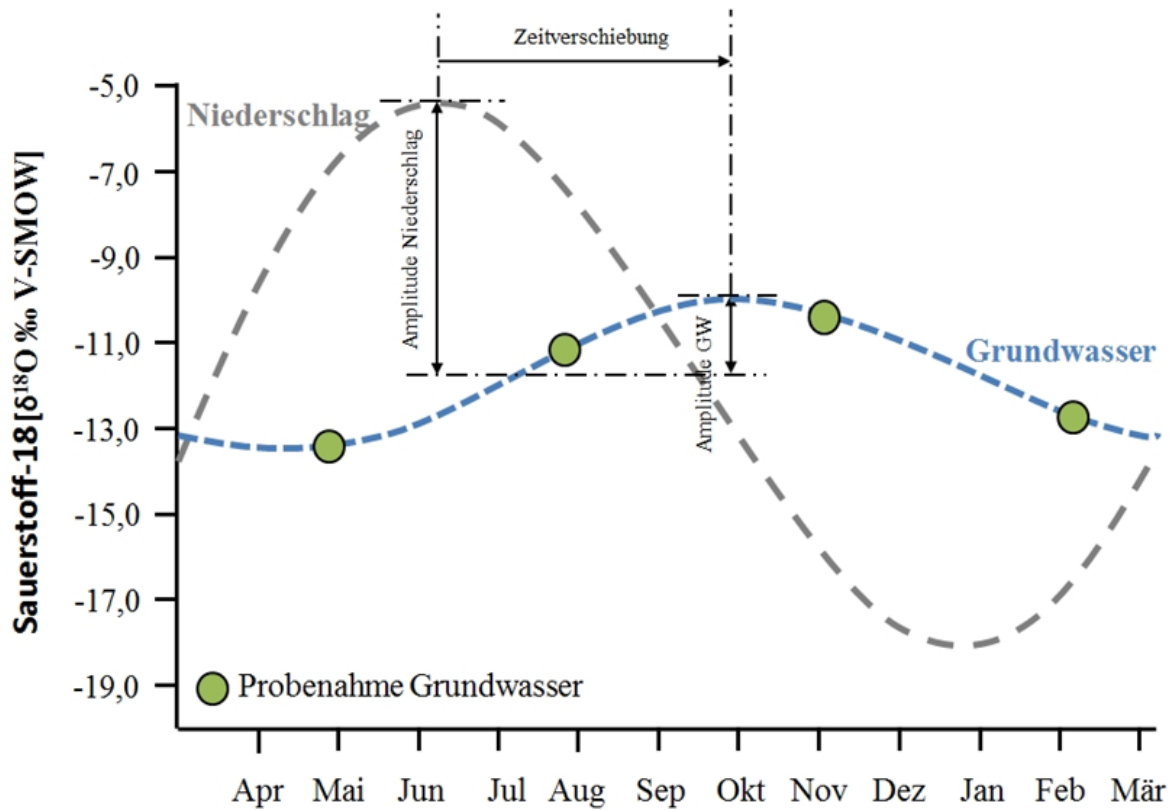
Bei der Analyse von Sauerstoff-18 und Deuterium wird nicht der absolute Gehalt bestimmt, sondern das Verhältnis vom seltenen (schweren) zum häufigeren (leichten) Isotop ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ bzw. $^2\text{H}/^1\text{H}$) im Wassermolekül in Bezug auf einen international anerkannten Referenzstandard (Vienna Standard Mean Ocean Water: V-SMOW). Die Abweichung des Isotopenhäufigkeitsverhältnisses der Probe gegenüber dem Standard erfolgt als Delta-Notation und wird in Promille (‰) angegeben, d.h. als $\delta^{18}\text{O}$ ‰ V-SMOW und $\delta^2\text{H}$ ‰ V-SMOW.

Die charakteristische Saisonalität der stabilen Wasserisotope Sauerstoff-18 und Deuterium im Niederschlag erlaubt die Bestimmung kurzer Mittlerer Verweilzeiten im Bereich bis zu maximal fünf Jahren. Bei dieser Methode werden die saisonalen Schwingungen (Amplituden) des Isotopensignals von Sauerstoff-18 oder Deuterium im Niederschlag mit denen des Grundwassers verglichen (Abbildung 3). Die Dämpfung der Niederschlagsamplitude und die Zeitverschiebung des saisonalen Niederschlagssignals im Grundwasser erlaubt die Abschätzung einer Mittleren Grundwasserverweilzeit mittels empirischer Funktionen (Amin & Campana, 1996; Maloszewski & Zuber, 1996) oder – wie im vorliegenden Projekt – über Näherungsformeln (Stichler & Hermann, 1983).

Die Qualität der Ergebnisse hängt davon ab, ob das gewählte Probenahmeintervall und die gewählten Probenahmezeitpunkte die saisonalen Schwankungen im Grundwasser hinreichend genau abbilden. Im vorliegenden Projekt lässt sich die quartalsbezogene Grundwasserprobenahme für Sauerstoff-18 mit vertretbarem Aufwand realisieren und erlaubt zumindest eine qualitative Abschätzung des Vorliegens einer jungen Grundwasserkomponente.

Wird das saisonale Isotopensignal durch andere Effekte überlagert oder verfälscht (z.B. durch Mischung von Quellwässern mit unterschiedlichen Verweilzeiten in einer Quelfassung oder die Veränderung des Niederschlagsisotopensignals während der Schnee- oder Gletscherschmelze und vor Infiltration in den Untergrund), ist die dargestellte Methode für eine Abschätzung von Mittleren Verweilzeiten ungeeignet bzw. mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Abbildung 3: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen den saisonalen Schwankungen der Sauerstoff-18-Konzentrationen im Niederschlag und im Grundwasser



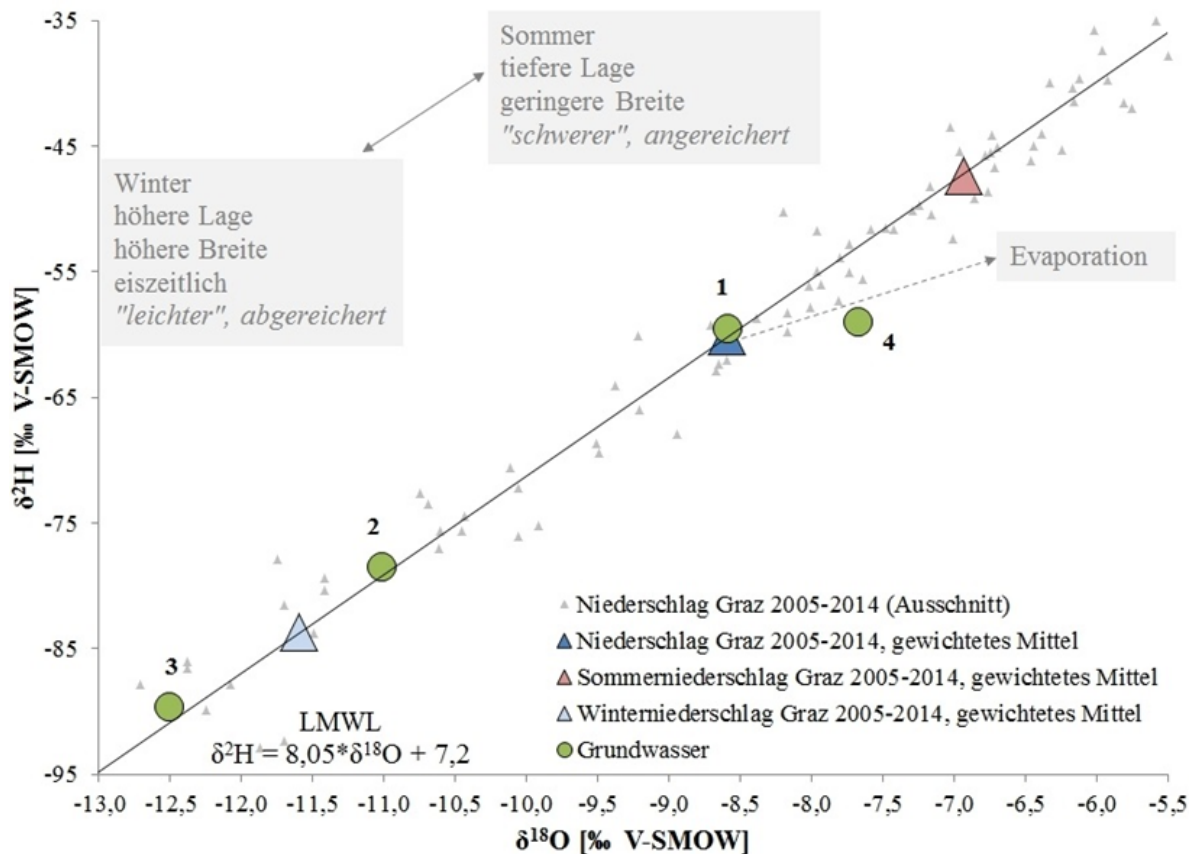
Quelle: Umweltbundesamt



Bei einer Wasserprobenentnahme

Weitere Rückschlüsse in Bezug auf die Grundwasserneubildung lassen sich aus der Darstellung der stabilen Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium der Grundwasserproben im Vergleich zur Niederschlagsgeraden der stabilen Wasserisotope ziehen (Abbildung 4).

Abbildung 4: Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte von Grundwasserproben im Vergleich zum Niederschlag in Graz (2005–2014)



Quelle: Umweltbundesamt

Die lokale Niederschlagsgerade (Local Meteoric Water Line, LMWL) der Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte spiegelt die Niederschlagsverhältnisse im Einzugsgebiet wider und dient als Referenzlinie. Die Lage von Grundwasserproben im Vergleich zur LMWL gibt Hinweise auf die Art und Weise der Grundwasserneubildung sowie auf Mischungs- und Verdunstungsprozesse.

In Abbildung 4 sind beispielhaft die Gehalte der stabilen Wasserisotope von vier Grundwasserproben im Vergleich zu der lokalen Niederschlagsgeraden von Graz dargestellt. Folgende Informationen lassen sich dieser Abbildung entnehmen:

Erläuterung zu Abbildung 4:

- Grundwasserprobe 1 liegt nahe dem mehrjährigen gewichteten Niederschlagsmittel von Graz. Winter- und Sommerniederschläge scheinen in gleichem Maße zur Grundwasserneubildung beizutragen. Die mittlere Einzugsgebietshöhe der Grundwassermessstelle entspricht in etwa der Höhenlage der Niederschlagsmessstelle von Graz.
- Grundwasserprobe 2 weist deutlich abgereicherte – man spricht auch von „leichteren“ – Isotopengehalte auf. Diese werden durch stärker negative $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Werte wiedergegeben. Entweder tragen hier isotopisch leichtere Winterniederschläge überproportional zur Grundwasserneubildung bei oder das Einzugsgebiet der Grundwassermessstelle liegt deutlich höher als die Niederschlagsmessstelle. Isotopengehalte nehmen aufgrund von Temperatureffekten im Allgemeinen mit der Höhe ab, d.h. Niederschläge in höheren Lagen sind isotopisch abgereichert („leichter“), weisen also stärker negative $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^2\text{H}$ -Werte auf.
- Grundwasserprobe 3 weist sogar deutlich „leichtere“ Isotopengehalte auf als das mehrjährige gewichtete Niederschlagsmittel im Winter. Dies kann z.B. ein Hinweis darauf sein, dass das Grundwasser aus eiszeitlicher Neubildung stammt, also zu Zeiten mit deutlichen niedrigeren Durchschnittstemperaturen als derzeit in den Untergrund infiltriert ist. Ob es sich tatsächlich um sogenanntes „Paläowasser“ handelt, lässt sich allerdings nur durch die ergänzende Untersuchung entsprechender Alterstracer (z. B. ^{14}C , ^{36}Cl) abklären.
- Probe 4 ist Grundwasser, welches vor der Infiltration in den Untergrund Verdunstungsprozessen unterlegen ist, die zu einer Anreicherung der stabilen Isotope im infiltrierenden Wasser geführt haben. Da diese Anreicherung proportional unterschiedlich für Sauerstoff-18 und Deuterium erfolgt, bilden sich durch Verdunstungsprozesse beeinflusste Wasserproben in der Regel entlang charakteristischer Evaporationslinien ab.

Die Daten sind natürlich im Kontext der geologischen bzw. hydrogeologischen Gesamtsituation zu interpretieren.

2.2.2 Tritium (^3H)

Neben den stabilen Wasserstoffisotopen Protium (^1H) und Deuterium (^2H) können Wassermoleküle auch das radioaktive und zugleich schwerste Wasserstoffisotop Tritium (^3H) enthalten. Tritium entsteht laufend natürlich in den höheren Schichten der Atmosphäre – bevorzugt in der unteren Stratosphäre und oberen Troposphäre – durch die Einwirkung kosmischer Strahlung auf Stickstoffatome. Aufgrund seiner Radioaktivität zeigt es in Wasser ein anderes Verhalten als die stabilen Isotope.

In der Hydrologie wird die Tritiumkonzentration in Tritium-Einheiten (TE) angegeben:

$$1 \text{ TE} = 1 \text{ Tritium-Atom } (^3\text{H}) \text{ pro } 10^{18} \text{ stabiler Wasserstoffatome } (^1\text{H} \text{ und } ^2\text{H})$$

Als physikalische Maßeinheit für die Tritiumaktivität fungiert das Becquerel. Ein Becquerel (Bq) entspricht einem Zerfall (Kernumwandlung) pro Sekunde. Für Wasser gilt folgende Beziehung:

$$1 \text{ TE} = 0,118 \text{ Bq/kg} \quad (\text{bzw. } 1 \text{ Bq/kg} \text{ entspricht } 8,47 \text{ TE})$$

In einem Liter Wasser mit 1 TE erfolgen 7,1 Zerfälle pro Minute.

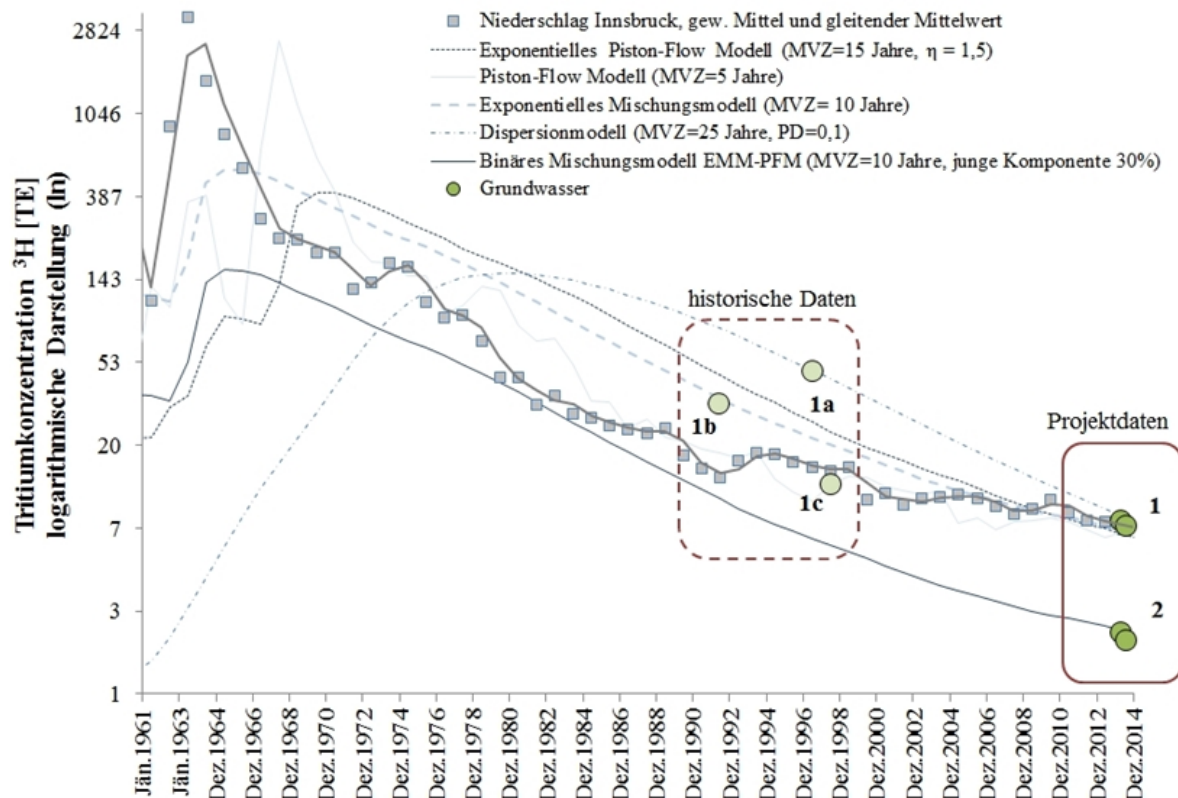
Erhöhte Tritiumfreisetzung durch die oberirdischen Kernwaffentests Anfang der 1960er Jahre und der anschließende Konzentrationsabfall von Tritium in der Atmosphäre führten zu einer charakteristischen Markierung von infiltrierendem Niederschlagswasser mit Tritium über die natürlichen Konzentrationen hinaus (siehe Abbildung 5, Niederschlag Innsbruck).

Durch den Vergleich des in einer Wasserprobe gemessenen Tritiumgehaltes (= Austragsfunktion) mit der Eintragsfunktion von Tritium im Niederschlag lässt sich unter Verwendung von Transferfunktionen, den sogenannten **Lumped Parameter-Modellen** (Maloszewski & Zuber, 1996), die Mittlere Verweilzeit des beprobten Grundwassers berechnen. Dazu werden Annahmen zur Altersverteilung an der untersuchten Messstelle aufgrund von hydrogeologischen Gegebenheiten getroffen (siehe Abbildung 1: Beispiel Piston-Flow Modell und Exponentielles Piston-Flow Modell und Abbildung 5) und der Zerfallsprozess von Tritium berücksichtigt.

Aufgrund der Abnahme der Tritiumgehalte im Niederschlag hin zu natürlichen Hintergrundkonzentrationen ($\sim 4\text{--}6$ TE) ist diese Methode zunehmend mit Unsicherheiten behaftet. Aus Abbildung 5 wird ersichtlich, dass die derzeit im Grundwasser erhobenen Tritiumkonzentrationen für eine zuverlässige Bestimmung von Mittleren Verweilzeiten nicht ausreichen.

Für die Tritiumwerte der Grundwasserprobe 1 zum Beispiel lässt sich eine Vielzahl von Transferfunktionen anpassen, die Bestimmung der Mittleren Verweilzeit ist mehrdeutig. Liegen jedoch historische Messdaten aus früheren Projekten vor (Grundwasserproben 1a, b und c), lassen sich die Mittleren Verweilzeiten des Grundwassers auf Basis von Tritium recht zuverlässig bestimmen.

Abbildung 5: Vergleich der Zeitreihe von Tritium im Niederschlag von Innsbruck und verschiedener modellierter Verweilzeitverteilungen mit exemplarischen Tritiumgehalten im Grundwasser



Anmerkung: MVZ = Mittlere Verweilzeit, η und PD sind Parameter der jeweiligen Modelle

Quelle: Umweltbundesamt

Erläuterungen zu Abbildung 5:

- Im vorliegenden Beispiel weist das durch die Proben 1 und 1b charakterisierte Grundwasser eine Mittlere Verweilzeit von zehn Jahren auf. Die hydrogeologischen Bedingungen an der Messstelle lassen sich durch ein Exponentielles Mischungsmodell beschreiben. Dabei nehmen die Grundwasseralter – einer logarithmischen Verteilung entsprechend – mit zunehmender Tiefe zu.
- Die Grundwasserprobe 2 kann durch ein Binäres Mischungsmodell beschrieben werden, bei dem die junge Grundwasserkomponente eine Mittlere Verweilzeit von zehn Jahren aufweist und ca. 30 % des Wassers in der beprobten Messstelle ausmacht. Die anderen 70 % des Grundwassers sind tritiumfrei und weisen damit eine Mittlere Verweilzeit unbekanntes Alters von zumindest > 60 Jahren auf.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Tritiumkonzentration des Niederschlags saisonalen Schwankungen unterliegt, mit niedrigen Tritiumkonzentrationen im Winter und höheren Tritiumkonzentrationen im Sommer.

Im vorliegenden Projekt wird aufgrund der genannten Einschränkungen bezüglich der Berechnung von Mittleren Verweilzeiten auf Basis von Tritium und dem überwiegenden Fehlen historischer Daten an den untersuchten Messstellen zusätzlich ^3He (Helium-3), das Zerfallsprodukt von Tritium, erfasst.

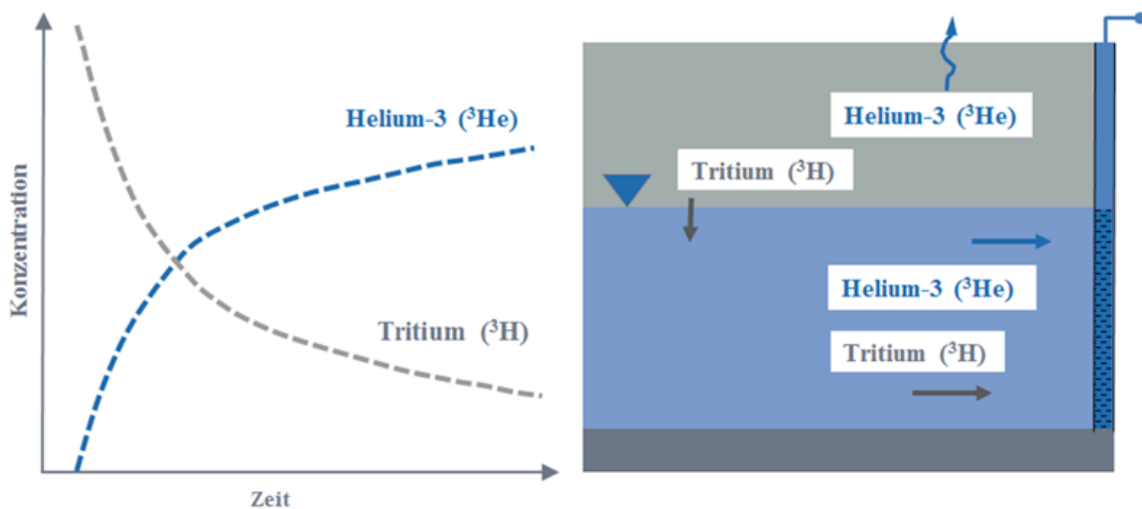
Tritium-Inputfunktionen wurden für die Niederschlagsstationen Sillian, Villach und Klagenfurt-Flughafen erstellt. Diese Stationen des GZÜV-Isotopenmessnetzes ANIP (Austrian Network of Isotopes in Precipitation) repräsentieren am besten die Niederschlagsbedingungen in den untersuchten Grundwasserkörpern. Dazu wurden niederschlagsgewichtete Tritiumjahresmittelwerte an den entsprechenden Stationen berechnet. Einzelne Lücken in den Datenreihen wurden durch lineare Interpolation geschlossen. Für den Zeitraum 1961–1973 wurden die Tritiumwerte der Station Wien – Hohe Warte herangezogen. Sie ist die in Österreich am längsten in Betrieb befindliche Station zur Erfassung von Tritium im Niederschlag.

2.2.3 Tritium/Helium-3

Die Bestimmung des $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Isotopenverhältnisses einer Wasserprobe ermöglicht eine Altersabschätzung auf Basis von Einzelmessungen. Tritium zerfällt mit einer Halbwertszeit von 12,32 Jahren zu $^3\text{He}_{\text{trit}}$ (tritiogenem Helium), dem leichten und seltenen Heliumisotop (Abbildung 6, linke Seite).

Heliumgas bleibt im Wasser gelöst, ist chemisch inert bzw. träge und reichert sich mit der Zeit an. Die Anreicherung beginnt allerdings erst in der gesättigten Zone, da Helium in der ungesättigten Zone durch Gasaustausch und Diffusion verloren geht (Abbildung 6, rechte Seite). Aus der Kenntnis des bereits zerfallenen Tritiums (= tritiogenes Helium) in Relation zum noch in der Probe befindlichen Tritium lässt sich die Bildungsdauer von Helium-3 ermitteln und für Verweilzeitbewertungen verwenden.

Abbildung 6: Tritium und sein Zerfallsprodukt Helium-3 (linke Seite). Verlust von Helium-3 in der ungesättigten Zone (rechte Seite)



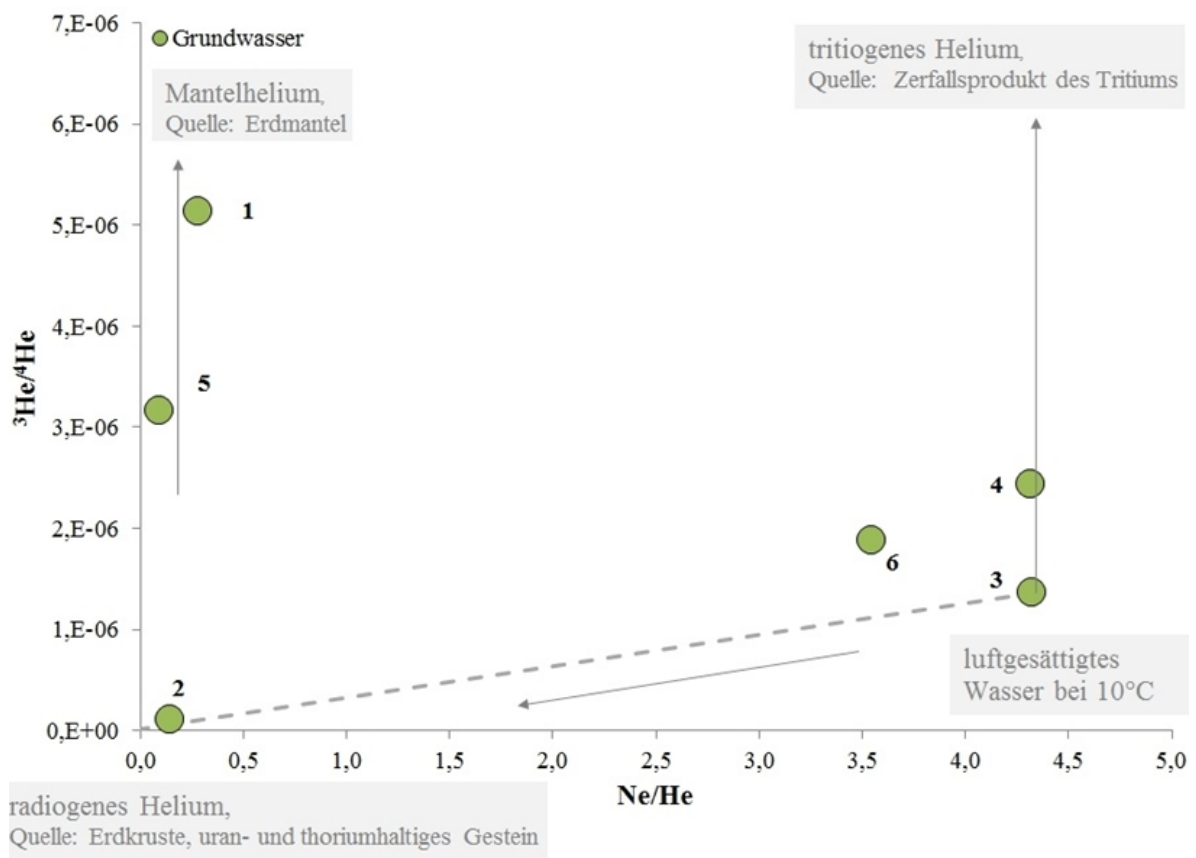
Quelle: Umweltbundesamt

Bei nennenswerten Mächtigkeiten der ungesättigten Zone (z.B. mehrere Zehnermeter) unterscheidet sich das Tritium-Helium-Alter deutlich von der Mittleren Verweilzeit, die auf Basis von Tritiummessungen (Kapitel 2.2.2) modelliert wird. Das ist bei der Interpretation der Daten zu berücksichtigen. Ebenso entspricht das Tritium-Helium-Alter bei Mischwässern nicht dem gewichteten Mittel der Verweilzeiten aller Grundwasserkomponenten.

Einige Unsicherheiten in Bezug auf die Tritium-Helium-Methode ergeben sich aus den möglichen zusätzlichen – unterschiedlich gut quantifizierbaren – Quellen von Helium im Grundwasser. Dabei handelt es sich um atmosphärische (1, 2) und geogene/terrigene (3, 4) Quellen. Eine Grundwasserprobe kann demzufolge neben dem im Gleichgewicht mit der Atmosphäre gelösten Helium (1) einen Luftüberschussanteil (2) enthalten, ebenso wie Helium aus dem Zerfall von uran- und thoriumhaltigen Gesteinen z.B. aus dem Bereich der Erdkruste (3) oder aufsteigendes Helium aus dem Bereich des Erdmantels (4).

Um die Unterscheidung der verschiedenen Heliumkomponenten zu ermöglichen, werden in der Wasserprobe zusätzlich Neonisotope analysiert. Für eine genaue Darstellung der Methodik sei an dieser Stelle auf Schlosser et al. (1988, 1989), Aeschbach-Hertig (1994) und Sültenfuss & Massmann (2004) verwiesen. Eine grafische Gegenüberstellung der $^3\text{He}/^4\text{He}$ - und der Ne/He -Isotopenverhältnisse wie in Abbildung 7 erlaubt die Unterscheidung der verschiedenen Heliumquellen.

Abbildung 7: Heliumkomponenten exemplarischer Grundwasserproben



Quelle: Umweltbundesamt

Die im vorliegenden Beispiel (Abbildung 7) dargestellten Isotopenverhältnisse sind wie folgt zu interpretieren:

- Das Grundwasser der Messstelle 1 ist durch eine Heliumkomponente aus dem Erdmantel beeinflusst. Mantelhelium ist z.B. im Bereich von vormals durch Basaltvulkanismus beeinflussten Gebieten zu erwarten.
- Das Grundwasser der Messstelle 2 ist durch eine radiogene Heliumkomponente beeinflusst. Radiogenes Helium stammt aus dem Zerfall von uran- und thoriumhaltigen Gesteinen z. B. im Bereich der Erdkruste und steigt entlang von Störungszonen mit entsprechenden Wegigkeiten auf.
- Das Grundwasser der Messstelle 3 entspricht der Heliumzusammensetzung von Wasser im Gleichgewicht mit der Luft bei 10°C.
- Das Grundwasser der Messstelle 4 enthält eine hohe Menge tritiogenen Heliums, welches aus dem Zerfall von „Bomben“-Tritium stammt.
- Das Grundwasser der Messstelle 5 ist durch die Mischung einer radiogenen Heliumkomponente mit einer Heliumkomponente aus dem Erdmantel beeinflusst.
- Das Grundwasser der Messstelle 6 ist durch die Beimischung von Mantelhelium gekennzeichnet. Es kann sich aber auch um Grundwasser handeln, welches sowohl eine radiogene Heliumkomponente als auch signifikante Mengen tritiogenen Heliums enthält.

Auch hier sind die Daten wiederum im Kontext der geologischen bzw. hydrogeologischen Gesamtsituation zu interpretieren.

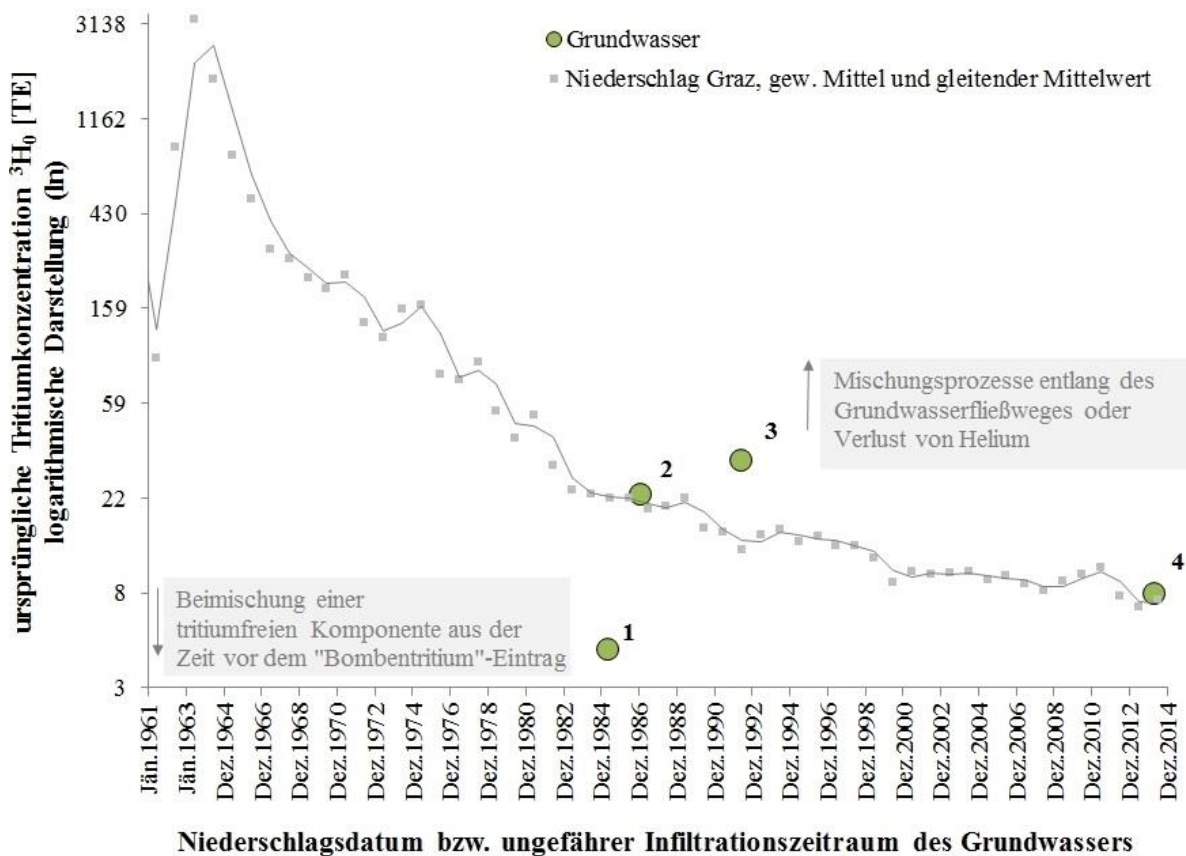
Die eigentliche Bestimmung des Tritium-Helium-Alters erfolgt auf Basis der in der Probe bestimmten Gehalte von Tritium und tritiogenem Helium mittels Transferfunktionen und unter Berücksichtigung des Zerfalls analog zur Berechnung auf Basis von Tritiumdaten (Kapitel 2.2.2).

Durch Kenntnis sowohl der Konzentrationen des Ausgangsproduktes (Tritium) als auch des Zerfallsproduktes (Helium) lassen sich mit der Tritium-Helium-Methode die Transferfunktionen auch auf Basis von Einzelmessungen hinreichend genau anpassen und Mittlere Verweilzeiten im Bereich < 50 Jahre zuverlässig bestimmen.

Die Qualität der Anpassung und Aussagekraft der auf diese Weise ermittelten Grundwasseralter kann anhand von Abbildung 8 überprüft werden. Hier wurden die Tritiumkonzentrationen des Niederschlags dem (auf Basis der Tritium-Helium-

Konzentrationen und des Piston-Flow Modells berechnetem) Infiltrationszeitpunkt des Grundwassers gegenübergestellt. Gibt es starke Abweichungen zwischen den Grundwasserproben und der Tritiumzeitreihe des Niederschlags, müssen die getroffenen Annahmen zu den hydrogeologischen Bedingungen an der Messstelle (Mischungs- und Verteilungsprozesse oder sonstige Beeinflussungen) angepasst und die entsprechenden Transferfunktionen für die Bestimmung der Mittleren Verweilzeit gewählt werden.

Abbildung 8: Zeitreihe der Tritiumkonzentrationen des Niederschlags in Graz (1961–2014) im Vergleich zu den unter Annahme von Piston-Flow-Bedingungen berechneten Infiltrationszeitpunkten der exemplarischen Grundwasserproben.



Quelle: Umweltbundesamt

Erläuterungen zu Abbildung 8:

- Die unter Annahme von Piston-Flow-Bedingungen berechneten Tritium-Helium-Alter bzw. Infiltrationszeiträume der Grundwasserproben 2 und 4 stimmen gut mit der

Zeitreihe von Tritium im Niederschlag überein, d.h. die ermittelten Grundwasseralter sind zuverlässig.

- Für die Grundwasserprobe 3 ist entweder von Mischungs- und Verteilungsprozessen entlang des Grundwasserfließweges auszugehen oder vom Verlust des Heliums z.B. in der ungesättigten Zone. Liegen ausreichende Informationen zu den hydrogeologischen Gegebenheiten im Umfeld der Messstelle vor, können entsprechende Annahmen zu den Fließbedingungen getroffen, geeignete Transferfunktionen ausgewählt und zuverlässige Mittlere Verweilzeiten berechnet werden.
- Das Grundwasser der Probe 1 ist durch die signifikante Beimischung einer tritiumfreien Grundwasserkomponente aus der Zeit vor dem „Bombentritium“-Eintrag gekennzeichnet. Da das Alter dieser Komponente in der Regel unbekannt ist, lässt sich die Mittlere Verweilzeit über die Größenordnung des Anteils der tritiumfreien Komponente abschätzen.

2.3 Umfang und Art der Untersuchungen

Die Bewertung der Mittleren Verweilzeit des Grundwassers erfolgte an jenen Messstellen, die im Rahmen der Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV 2006 i.d.g.F.) untersucht werden. Während bei jenen Grundwasserkörpern mit einer Messstellenanzahl kleiner 20 alle Messstellen ins Untersuchungsprogramm aufgenommen werden können, erfolgte bei jenen Grundwasserkörpern mit mehr als 20 Messstellen in Zusammenarbeit mit den KollegInnen der Ämter der Landesregierungen eine möglichst repräsentative Auswahl auf Basis der hydrogeologischen Rahmenbedingungen, hydrologischen Abschätzungen, Pegelwasserstände und der hydrochemischen Daten. Zusätzlich zu Grundwassermessstellen wurden für die Interpretation relevante Oberflächengewässer ausgewählt, an denen ebenfalls stichprobenartige Untersuchungen durchgeführt wurden.

Die Isotopenprobenahme erfolgte in Anlehnung an das GZÜV-Monitoringprogramm bis zu viermal pro Jahr durch die Probenehmer der GZÜV. Dadurch war es möglich, auf ressourcenschonendem Weg unterschiedliche hydrologische Bedingungen und die Dynamik des Grundwasserkörpers in einem Untersuchungsjahr zu erfassen. Die ausgewählten Grundwassermessstellen wurden im Zeitraum 2. Quartal 2017 bis einschließlich 1. Quartal 2018 beprobt.

Ausgehend vom Pilotprojekt Grundwasseralter hat sich für die Berechnung der Mittleren Verweilzeiten des Grundwassers folgende Beprobungsmethodik bewährt:

- 4x pro Jahr stabile Wasserisotope (Sauerstoff-18, Deuterium)
- 2x pro Jahr Tritium
- 1x pro Jahr Edelgasisotope (Helium, Neon)

Insbesondere die Abschätzung Mittlerer Grundwasserverweilzeiten auf Basis der Tritium/Helium-3-Methode ist bei Karst- und Kluftquellen aufgrund der Eigenschaften der Quelfassung häufig nur eingeschränkt möglich. Brunnenstuben, in denen erst nach dem Überlauf beprobt werden kann, führen durch Gasaustausch des Wassers mit der Atmosphäre zu unbrauchbaren Ergebnissen.

Für die Interpretation der Isotopendaten wurde relevante Literatur von den ausgewählten Grundwasserkörpern erhoben, ausgewertet und entsprechend zusammengefasst. Die dabei erstellten Gebietscharakterisierungen wurden mit den jeweiligen ExpertInnen aus den Bundesländern diskutiert und abgestimmt.

In Zusammenschau mit messstellenbezogenen Daten (z.B. Informationen zum Messstellenaufbau, Bohrprofile, hydrochemische Messwerte) wurden die Mittleren Verweilzeiten der Grundwassermessstellen bestimmt und in Form folgender Alterskategorien wiedergegeben:

- < 5 Jahre
- 5–10 Jahre
- 11–25 Jahre
- 26–50 Jahre
- > 50 Jahre

3 Drautal [DRA] (Tiroler Anteil)

3.1 Überblick

Die Drau entspringt in Südtirol, Italien, und fließt anschließend über Osttirol nach Kärnten. Von ihrer Quelle bis Lienz durchfließt sie das Pustertal bzw. Hochpustertal. Der ca. 15 km lange Talabschnitt zwischen Lienz und der Landesgrenze Tirol/Kärnten bildet den Tiroler Abschnitt des Grundwasserkörpers Drautal, das sich insgesamt über eine Länge von rund 130 km als schmales Band von Lienz bis Villach erstreckt.



Drautal, Blick vom Thurntaler nach Südwesten (Karnische Alpen und Sextener Dolomiten)

Der Tiroler Anteil des Grundwasserkörpers Drautal wird im Süden durch die Lienzer Dolomiten, im Westen durch das Deferegger Gebirge und im Norden durch die Schober- sowie die Kreuzeckgruppe und im Westen durch die südöstlichen Ausläufer der Deferegger Alpen (Platzer, 1968) begrenzt.

Mächtige Horizonte feinkörniger Sedimente mit grobkörnigen Einschaltungen prägen den sedimentären Aufbau des glazial übertieften Drautals. Es wechseln mehrmals grobkörnige, gut durchlässige Schichten mit sandig-schluffigen Lagen. Wasserwirtschaftlich nutzbare Grundwasservorkommen sind auf die oberen 50–60 m beschränkt. Die Grobschotter weisen besonders im westlichen Talbereich eine große Mächtigkeit auf. Auch der Grundwasserspiegel ist im westlichen Talbereich erst in einer Tiefe von etwa 15–20 m anzutreffen, so dass für diesen Bereich eine direkte Kommunikation zwischen Drau, Isel und dem Grundwasser auszuschließen ist.

Grundwasserstauend wirken Feinkornsedimente und das Grundgebirge, das vermutlich hauptsächlich aus kristallinen Gesteinen der Zentralzone besteht. Das Grundgebirge wird hier in mehreren hundert Meter unter der Geländeoberkante vermutet (Arndt & Bäk, 2005).

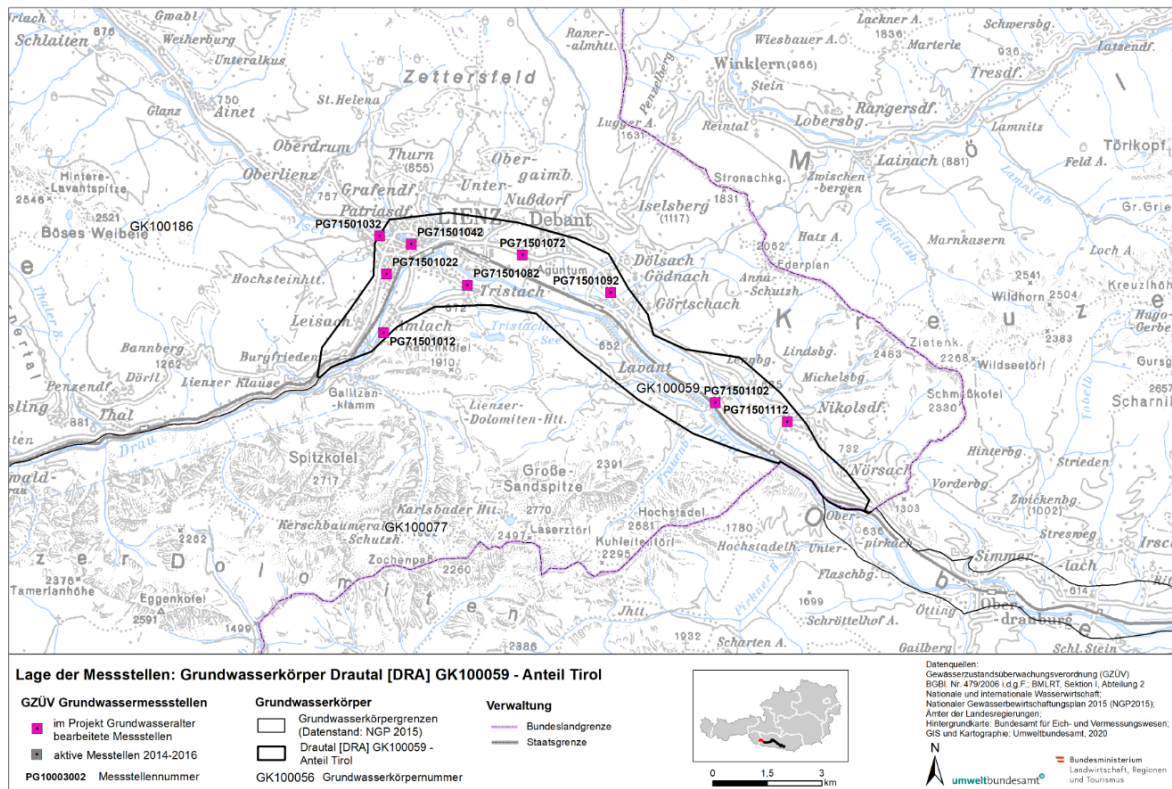
Gegen Osten bis Nikolsdorf und der Talverengung bei Nörsach nimmt der Flurabstand des Grundwassers rasch ab und der Anteil von Feinsedimenten zu. Auböden und oberirdische Gräben, die sogenannten „Lauen“, charakterisieren diesen Talbereich. Interaktionen zwischen der Drau und dem Grundwasser sind möglich.

Mündungsschotterkegel der aus den Hochgebirgen zuströmenden Seitenbäche prägen den Lauf der Drau und den Sedimentaufbau des Drautales. Auf der Nordseite sind hier der Mündungskegel der Schleinitz und des Zauchenbaches sowie der Debanter und Dölsacher Schotterkegel zu nennen. Im südlichen Teil des Tales ist der Schotterkegel von Lavant von Bedeutung (Anderle, 1954).

Zur Grundwasserneubildung des oberflächennahen Porengrundwasserkörpers Drautal trägt westlich aus dem Hochpuster- und Iseltal eindringendes Grundwasser bei. Gleichzeitig erfolgt ein erheblicher Grundwasserandrang aus dem Bereich der umgebenden Gebirgszüge, vor allem aus den Einzugsgebieten der Seitenbäche (Anderle, 1954). Zudem erfolgt Grundwasserneubildung dort, wo verkarstete Gesteine angrenzen, über unterirdische Anreicherung durch Karstwässer. Zusätzlich wird das Grundwasser durch lokal versickerndes Niederschlagswasser erneuert. Im westlichen Teil des Lienzer Beckens besteht aufgrund der Tiefenlage des Grundwasserspiegels kein Zusammenhang mit der Drau bzw. der Isel. Nach Osten hin nimmt die Entfernung zwischen Oberfläche und Grundwasserspiegel immer weiter ab, so dass im Bereich von Dölsach von Beeinflussungen des Grundwassers durch die Drau auszugehen ist.

Mögliche anthropogene Einflüsse auf das Grundwasser stellen unter anderem Wasserentnahmen, Bauwerke und Industrieanlagen sowie Deponien dar. Knapp 60 % der Fläche des Grundwasserkörpers werden landwirtschaftlich genutzt und rund 23 % der Fläche sind bebaut.

Abbildung 9: Übersichtskarte Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil) mit den ausgewählten GZÜV-Messtellen



Datenquelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.G.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

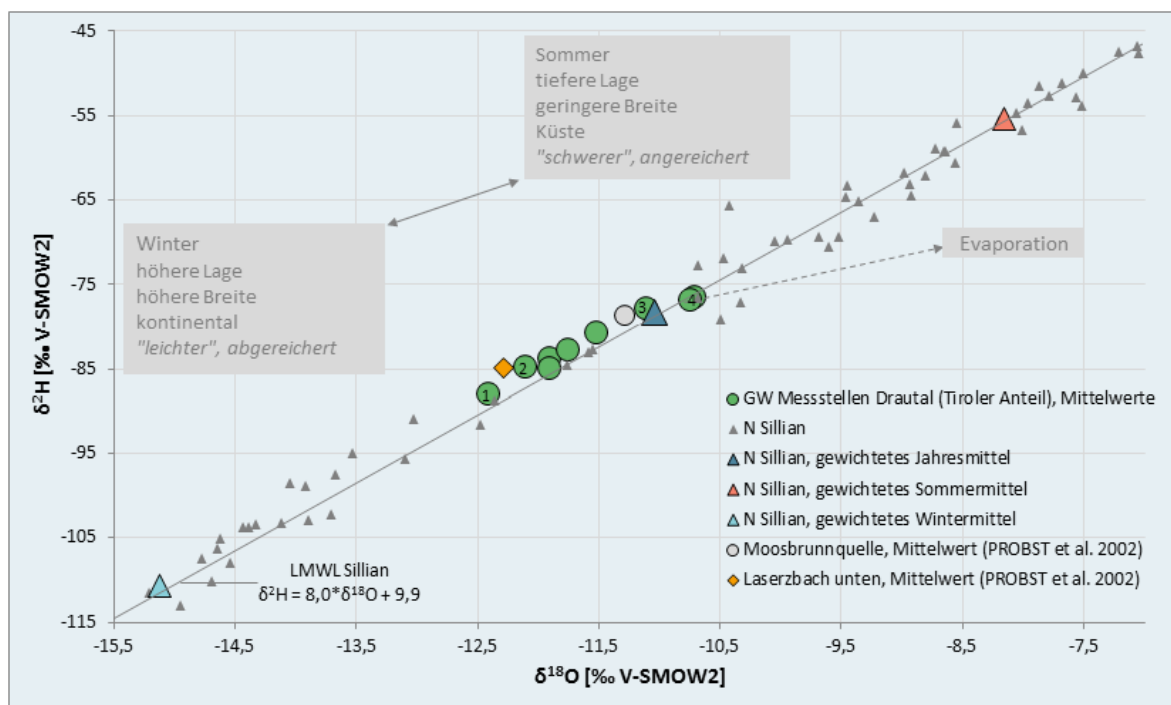
Insgesamt neun GZÜV-Grundwassermesstellen im Tiroler Anteil des Grundwasserkörpers Drautal [DRA] wurden hinsichtlich der Mittleren Verweilzeiten des Grundwassers untersucht (Abbildung 9). Eine detaillierte Beschreibung des Grundwasserkörpers ist im Anhang enthalten.

Die Ergebnisse für die untersuchten Messstellen im Kärntner Anteil des Grundwasserkörpers Drautal können dem Bericht Grundwasseralter 2015–2017 (BMLFUW, 2017) entnommen werden.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium

Abbildung 10: Mittelwerte der Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen des Grundwasserkörpers Drautal [DRA] (Tiroler Anteil) im Vergleich zu Moosbrunnquelle und Laserzbach sowie dem Niederschlag (N) in Sillian (2009–2017)



Anmerkungen: (1) PG71501042 (Lienz)
 (2) PG71501032 (Lienz)
 (3) PG71501112 (Nikolsdorf)
 (4) PG71501092 (Dölsach), PG71501022 (verdeckt) (Lienz)

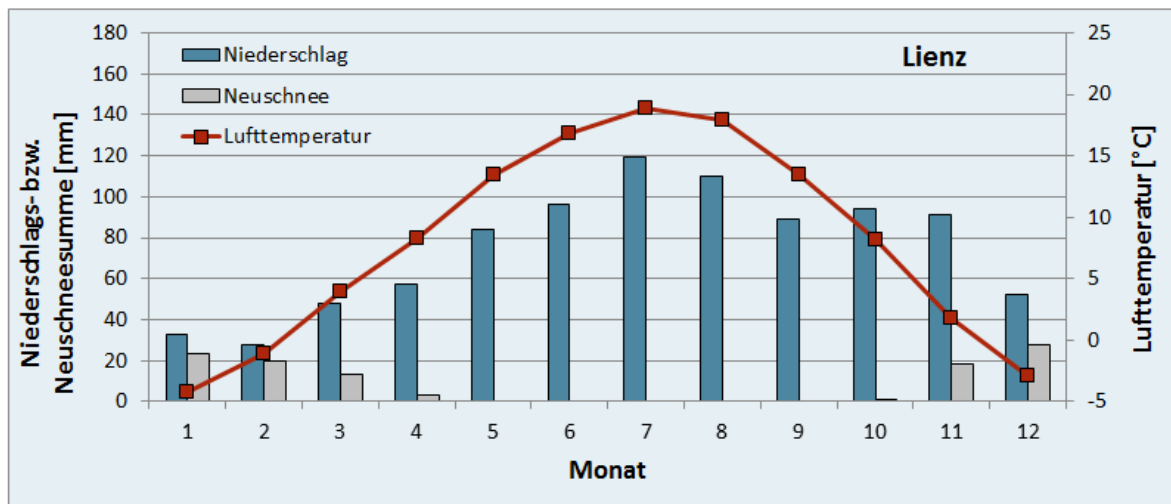
Quelle: Umweltbundesamt

Die graphische Gegenüberstellung der Sauerstoff-18 und Deuteriumkonzentrationen in den untersuchten Proben des Niederschlags der Messstation Sillian sowie der Grund- und Oberflächengewässer im Tiroler Anteil des Grundwasserkörpers Drautal [DRA] in Abbildung 10 erlaubt Rückschlüsse auf Bildungsbedingungen und Mischungsprozesse der lokalen Grundwasservorkommen.

Die Isotopenwerte der beprobten Grundwassermessstellen des Osttiroler Drautales liegen im Vergleich zur Lokalen Meteorischen Niederschlagsgeraden (LMWL) im Wesentlichen im Achsenabschnitt zwischen dem langjährigen gewichteten Jahresmittel des Niederschlages und dem gewichteten Mittel des Winterniederschlages von Sillian in Osttirol (Abbildung 10), d.h. im Vergleich zum gewichteten Jahresniederschlagsmittel sind die meisten Grundwässer tendenziell abgereichert („isotopisch leichter“).

Diese Verschiebung in Richtung abgereicherter Isotopenwerte ist in erster Linie auf die unterschiedliche Höhenlage der einzelnen Zustromgebiete des Grundwassers, aber auch auf die Bedeutung von Schneeschmelze und Winterniederschlägen für die Grundwasserneubildung zurückzuführen.

Abbildung 11: Klimamittelwerte der Station Lienz im Bezugszeitraum 1981–2010.



Niederschlag = mittlere monatliche Niederschlagssumme im Monat xy, Neuschnee = mittlere monatliche Neuschneesumme im Monat xy, Temperatur = mittlere monatliche Lufttemperatur im Monat xy.

Datenquelle: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/daten-download/klimamittel>

Beispielhaft sind zur Darstellung der klimatischen Bedingungen in Abbildung 11 die Klimamittelwerte der Station Lienz mit Niederschlagssummen, Lufttemperaturen und Neuschneemengen wiedergegeben.

So liegen die beiden Grundwassermessstellen mit den „leichtesten“ Sauerstoff-18- und Deuterium-Werten PG71501042 (-12,42 ‰ $\delta^{18}\text{O}$) und PG71501032 (-12,11 ‰ $\delta^{18}\text{O}$, beide im Stadtgebiet von Lienz) am westlichen Talrand des Lienzer Beckens noch vor der Mündung der Isel in die Drau. In diesem Bereich mächtiger Schotterablagerungen am Südufer der Drau mischen sich Grundwässer verschiedener, zum Teil sehr hoch gelegener Einzugsgebiete. Zu nennen sind etwa der Grundwasserandrang aus dem Iseltal, welches eine mittlere Einzugsgebietshöhe von etwa 2.200 m ü. A. aufweist, sowie der Grundwasserzustrom über den Schwemmkegel des Schleinitz- und Zauchenbaches (Schleinitzgipfel, 2.904 m ü. A.) sowie von der nordöstlichen Flanke von Hochstein und Schloßberg.

Für die Drau selbst ist in diesem Bereich auch von deutlich abgereicherten („leichten“) Sauerstoff-18- und Deuteriumverhältnissen auszugehen. So wurden an der weiter östlich gelegenen Fließgewässermessstelle Drau/Nikolsdorf im Rahmen zweier Beprobungen im Juli 2015 und Januar 2016 im Mittel -12,47 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -88,4 ‰ $\delta^2\text{H}$ gemessen.

Ein direkter Austausch zwischen dem Oberflächenabfluss der Isel und dem Grundwasser kann für die Messstellen aufgrund der Tiefenlage des Grundwasserspiegels (~15-20 m unter GOK) in diesem Bereich aber ausgeschlossen werden.

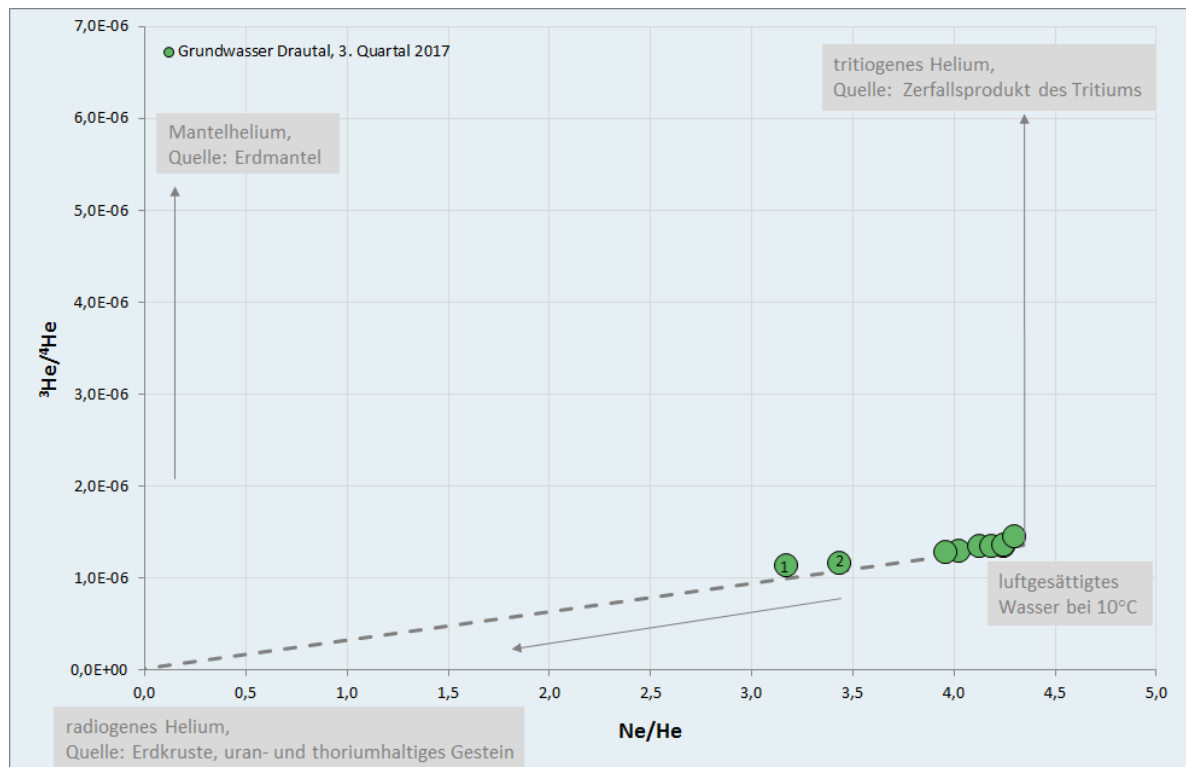
Vergleichsweise „schwere“, d.h. abgereicherte Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte sind beispielsweise für die Messstelle PG71501022 im Stadtgebiet von Lienz unterhalb der östlichen Flanke des Schlossberges zu verzeichnen. Eine Abschätzung der mittleren Höhe des Grundwasserneubildungsgebietes ergibt sich aus dem Vergleich mit der nächstgelegenen Niederschlagsstation des GZÜV-Isotopenmessnetzes Sillian, die bei einer Höhenlage von 1.075 m ü. A. ein gewichtetes Mittel von -11,04 ‰ V-SMOW für $\delta^{18}\text{O}$ und -78,3 ‰ V-SMOW für $\delta^2\text{H}$ aufweist. Basierend auf der Annahme, dass mit einer Höhenzunahme von 100 m der Sauerstoff-18-Wert um etwa 0,19 ‰ abnimmt (Hager & Foelsche, 2015), liegt die mittlere Höhe des Neubildungsgebietes des Grundwassers der Messstelle PG71501022 (mit einem mittleren $\delta^{18}\text{O}$ von -10,75 ‰ und einem $\delta^2\text{H}$ von -76,8 ‰) etwa auf 900 m und ist damit im Bereich der Almen am östlichen Hang des Schlossberges anzusiedeln.

Auch die im Einflussbereich des Schwemmkegel Dölsach gelegene Grundwassermessstelle PG71501092 ist durch Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte (-10,71 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -76,37 ‰ $\delta^2\text{H}$) in dieser Größenordnung gekennzeichnet und deutet auf ein Grundwasserneubildungsgebiet in vergleichbarer Höhenlage.

3.2.2 Tritium/Helium-3

Radiogene, tritiogene und Mantelkomponenten des Heliums im beprobten Grundwasser des Drautales können anhand der 3-Komponenten-Darstellung in Abbildung 12 unterschieden werden. Diese Differenzierung erlaubt weitere Rückschlüsse auf die Art und Weise der Grundwasserneubildung sowie unterirdische Wasserwegigkeiten.

Abbildung 12: Heliumkomponenten des Grundwassers bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil)



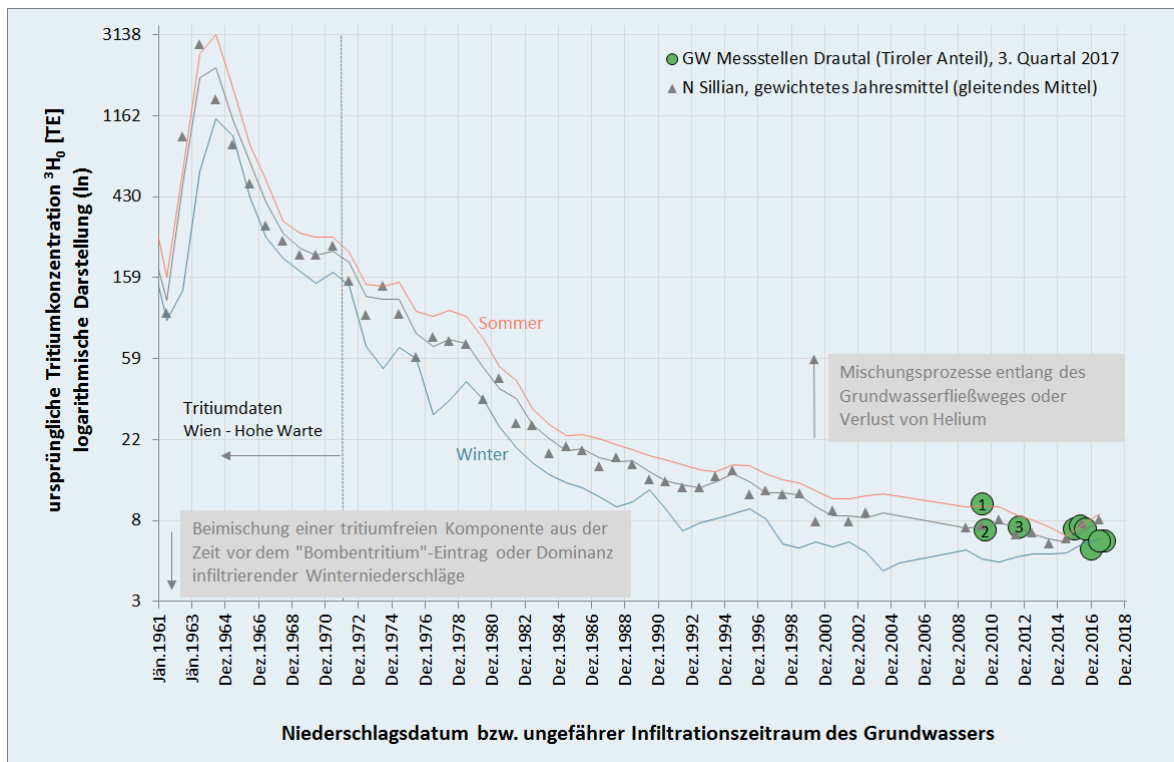
Anmerkungen: (1) PG71501072 (Lienz)
(2) PG71501112 (Nikolsdorf)

Quelle: Umweltbundesamt

Zwei Messstellen, PG71501072 in Lienz sowie PG71501112 in Nikolsdorf (Punkte 1 und 2 in Abbildung 12), weisen eine markante Beimischung von radiogenem Helium-4 sowie

kleineren Mengen tritiogenen Heliums auf. Einige weitere Grundwassermessstellen zeigen kleinere Beimischungen radiogenem Heliums, so z.B. die unmittelbar an der Drau gelegene Messstelle PG71501102 (Gemeinde Nikolsdorf), PG71501012 (Gemeinde Amlach) und PG71501032 (Stadtgebiet Lienz). Der Nachweis von radiogenem Helium wird häufig mit dem Auftreten von Störungszonen und/oder tieferer Zirkulation von Grundwasserkomponenten sowie dem Kontakt mit uran- und thoriumhaltigen Gesteinen in Verbindung gebracht. Die Drautal-Störung und das Iseltal-Störungssystem bieten im Lienz Becken die entsprechenden Wegigkeiten für das aufsteigende radiogene Helium.

Abbildung 13: Zeitreihe der Tritiumkonzentrationen des Niederschlags (N) in Sillian (1961–2017) im Vergleich zu den rekonstruierten Tritiumkonzentrationen der ausgewählten Grundwassermessstellen (GW) im Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil).



- Anmerkungen: (1) PG71501072 (Lienz)
 (2) PG71501092 (Dölsach)
 (3) PG71501112 (Nikolsdorf)

Quelle: Umweltbundesamt

Vier der untersuchten Messstellen (PG71501082/Tristach, PG71501022 und PG71501042 – beide Lienz, PG71501092/Dölsach) gruppieren nahe der Heliumzusammensetzung von

Wasser im Gleichgewicht mit der Atmosphäre und verweisen dementsprechend auf kürzlich infiltriertes Grundwasser ohne zusätzliche terrigene bzw. tritiogene Heliumkomponenten.

Die Tritiumgehalte des beprobten Grundwassers im Drautal spiegeln im Wesentlichen die Isotopenzusammensetzung der lokalen Niederschläge der letzten fünf bis zehn Jahre wider. Die Messstelle PG71501072 (Nußdorf-Debant) ist durch einen Tritiumgehalt oberhalb der Niederschlagszusammensetzung gekennzeichnet, was auf längere Verweilzeiten des infiltrierenden Wassers in der ungesättigten Zone hindeutet.

Generell ist anzumerken, dass die im Rahmen des österreichischen GZÜV-Isotopenmessnetzes erhobenen Tritiumgehalte des Niederschlags in den Stationen südlich des Alpenhauptkammes (z.B. Sillian, Villacher Alpe) niedriger liegen als nördlich des Alpenhauptkammes, bedingt durch die unterschiedliche Herkunft der Luftmassen. Südlich des Alpenhauptkammes überwiegt der Einfluss mediterraner Luftmassen, im Norden der Einfluss von Luftmassen atlantischen Ursprungs.

3.3 Diskussion – Ergebnis

Der gesamte Porengrundwasserkörper Drautal erstreckt sich über eine Länge von ca. 130 km als schmales, langes Band in West-Ost Richtung von Lienz in Osttirol (Bundesland Tirol) über Spittal bis nach Villach (Bundesland Kärnten). Die Breite schwankt zwischen 1 km und 2 km, die Fläche umfasst 214 km² (H₂O-Fachdatenbank 2018). Der Kärntner Anteil des Grundwasserkörpers Drautal wird ausführlich im Bericht Grundwasseralter 2015–2017 (BMLFUW, 2017) beschrieben.

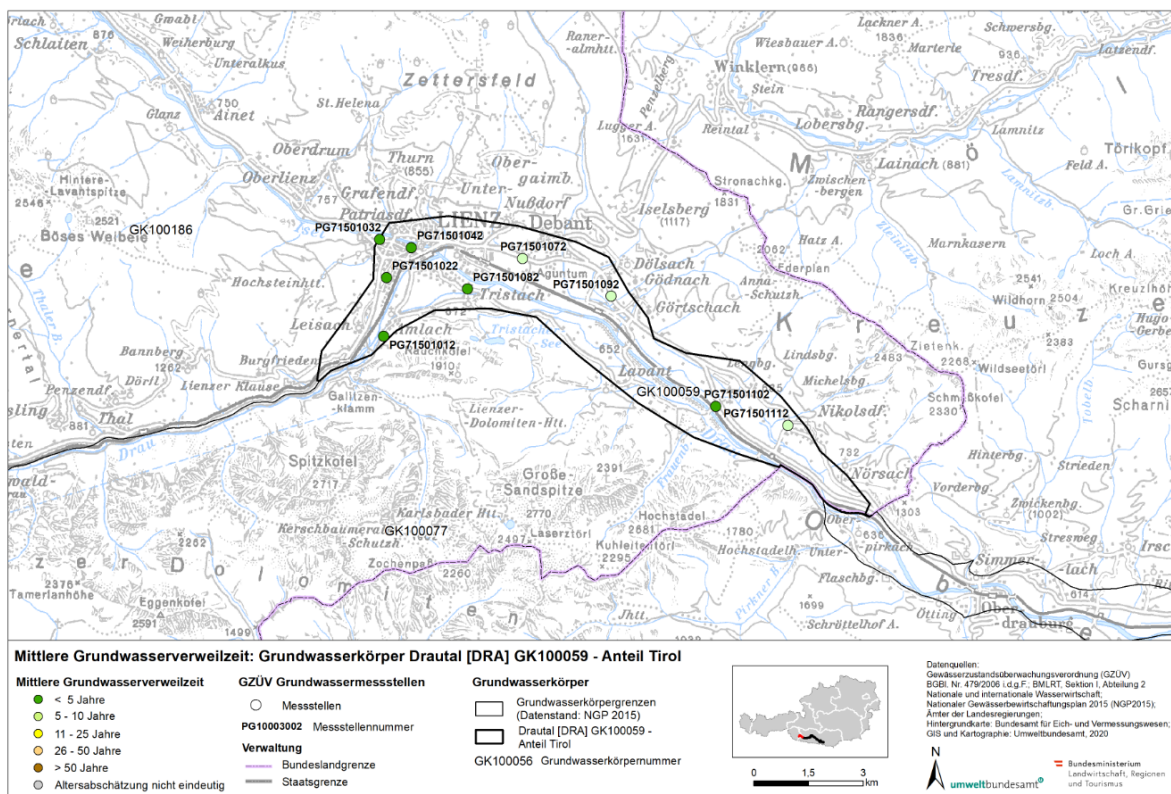
Der im vorliegenden Projekt untersuchte Tiroler Anteil des Grundwasserkörpers Drautal liegt auf einer durchschnittlichen Seehöhe von 665 m und umfasst das Lienzer Becken bis nach Nikolsdorf. Die Ausdehnung des Grundwasserkörpers beläuft sich auf eine Fläche von 33,8 km² mit einer West-Ost-Ausdehnung von rund 15 km und einer Nord-Süd-Ausdehnung von rund 8 km. Weniger als 25 % der Grundwasserkörperfläche weisen Deckschichten auf (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Im Westen ist das Tal durch die Vereinigung der Isel und der Drau gekennzeichnet, in deren Mündungsgebiet sich die Stadt Lienz befindet. Die Grundwasserverhältnisse des Lienzer Beckens sind unter anderem bei Anderle (1954) und Platzer (1968) beschrieben.

Die Grundwasserneubildung erfolgt durch Grundwasserandrang aus dem westlich gelegenen Drau- und Iseltal, durch Grundwasserzustrom aus den umgebenden Gebirgszügen sowie durch versickernde Niederschläge im Talbereich.

Die langfristige mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 1.092 mm mit einem Schwankungsbereich von 928 mm bis 1.280 mm (H₂O-Fachdatenbank 2018). Hohe Niederschlagsmengen fallen im Sommer aber auch im Herbst. Von Bedeutung für die Grundwasserneubildung ist aber vor allem die Schneeschmelze, die sich durch Grundwasserspiegelhochstände von April bis Juli/August bemerkbar macht. Ihren niedrigsten Stand erreichen die Grundwasserspiegelstände in den Wintermonaten, in denen der größte Anteil des Niederschlagswassers in der alpinen Schneedecke gespeichert ist.

Abbildung 14: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil)



Datenquelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

Hinsichtlich der beobachteten Beimischung von radiogenem Helium-4 ist u. a. der Einfluss tektonischer Störungssysteme in Betracht zu ziehen. Das Drautal wird in diesem Bereich sowohl durch die Drautalstörung als auch die Iseltalstörung beeinflusst.

Generell sind die untersuchten Grundwässer im Tiroler Anteil des Drautales aufgrund der hohen Durchlässigkeit und hohen Neubildungsraten in den höher gelegenen, das Lienzer Becken umgebenden, Grundwasserneubildungsgebieten durch vergleichsweise kurze Mittlere Verweilzeiten gekennzeichnet. Sechs der untersuchten Grundwassermessstellen weisen Mittlere Verweilzeiten von weniger als fünf Jahren auf, drei Messstellen fallen in die MVZ-Kategorie 5–10 Jahre.

Der im südlichen Teil des Drautals in der Gemeinde Amlach gelegene Brunnen **PG71501012** mit einer Teufe von 50 Metern und einem Abstich im Schwankungsbereich von ~30 bis 40 Metern weist eine **Mittlere Verweilzeit von < 5 Jahren** auf. Das Einzugsgebiet liegt südöstlich der Messstelle im Bereich der Karbonatgesteine der Lienzer Dolomiten am Westhang des Kreidenfeuers (1.615 m ü. A.).

Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch (~10,3 mg/l), gering mineralisiert (~348 µS/cm bei 20°C), mit einer Wassertemperatur von etwa ~8,2°C und weist vor allem seit Beginn der 2000er Jahre auf niedrigem Niveau (von 2,6 auf 4,6 mg/l bzw. von 1,3 auf 5,3 mg/l) stetig ansteigende Natrium- und Chloridkonzentrationen auf, was die Beeinflussung durch Straßenabwässer im Nahbereich der Messstelle nahelegt. Tritiogenes Helium wurde an dieser Messstelle nicht nachgewiesen, die Tritiummesswerte liegen im Bereich des aktuellen Niederschlags.

Das mittlere Einzugsgebiet des an der Messstelle erfassten Grundwassers liegt basierend auf dem mittleren Sauerstoff-18-Wert von -11,52 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ auf etwa 1300–1400 m ü. A. Die etwas östlich gelegene Leidentalquelle weist ein ähnliches Sauerstoff-18-Verhältnis (Median -11,48 ‰ $\delta^{18}\text{O}$, Probst et al., 2002) und somit eine vergleichbare Höhenlage des Einzugsgebietes auf.

Der links der Drau im Stadtgebiet von Lienz im Bereich von Bachschwinden der Moosalm und Sternalm in eine Tiefe von 33,5 m abgeteufte Brunnen **PG71501022** erschließt Grundwasser in den Schottern und Kiesen der Talfüllung. Das Grundwasser weist eine **Mittlere Verweilzeit von < 5 Jahren** auf. Grundwasserspiegelschwankungen im Bereich von bis zu 4 Metern mit Höchstständen in den Sommermonaten Juni/Juli und

Niedrigständen in den Wintermonaten Dezember – März sind charakteristisch für diesen Talbereich. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch ($\sim 8,4$ mg/l), hat eine Wassertemperatur von etwa $\sim 10,9^\circ\text{C}$ und ist durch vergleichsweise hohe elektrische Leitfähigkeiten charakterisiert (~ 568 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C). Die hohen elektrischen Leitfähigkeiten sind auch durch einen starken Anstieg der Chlorid- und Natriumkonzentrationen seit Beginn der 1990er Jahr auf Höchstkonzentrationen von 160 mg/l Chlorid und 30 mg/l Natrium im Jahr 2014 bedingt. Aktuell liegen die Chlorid- und Natriumkonzentrationen wieder bei <40 bzw. <20 mg/l. Von einer Beeinflussung durch lokal versickernde Straßenabwässer (beispielsweise durch die B100) ist auszugehen. Zudem unterliegt das Grundwasser einer Beeinflussung durch Stickstoffeinträge, welche sich in stark schwankenden, aber über die gesamte Messreihe tendenziell ansteigenden Nitratkonzentrationen niederschlagen. Im Jahr 2014 wurde die Höchstkonzentration von 32 mg/l gemessen, aktuell liegt die Nitratkonzentration bei ~ 10 mg/l.

Die mittlere Höhe des Grundwasserneubildungsgebietes der Messstelle PG71501022 (mit einem mittleren $\delta^{18}\text{O}$ von $-10,75$ ‰ und einem $\delta^2\text{H}$ von $-76,8$ ‰) liegt etwas unterhalb 1.000 m und ist damit im Bereich der Almen am östlichen Hang des Schloßberges anzusiedeln. Das Grundwasser enthält kaum tritiogenes Helium und die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge.

Weiter nördlich im Bereich der Einmündung des Iseltals liegt im Stadtgebiet von Lienz der Brunnen **PG71501032** mit einer Teufe von 29 m. Der Grundwasserzustrom zur Messstelle ist wahrscheinlich eine Mischung aus Grundwasserneubildung im Bereich der Moosalm und Venedigerwarte sowie des Grundwasserbegleitstroms der Isel und unterirdischen Zuflüssen aus dem Bereich des Schleinitz/Zauchenbach-Schotterkegels. Die **Mittlere Verweilzeit** des Grundwassers liegt im Bereich **< 5 Jahre**.

Das Grundwasser der Messstelle ist gering mineralisiert (~ 261 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C), oxisch ($\sim 9,7$ mg/l) und weist eine Wassertemperatur von etwa $\sim 9,6^\circ\text{C}$ auf. Das Grundwasser ist ebenfalls durch auf sehr niedrigem Niveau ($<6,1$ und $<8,5$ mg/l) ansteigende Natrium- und Chloridkonzentrationen gekennzeichnet, was auf Beeinflussung durch im Stadtgebiet in das Grundwasser infiltrierende Straßenabwässer hindeutet. Die Tritiumgehalte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge, der Anteil tritiogenen Heliums ist gering (0,4 TE), eine geringe Beimischung radiogenen Heliums ist nachweisbar. Die aufgrund des Sauerstoff-18-Verhältnisses ($-12,11$ ‰ $\delta^{18}\text{O}$) abzuschätzende mittlere Einzugsgebietshöhe des Grundwassers dieser Messstelle liegt im Bereich von etwa 1.700 m.

Ebenfalls im Stadtgebiet von Lienz liegt Brunnen **PG71501042** mit einer Tiefe von 35 m und einem Abstich zwischen 15 und ~20 m. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch (~9,4 mg/l), weist eine Wassertemperatur von ~9,2°C und eine niedrige elektrische Leitfähigkeit (~240 µS/cm bei 20°C) auf. Die **Mittlere Verweilzeit ist < 5 Jahre**. Die Messstelle weist abgereicherte Sauerstoff-18-Werte auf (im Mittel -12,42‰ δ¹⁸O), ein Hinweis auf ein hochgelegenes Einzugsgebiet des Grundwassers in einer Höhenlage von etwa 1.800 bis 1.940 m. Mit Grundwasserzuströmung ist an dieser Messstelle vor allem parallel zur Isel und aus dem Bereich des Schleinitz/Zauchenbach-Schotterkegels zu rechnen. Die Konzentration an tritiogenem Helium im Grundwasser ist gering (0,6 TE) und die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge.

Weiter östlich im Lienzener Becken liegt Brunnen **PG71501082** südlich der Drau, im Siedlungsgebiet der Gemeinde Tristach, am Ende eines zum Wierbach parallel verlaufenden Trockentales. Auch hier beträgt die **Mittlere Verweilzeit < 5 Jahre**. Die Messstelle weist eine Tiefe von 22 m auf, der Abstich unterliegt relativ großen Schwankungen im Bereich von 11,5 bis 16,6 m unter Geländeoberkante. Die Anströmung erfolgt parallel zur Drau aus westlicher Richtung. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch (~8,9 mg/l), weist eine Wassertemperatur von ~9,0°C auf und eine elektrische Leitfähigkeit von 459 µS/cm bei 20°C auf. Die über die gesamte Zeitreihe (1993–2017) stark schwankenden Nitratkonzentrationen im Grundwasser (~5–15 mg/l) spiegeln Stickstoffeinträge möglicherweise aus den westlich und südwestlich gelegenen landwirtschaftlich genutzten Flächen wider. Tritiogenes Helium ist mit gemessenen 0,2 TE kaum vorhanden, die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschlagswerte mit einer etwas niedrigeren Konzentration im 3. Quartal 2017 (5,5 TE).

Auf der gegenüberliegenden Seite der Drau in Nußdorf-Debant liegt der Brunnen **PG71501072** im Bereich des Debanter Schotterkegels. Der Brunnen ist bis in 20 m Tiefe abgeteuft, der Abstich schwankt im Bereich von 5 bis 9,5 m. Das Grundwasser strömt aus Nordost nach Südwest, parallel zum nahegelegenen Wartschenbach und wird durch die aus den nördlichen Hangbereichen zufließenden Seitenbäche beeinflusst. Die **Mittlere Verweilzeit** des Grundwassers fällt an dieser Messstelle in die Kategorie **5–10 Jahre**. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch (7,7 mg/l), die Wassertemperatur beträgt ~ 10,5°C, die elektrische Leitfähigkeit bei 20°C ist 385 µS/cm. Die Chlorid- und Natriumzeitreihen (1993–2017) sind durch stark ansteigende Konzentrationen mit Höchstwerten von ~34 mg/l Chlorid in 2014 und 13 mg/l Natrium im Jahr 2014 gekennzeichnet, was auf eine Beeinflussung des Grundwassers durch Streusalz und Straßenabwässer möglicherweise aus dem Bereich der Drautal Bundesstraße hindeutet. Aktuell fallen die Natrium- und

Chloridkonzentrationen wieder. Das Grundwasser der Messstelle weist mit 3,3 TE die höchste Konzentration an tritiogenen Helium von allen untersuchten Messstellen im Gebiet auf, ein Hinweis auf etwas höhere Mittlere Verweilzeiten, als die der weiter westlich gelegenen Messstellen. Zudem weist diese Messstelle vergleichsweise hohe Beimischungen radiogenen Heliums auf (Abbildung 12). Eine Störungszone, welche möglicherweise die entsprechenden Gas- und Wasserwegigkeiten bietet, liegt südlich der Messstelle. Das Grundwasserneubildungsgebiet liegt bei einem mittleren Sauerstoff-18-Verhältnis von im Mittel -11,92‰ $\delta^{18}\text{O}$ auf einer Höhe von etwa 1.560 – 1.645 m.

Auch die **Mittlere Verweilzeit** des Grundwassers an der Messstelle **PG71501092** fällt in den Bereich **5–10 Jahre**. Der Brunnen mit einer Tiefe von 22,3 m und einem Abstich von im Mittel 8,7 m liegt im Bereich des Dölsacher Schwemmkegels, die Grundwasseranströmung erfolgt aus Nordost. Das vermutete Einzugsgebiet des Grundwassers der Messstelle liegt demnach im Bereich des Talverlaufes des Debantbaches, auch Beeinflussung durch Grundwasser aus dem Bereich des Iselsberg/Stronachkogels sowie parallel zur Drau ist denkbar. Das Grundwasser der Messstelle weist niedrige Sauerstoffkonzentrationen ($\sim 3,1$ mg/l), eine Wassertemperatur von $10,5^\circ\text{C}$ und eine vergleichsweise hohe elektrische Leitfähigkeit von $510 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C auf. Die Nitratkonzentrationen schwanken mit langjährigen Zyklen im Bereich von <10 mg/l bis 25 mg/l Nitrat. Die Stickstoffeinträge stammen möglicherweise aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen im Bereich des Dölsacher Angers. Auch an dieser Messstelle steigen die Natrium- und Chloridkonzentrationen von ~ 7 mg/l auf derzeit 11 mg/l Natrium bzw. von ~ 10 mg/l auf derzeit ~ 20 mg/l Chlorid kontinuierlich an; ein Hinweis auf Beeinflussung des Grundwassers durch Streusalz und Straßenabwässer der nahegelegenen Drautal-Bundesstraße. Das Grundwasser der Messstelle weist eine Konzentration an tritiogenem Helium von 2,4 TE und somit die genannten Verweilzeiten auf, auch hier lag die Tritiumkonzentration im 3. Quartal 2017 deutlich niedriger als im Frühjahr 2018. Anhand des Sauerstoff-18-Verhältnisses von -10,71 ‰ ist die Höhenlage des Grundwassereinzugsgebietes mit etwa 1.050 m abzuschätzen.

Wie eingangs beschrieben, nimmt der Abstand des Grundwasserspiegels zur Oberfläche im Lienzer Becken in östlicher Richtung zum Kärntner Tor hin immer weiter ab. So weist die in Nikolsdorf in unmittelbarer Nähe der Drau gelegene Sonde **PG71501102** bei einer Teufe von 15,2 m nur einen gering schwankenden Abstich zwischen 2,1 und 3,3 m unter Geländeoberkante auf. Das Grundwasser der durch Aubereiche beeinflussten Messstelle weist ebenfalls niedrige Sauerstoffkonzentrationen ($\sim 4,4$ mg/l), eine Wassertemperatur von $8,8^\circ\text{C}$ und eine vergleichsweise hohe elektrische Leitfähigkeit von $389 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C

auf. Das an der Sonde erfasste Grundwasser fällt aufgrund seiner Tritiumkonzentrationen im Bereich der Niederschläge und seiner geringen Konzentration an tritiogenem Helium (0,7 TE) in die **MVZ-Kategorie < 5 Jahre**. Die Grundwasserströmung verläuft an der Sonde in West-Ost-Richtung, die mittlere Höhe des Grundwasserneubildungsgebietes ist aufgrund des mittleren $\delta^{18}\text{O}$ -Wertes von -11,76‰ mit etwa 1.100 m anzugeben.

Die Nitratkonzentrationen liegen mit ~4,3 mg/l im Bereich unbeeinflusster Grundwässer, allerdings zeigen die Chloridkonzentrationen einen steigenden Trend von ~1,6 mg/l auf derzeit ~7,7 mg/l, was auf Beeinflussung des Grundwassers durch Streusalz und Straßenabwässer der unmittelbar an der Drautal-Bundesstraße gelegenen Sonde hindeutet. Eine Beeinflussung durch die am gegenüberliegenden Draufer gelegene Mülldeponie lässt sich anhand der Qualitätsparameter nicht ablesen.

Der in der Gemeinde Nikolsdorf in einem Schwemmkegel aus Schottern und Geröll in eine Tiefe von 17,2 m abgeteufte Brunnen **PG71501112** weist eine **Mittlere Verweilzeit von 5–10 Jahren** auf. Der Grundwasserspiegel liegt bei etwa 7,5 m unter GOK. Die mittlere Höhe des Grundwasserneubildungsgebietes liegt aufgrund des Sauerstoff-18-Wertes von -11,11 ‰ etwas unterhalb 1.000 m. Die Grundwasseranströmung erfolgt im Mittel aus nordwestlicher Richtung unter Beeinflussung von Grundwasserzustrom aus den nordwestlich gelegenen Höhenlagen (Lindsberg, Michelsberg) mit ihren Seitenbächen. Das Grundwasser der durch Aubereiche beispielsweise entlang des Gantschenbaches beeinflussten Messstelle weist niedrige Sauerstoffkonzentrationen (~2,7 mg/l), eine Wassertemperatur von 8,8°C und eine niedrige elektrische Leitfähigkeit von 245 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C auf. Das Grundwasser ist zudem durch eine signifikante Beimischung von radiogenem Helium gekennzeichnet (Abbildung 12), was mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Gas- und Wasserwegigkeiten der südlich der Messstelle verlaufenden Iseltalstörung zurückzuführen ist.

Tabelle 2: Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil): Isotopendaten und Mittlere Verweilzeiten

Messstelle	Gemeinde	Teufe (m u. GOK)	$\delta^{18}\text{O}$ (Mittel) (‰ V-SMOW)	VarK $\delta^{18}\text{O}$ (%)	^3H	^3H	$^3\text{He}_{\text{trit}}$ (TE)	$^4\text{He}_{\text{radio}}$ (Nml/kg)	ΔNe (%)	MVZ-Kategorie (Jahre)
					3. Quartal 2017 (TE)	1. Quartal 2018 (TE)				
PG71501012	Amlach	50,0	-11,52	1,7	6,4	6,3	0,0	2,5E-06	21	<5
PG71501022	Lienz	33,5	-10,75	1,6	6,2	7,2	0,1	4,2E-07	12	<5
PG71501032	Lienz	29,0	-12,11	2,4	6,9	6,9	0,4	1,2E-06	20	<5
PG71501042	Lienz	35,0	-12,42	1,8	7,0	7,8	0,6	5,0E-07	19	<5
PG71501072	Lienz	20,0	-11,92	1,1	6,6	7,4	3,3	1,8E-05	21	5-10
PG71501082	Tristach	22,0	-11,91	1,1	5,5	7,3	0,2	0,0E+00	24	<5
PG71501092	Dölsach	22,3	-10,71	1,5	4,8	7,4	2,4	0,0E+00	24	5-10
PG71501102	Nikolsdorf	15,2	-11,76	1,7	6,6	7,2	0,7	4,0E-06	13	<5
PG71501112	Nikolsdorf	17,2	-11,11	3,2	5,6	6,3	1,9	1,2E-05	16	5-10

Quelle: Umweltbundesamt

4 Gailtal [DRA]

4.1 Überblick

Die Gail entspringt in Osttirol und durchströmt das Tiroler Gailtal, das Lesachtal und schließlich über eine Länge von rund 80 km das Gailtal in Kärnten, bevor sie nahe Villach in die Drau mündet. Der Grundwasserkörper Gailtal erstreckt sich von Kötschach-Mauthen im Westen als langes schmales Band bis in den Villacher Raum. Das Gailtal wird ab Kötschach-Mauthen bis Hermagor in das Obere Gailtal und weiter gegen Osten hin bis zum Villacher Becken in das Untere Gailtal unterteilt. Die mächtigen Bergsturzmassen des Dobratsch – als „Schütt“ bezeichnet – prägen den Talabschnitt vor dem Eintritt des Flusses in das Villacher Becken. Nachdem das Gailtal in der Vergangenheit wiederholt von verheerenden Hochwässern heimgesucht wurde, begann im 19. Jahrhundert die Regulierung der Gail einhergehend mit einer umfassenden Melioration des Talbodens, die in einem enormen Landgewinn resultierte.



Blick vom Gartnerkofel in das Obere Gailtal mit Reißkofel und Gailtaler Alpen

Im Norden und Westen wird die Grenze vom Gailtaler Kristallin bzw. von Karbonaten der Gailtaler Alpen und der Villacher Alpe gebildet. Entlang des Gailtals verläuft die größte Störungszone der Alpen, das Periadriatische Lineament.

Der sedimentäre Aufbau des glazial übertieften Gailtales ist sehr komplex. Unterhalb der Aulehmbedeckung bieten rasche Wechselfolgen von Fein- und Grobsedimenten, in denen auch kiesreiche Abschnitte immer wieder relativ hohe Schluffanteile enthalten, sehr unterschiedliche, meist aber aus wasserwirtschaftlicher Sicht ungünstige Aquiferbedingungen. Die Grundwasserführung beschränkt sich vor allem auf wenige, geringmächtige, aber gut durchlässige Schichten, die allerdings nicht über größere Distanzen zu verfolgen sind.

Die Grundwasserneubildung erfolgt durch flächenhafte Versickerung von Niederschlagswasser und Grundwasserzustrom. In jenen Bereichen, in denen an den Talrändern verkarstete Karbonate unter das heutige Talniveau reichen, wird das Talgrundwasser durch randliche Zuflüsse zusätzlich angereichert. Weiters erfolgt auch eine Anreicherung über die seitlichen Schwemmfächer.

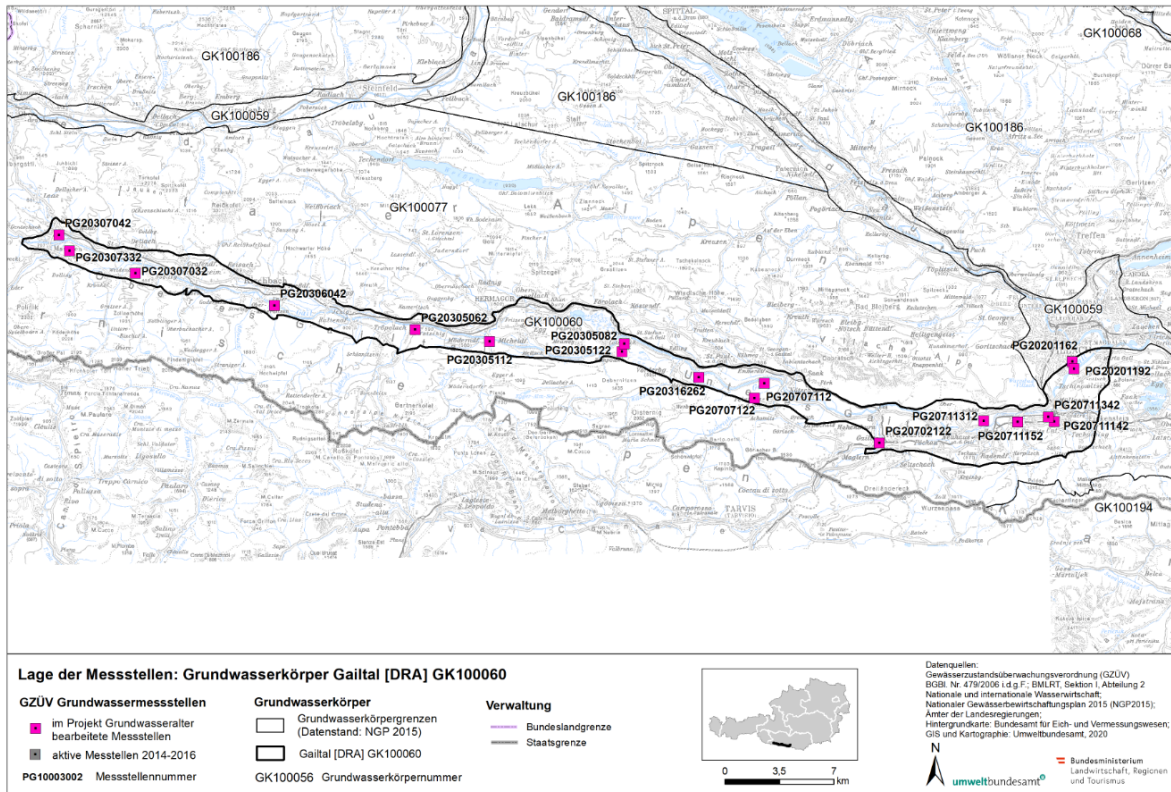
Deckschichten in Form von Aulehmen sind nur in einem geringen Ausmaß von weniger als 25 % der Fläche vorhanden. Der Grundwasserflurabstand bewegt sich zwischen 0 und 22 m.

Zwei Drittel der Fläche im Grundwasserkörper Gailtal sind landwirtschaftliche Flächen und knapp ein Drittel Wälder und naturnahe Flächen. Nur ein sehr geringer Anteil entfällt auf bebaute Flächen (2,9 %) sowie Feucht- und Wasserflächen. Hieraus ergibt sich, dass die Landwirtschaft neben Wasserentnahmen, Bauwerken, Industrieanlagen, Altlasten und Deponien die größte potentielle Gefährdung des Grundwassers darstellt.



Dohlenkrebs

Abbildung 15: Übersichtskarte Grundwasserkörper Gailtal [DRA] mit den ausgewählten GZÜV-Messstellen



Datenquelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

Insgesamt 18 GZÜV-Grundwassermessstellen des Grundwasserkörpers Gailtal [DRA] wurden hinsichtlich der Mittleren Verweilzeiten des Grundwassers untersucht (Abbildung 15). Eine detaillierte Beschreibung des Grundwasserkörpers ist im Anhang enthalten.

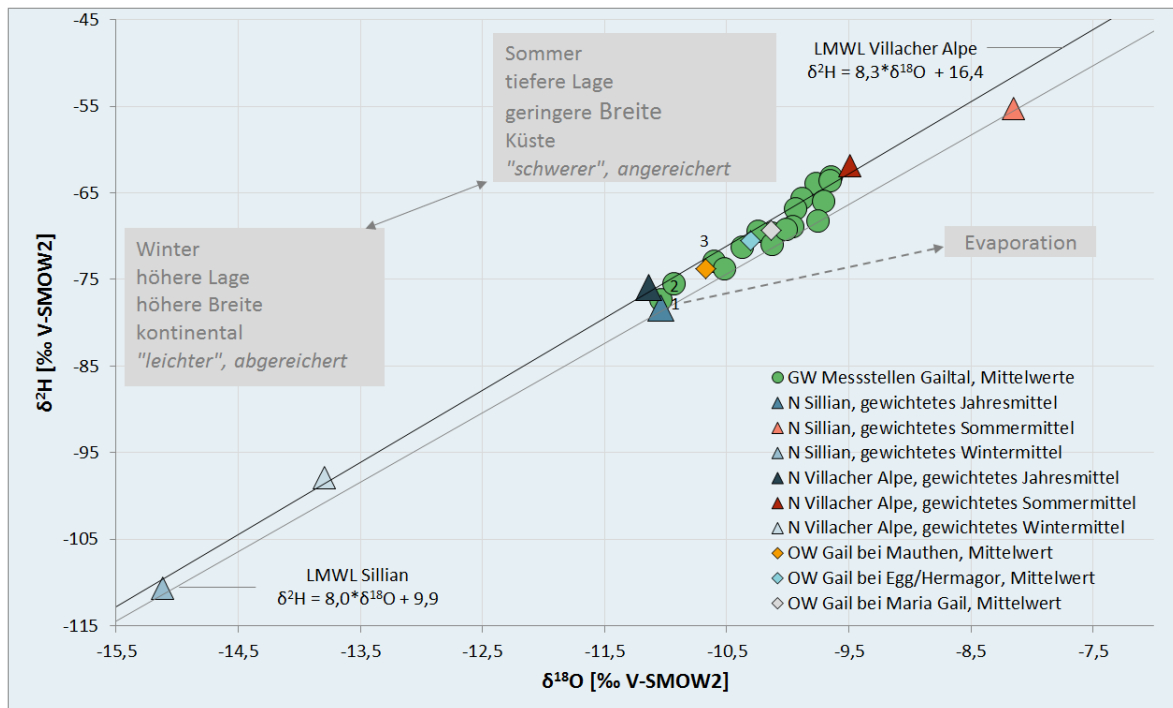
4.2 Ergebnisse

4.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium

Die graphische Gegenüberstellung der Sauerstoff-18 und Deuteriumkonzentrationen im Niederschlag, Grund- und Oberflächengewässern in Abbildung 16 erlaubt Rückschlüsse auf Bildungsbedingungen und Mischungsprozesse der lokalen Grundwasservorkommen. Die

Daten der stabilen Isotopen der Grund- und Oberflächengewässer im Grundwasserkörper Gailtal sind sowohl der Lokalen Meteorischen Niederschlagsgeraden (LMWL) der Niederschlagsstation Sillian in Osttirol (1.075 m ü. A.) als auch der LMWL der Niederschlagsstation Villacher Alpe (2.140 m ü. A.) gegenübergestellt, da sich der Grundwasserkörper zwischen beiden Stationen erstreckt.

Abbildung 16: Mittelwerte der Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen des Grundwasserkörpers Gailtal [DRA] im Vergleich zur Gail (OW=Oberflächengewässer) sowie dem Niederschlag (N) in Sillian (2009–2017) und der Villacher Alpe (2008–2017).



- Anmerkungen: (1) PG20707122 (Feistritz an der Gail)
 (2) PG20307042 (Kötschach-Mauthen)
 (3) PG20305082 (Hermagor-Presssegger See)

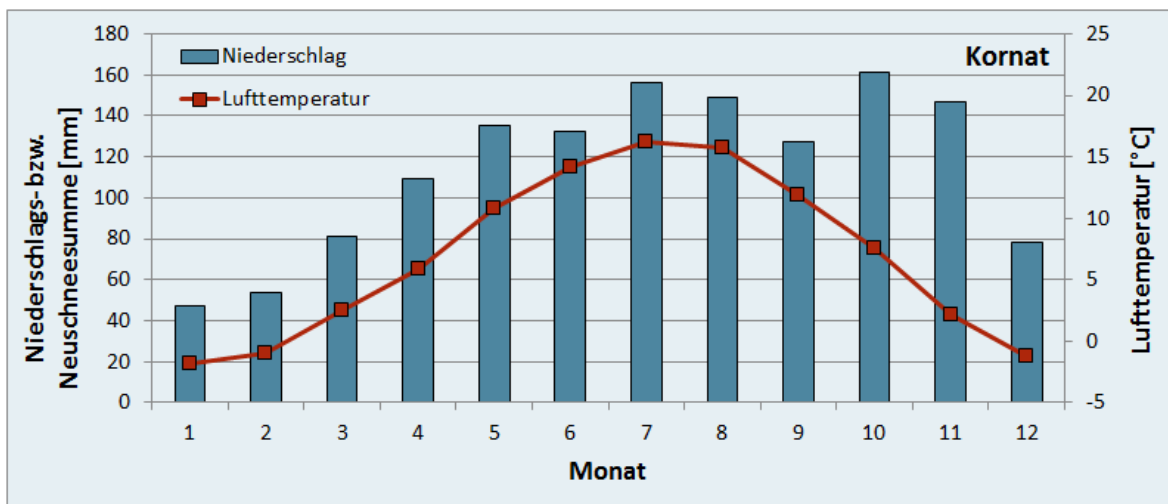
Quelle: Umweltbundesamt

Die beprobten Grundwässer des Gailtales plotten auf beiden LMWL im Achsenabschnitt zwischen dem langjährigen gewichteten Jahresmittel des Niederschlages und dem gewichteten Mittel des Sommerniederschlages (Abbildung 16), d.h. im Vergleich zum gewichteten Jahresmittel sind die Grundwässer isotopisch angereichert. Diese Verschiebung von Sauerstoff-18 und Deuterium in Richtung des gewichteten Mittels des Sommerniederschlages unterscheidet die Isotopensignaturen der Grundwässer des

Gailtales von jenen des Drautaales sowie des Krappfeldes und lässt sich auf die spezifische hydrologische Situation des Gailtales zurückführen. Das Tal gehört zu den niederschlagsreichsten Regionen Österreichs. Zusätzlich zum sommerlichen Niederschlagsmaximum sind bedingt durch den Einfluss von Tiefdruckgebieten aus dem Gebiet der Adria und dem Golf von Genua, die über die Karawanken und Karnischen Alpen hinweg nach Kärnten ziehen – insbesondere im Oktober und November, aber auch im Frühsommer – weitere sehr ergiebige Niederschläge zu verzeichnen. „Die großen Feuchtigkeitsmengen, die vom warmen Mittelmeer mit Winden aus südlicher Richtung den Gebirgen zuströmen und an der Leeseite abregnen, bewirken eine bedeutend höhere Überregnung des Gaileinzugsgebietes“ (Weissel, 2004 in Holzeis et al., 2014).

Exemplarisch sind zur Darstellung der klimatischen Bedingungen in Abbildung 17 die Klimamittelwerte der Station Kornat im Lesachtal, das sich westlich an den Grundwasserkörper Gailtal anschließt, mit Niederschlagssummen und Lufttemperaturen wiedergegeben.

Abbildung 17: Klimamittelwerte der Station Kornat im Lesachtal im Bezugszeitraum 1981–2010. Niederschlag = mittlere monatliche Niederschlagssumme im Monat xy, Temperatur = mittlere monatliche Lufttemperatur im Monat xy.



Datenquelle: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/daten-download/klimamittel>

Der mediterrane Klimaeinfluss mit den ergiebigen Niederschlägen zu wärmeren Jahreszeiten – charakteristisch sind Starkregenereignisse – spiegelt sich in der

beobachteten Verschiebung der Grundwässer auf der LMWL wider. Zum einen zeichnen sich die über dem Gailtal abregnenden mediterranen Luftmassen durch isotopisch „schwerere“, d.h. angereicherte Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte aus, verglichen mit Luftmassen atlantischen Ursprungs. Zum anderen sind Sommerniederschläge allgemein durch angereicherte Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte gekennzeichnet. Die Isotopensignaturen der untersuchten Messstellen verweisen daher auf Grundwasserneubildung, die sich überwiegend auf Infiltration von Niederschlägen auf dem Gebiet des Talbodens zurückführen lässt. An einigen Messstellen dominieren jene Wässer, die aus höher gelegenen Einzugsgebieten der nördlichen und südlichen Umrahmung des Gailtales dem Talgrundwasserkörper zuströmen.

Nahezu alle Messstellen plotten etwas oberhalb der LMWL für Sillian, bedingt durch die insgesamt höheren Niederschlagsmengen des Gailtales im Vergleich mit der Niederschlagsstation. Der mittlere Jahresniederschlag im Bezugszeitraum 1981–2010 summiert sich in Waidegg im Oberen Gailtal auf 1.472 mm, in Sillian auf 1.043 mm (ZAMG/ Klimanormalwerte). Generell ist im Gailtal eine leichte Abnahme der Niederschlagsmengen von Westen nach Osten zu beobachten.

In Abbildung 16 zeigen PG20707122 in Feistritz und PG20307042 in Kötschach-Mauthen im Mittel mit $-11,04\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ bzw. $-10,93\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ die „leichtesten“ Sauerstoff-18-Werte aller untersuchten Messstellen und gruppieren sich um das langjährige gewichtete Mittel des Niederschlags in Sillian bzw. der Villacher Alpe. Während PG20707122 keine Saisonalität in den stabilen Isotopen und gut durchmischtes Grundwasser aufweist, zeigt PG20307042 diesbezüglich eine deutliche Variabilität und wird durch rezente Grundwasserneubildung geprägt. Im Vergleich mit der Niederschlagsstation in Sillian und basierend auf der Annahme, dass mit einer Höhenzunahme von 100 m der Sauerstoff-18-Wert um etwa $0,19\text{‰}$ abnimmt (Hager & Foelsche, 2015), liegt die mittlere Höhe des Neubildungsgebietes des Grundwassers der Messstelle PG20307042 annähernd auf 1.000 m, für PG20707122 etwas höher.

Die Gail entspringt auf einer Seehöhe von 1.525 m in Osttirol, ihr Einzugsgebiet bilden Gailtaler und Karnische Alpen. Die Signaturen der stabilen Isotope der Gail, die an drei Stellen – bei Mauthen (im Mittel $-10,67\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ und $-73,77\text{‰ } \delta^2\text{H}$), Egg/Hermagor (im Mittel

$-10,30\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ und $-70,53\text{‰ } \delta^2\text{H}$) und Maria Gail (im Mittel $-10,14\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ und $-69,30\text{‰ } \delta^2\text{H}$) – beprobt wurde, sind gegenüber dem gewichteten Jahresmittel des Niederschlags in Sillian bzw. der Villacher Alpe angereichert. Neben saisonalen

Veränderungen weisen die Isotopensignaturen der Gail – bedingt durch die Beimischung lokaler Niederschläge, infiltrierendes Grundwasser und die Zubringer auch einen räumlichen Gradienten auf. So sind nahe dem im Westen des Grundwasserkörpers gelegenen Mauthen die „leichtesten“ Sauerstoff-18-Werte zu verzeichnen, die mit zunehmender Fließstrecke der Gail in östliche Richtung „schwerer“ werden (siehe Abbildung 16). Ausgehend von den Sauerstoff-18- und Deuteriumwerten sowie den untersuchten hydrochemischen Parametern ist an nahezu keiner der untersuchten Grundwassermessstellen ein Einfluss der Gail bzw. ihrer Zubringer ersichtlich.

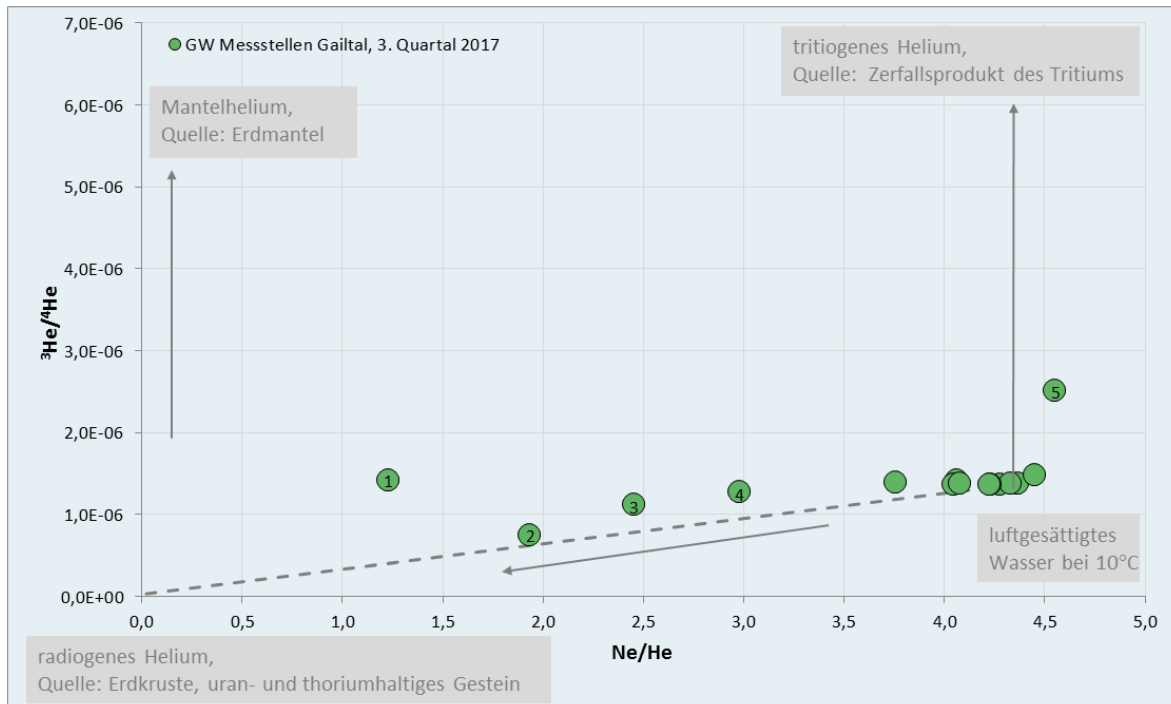
4.2.2 Tritium/Helium-3

Radiogene, tritiogene und Mantelkomponenten des Heliums in den beprobten Grundwässern des Gailtales können anhand der 3-Komponenten-Darstellung in Abbildung 18 unterschieden werden. Diese Differenzierung erlaubt weitere Rückschlüsse auf die Art und Weise der Grundwasserneubildung sowie unterirdische Wegigkeiten für Wasser und Gase.

Für 16 von 18 im Rahmen des Projektes untersuchte Messstellen im Gailtal konnten Probenahmen für die Tritium-/Heliumanalytik durchgeführt werden, von diesen liegen für insgesamt 15 Messstellen Ergebnisse vor. An zwei Messstellen konnte keine Probe entnommen werden. Vier Messstellen enthielten signifikante Mengen tritiogenem Heliums, die Infiltration des untersuchten Grundwassers liegt somit schon länger zurück (Abbildung 18). Alle weiteren Messstellen enthielten geringfügige Mengen bzw. nahezu kein tritiogenes Helium. Diese Messstellen sind im Wesentlichen durch aktuelle Grundwasserneubildung gekennzeichnet.

Vier Messstellen – PG20707122 in Feistritz, PG20702122 in Arnoldstein, PG20305082 in der Gemeinde Hermagor-Pressegger See sowie PG20711342 in Finkenstein am Faaker See – (Punkte 1 bis 4 in Abbildung 18) weisen eine markante Beimischung von radiogenem Helium-4 sowie die höchsten Gehalte tritiogenen Heliums auf. Der Nachweis von radiogenem Helium wird häufig mit dem Auftreten von Störungszonen und/oder tieferer Zirkulation von Grundwasserkomponenten sowie dem Kontakt mit uran- und thoriumhaltigen Gesteinen in Verbindung gebracht. Für PG20316262 in St. Stefan (Punkt 5 in Abbildung 18) ist eine markante Beimischung von tritiogenem Helium-3 zu verzeichnen, radiogenes Helium-4 ist nicht nachweisbar.

Abbildung 18: Heliumkomponenten des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Gailtal [DRA]



Anmerkungen: (1) PG20707122 (Feistritz an der Gail)

Quelle: Umweltbundesamt

(2) PG20702122 (Arnoldstein)

(3) PG20305082 (Hermagor-Pressegger See)

(4) PG20711342 (Finkenstein am Faaker See)

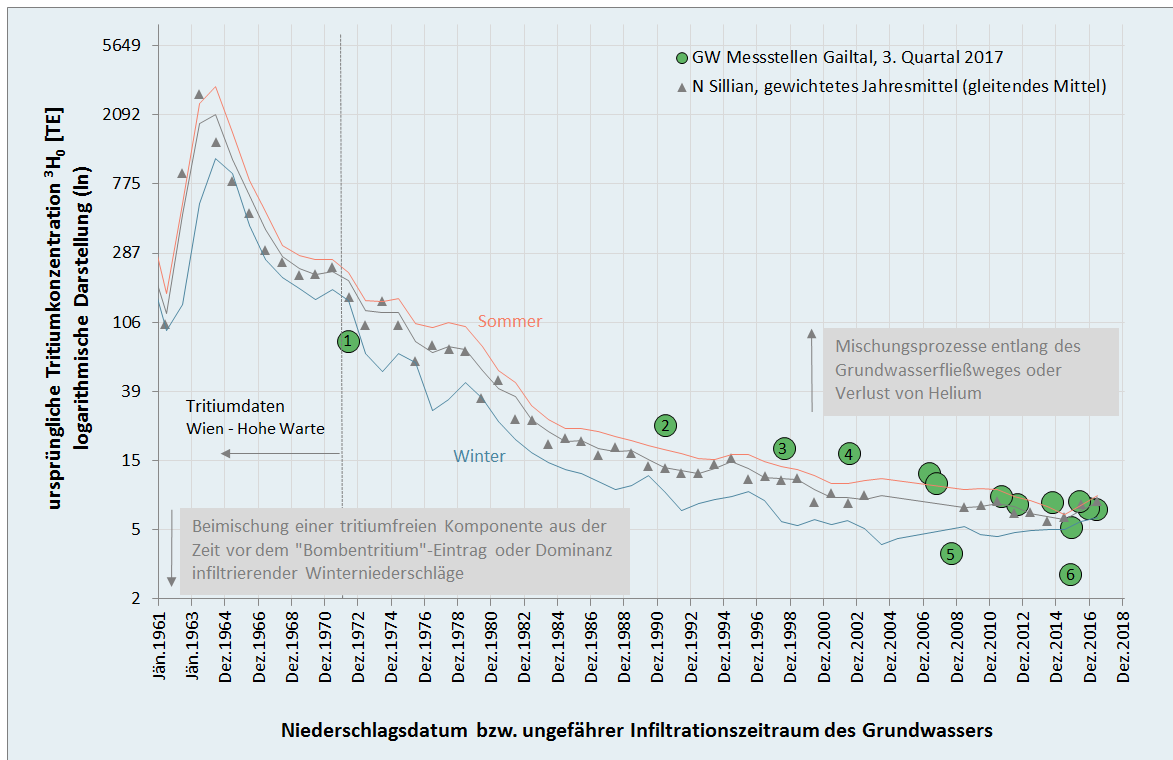
(5) PG20316262 (St. Stefan im Gailtal)

Die Untersuchung von Heliumisotopen in Grundwässern aus dem alpinen Raum und angrenzenden Bereichen zeigte das fast vollständige Fehlen von Mantelhelium im oberflächennahen Grundwasser im Alpin, während in den angrenzenden Bereichen wie beispielsweise dem Wiener und Pannonischen Becken, wo die Erdkruste aufgrund tektonischer Prozesse weniger mächtig ist, Mantelhelium eindeutig nachgewiesen werden konnte (Marty et al., 1992).

Neun der untersuchten Messstellen gruppieren sich nahe der Heliumzusammensetzung von Wasser im Gleichgewicht mit der Atmosphäre und verweisen dementsprechend auf kürzlich infiltriertes Grundwasser ohne zusätzliche terrigene bzw. tritiogene Heliumkomponenten.

Zum Teil hohe Luftüberschüsse in den Proben – ausgedrückt durch hohe ΔNe -Werte in Tabelle 3 – deuten auf schnelle Reaktionen des Grundwasserspiegels gegenüber Regen- und Hochwasserereignissen hin, bei denen es zum Einschluss von Luftblasen aus der ungesättigten Zone kommt. Einen besonders hohen Luftüberschuss mit $\Delta Ne = 47\%$ weist PG20307042 in der Gemeinde Kötschach-Mauthen auf. Für zwei Messstellen sind negative ΔNe -Werte zu verzeichnen, die auf Entgasungsprozesse hindeuten.

Abbildung 19: Zeitreihe der Tritiumkonzentrationen des Niederschlags (N) in Sillian (1961–2017) als Jahres-, Sommer- und Wintermittel im Vergleich zu den rekonstruierten Tritiumkonzentrationen der ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Gailtal [DRA]



- Anmerkungen: (1) PG20707122 (Feistritz an der Gail)
 (2) PG20316262 (St. Stefan im Gailtal)
 (3) PG20305082 (Hermagor-Presssegger See)
 (4) PG20711342 (Finkenstein am Faaker See)
 (5) PG20711312 (Villach)
 (6) PG20307042 (Kötschach-Mauthen)

Quelle: Umweltbundesamt

Die Tritiumgehalte der beprobten Grundwässer im Gailtal spiegeln im Wesentlichen die Isotopenzusammensetzung der lokalen Niederschläge vergangener Jahre wider. Etliche

Messstellen zeigen jedoch Abweichungen von der rekonstruierten Tritiumzeitreihe des Niederschlags in Sillian. Drei Messstellen (PG20307042, PG20707122 und PG20711312, siehe Abbildung 19) sind durch Tritiumgehalte unterhalb der Niederschlagszusammensetzung gekennzeichnet. Bei PG20707122 in Feistritz kann die Beimischung einer tritiumfreien Grundwasserkomponente aus der Zeit vor dem „Bombentritium“-Eintrag nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Die Mittlere Verweilzeit der Messstelle ist dem oberen Ende der MVZ-Kategorie 26–50 Jahre zuzuordnen, womöglich darüber. Die Beimischung älterer Komponenten erscheint plausibel, ist mit den vorliegenden Daten jedoch nicht verifizierbar. Die rekonstruierte Tritiumkonzentration der im Bereich einer Störungszone gelegenen Messstelle PG20305082 in der Gemeinde Hermagor-Pressegger See liegt beispielsweise oberhalb der Inputfunktion der ursprünglichen Tritiumgehalte. Dies ist ein Hinweis auf Verlust von Helium durch längere Aufenthaltszeiten in der ungesättigten Zone, kann aber auch durch Mischungsprozesse entlang des Grundwasserfließweges verursacht sein (siehe Kapitel 0, Abbildung 6).

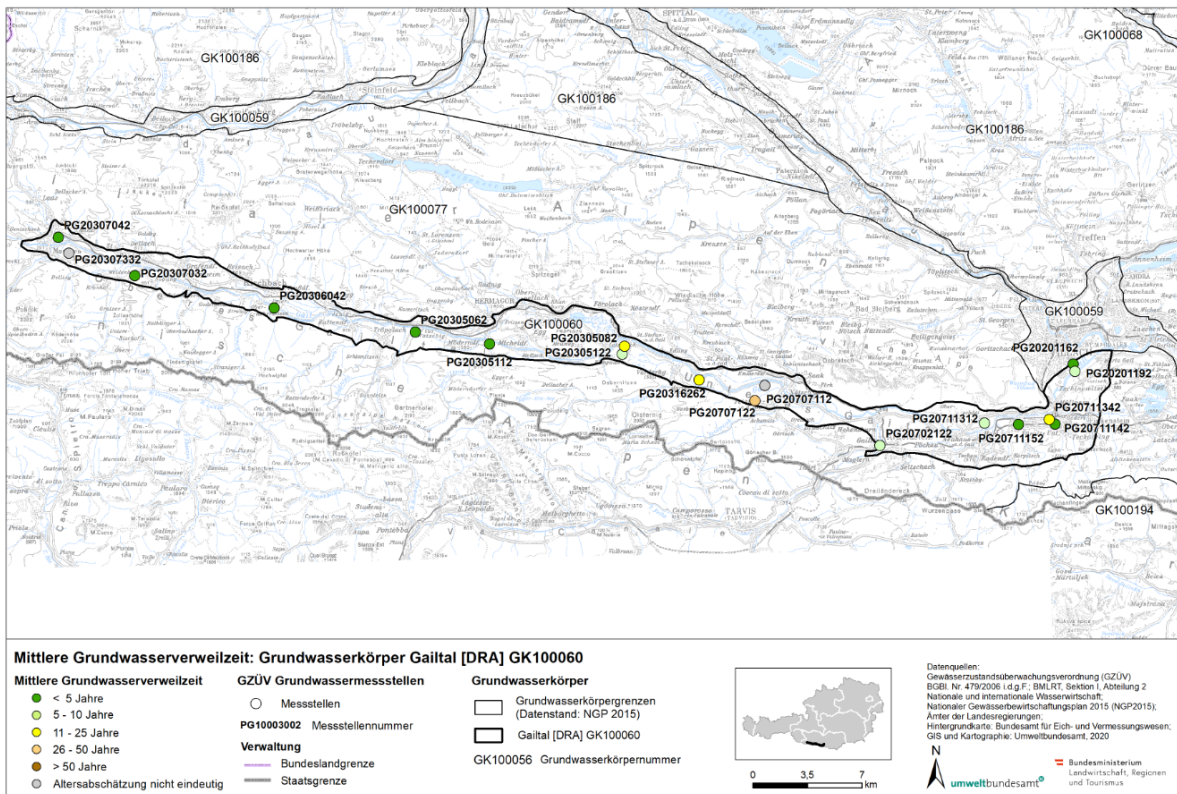
Generell ist anzumerken, dass die im Rahmen des österreichischen Isotopenmessnetzes ANIP erhobenen Tritiumgehalte des Niederschlags in den Stationen südlich des Alpenhauptkammes (z.B. Sillian, Villacher Alpe) niedriger liegen als nördlich des Alpenhauptkammes, bedingt durch die unterschiedliche Herkunft der Luftmassen. Im Süden überwiegt der Einfluss mediterraner Luftmassen, im Norden der Einfluss atlantischen Ursprungs.

4.3 Diskussion – Ergebnis

Der Porengrundwasserkörper Gailtal erstreckt sich als schmales Band über eine Länge von rund 80 km entlang der Gail von Kötschach-Mauthen bis Villach. Ein sehr inhomogen aufgebauter Lockergesteinskörper resultiert in sehr unterschiedlichen, meist jedoch schlechten Aquiferbedingungen. Die Grundwasserführung beschränkt sich daher auf wenige geringmächtige, aber gut durchlässige Schichten, die eher kleinräumig ausgebildet sind. Die Grundwasserneubildung erfolgt primär über die Versickerung von Niederschlagswässern im Talboden sowie durch Versickerung von Oberflächengerinnen, die von den Flanken der Umrahmung dem Gailtal zufließen. In Bereichen, in denen an den Talrändern verkarstete Karbonate unter das heutige Talniveau reichen, wird das Talgrundwasser zusätzlich durch randliche Zuflüsse angereichert (Zojer, 1988). Die langjährige mittlere Jahresniederschlagssumme variiert zwischen 1.102 und 1.772 mm. Weniger als 25 % der Grundwasserkörperflächen weisen Deckschichten auf.

Hinsichtlich der beobachteten Beimischung von radiogenem Helium-4 bieten tektonische Störungssysteme entsprechende Wegigkeiten. Das Gailtal erstreckt sich entlang des Pustertal-Gailtal-Teilstörungssystems als Teil des Periadriatischen Lineamentes, welches die tektonischen Einheiten des Südalpins vom Drauzug-Gurktal-Deckensystem des Ostalpins trennt. Die Iseltal-Störung verläuft von Osttirol über das Drautal und Gitschtal bis in das Gailtal hinein. Sowohl Störungssysteme bzw. ihre Begleitstörungen als auch Grundgebirgsschwellen, wie beispielsweise am Ostrand des Gailtales, können entsprechende Wegigkeiten für den Aufstieg von Gasen und tief zirkulierenden Grundwässern bieten.

Abbildung 20: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Gailtal [DRA]



Datenquelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

Generell zeigte sich ein deutlicher Einfluss von Tiefe und Ausbau der beprobten Grundwassermessstellen auf die Mittlere Verweilzeiten. Die seichten Messstellen

erschließen im Wesentlichen lokale Grundwasservorkommen der MVZ-Kategorie < 5 Jahre, während die tiefer ausgebauten Messstellen mit langen und teilweise mehreren Filterstrecken eine Mischung von Wässern verschiedener Herkunft und tendenziell längere Verweilzeiten aufweisen. Die Grundwasserneubildung an den untersuchten Messstellen erfolgt durch infiltrierende Niederschläge.

Insgesamt gesehen umfassen die Mittleren Verweilzeiten von 16 untersuchten GZÜV-Messstellen des Grundwasserkörpers Gailtal ein weites Spektrum von < 5 Jahren bis hin zu 26–50 Jahren, wobei aufgrund von Teufe und Ausbau junges Grundwasser der MVZ-Kategorie < 5 Jahre an den Messstellen des Grundwasserkörpers überwiegt.

Zusammenfassend stellt sich die Situation wie folgt dar: Acht Messstellen weisen Mittlere Verweilzeiten von < 5 Jahren auf, für vier Messstellen wurden Verweilzeiten von 5–10 Jahren ermittelt. Für drei Messstellen sind Mittlere Verweilzeiten von 11–25 Jahren und für eine Messstelle von 26–50 Jahren zu verzeichnen.

Für zwei Messstellen – PG20307332 in Kötschach-Mauthen sowie PG20711142 in Feistritz an der Gail – konnte aufgrund fehlender Heliumanalysen und nicht eindeutiger Aussagekraft weiterer untersuchter Parameter keine Abschätzung der Mittleren Verweilzeiten des Grundwassers vorgenommen werden.

Alle fünf beprobten Messstellen im Oberen Gailtal, d.h. im Talabschnitt zwischen Kötschach-Mauthen und Hermagor, sind durch **Mittlere Verweilzeiten < 5 Jahre** gekennzeichnet. Bei vier dieser Messstellen – **PG20307032** am Rande des Schwemmkegels des Aßnitzbaches in der Gemeinde Kötschach-Mauthen, die in einem durch Gerinne von den Flanken des Kirchbacher Wipfels und Hochwipfels aufgeschütteten Schwemmkegel gelegene Messstelle **PG20306042** in der Gemeinde Kirchbach, **PG20305062** im Schwemmkegel des Oselitzenbaches sowie **PG20305112** im Schwemmkegel des Garnitzenbaches in der Gemeinde Hermagor-Pressegger See – handelt es sich um Schachtbrunnen mit Teufen zwischen 8 und 10 m, die sehr junges, sauerstoffreiches, vergleichsweise gering mineralisiertes Wasser führen (elektrische Leitfähigkeit: ~158 bis ~381 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C). Die stabilen Isotopenverhältnisse mit einer ausgeprägten saisonalen Variabilität und mittleren Sauerstoff-18-Werten zwischen -9,65 und -9,88 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ deuten darauf hin, dass die Grundwasserneubildung vorrangig lokal aus infiltrierenden Niederschlägen im Talboden erfolgt. Die Altersabschätzung von PG20306042 in Kirchbach ist aufgrund fehlender Heliumanalysen mit einer höheren Unsicherheit behaftet und wurde anhand der Variabilität der Sauerstoff-18- und Deuteriumkonzentrationen sowie weiterer vorliegender Daten getroffen.



Bodensee am Nassfeld

Die fünfte Messstelle aus dieser Gruppe mit sehr jungen Grundwässern (**MVZ-Kategorie < 5 Jahre**) im Oberen Gailtal – **PG20307042** in Kötschach-Mauthen – zeigt abweichende Charakteristika. Hierbei handelt es sich um eine Sonde mit einer Teufe von 36 m am westlichen Rand des Grundwasserkörpers. Der Untergrund in diesem Bereich des Grundwasserkörpers ist durch besondere geohydrologische Bedingungen gekennzeichnet, die in erheblichen Grundwasserspiegelschwankungen resultieren (Probst, 1988). So wurden beispielsweise zwischen Juli 1995 und September 1996 bei Sonden im unmittelbaren Umfeld der Messstelle Grundwasserstände von 20,7 bis 37,9 m unter der Geländeoberkante gemessen, dies entspricht einer Amplitude von 17,2 m (Umweltbundesamt, 2001). Die nahegelegene Grundwassermessstelle des hydrographischen Dienstes in Mauthen (HZB-Nr. 338327) zeigt im Beprobungszeitraum 2017–2018 Grundwasserspiegelschwankungen mit einer Amplitude von rund 8 m. Der hohe ΔNe -Wert von 47 % bei PG20307042 reflektiert diese starken Grundwasserspiegelschwankungen, da eine schnelle Reaktion des Grundwasserspiegels auf Regen- und Hochwasserereignisse den Einschluss von Luftblasen aus der ungesättigten Zone bewirkt. Auch die lokale Grundwasserströmungsrichtung unterliegt starken Änderungen und schwankt zwischen Zustrom aus Nordost bis Südost (Umweltbundesamt, 2001), was sich in den variablen hydrochemischen Verhältnissen an der Messstelle

widerspiegelt. Ein im Vergleich aller beprobten Messstellen des Gailtales sehr „leichter“ mittlerer Sauerstoff-18-Wert von $-10,93\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ weist – im Vergleich mit der Station Sillian und basierend auf der Annahme, dass mit einer Höhenzunahme von 100 m der Sauerstoff-18-Wert um etwa $0,19\text{‰}$ abnimmt (Hager & Foelsche, 2015) – auf ein Grundwasserneubildungsgebiet mit einer mittleren Höhe von etwa 1.000 m hin. Entsprechend den veränderlichen Anströmverhältnissen an der Messstelle spielt der Grundwasserzustrom aus dem Lesachtal, vom Gailbergsattel über das Tal des Laaser Baches bzw. von den Bergflanken unmittelbar westlich Kötschachs, eine Rolle. Aufgrund des niedrigen Tritiumgehaltes von 2,6 TE im dritten Quartal 2017 liegt PG20307042 deutlich unterhalb der Niederschlagsinputfunktion für Sillian (siehe Abbildung 19), ein Hinweis auf die Dominanz von Winterniederschlägen oder den Einfluss einzelner starker Niederschlagsereignisse.

Im Unteren Gailtal, dem Talabschnitt östlich von Hermagor bis Villach, spiegeln sich unterschiedliche Standortbedingungen und Messstellenspezifika in einer breiteren Verteilung der Mittleren Verweilzeiten wider.

Drei Messstellen sind durch kurze Verweilzeiten des Grundwassers charakterisiert und fallen in die **MVZ-Kategorie < 5 Jahre**. Der vergleichsweise abgereicherte mittlere Sauerstoff-18-Wert von $-10,37\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ für die Messstelle **PG20711152** in der Gemeinde Finkenstein am Faaker See deutet auf ein etwas höher gelegenes Einzugsgebiet hin, da eine Lehmschicht die Infiltration von Niederschlägen im Umfeld der Messstelle großräumig beeinträchtigt. Eine Nitratkonzentration von $\sim 15\text{ mg/l}$ reflektiert die landwirtschaftliche Nutzung bzw. anderweitige anthropogene Beeinflussung des Einzugsgebietes. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch ($\sim 7,3\text{ mg/l}$), die elektrische Leitfähigkeit beträgt $\sim 546\text{ }\mu\text{S/cm}$ bei 20°C .

Ebenfalls in der Gemeinde Finkenstein lokalisiert, befindet sich die Messstelle **PG20711142** im Schwemmkegel des Feistritzbaches. Das Grundwasser der Messstelle ist durch eine ausgeprägte, unregelmäßige Variabilität des Sauerstoffgehaltes, der Wassertemperatur und etlicher hydrochemischer Parameter gekennzeichnet. Im Juli 2017 lag der Sauerstoffgehalt bei $\sim 5\text{ mg/l}$, die elektrische Leitfähigkeit betrug $\sim 402\text{ }\mu\text{S/cm}$ bei 20°C . Im Hinblick auf Stickstoffverbindungen wurden Konzentrationen von $\sim 16,2\text{ mg Nitrat/l}$ bzw. $2,6\text{ mg Ammonium/l}$ gemessen (letzte verfügbare Daten aus dem Jahr 2015). Der Schwellenwert der QZV Chemie GW für Ammonium von $0,45\text{ mg/l}$ wird damit überschritten. Die Tritiumgehalte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge, der Anteil tritiogenen Heliums ist sehr gering ($0,5\text{ TE}$). Die hydrochemischen Daten und

Isotopendaten deuten auf ein im Wesentlichen niederschlagsgespeistes lokales Grundwasservorkommen aus rezenter Grundwasserneubildung hin, das Einzugsgebiet von PG20711142 ist anthropogen beeinflusst. Die **Mittlere Verweilzeit** des Grundwassers liegt im Bereich **< 5 Jahre**.



Regulierter Flusslauf der Gail im Oberen Gailtal

Ebenfalls in die **MVZ-Kategorie < 5 Jahre** ist auch die am Stadtrand von Villach gelegene Messstelle **PG20201162** einzuordnen. Die sehr seichte Messstelle mit einem mittleren Sauerstoff-18-Verhältnis von $-10,13 \text{ ‰ } \delta^{18}\text{O}$ erschließt ein niederschlagsgespeistes lokales Grundwasservorkommen aus rezenter Grundwasserneubildung, untergeordnet ist eine Anreicherung durch Wasser aus dem Gebiet der Villacher Alpe anzunehmen. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch ($\sim 7,4 \text{ mg/l}$), die Wassertemperatur beträgt $\sim 10,9^\circ\text{C}$, die elektrische Leitfähigkeit $\sim 544 \text{ } \mu\text{S/cm}$ bei 20°C . Mitunter erhöhte Natrium- und Chloridkonzentrationen des Grundwassers dürften sich auf den Einfluss lokal versickernder Straßenabwässer zurückführen lassen. Im Jahr 2013 wurden Höchstkonzentration von $29,9 \text{ mg Natrium/l}$ bzw. $63,3 \text{ mg Chlorid/l}$ gemessen, im April 2017 lagen die Konzentrationen bei $12,5 \text{ mg Natrium/l}$ bzw. $16,1 \text{ mg Chlorid/l}$. Die Tritiumgehalte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge, der Anteil tritiogenen Heliums ist gering (1,9 TE).

Die **MVZ-Kategorie 5–10 Jahre** umfasst vier Messstellen des Unteren Gailtales:

Im Biotopkomplex Görtschacher Moos - Obermoos, ursprünglich ein subneutral-mesotrophes Überflutungsmoor (Steiner, 1992), ist **PG20305122** (Gemeinde Hermagor-Pressegger See) situiert. Der Biotopkomplex stellt das letzte noch großflächig erhaltene Gebiet der ehemaligen Talsumpfwiesen im Gailtal dar. Das Grundwasser an der Messstelle ist mit einem Sauerstoffgehalt von $\sim 0,3$ mg/l und einem pH-Wert von $\sim 6,8$ bis $6,9$ durch ein reduzierendes, leicht saures Milieu gekennzeichnet. Hervorzuheben sind der für die beprobten Messstellen des Gailtales vergleichsweise hohe DOC-Gehalt ($\sim 2,1$ mg/l) sowie eine hohe Arsenkonzentration ($\sim 11,7$ $\mu\text{g/l}$), womit der Schwellenwert der QZV Chemie GW für Arsen von 9 $\mu\text{g/l}$ überschritten wird. Der DOC-Gehalt verweist auf die Genese des Gebietes als Überflutungsmoor, da gelöster organischer Kohlenstoff in Mooren in hohen Konzentrationen vorhanden ist und im Unterschied zu mineralischen Standorten im Boden nur wenig gebunden werden kann (Schwalm & Zeitz, 2011). Die vergleichsweise hohe Mineralisierung des Wassers (~ 684 $\mu\text{S/cm}$) ist vorwiegend auf die hohen Gehalte an Hydrogenkarbonat (~ 548 mg/l) und Calcium (~ 132 mg/l) zurückzuführen. Das Grundwasser ist sulfatfrei. Ausgehend von den Daten der stabilen Isotopen, im Mittel $-10,13$ ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und $-77,0$ ‰ $\delta^2\text{H}$, erschließt die Messstelle im Wesentlichen ein niederschlagsgespeistes lokales Grundwasservorkommen, dem sich untergeordnet aus der Gartnerkofelgruppe zuströmende Wässer beimischen. Der mittlere Deuterium-Exzess weicht mit $10,0$ ‰ deutlich von den Werten der anderen untersuchten Messstellen ab – ausgenommen die ebenfalls im Görtschacher Moos lokalisierte Messstelle PG20316262 – und weist auf Verdunstungsprozesse vor der Infiltration des Wassers in den Untergrund hin. Als wesentliche Einflussfaktoren hierfür sind der geringe Grundwasserflurabstand – der Abstich der letzten 10 Jahre variiert zwischen $\sim 0,8$ und $\sim 1,8$ m – und die stagnierenden Bedingungen im Einzugsgebiet anzunehmen. PG20305122 ist durch **Mittlere Grundwasserverweilzeiten von 5–10 Jahren** geprägt.

Die auf 29 m abgeteufte Messstelle **PG20702122** in der Gemeinde Arnoldstein ist durch einen Gehalt an tritiogenem Helium-3 von $5,3$ TE gekennzeichnet, womit die Messstelle am oberen Ende der **MVZ-Kategorie 5–10 Jahre** einzuordnen ist. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch ($\sim 10,8$ mg/l), die elektrische Leitfähigkeit beträgt ~ 361 $\mu\text{S/cm}$ bei 20°C . Mit einem mittleren $\delta^{18}\text{O}$ von $-9,65$ ‰ sowie einem mittleren $\delta^2\text{H}$ von $-63,63$ ‰ weist das Grundwasser vergleichsweise angereicherte Isotopenverhältnisse auf. Die hohe Saisonalität im Sauerstoff-18 deutet auf die Beimischung einer sehr jungen Komponente. Insgesamt repräsentiert die Messstelle ein lokales, niederschlagsgespeistes Grundwasservorkommen. Ein Einfluss der nahegelegenen Gailitz ist mit den vorliegenden

Daten nicht eindeutig verifizierbar. Aufgrund der Fließrichtung der Gailitz ist jedoch eine Beeinflussung der Messstelle durch den Grundwasserbegleitstrom des Flusses nicht auszuschließen. Auffällig ist die markante Beimischung von radiogenem Helium-4 (Punkt 2 in Abbildung 18). Die Beimischung der radiogenen Heliumkomponente deutet auf einen Einfluss des in der Nähe verlaufenden Periadriatischen Lineamentes hin.

Im Bereich der „Schütt“ am Südfuß der Villacher Alpe ist die Messstelle **PG20711312** lokalisiert. Die Schuttmassen an der Südflanke des Dobratsch sind auf mehrere Bergstürze zurückzuführen, das letzte große Ereignis datiert aus dem Jahr 1348. Mit einer Gesamtfläche von rund 24 km² stellt die „Schütt“ das größte Bergsturzgebiet der Ostalpen dar.¹ Die Bergsturmassen erstrecken sich von der Graselitzen bis nahe Nötsch. Die Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte (im Mittel -9,96 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -68,9 ‰ $\delta^2\text{H}$) deuten auf lokale Grundwasserneubildung in den Bergsturmassen des Dobratsch hin und sind durch eine hohe Saisonalität gekennzeichnet. Der Anteil tritiogenen Heliums ist gering (1,5 TE). Aufgrund des niedrigen Tritiumgehaltes von 2,4 TE im dritten Quartal 2017 liegt PG20711312 deutlich unterhalb der Niederschlagsinputfunktion für Sillian (siehe Abbildung 19), ein Hinweis auf die Dominanz infiltrierender Winterniederschläge oder den starken Einfluss einzelner Niederschlagsereignisse. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch (~7,6 mg/l), die elektrische Leitfähigkeit beträgt ~587 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C. Die variablen, mitunter erhöhten Sulfatkonzentrationen (~33 bis 91 mg/l im Zeitraum 2008–2017) deuten auf einen Einfluss der Gipsvorkommen an der Südseite des Dobratsch hin, die u. a. von Strehl et al. (1980) und Kahler (1968) detailliert beschrieben werden. Die generell höheren Natrium- und Chloridkonzentrationen des Grundwassers dürften sich auf den Einfluss von Streusalz bzw. versickernder Straßenabwässer zurückführen lassen – im Anstrombereich der in einem Waldgebiet lokalisierten Messstelle verläuft die Süd-Autobahn A2. Im Jahr 2013 wurden Höchstkonzentrationen von 17,2 mg Natrium/l bzw. 35,6 mg Chlorid/l gemessen, im April 2017 lagen die Konzentrationen bei 13,8 mg Natrium/l bzw. 20,6 mg Chlorid/l. Das Grundwasser bei PG20711312 ist durch **Mittlere Verweilzeiten von 5–10 Jahren** gekennzeichnet.

Dem oberen Ende der **MVZ-Kategorie 5–10 Jahre** ist die auf 33,5 m abgeteufte Messstelle **PG20201192** im Stadtgebiet von Villach nahe der Gail zuzuordnen. Seit 2015 schwankt der Abstich zwischen ~10 und ~14 m, zuvor zwischen ~4 und ~9 m. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch (~8,4 mg/l) und vergleichsweise gering mineralisiert (~352 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei

¹ Weiterführende Informationen können beispielsweise der Homepage des BMLRT unter Umwelt > Natur- und Artenschutz > LIFE-Natur > Abgeschlossene LIFE-Projekte > [Schütt-Dobratsch](#) entnommen werden.

20°C). Der Gehalt tritiogenen Heliums im Grundwasser beträgt 4,4 TE. Die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge. Ausgehend von den Sauerstoff-18- und Deuteriumwerten (im Mittel -10,24 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -69,45 ‰ $\delta^2\text{H}$) sowie den untersuchten hydrochemischen Parametern ist ein lokal gespeistes Grundwasservorkommen anzunehmen, das eine Anreicherung durch Wässer aus dem Gebiet der Villacher Alpe erfährt und durch den im Nahbereich der Gail ausgebildeten Grundwasserbegleitstrom beeinflusst wird.

Drei Messstellen im Unteren Gailtal sind durch **Mittlere Verweilzeiten von 11–25 Jahren** gekennzeichnet:

PG20305082 in der Gemeinde Hermagor-Pressegger See ist mit einer Endteufe von 101 m die tiefste aller im Gailtal beprobten und hinsichtlich der Mittleren Verweilzeiten bewerteten Messstellen. Die im Biotopkomplex Görtschacher Moos - Obermoos situierte Messstelle weist anders als die nahegelegene Messstelle PG20305122 (siehe oben) eine geringe Mineralisierung auf ($\sim 225 \mu\text{S}/\text{cm}$). Das Grundwasser an der Messstelle ist durch ein sauerstoffarmes Milieu gekennzeichnet ($\sim 0,2 \text{ mg}/\text{l}$ im Oktober 2017) und sulfatfrei. Das Mg/Ca-Verhältnis von 0,73 lässt auf Kontakt des Grundwassers mit Dolomit schließen. Der Grundwasserflurabstand ist gering, die Bandbreite des Abstichs beläuft sich auf $\sim 1,2$ bis $\sim 2,7$ m während der letzten zehn Jahre. Entsprechend dem Ausbau mit mehreren, zum Teil langen Filterstrecken ist das Grundwasser an der Messstelle durch eine Mischung verschiedener Wässer gekennzeichnet. Ausgehend von den stabilen Isotopenverhältnissen, die im Mittel -10,60 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -72,9 ‰ $\delta^2\text{H}$ aufweisen (Punkt 3 in Abbildung 16) sowie den untersuchten hydrochemischen Parametern erschließt die Messstelle vorwiegend Wässer, die aus der Gartnerkofelgruppe zuströmen und den Talgrundwasserkörper anreichern. Damit unterscheidet sich PG20305082 deutlich von den beiden anderen im Görtschacher Moos lokalisierten Messstellen PG20305122 und PG20316262, die im Wesentlichen lokal im Talboden gebildetes Grundwasser erfassen. Dies zeigt sich auch im Deuterium-Exzess, der für PG20305082 im Mittel 11,9 ‰ beträgt, verglichen mit den durch Verdunstungsprozesse beeinflussten Werten von 10,0 bzw. 9,7 ‰ für die anderen beiden Messstellen. Die Konzentration tritiogenen Heliums im Grundwasser ist mit 11,4 TE vergleichsweise hoch. Bedingt durch Mischungsprozesse bzw. den Verlust von Helium entlang des Fließweges plottet PG20305082 oberhalb der rekonstruierten Tritiumzeitreihe für Sillian (Abbildung 19). Die Beimischung einer radiogenen Heliumkomponente (Punkt 3 in Abbildung 18) indiziert einen Einfluss des in der Nähe verlaufenden Iseltalstörungssystems.

Die ebenfalls im Bereich des Görtschacher Moos - Obermoos lokalisierte Messstelle **PG20316262** ist durch ein im Wesentlichen niederschlagsgespeistes lokales Grundwasservorkommen geprägt, repräsentiert durch vergleichsweise angereicherte mittlere Werte für Sauerstoff-18 von $-9,75\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$ bzw. $-68,3\text{‰}$ $\delta^2\text{H}$ für Deuterium. Die hohe Mineralisierung des Grundwassers ($\sim 834\text{ }\mu\text{S/cm}$) ist vorwiegend auf die Gehalte an Hydrogenkarbonat ($\sim 649\text{ mg/l}$) und Calcium ($\sim 157\text{ mg/l}$) zurückzuführen. Das Grundwasser der auf eine Tiefe von 16 m ausgebauten Messstelle ist nahezu sauerstofffrei ($\sim 0,2\text{ mg/l}$) und sulfatfrei. Der pH-Wert liegt im Bereich von $\sim 6,8$ bis $\sim 6,9$. Hervorzuheben ist die mit $\sim 67,2\text{ }\mu\text{g/l}$ sehr hohe Arsenkonzentration, die mit hohen Eisen- und Mangangehalten einhergeht ($\sim 36,6\text{ mg Eisen/l}$ und $\sim 0,51\text{ mg Mangan/l}$), da im reduzierenden Milieu Eisen- und Mangan(hydr)oxide reduziert werden, wodurch das gebundene Arsen, das ursprünglich aus der Verwitterung arsenhaltiger Erze in das Grundwasser eingetragen wurde, wieder freigesetzt wird. Der DOC-Gehalt des Grundwassers fällt mit $3,7\text{ mg/l}$ hoch aus und verweist auf die Genese des Gebietes als Überflutungsmoor. Der geringe Grundwasserflurabstand (Bandbreite des Abstichs $\sim 1,0$ bis $\sim 2,8\text{ m}$ während der letzten zehn Jahre) und die stagnierenden Bedingungen im Einzugsgebiet sind als Ursachen für den mit $9,7\text{‰}$ geringsten mittleren Deuterium-Exzess aller beprobten Messstellen des Gailtales anzunehmen, der auf Verdunstungsprozesse vor der Infiltration des Wassers in den Untergrund deutet. Ebenfalls in Verbindung mit den spezifischen Standortbedingungen dürften der Verlust von Helium bzw. Entgasungserscheinungen zu sehen sein (Abbildung 18 und Abbildung 19) sowie darüber hinaus auch längere Verweilzeiten des Grundwassers, womit die Messstelle aufgrund einer markanten Beimischung tritiogenen Heliums ($18,6\text{ TE}$) in die **MVZ-Kategorie 11–25 Jahre** fällt.

Die Mittlere Verweilzeit der in der Gemeinde Finkenstein am Faaker See gelegenen Messstelle **PG20711342** ist dem unteren Bereich **der MVZ-Kategorie 11–25 Jahre** zuzuordnen. Das Grundwasser der auf 11 m abgeteuften Messstelle weist einen Sauerstoffgehalt von $\sim 4,4\text{ mg/l}$ auf, die elektrische Leitfähigkeit beträgt $\sim 474\text{ }\mu\text{S/cm}$ bei 20°C , die Nitratkonzentration $\sim 9\text{ mg/l}$. Die stabilen Isotope mit einem mittleren $\delta^{18}\text{O}$ von $-10,01\text{‰}$, einem mittleren $\delta^2\text{H}$ von $-69,27\text{‰}$ und einer saisonalen Variabilität verweisen im Wesentlichen auf ein niederschlagsgespeistes lokales Grundwasservorkommen, wobei eine Mischung aus aktueller Grundwasserneubildung und älteren Komponenten vorliegt. Der Gehalt tritiogenen Heliums beträgt $9,3\text{ TE}$. Das an dieser Messstelle nachgewiesene radiogene Helium-4 deutet auf Wegigkeiten für tiefer zirkulierendes Grundwasser bzw. Gase hin. Zum einen wird das Gailtal gegen Osten durch einen tertiär angelegten Schwellenbereich begrenzt (Poltnig, 1987), zum anderen verläuft

die Periadriatische Naht nahe der Messstelle. Tendenziell längere Verweilzeiten im Einzugsgebiet von PG20711342 werden durch die orographischen Gegebenheiten der Umgebung begünstigt, da die Dobrawa an der östlichen sowie die Graschelitzen an der westlichen Seite der Gail bei der Enge von Müllnern eine Schmalstelle formen, wodurch der Grundwasserstrom des Gailtales beim Übergang in das Villacher Becken beeinflusst wird (Anderle, 1954; Probst & Zojer, 1993).

Die Mittlere Verweilzeit von **PG20707122** in Feistritz ist im oberen Bereich der **MVZ-Kategorie 26–50 Jahre** einzuordnen, womöglich darüber. Der Anteil älterer Komponenten (siehe Abbildung 19) ist mit den vorliegenden Daten nicht verifizierbar. Die auf 41 m abgeteufte Messstelle erschließt artesisches Grundwasser. PG20707122 ist durch gering mineralisiertes ($\sim 344 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C) und nahezu sauerstoffreies Wasser ($\sim 0,3 \text{ mg}/\text{l}$) gekennzeichnet. Die Sulfatkonzentration beträgt $\sim 10,6 \text{ mg}/\text{l}$, die Arsenkonzentration $\sim 2,9 \mu\text{g}/\text{l}$. Aus dem Vergleich mit der nächstgelegenen Niederschlagsstation des Isotopenmessnetzes ANIP in Sillian, die bei einer Höhenlage von 1.075 m ü. A. ein gewichtetes Mittel von $-11,04 \text{ ‰}$ für $\delta^{18}\text{O}$ und $-78,3 \text{ ‰}$ für $\delta^2\text{H}$ aufweist, ist das Neubildungsgebiet des Grundwassers von PG20707122 mit einem mittleren $\delta^{18}\text{O}$ von $-11,04 \text{ ‰}$ und einem mittleren $\delta^2\text{H}$ von $-77,3 \text{ ‰}$ im Wesentlichen auf einer mittleren Höhe von etwa 1.100 m an den Flanken des Omberges bzw. der Oisterniggruppe in den südlich an das Gailtal angrenzenden Karnischen Alpen anzusiedeln. Das Auftreten artesischer Grundwässer bei Feistritz steht in Verbindung mit großflächig ausgebildeten, schwer durchlässigen Lehmschichten im Talboden sowie den Bergsturzmassen des Dobratsch und der damit einhergehenden verstärkten Vorflutfunktion der Gail unmittelbar westlich der Schütt: „Infolge der Rückstauwirkung der Bergsturzmassen strömt das Talgrundwasser bevorzugt in den Vorfluter, diese Dynamik wird durch das Auftreten von artesischen Grundwässern im Talabschnitt westlich von Feistritz/Nötsch nachgewiesen“ (Zojer, 1995). Das Grundwasser weist mit 74,8 TE den weitaus höchsten Gehalt tritiogenen Heliums aller im Gailtal untersuchten Messstellen auf. Die Beimischung einer radiogenen Heliumkomponente (Punkt 1 in Abbildung 18) deutet auf einen Einfluss des in unmittelbarer Nähe verlaufenden Periadriatischen Störungssystems.

Zusammenfassend lassen sich die untersuchten Grundwassermessstellen im Gailtal als charakteristisch für lokale Grundwasservorkommen mit sowohl kurzen als auch längeren Mittlere Verweilzeiten beschreiben. Dementsprechend ergibt sich bereichsweise eine erhöhte Empfindlichkeit dieser Wasserressourcen gegenüber Änderungen im Wasserhaushalt sowie bewirtschaftungsbedingten Änderungen der Wasserqualität.

Tabelle 3: Grundwasserkörper Gailtal [DRA]: Isotopendaten und Mittlere Verweilzeiten

Messstelle	Gemeinde	Teufe (m u. GOK)	$\delta^{18}\text{O}$ (Mittel) (‰ V- SMOW)	VarK $\delta^{18}\text{O}$ (%)	^3H	^3H	$^3\text{He}_{\text{trit}}$ (TE)	$^4\text{He}_{\text{radio}}$ (Nml/kg)	ΔNe (%)	MVZ- Kategorie (Jahre)
					3. Quartal 2017 (TE)	1. Quartal 2018 (TE)				
PG20201162	Villach	4,6	-10,13	2,2	5,9	5,2	1,9	3,2E-06	6	<5
PG20201192	Villach	33,5	-10,24	1,7	6,0	3,9	4,4	7,0E-06	5	5-10
PG20305062	Hermagor-Pressegger See	8,6	-9,65	3,3	7,1	5,3	0,3	0,0E+00	8	<5
PG20305082	Hermagor-Pressegger See	101,5	-10,60	0,3	6,0	-	11,4	3,6E-05	5	11-25
PG20305112	Hermagor-Pressegger See	8,3	-9,71	2,2	7,6	-	0,5	5,8E-07	11	<5
PG20305122	Hermagor-Pressegger See	30,0	-10,13	1,4	6,3	-	2,5	0,0E+00	13	5-10
PG20306042	Kirchbach	8,3	-9,88	2,4	6,7	5,9	-	-	-	<5**
PG20307032	Kötschach-Mauthen	10,0	-9,77	2,9	7,1	6,4	0,1	0,0E+00	12	<5
PG20307042	Kötschach-Mauthen	36,0	-10,93	3,2	2,6	-	0,3	0,0E+00	47	<5
PG20307332	Kötschach-Mauthen	-	-10,48	-	-	-	-	-	-	_*
PG20316262	St. Stefan im Gailtal	16,0	-9,75	1,0	5,6	-	18,6	0,0E+00	-6	11-25

Messstelle	Gemeinde	Teufe (m u. GOK)	$\delta^{18}\text{O}$ (Mittel) (‰ V- SMOW)	VarK $\delta^{18}\text{O}$ (%)	^3H 3. Quartal 2017 (TE)	^3H 1. Quartal 2018 (TE)	$^3\text{He}_{\text{trit}}$ (TE)	$^4\text{He}_{\text{radio}}$ (Nml/kg)	ΔNe (%)	MVZ- Kategorie (Jahre)
PG20702122	Arnoldstein	29,0	-9,65	3,4	6,9	3,7	5,3	5,6E-05	-3	5-10
PG20707112	Feistritz an der Gail	107,5	-10,52	0,1	-	9,0	-	-	-	-*
PG20707122	Feistritz an der Gail	41,0	-11,04	0,7	6,4	4,3	74,8	1,3E-04	19	26-50
PG20711142	Finkenstein am Faaker See	11,6	-9,94	-	5,1	-	0,5	1,0E-07	4	<5**
PG20711152	Finkenstein am Faaker See	11,0	-10,37	1,8	6,8	4,8	1,2	3,2E-07	23	<5
PG20711312	Villach	21,0	-9,96	3,3	2,4	5,2	1,5	2,4E-06	11	5-10
PG20711342	Finkenstein am Faaker See	11,0	-10,01	2,2	7,0	3,9	9,3	2,2E-05	19	11-25

Anmerkungen:

* keine Altersabschätzung möglich

** Altersabschätzung mit höheren Unsicherheiten behaftet aufgrund teilweise fehlender Messdaten

Quelle: Umweltbundesamt

5 Krappfeld [DRA]

5.1 Überblick

Das Krappfeld ist eine Talebene der Gurk und erstreckt sich von der Gemeinde Althofen im Norden bis zur Ortschaft Passering im Süden über eine Länge von ca. 14 km. Der fruchtbare Boden des Krappfelds wurde schon zu Zeiten der Kelten und Römer für den Getreide- und Obstanbau genutzt und ist vergleichsweise dicht besiedelt. Bis heute ist das Landschaftsbild durch die Landwirtschaft geprägt, daher wird das Krappfeld auch als die „Kornkammer Kärntens“ bezeichnet.



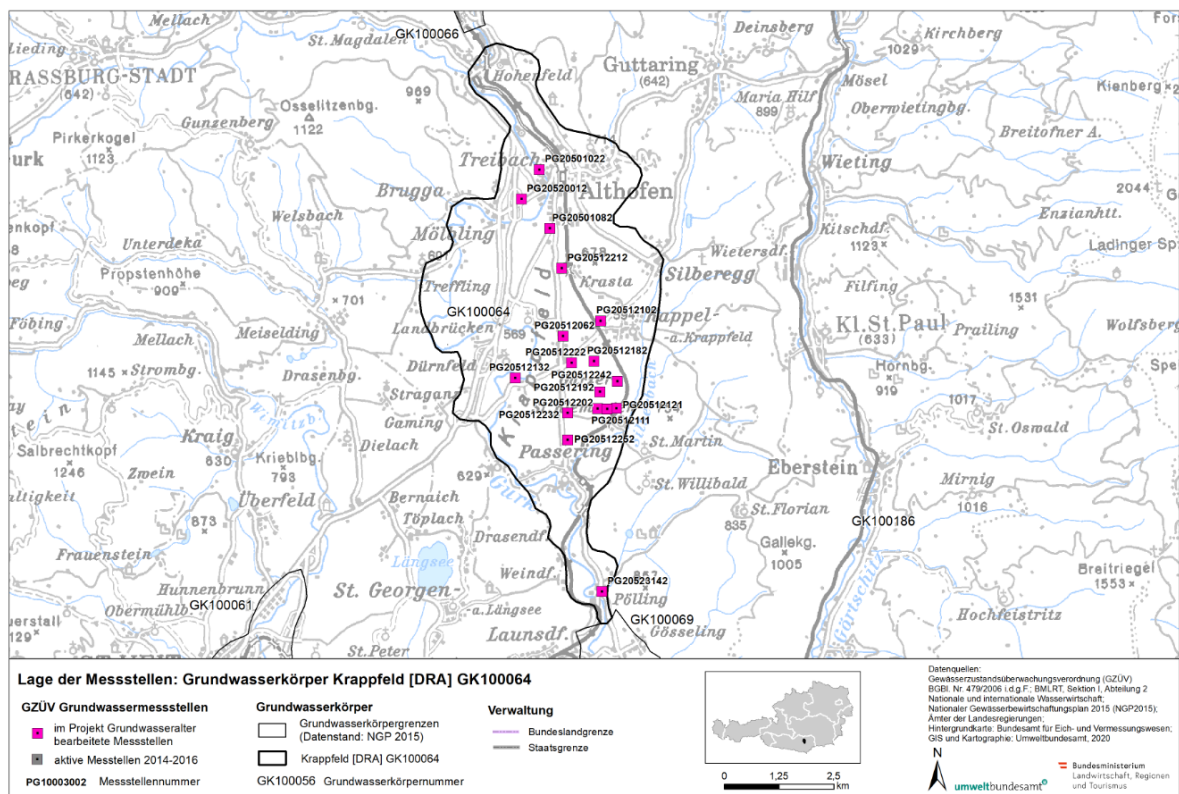
Blick über das Krappfeld

Das Krappfeld stellt ein Einbruchsbecken dar, das treppenförmig entlang von Nord nach Süd streichenden tektonischen Brüchen zwischen den Gurktaler Alpen im Westen und der Saualpe im Osten abgesenkt ist. Die Gurktaler Decke und mergelige Ablagerungen aus der Oberkreide bilden den Beckenuntergrund und somit die stauenden Schichten. Die Sedimentfüllung des Beckens besteht aus tertiären Feinkornablagerungen, die direkt auf dem Stauer aufliegen und den darüber liegenden mächtigen glazialen Kiesen und Sanden. Da in dieser Sedimentfüllung immer wieder schluffige Lagen eingeschaltet sind, kommt es zur Ausbildung von mehreren Grundwasserhorizonten.

Die langjährige mittlere Jahresniederschlagssumme variiert zwischen 778 und 805 mm. Die Grundwasserneubildung erfolgt hauptsächlich über die flächenhafte Versickerung von Niederschlag. Im Norden infiltriert auch Wasser aus der Gurk flächig in das Grundwasser.

Der Grundwasserflurabstand erreicht maximal 42 m und liegt im Mittel bei 27 m. Der geringste Flurabstand liegt bei 20 m. Im Bereich der Würm-Hauptterrasse befindet sich ein seicht liegender Grundwasserkörper, der durch das Fehlen von dichten Deckschichten stark anthropogen beeinflusst ist. Darunter folgt ein Horizont mit fein- bis grobsandigen Kiesen, der den Hauptgrundwasserleiter darstellt und dessen Grundwasserspiegel sich im Bereich von etwa 27 bis 28 m unter Gelände befindet. Die Oberkante des Grundwasserstauers (schluffig-tonige Schichten) liegt etwa in 45 m Tiefe. Die Grundwassermächtigkeit dieses Hauptgrundwasserleiters beträgt etwa 17 bis 18 m.

Abbildung 21: Übersichtskarte Grundwasserkörper Krappfeld [DRA] mit den ausgewählten GZÜV-Messstellen



Datenquelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

Rund 90 % der Fläche des Krappfelds wird landwirtschaftlich genutzt, woraus das größte Belastungspotenzial für den Grundwasserkörper resultiert. Weitere anthropogene

Einflüsse auf das Grundwasser ergeben sich aufgrund von Industrieanlagen, Altlasten und Deponien, Wasserentnahmen, Verkehr sowie Forstwirtschaft.

Insgesamt 17 GZÜV-Grundwassermessstellen des Grundwasserkörpers Krappfeld [DRA] wurden hinsichtlich der Mittleren Verweilzeiten des Grundwassers untersucht (Abbildung 21). Eine detaillierte Beschreibung des Grundwasserkörpers ist im Anhang enthalten.

5.2 Ergebnisse

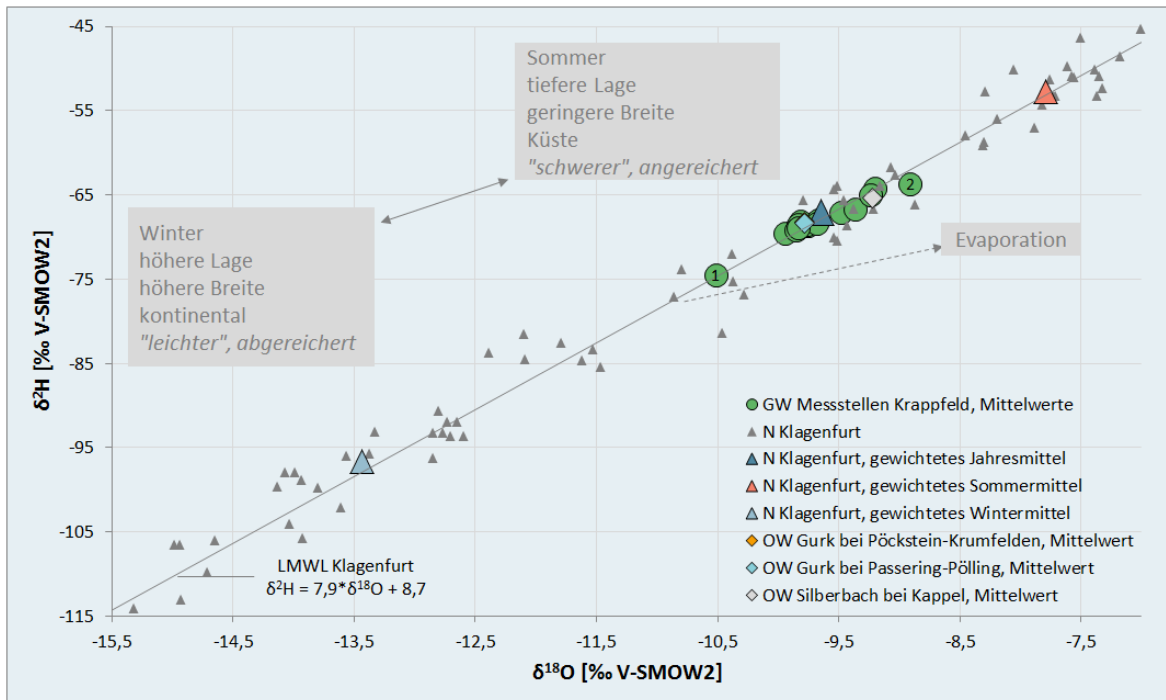
5.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium

Die graphische Gegenüberstellung der Sauerstoff-18 und Deuteriumkonzentrationen im Niederschlag, Grund- und Oberflächengewässern in Abbildung 22 erlaubt Rückschlüsse auf Bildungsbedingungen und Mischungsprozesse der lokalen Grundwasservorkommen.

Die Daten der stabilen Isotopen der beprobten Niederschlagswässer in Klagenfurt sowie der Grund- und Oberflächengewässer im Krappfeld sind in Abbildung 22 dargestellt. Die Sauerstoff-18- und Deuteriumkonzentrationen der untersuchten Porengrundwassermessstellen im Krappfeld gruppieren sich um das gewichtete Niederschlagsmittel in Klagenfurt (Abbildung 22). Das Grundwasser ist demnach im Wesentlichen eine ausgeglichene Mischung aus infiltrierten Sommer- und Winterniederschlägen.

Im Gegensatz dazu weist die Messstelle PG20512232 in der Gemeinde Kappel deutlich abgereicherte, d.h. „leichtere“ Isotopenwerte auf (Punkt 1 in Abbildung 22). Die Ursache hierfür ist gegenwärtig unbekannt. Anhand von Untersuchungen weiterer Alterstracer kann geprüft werden, ob beispielsweise Grundwasser aus eiszeitlicher Neubildung eine Rolle spielt. Eine Verschiebung der Isotopensignatur in Richtung des gewichteten Mittels der Sommerniederschläge in Klagenfurt ist für die durch leichte Verdunstungseffekte geprägte Messstelle PG20512102 in der Gemeinde Kappel zu verzeichnen (Punkt 2 in Abbildung 22).

Abbildung 22: Mittelwerte der Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen des Grundwasserkörpers Krappfeld [DRA] im Vergleich zu den beprobten Oberflächengewässern (OW) sowie dem Niederschlag (N) in Klagenfurt (2008–2017)



Anmerkungen: (1) PG20512232 (Kappel am Krappfeld)

Quelle: Umweltbundesamt

(2) PG20512102 (Kappel am Krappfeld)

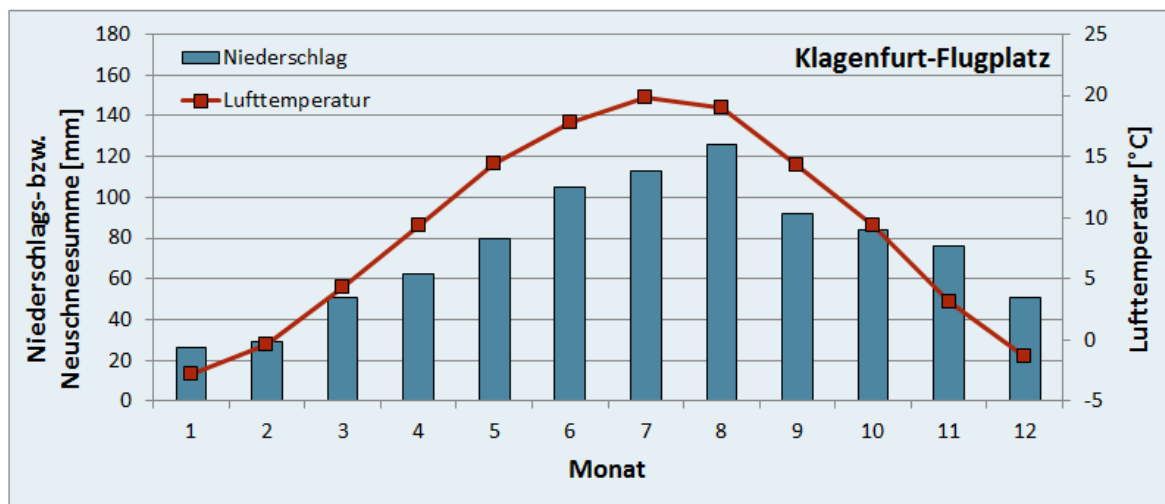
Da die Gurk bei Passering-Pölling und bei Pöckstein-Krumfelden nahezu gleiche Isotopenverhältnisse aufweist, liegen die mittleren Werte beider Punkte übereinander.

Das Krappfeld zählt zu den niederschlagsärmsten Regionen Kärntens. Abweichend zu in den im gegenständlichen Projekt ebenfalls untersuchten Grundwasserkörpern Gailtal und Südliche Kalkalpen übersteigen die Niederschlagssummen im Sommer deutlich jene des Herbstes (Abbildung 23, vgl. auch Abbildung 17). Der mittlere Jahresniederschlag 1981–2010 beläuft sich im zentralen Bereich des Krappfeldes auf 778 mm (ZAMG/Klimanormalwerte). Der Talboden des Krappfeldes heizt sich im Sommer besonders gut auf und zeigt daher ein gehäuftes Auftreten von Gewittern (Holzeis et al., 2014). Neben der flächenhaften Infiltration von Niederschlägen im Gebiet des Krappfeldes kommt auch der Gurk Bedeutung für die Alimentierung des Grundwassers zu. Im nördlichen Bereich des Grundwasserkörpers bis etwa in den Raum Landsbrücken/Haidkirchen dotiert die Gurk bei Hochwässern das Grundwasser über die Flanken des Flussbettes, während der Fluss im südlichen Bereich des Krappfeldes als

Vorflut für das Grundwasser fungiert. Gurkwasserangereichertes Grundwasser ist im gesamten Krappfeld vorhanden, wobei je nach Lage innerhalb des Beckens die Beimischungsrate des Flusswassers unterschiedlich ausfällt (Herzog, 1988). Aus der Beckenumrahmung des Krappfeldes – den Gurktaler Phylliten und Karbonaten der Trias- und Oberkreide – erfolgen keine größeren Wasserzutritte (Harum & Zojer, 1981).

Beispielhaft sind zur Darstellung der klimatischen Bedingungen in Abbildung 23 die Klimamittelwerte der Station Klagenfurt-Flugplatz mit Niederschlagssummen und Lufttemperaturen wiedergegeben.

Abbildung 23: Klimamittelwerte der Station Klagenfurt-Flugplatz im Bezugszeitraum 1981–2010. Niederschlag = mittlere monatliche Niederschlagssumme im Monat xy, Temperatur = mittlere monatliche Lufttemperatur im Monat xy.



Datenquelle: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/daten-download/klimamittel>

Die Gurk, ein in den südlichen Gurktaler Alpen entspringender Mittelgebirgsfluss, durchströmt das Krappfeld leicht mäandrierend von Nord nach Süd. Das Einzugsgebiet der Gurk umfasst vorrangig mittlere bis niedrigere Höhenlagen in vergleichsweise niederschlagsärmeren Gebieten, die durch ein eher geringes Gefälle und höhere Verdunstung geprägt sind, wodurch Abflussmenge und Abflussdynamik gering ausfallen. Nach einem winterlichen Minimum steigt der Abfluss im Mai aufgrund der Schneeschmelze. Während des Sommers ist der Wasserstand vergleichsweise niedrig und zeigt im Herbst einen Anstieg bedingt durch die rückläufige Verdunstung (Holzeis et al.,

2014). Die Signaturen der stabilen Isotope der Gurk, die an zwei Stellen – bei Pöckstein-Krumfelden und Passering-Pölling – beprobt wurde, gruppieren sich um das gewichtete Mittel von Klagenfurt und zeigen eine saisonale Variabilität. Nennenswerte Unterschiede zwischen den Isotopenverhältnissen beider Probenahmepunkte im Norden bzw. Süden des Krappfeldes sind nicht zu verzeichnen. Weiterhin wurde nahe Kappel der am östlichen Rand des Krappfeldes verlaufende Silberbach beprobt, dessen Wasser im Sauerstoff-18 und Deuterium isotopisch angereichert ist im Vergleich zu den zeitgleich entnommenen Proben der Gurk – ein Ausdruck des niedriger gelegenen Einzugsgebietes. Die Isotopensignaturen der Beprobungen des Silberbaches im Oktober und insbesondere im Juli zeigen leichte Verdunstungseffekte.

5.2.2 Tritium/Helium-3

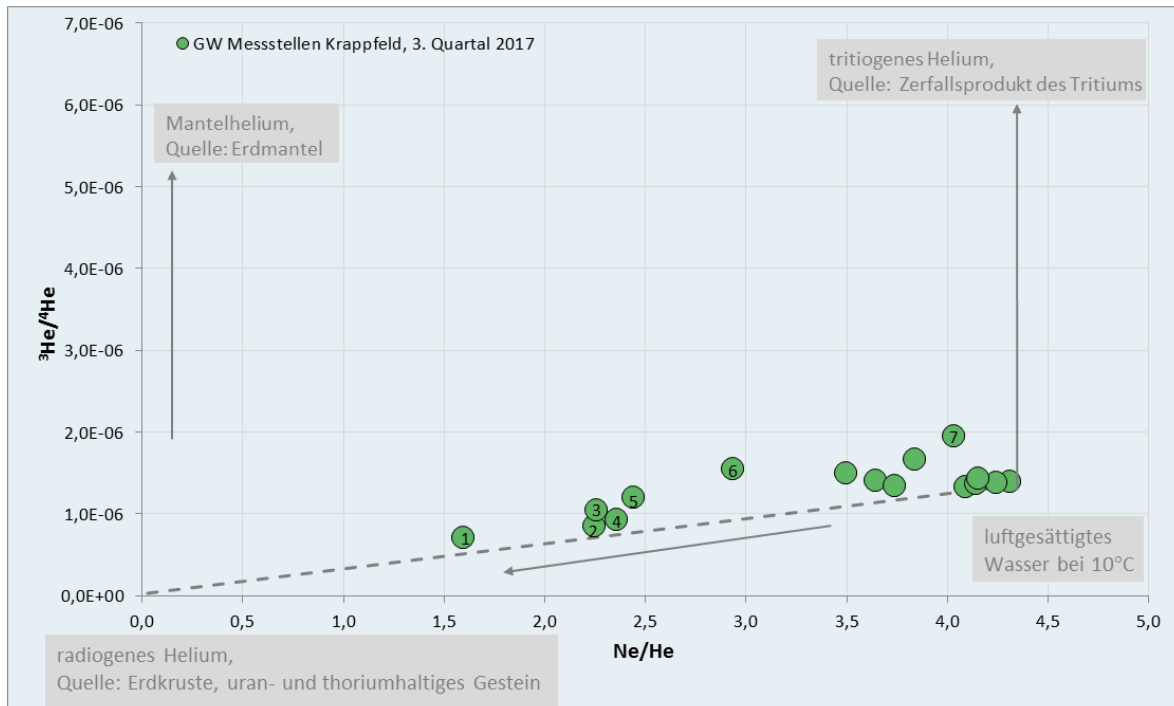
Radiogene, tritiogene und Mantelkomponenten des Heliums im beprobten Grundwasser des Krappfeldes können anhand der 3-Komponenten-Darstellung in Abbildung 24 unterschieden werden. Diese Differenzierung erlaubt weitere Rückschlüsse auf die Art und Weise der Grundwasserneubildung sowie auf unterirdische Wegigkeiten für Wasser und Gase.

Für 16 von 17 im Rahmen des Projektes untersuchte Messstellen im Krappfeld konnten Probenahmen für die Tritium-/Heliumanalytik durchgeführt werden. Zwölf Messstellen enthielten zum Teil signifikante Mengen tritiogenen Heliums; die Infiltration des untersuchten Grundwassers liegt somit schon länger zurück (Abbildung 24). Drei weitere Messstellen enthielten geringfügige Mengen, eine Messstelle nahezu kein tritiogenes Helium. Diese Messstellen sind durch aktuelle Grundwasserneubildung gekennzeichnet.

Sechs Messstellen (Punkte 1 bis 6 in Abbildung 24) weisen eine markante Beimischung von radiogenem Helium-4 auf. Der Nachweis radiogenen Heliums wird häufig mit dem Auftreten von Störungszonen und/oder tieferer Zirkulation von Grundwasserkomponenten sowie dem Kontakt mit uran- und thoriumhaltigen Gesteinen in Verbindung gebracht.

Fünf der untersuchten Messstellen gruppieren sich nahe der Heliumzusammensetzung von Wasser im Gleichgewicht mit der Atmosphäre und verweisen dementsprechend auf kürzlich infiltriertes Grundwasser ohne zusätzliche terrigene bzw. tritiogene Heliumkomponenten.

Abbildung 24: Heliumkomponenten des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA]



- Anmerkungen: (1) PG20512062 (Kappel am Krappfeld)
 (2) PG20501022 (Althofen)
 (3) PG20512222 (Kappel am Krappfeld)
 (4) PG20512232 (Kappel am Krappfeld)
 (5) PG20512252 (Kappel am Krappfeld)
 (6) PG20512121 (Kappel am Krappfeld)
 (7) PG20512102 (Kappel am Krappfeld)

Quelle: Umweltbundesamt

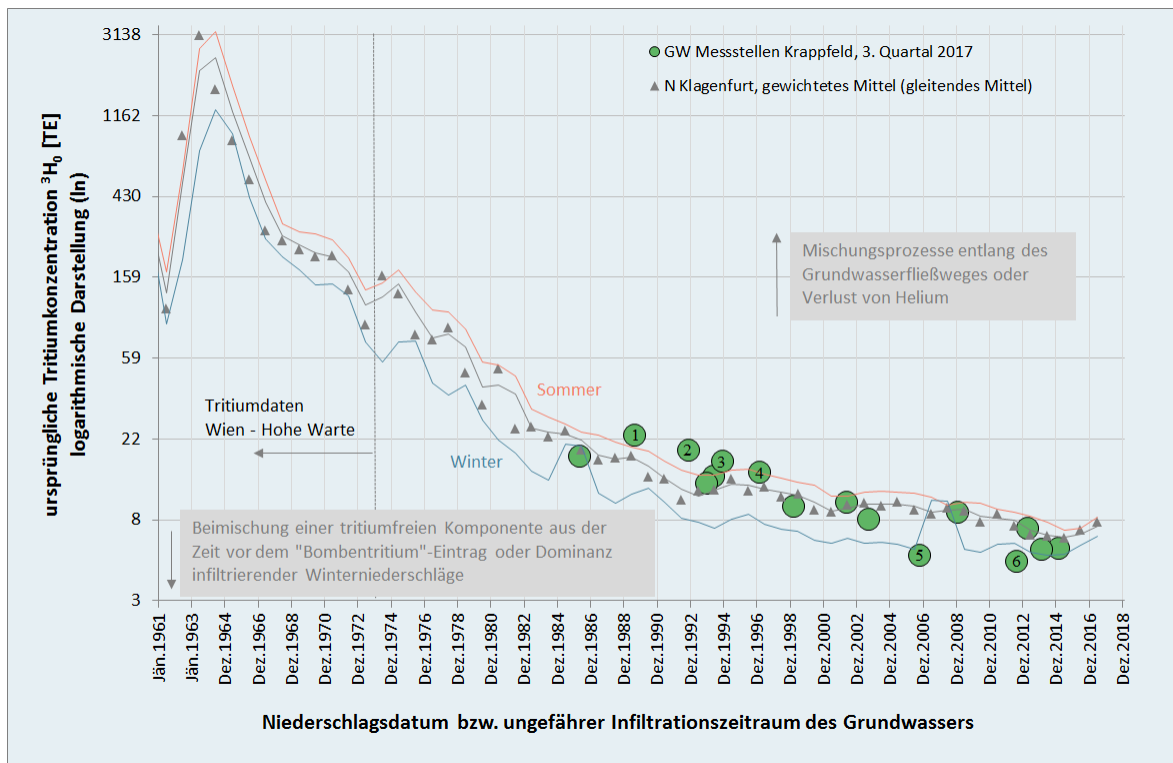
Mitunter höhere Luftüberschüsse in den Proben – ausgedrückt durch hohe ΔNe -Werte in Tabelle 4 – deuten auf schnelle Reaktionen des Grundwasserspiegels gegenüber Regen- und Hochwasserereignissen hin, bei denen es zum Einschluss von Luftblasen aus der ungesättigten Zone kommt.

Im Wesentlichen reflektieren die Tritiumgehalte der beprobten Grundwässer des Krappfeldes die Isotopenzusammensetzung der lokalen Niederschläge vergangener Jahre (Abbildung 25).

Ein Teil der Grundwasserproben liegt oberhalb der Inputfunktion der ursprünglichen Tritiumgehalte für Klagenfurt. Diese Abweichung kann auf Mischungsprozesse entlang des Grundwasserfließweges bzw. den Verlust von Helium aufgrund längerer Verweilzeiten des

infiltrierenden Wassers in der ungesättigten Zone zurückzuführen sein (siehe Kapitel 0, Abbildung 6). Zwei Grundwasserproben sind durch einen Tritiumgehalt unterhalb der Niederschlagszusammensetzung gekennzeichnet, was auf einen verstärkten Einfluss infiltrierender Winterniederschläge oder tritiumfreie Grundwasserkomponenten hindeutet.

Abbildung 25: Zeitreihe der Tritiumkonzentrationen des Niederschlags (N) in Klagenfurt (1961–2017) als Jahres-, Sommer- und Wintermittel im Vergleich zu den rekonstruierten Tritiumkonzentrationen der ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA]



- Anmerkungen: (1) PG20512121 (Kappel am Krappfeld)
 (2) PG20512252 (Kappel am Krappfeld)
 (3) PG20512222 (Kappel am Krappfeld)
 (4) PG20512111 (Kappel am Krappfeld)
 (5) PG20512212 (Kappel am Krappfeld)
 (6) PG20501082 (Kappel am Krappfeld)

Quelle: Umweltbundesamt

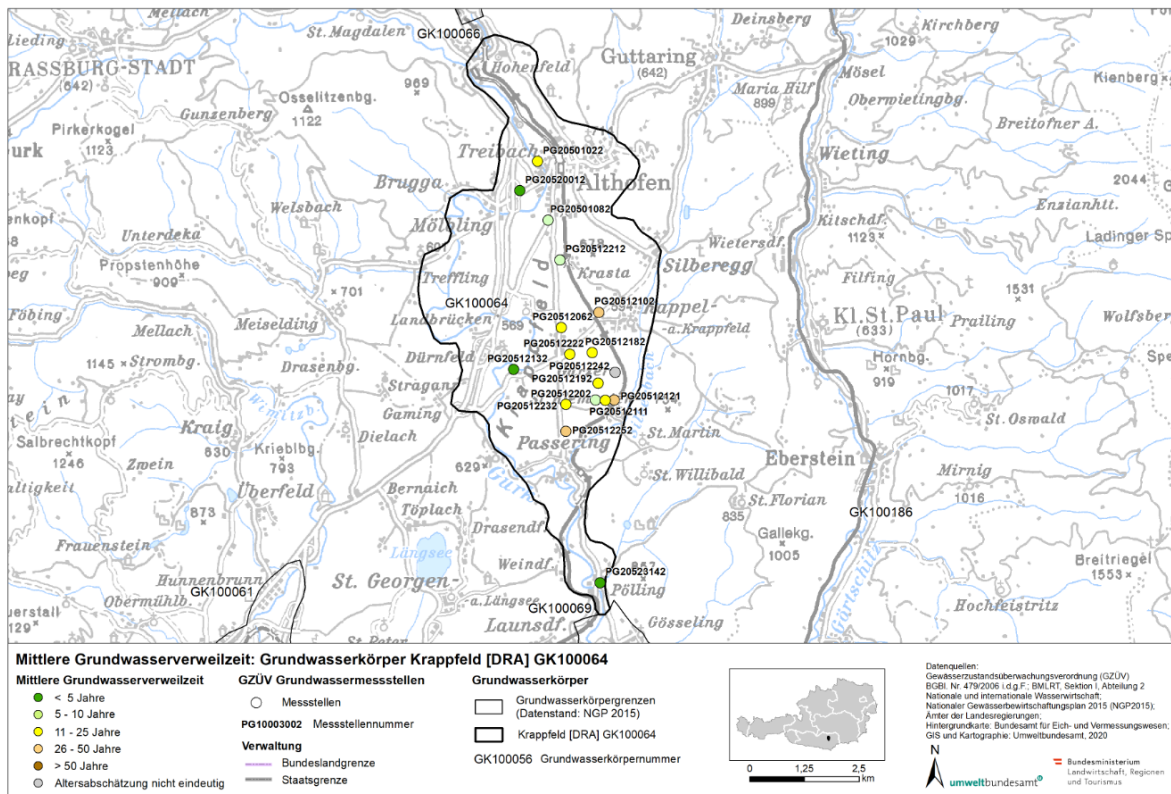
5.3 Diskussion – Ergebnis

Der Porengrundwasserkörper Krappfeld befindet sich in einem schmalen, tektonisch eingesenkten Becken zwischen den Gurktaler Alpen im Westen und der Saualpe im Osten, das von der Tiefenrinne eines alten Gurktales in Nord-Süd-Richtung durchzogen wird. Das Grundwasservorkommen des Krappfeldes ist an die sandig-kiesigen Schichten der quartären Beckenfüllung gebunden. In die quartären Lockersedimente sind zwei gering durchlässige Feinkornhorizonte eingeschaltet, von denen der tiefere flächig ausgebildet ist, während der obere Feinkornhorizont im Norden des Grundwasserkörpers teilweise fehlt oder nur reduziert ausgebildet ist. Somit sind im Krappfeld generell drei getrennte Grundwasserhorizonte vorhanden, wobei der oberflächennahe Aquifer im Norden des Grundwasserkörpers entweder nicht oder nur als Sickerwasserhorizont vorhanden ist. Ab rund 10 m bis ca. 25 m unter dem Gelände der Niederterrasse der Würm – die Hauptterrasse liegt etwa 20 m höher – ist ein zweiter Grundwasserhorizont, der den Hauptgrundaquifer des Krappfeldes bildet, an gut durchlässige Sande und Kiese gebunden. Der dritte, tiefliegende Grundwasserhorizont beginnt ab einer Tiefe von ca. 50 m (Umweltbundesamt, 1996). Die Umrahmung des Krappfeldes bilden im Norden und Nordwesten die paläozoischen Phyllite, Kalkphyllite und Kalke der östlichen Gurktaler Alpen, im Osten und Südosten die Kalke und Mergel der Oberkreide (Zojer & Harum, 1979). Die Grundwasserneubildung erfolgt über die Versickerung von Niederschlagswässern sowie durch Infiltration von Wasser der Gurk.

Hinsichtlich der beobachteten Beimischung von radiogenem Helium-4 bieten tektonische Störungssysteme entsprechende Wegigkeiten. Das Krappfeld liegt im Bereich der Zollfeld- bzw. Krappfeldstörung, einer NNE-SSW-streichenden Störung, die einen Teil des Görtschitztal-Störungssystems am Rand des Klagenfurter Beckens bildet (Kahler, 1953). Sowohl Störungssysteme bzw. ihre Begleitstörungen als auch Grundgebirgsschwellen können entsprechende Wegigkeiten für den Aufstieg von Gasen und tief zirkulierenden Grundwässern bieten.

Generell zeigte sich ein deutlicher Einfluss von Teufe und Ausbau der beprobten Grundwassermessstellen auf die Mittleren Verweilzeiten. Der Großteil der beprobten Messstellen erschließt den Hauptaquifer des Krappfeldes. Eine Messstelle – PG20512121 im Brunnenfeld St. Klementen – fördert Grundwasser aus dem tiefen dritten Aquifer. Zwei Messstellen erfassen sehr seichtes Grundwasser.

Abbildung 26: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA]



Datenquelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

Insgesamt gesehen umfassen die Mittlere Verweilzeiten von 16 untersuchten GZÜV-Messstellen des Grundwasserkörpers Krappfeld ein weites Spektrum von < 5 Jahren bis hin zu 26–50 Jahren, wobei aufgrund von Teufe und Ausbau der Messstellen Grundwasser mit längeren Verweilzeiten dominiert. Zusammenfassend stellt sich die Situation wie folgt dar: Für jeweils drei Messstellen wurden Mittlere Verweilzeiten von < 5 Jahren bzw. 5–10 Jahren ermittelt. Für sieben Messstellen sind Verweilzeiten von 11–25 Jahren und für drei Messstellen von 26–50 Jahren zu verzeichnen.

Für eine Messstelle – PG20512242 in der Gemeinde Kappel am Krappfeld – konnte aufgrund fehlender Heliumanalysen und nicht eindeutiger Aussagekraft weiterer untersuchter Parameter keine Abschätzung der Mittlere Verweilzeiten des Grundwassers vorgenommen werden.

PG20520012 im Nordwesten des Krappfeldes nahe Möbling liegt in einem Bereich mit höherer Durchlässigkeit des Untergrundes, da die feinkörnigen „Seetone“, die im zentralen Krappfeld den Stau des Grundwassers bewirken, weniger feinklastisch und inhomogener ausgebildet sind (Zojer, 1985). Aufgrund der damit einhergehenden höheren Durchlässigkeit des Untergrundes dominieren an der auf 32,8 m abgeteuften Messstelle im Wesentlichen sehr junge Wässer. Das Grundwasser enthält kaum tritiogenes Helium (0,7 TE). Die **Mittlere Verweilzeit beträgt < 5 Jahre**. Die mittleren Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte (-9,75 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -68,60 ‰ $\delta^2\text{H}$) bewegen sich in dem für den Großteil der Messstellen des Krappfeldes charakteristischen Rahmen. Das Grundwasser an der Messstelle ist oxisch (~8,7 mg/l). Die mit ~297 $\mu\text{S}/\text{cm}$ geringe Mineralisierung des Grundwassers ist auf das Einzugsgebiet in den paläozoischen Phylliten zurückzuführen (Zojer & Harum, 1979). Neben PG20501022 in Althofen, ebenfalls im Norden des Grundwasserkörpers lokalisiert, sind für PG20520012 die weitaus niedrigsten Sulfatgehalte (~13,5 mg/l) im Vergleich aller im Krappfeld untersuchten Messstellen zu verzeichnen.

Die im Süden des Grundwasserkörpers, südlich der Enge von Passering, lokalisierte Messstelle **PG20523142** erschließt seichtes Grundwasser und ist durch **Mittlere Verweilzeiten < 5 Jahre** gekennzeichnet. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch (~8,9 mg/l), die elektrische Leitfähigkeit beträgt ~496 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ bei 20°C. Der Abstich liegt bei ~5,5 m. Auffällig ist die mit ~22,9 mg/l vergleichsweise hohe Natriumkonzentration. Die Chloridgehalte bewegen sich auf einem ähnlichen Konzentrationsniveau wie Natrium, wobei sich die Konzentrationsverläufe beider Stoffe während der letzten zehn Jahre zum Teil gegenläufig, zum Teil parallel entwickelten. Mit ~49,2 mg/l ist eine für das Krappfeld vergleichsweise hohe Sulfatkonzentration zu verzeichnen. Die Borkonzentration des Grundwassers beläuft sich im 4. Quartal 2017 auf 0,1 mg/l. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von 0,9 mg/l wurde seit Anbeginn der Messungen im Jahr 1992 nicht überschritten. Die Tritiumgehalte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge, der Anteil tritiogenen Heliums ist gering (1,6 TE). Die mittleren Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte (-9,68 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -68,00 ‰ $\delta^2\text{H}$) bewegen sich in dem für den Großteil der Messstellen des Krappfeldes charakteristischen Rahmen. Die hydrochemischen Daten und Isotopendaten deuten auf ein niederschlagsgespeistes lokales Grundwasservorkommen aus rezenter Grundwasserneubildung hin.

Die Messstelle **PG20512132**, im Gurkmäander südöstlich von Dürnfeld gelegen, wird stark durch infiltrierendes Wasser der Gurk beeinflusst und fällt in die **MVZ-Kategorie < 5 Jahre**. Das Grundwasser enthält wenig tritiogenes Helium (1,0 TE), die Tritiumwerte liegen im

Bereich der aktuellen Niederschläge. Die mittleren Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte (-9,81 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -68,17 ‰ $\delta^2\text{H}$) bewegen sich in dem für den Großteil der Messstellen des Krappfeldes charakteristischen Rahmen. Bedingt durch den Einfluss der Gurk weist das Grundwasser der Messstelle für etliche Parameter wie beispielsweise Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt und elektrische Leitfähigkeit einen ausgeprägten Jahresgang auf: Die Wassertemperatur schwankt zwischen ~ 5 und $\sim 14^\circ\text{C}$, der Sauerstoffgehalt zwischen ~ 3 und ~ 10 mg/l. Die elektrische Leitfähigkeit beträgt aktuell ~ 376 $\mu\text{S}/\text{cm}$, die Bandbreite der letzten zehn Jahre liegt zwischen ~ 267 und ~ 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Auffällig ist die variable, insgesamt gesehen häufig hohe Sulfatkonzentration. Im 4. Quartal 2017 sind $\sim 38,2$ mg/l zu verzeichnen, im 2. Quartal 2018 $\sim 55,9$ mg/l. Hervorzuheben ist die hohe Natriumkonzentration von $\sim 37,8$ mg/l, bei einem gleichzeitig geringen Chloridgehalt von $\sim 8,8$ mg/l. Die Borkonzentration des Grundwassers beläuft sich im 4. Quartal 2017 auf $0,085$ mg/l. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von $0,9$ mg/l wurde seit Anbeginn der Messungen im Jahr 1992 nicht überschritten.

PG20501082 am Südrand von Treibach wurde in einem Bereich mit höherer Durchlässigkeit des Untergrundes abgeteuft, da der Feinkornkomplex, der im zentralen Krappfeld den Hauptgrundwasserleiter vom oberflächennahen Grundwasser trennt, nicht signifikant ausgebildet oder stärker sandig ist (Herzog, 1988). Daher dominieren an der Messstelle trotz tiefer Filterstrecke von 39–49 m vergleichsweise junge Wässer, die in die **MVZ-Kategorie 5-10 Jahre** einzuordnen sind. Die Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte weisen eine saisonale Variabilität auf, die mittleren Werte sind mit $-9,20$ ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und $-64,27$ ‰ $\delta^2\text{H}$ vergleichsweise angereichert. Das Grundwasser enthält wenig tritiogenes Helium (1,2 TE), die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge. PG20501082 liegt unterhalb der rekonstruierten Tritiumzeitreihe für Klagenfurt (Punkt 6 in Abbildung 25). Der starke Einfluss infiltrierender Winterniederschläge oder tritiumfreier Grundwasserkomponenten kann zu dieser Abweichung führen. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch ($\sim 8,7$ mg/l), die elektrische Leitfähigkeit beträgt ~ 494 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C . Das Grundwasser zeigt einen anthropogenen Einfluss, der auf die landwirtschaftliche und industrielle Nutzung des Einzugsgebietes verweist. Die Nitratkonzentration liegt aktuell bei $\sim 17,0$ mg/l, in den vergangenen Jahren wurden bis zu ~ 39 mg/l (2010) gemessen. Die Borkonzentration des Grundwassers beläuft sich im 4. Quartal 2017 auf $0,44$ mg/l. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von $0,9$ mg/l wurde zuletzt im Jahr 2008 überschritten.

Die Mittlere Verweilzeit des Grundwassers an der Messstelle **PG20512202** im Hauptaquifer des Krappfeldes nordwestlich von St. Klementen ist ebenfalls in die **MVZ-**

Kategorie 5-10 Jahre einzuordnen. Das Grundwasser enthält geringe Mengen tritiogenen Heliums (3,4 TE), die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge. Die mittleren Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte (-9,69 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -68,40 ‰ $\delta^2\text{H}$) bewegen sich in dem für den Großteil der Messstellen des Krappfeldes charakteristischen Rahmen. Der Abstich liegt mit ~30 Metern in dem Bereich, der für jene Messstellen, die den Hauptgrundwasserleiter des Krappfeldes erfassen, charakteristisch ist. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch (~6,1 mg/l), hat eine Wassertemperatur von etwa ~10,9°C und eine elektrische Leitfähigkeit von ~463 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C. Der Nitratgehalt von ca. 37,8 mg/l reflektiert die landwirtschaftliche Nutzung im Einzugsgebiet. Die Borkonzentration des Grundwassers beläuft sich im 4. Quartal 2017 auf 0,15 mg/l. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von 0,9 mg/l wurde seit Beginn der Messungen im Jahr 2004 nicht überschritten.

Dem oberen Ende der **MVZ-Kategorie 5–10 Jahre** ist die den Hauptaquifer erschließende Messstelle **PG20512212** westlich des Höhenzuges der Göritzen zuzuordnen. Das Grundwasser enthält geringe Mengen tritiogenen Heliums (2,4 TE). Die Messstelle plottet unterhalb der rekonstruierten Tritiumzeitreihe des Niederschlages in Klagenfurt (Punkt 5 in Abbildung 25). Der starke Einfluss infiltrierender Winterniederschläge oder tritiumfreier Grundwasserkomponenten kann zu dieser Abweichung führen. So ist im dritten Quartal 2017 ein vergleichsweise niedriger Tritiumwert von 2,9 TE für PG20512212 zu verzeichnen. Die Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte weisen keine saisonale Variabilität auf, die mittleren Werte sind mit -9,24 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -65,0 ‰ $\delta^2\text{H}$ vergleichsweise angereichert. Der Abstich liegt mit ~40 Metern in dem Bereich, der für jene Messstellen, die den Hauptgrundwasserleiter des Krappfeldes erfassen, charakteristisch ist. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch (~6,9 mg/l), hat eine Wassertemperatur von etwa ~11,4°C und eine elektrische Leitfähigkeit von ~530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C. Neben einer Nitratkonzentration von ca. 27,6 mg/l reflektiert beispielsweise auch eine Natriumkonzentration von ca. 21 mg/l die anthropogene Beeinflussung des Einzugsgebietes. Die Borkonzentration des Grundwassers beläuft sich im 4. Quartal 2017 auf 1,1 mg/l. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von 0,9 mg/l wurde seit Beginn der Messungen im Jahr 2004 wiederholt überschritten.

Die Mittlere Verweilzeit von **PG20501022** in der Gemeinde Althofen im Norden des Krappfeldes ist im unteren Bereich der **MVZ-Kategorie 11–25 Jahre** einzuordnen. Die Messstelle erschließt den Hauptgrundwasserleiter. Die relativ abgereicherten mittleren Werte der stabilen Isotope (-9,95 ‰ $\delta^{18}\text{O}$, -69,53 ‰ $\delta^2\text{H}$) weisen darauf hin, dass die Messstelle neben lokaler Grundwasserneubildung auch Zustrom von Wässern etwas

höher gelegener Einzugsgebiete der sich nördlich an das Krappfeld anschließenden Talabschnitte von Metnitz und Gurk erhält. Zum Vergleich: Die Gurk bei Pöckstein-Krumfelden weist im Mittel $-9,78\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$ und $-68,20\text{‰}$ $\delta^2\text{H}$ auf. Der Gehalt tritiogenen Heliums beträgt 4,4 TE, die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge. Das an dieser Messstelle nachgewiesene radiogene Helium-4 (Punkt 2 in Abbildung 24) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Gas- und Wasserwegigkeiten der östlich der Messstelle verlaufenden Zollfeldstörung zurückzuführen. Aufgrund der paläozoischen Phyllite im Einzugsgebiet ist die Messstelle durch gering mineralisiertes Wasser gekennzeichnet, die elektrische Leitfähigkeit beträgt $\sim 264\text{ }\mu\text{S/cm}$ bei 20°C . Die untersuchten hydrochemischen Parameter weisen ein hohes Maß an Konstanz auf. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch ($\sim 7,8\text{ mg/l}$) und hat eine Wassertemperatur von etwa $\sim 9,6^\circ\text{C}$. Die Nitratkonzentration beläuft sich auf $\sim 5,2\text{ mg/l}$. Neben PG20520012 in Mölbling, ebenfalls im Norden des Grundwasserkörpers lokalisiert, ist für PG20501022 mit $\sim 12,0\text{ mg/l}$ der weitaus niedrigste Sulfatgehalt im Vergleich aller im Krappfeld untersuchten Messstellen zu verzeichnen. Dies gilt auch für die mit $\sim 3,8\text{ mg/l}$ für den Grundwasserkörper sehr niedrige Natriumkonzentration. Die Borkonzentration des Grundwassers bewegt sich seit Anbeginn der Messungen im Jahr 1992 dauerhaft auf einem äußerst niedrigen Niveau, teilweise unterhalb der Nachweisgrenze. Im 4. Quartal 2017 wurden $\sim 0,008\text{ mg/l}$ gemessen.

PG20512062 und **PG20512222** im zentralen Bereich der Hauptterrasse des Krappfeldes erschließen den Hauptgrundwasserleiter des Grundwasserkörpers. Beide Messstellen sind durch eine markante Beimischung von radiogenem Helium-4 sowie tritiogenem Helium-3 geprägt (Punkt 1 bzw. Punkt 3 in Abbildung 24), womit beide Messstellen in die **MVZ-Kategorie 11–25 Jahre** fallen. Auch hier ist für den Nachweis der radiogenen Heliumkomponente an beiden Messstellen ein Zusammenhang mit der östlich in Messstellennähe verlaufenden Zollfeldstörung anzunehmen. Die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge. Die mittleren Sauerstoff-18-Werte ($-9,77\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$ bzw. $-9,86\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$) sowie die mittleren Deuteriumwerte ($-68,47\text{‰}$ $\delta^2\text{H}$ bzw. $-69,13\text{‰}$ $\delta^2\text{H}$) bewegen sich in dem für den Großteil der Messstellen des Krappfeldes charakteristischen Rahmen und weisen keine saisonale Variabilität auf. PG20512062 ist auf 46 m abgeteuft, der Abstich beläuft sich auf rund 37–38 m. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch ($\sim 6,5\text{ mg/l}$), hat eine Wassertemperatur von etwa $\sim 11,0^\circ\text{C}$ und ist vergleichsweise gering mineralisiert (elektrische Leitfähigkeit $\sim 333\text{ }\mu\text{S/cm}$). Die Nitratkonzentration beläuft sich auf $\sim 9,1\text{ mg/l}$. PG20512222 ist mit einer Endteufe von 86,5 m die tiefste der untersuchten Messstellen des Krappfeldes. Der Abstich beläuft sich auf rund 32–33 m. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch ($\sim 6,7\text{ mg/l}$), hat eine

Wassertemperatur von etwa $\sim 11,0^{\circ}\text{C}$ und ist vergleichsweise gering mineralisiert (elektrische Leitfähigkeit $\sim 340 \mu\text{S}/\text{cm}$). Die Nitratkonzentration beläuft sich auf $\sim 8,5 \text{ mg}/\text{l}$. Die Borkonzentration des Grundwassers bei PG20512062 beträgt im 4. Quartal 2017 $\sim 0,42 \text{ mg}/\text{l}$, bei PG20512222 $\sim 0,5 \text{ mg}/\text{l}$. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von $0,9 \text{ mg}/\text{l}$ wurde an beiden Messstellen im Jahr 2013 letztmalig überschritten.



Wasserspiegelung des Abendlichts

Die westlich von Garzern in der Hauptterrasse des Krappfeldes lokalisierten Messstellen **PG20512182** und **PG20512192** wurden auf 50 m bzw. 45 m in den Hauptaquifer des Krappfeldes abgeteuft und sind durch **Mittlere Verweilzeiten von 11–25 Jahren** gekennzeichnet. Die im Grundwasser enthaltenen Mengen tritiogenen Heliums betragen 5,8 TE bzw. 9,4 TE, womit PG20512182 tendenziell am unteren Ende, PG20512192 am oberen Ende der MVZ-Kategorie einzuordnen ist. Die Tritiumwerte beider Messstellen liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge. Die mittleren Sauerstoff-18-Werte ($-9,84 \text{ ‰ } \delta^{18}\text{O}$ bzw. $-9,85 \text{ ‰ } \delta^{18}\text{O}$) sowie die mittleren Deuteriumwerte ($-68,57 \text{ ‰ } \delta^2\text{H}$ bzw. $-69,00 \text{ ‰ } \delta^2\text{H}$) bewegen sich in dem für den Großteil der Messstellen des Krappfeldes charakteristischen Rahmen und weisen keine saisonale Variabilität auf. Der Abstich bei PG20512182 beläuft sich auf rund 34–35 m. Das Grundwasser der Messstelle ist schwach oxisch ($\sim 5,6 \text{ mg}/\text{l}$), hat eine Wassertemperatur von etwa $\sim 11,2^{\circ}\text{C}$ und weist eine elektrische Leitfähigkeit von $\sim 383 \mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Der Sulfatgehalt ist von einem Maximum im

Jahr 2010 (~68,8 mg/l) auf aktuell ~34,0 mg/l zurückgegangen. Die Nitratkonzentration ist tendenziell rückläufig und beträgt aktuell ~12,4 mg/l, nachdem im Jahr 2008 ~31,4 mg/l gemessen wurden. Der Abstich bei PG20512192 beläuft sich auf rund 31–32 m. Das Grundwasser der Messstelle ist schwach oxisch (~5,9 mg/l), hat eine Wassertemperatur von etwa ~11,1°C und weist eine elektrische Leitfähigkeit von ~ 408 µS/cm auf. Auch hier ist der Sulfatgehalt von einem Maximum im Jahr 2011 (~63,0 mg/l) auf aktuell ~38,2 mg/l zurückgegangen. Die Nitratkonzentration ist ebenfalls tendenziell rückläufig und beträgt aktuell ~11,5 mg/l, nachdem in der Vergangenheit bis zu ~27 mg/l gemessen wurden. Die Borkonzentration des Grundwassers bei PG20512182 beläuft sich im 4. Quartal 2017 auf 0,45 mg/l, bei PG20512192 auf 0,44 mg/l. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von 0,9 mg/l wurde an beiden Messstellen im Jahr 2015 letztmalig überschritten.

Die westlich von St. Klementen situierte Messstelle **PG20512232** ist durch **Mittlere Verweilzeiten von 11–25 Jahren** gekennzeichnet. Auffällig sind neben den im Vergleich aller beprobten Messstellen des Krappfeldes besonders abgereicherten mittleren Werten für die stabilen Isotopen (-10,52 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -74,47 ‰ $\delta^2\text{H}$; Punkt 1 in Abbildung 22) konstant hohe Arsen- und Orthophosphatkonzentrationen (~50,7 µg Arsen/l und ~0,32 mg Orthophosphat/l) der durch ein reduzierendes Milieu (~0,2 mg Sauerstoff/l) geprägten Messstelle. Die Ursache für die „leichten“ Isotopenverhältnisse ist gegenwärtig unbekannt. Anhand von Untersuchungen weiterer Alterstracer sollte geprüft werden, ob beispielsweise Grundwasser aus eiszeitlicher Neubildung eine Rolle spielt. Der Gehalt tritiogenen Heliums beträgt 6,1 TE. Das bei PG20512232 nachgewiesene radiogene Helium-4 und die Nähe zur östlich verlaufenden Zollfeldstörung deuten hier auf das Vorhandensein entsprechender Gas- und Wasserwegigkeiten hin (Punkt 4 in Abbildung 24). Der Abstich beläuft sich auf ~28 m. Die untersuchten hydrochemischen Parameter zeigen vergleichsweise konstante Verläufe. Das Grundwasser hat eine Wassertemperatur von etwa ~11,2°C und weist mit ~ 334 µS/cm bei 20°C eine geringe elektrische Leitfähigkeit auf. Gering sind auch die Natrium- und Chloridkonzentrationen mit ~4,4 bzw. ~2,8 mg/l. Nitrat ist nicht nachweisbar. Die Borkonzentration des Grundwassers beläuft sich im 4. Quartal 2017 auf 0,013 mg/l. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von 0,9 mg/l wurde seit Anbeginn der Messungen im Jahr 2004 nicht überschritten. Die mit ~0,44 mg/l maximale Borkonzentration wurde im Jahr 2016 ermittelt.

PG20512111, eine im Brunnenfeld St. Klementen auf 46,4 m in den Hauptgrundwasserleiter abgeteufte Messstelle, ist durch **Mittlere Verweilzeiten von 11–25 Jahren** gekennzeichnet. Der Gehalt tritiogenen Heliums beträgt 9,9 TE. Die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge. Bedingt durch

Mischungsprozesse bzw. den Verlust von Helium entlang des Fließweges plottet die Messstelle oberhalb der rekonstruierten Tritiumzeitreihe für Klagenfurt (Punkt 4 in Abbildung 25). Die mittleren Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte ($-9,48\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ bzw. $-67,03\text{‰ } \delta^2\text{H}$) bewegen sich in dem für den Großteil der Messstellen des Krappfeldes charakteristischen Rahmen und weisen keine nennenswerte saisonale Variabilität auf. Der Abstich beläuft sich auf ~ 33 m. Das Grundwasser hat eine Wassertemperatur von etwa $\sim 10,0^\circ\text{C}$, die elektrische Leitfähigkeit beträgt $\sim 514\ \mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C , der Sauerstoffgehalt $5,0\ \text{mg}/\text{l}$. Der Sulfatgehalt ist nach einem Maximum im Jahr 2013 ($\sim 66,7\ \text{mg}/\text{l}$) rückläufig und beträgt aktuell $\sim 53,3\ \text{mg}/\text{l}$. Die Nitratkonzentration zeigt eine abnehmende Tendenz und beträgt aktuell $\sim 20,0\ \text{mg}/\text{l}$. Die Natriumkonzentrationen sind steigend und liegen derzeit bei ca. $16\ \text{mg}/\text{l}$. Für Chlorid liegen seit Jahren relativ konstante Konzentrationen vor, aktuell $\sim 18,9\ \text{mg}/\text{l}$. Die Borkonzentration des Grundwassers beläuft sich im 4. Quartal 2017 auf $0,88\ \text{mg}/\text{l}$. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von $0,9\ \text{mg}/\text{l}$ wurde im Jahr 2016 letztmalig überschritten.

Ebenfalls im Brunnenfeld St. Klementen – in unmittelbarer Nähe zu PG20512111 – ist die auf $76\ \text{m}$ abgeteufte Messstelle **PG20512121** situiert, die als einzige aller beprobten Messstellen des Krappfeldes den tiefen dritten Aquifer bei rund 68 bis $73\ \text{m}$ unter GOK erschließt. Die Messstelle weist eine markante Beimischung von radiogenem Helium-4 sowie tritiogenem Helium-3 auf (Punkt 6 in Abbildung 24) und ist durch **Mittlere Verweilzeiten von 26–50 Jahren** gekennzeichnet. Mit $18,1\ \text{TE}$ ist bei PG20512121 der höchste Gehalt tritiogenen Heliums aller im Krappfeld untersuchten Messstellen zu verzeichnen. Die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge. Bedingt durch den Verlust von Helium und Mischungsprozesse entlang des Fließweges liegt die Messstelle oberhalb der rekonstruierten Tritiumzeitreihe für Klagenfurt (Punkt 1 in Abbildung 25). Die Beimischung der radiogenen Heliumkomponente deutet auf einen Einfluss der in Messstellennähe verlaufenden Zollfeldstörung hin. Die mittleren Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte ($-9,36\text{‰ } \delta^{18}\text{O}$ bzw. $-66,67\text{‰ } \delta^2\text{H}$) bewegen sich in dem für den Großteil der Messstellen des Krappfeldes charakteristischen Rahmen und weisen keine saisonale Variabilität auf. Ein mittlerer Deuterium-Exzess von $8,2\ \%$ deutet wie bei PG20512102 auf Verdunstungsprozesse vor der Infiltration des Wassers in den Untergrund hin. Ob auch hier ein Zusammenhang mit dem Silberbach bzw. Grundwasserandrang aus dem Tal des Silberbaches analog zu PG20512102 besteht, kann an dieser Stelle nicht abschließend bewertet werden, auch wenn die stabilen Isotopen und einige hydrochemische Parameter entsprechende Hinweise geben. Der Abstich bei PG20512121 bewegt sich bei $\sim 23\ \text{m}$ und zeigt eine deutliche Aufspiegelung des Grundwassers an. Das Grundwasser hat eine Wassertemperatur von etwa $\sim 11,3^\circ\text{C}$, die

elektrische Leitfähigkeit beträgt $\sim 511 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C , der Sauerstoffgehalt $5,5 \text{ mg}/\text{l}$. Eine Nitratkonzentration von $\sim 20 \text{ mg}/\text{l}$ reflektiert die landwirtschaftliche Nutzung des Einzugsgebietes. Der Borgehalt des Grundwassers ist mit ca. $0,08 \text{ mg}/\text{l}$ im 4. Quartal 2017 sehr gering, seit 2008 ist jedoch ein kontinuierlicher Konzentrationsanstieg von ca. $0,02 \text{ mg}/\text{l}$ auf das gegenwärtige Niveau zu beobachten.

Die Mittlere Verweilzeit von **PG20512102** nahe Kappel ist aufgrund einer markanten Beimischung tritiogenen Heliums ($14,7 \text{ TE}$) im unteren Bereich der **MVZ-Kategorie 26–50 Jahre** einzuordnen (Punkt 7 in Abbildung 24). Die auf 65 m abgeteufte Messstelle erschließt den Hauptaquifer des Krappfeldes. Ausgehend von den Isotopenverhältnissen sowie den untersuchten hydrochemischen Parametern zeigt die Messstelle eine deutliche Beeinflussung durch zwischen den Grundgebirgsauftragungen bei Krasta und Kappel ins Krappfeld zuströmendes Grundwasser aus dem Silberbachtal sowie die unterirdische Anreicherung mit Wässern der Oberkreiderücken. Auffällig ist der im Vergleich aller beprobten Messstellen des Krappfeldes angereicherte mittlere Sauerstoff-18-Wert von $-8,91 \text{ ‰ } \delta^{18}\text{O}$ (Punkt 2 in Abbildung 22), der unterhalb der LMWL für Klagenfurt plottet. In Verbindung mit einem mittleren Deuterium-Exzess von $7,6 \text{ ‰}$, der deutlich niedriger als bei den übrigen untersuchten Messstellen ist, weisen die stabilen Isotope auf Verdunstungsprozesse vor der Infiltration des Wassers in den Untergrund hin, die ebenfalls bei den stabilen Isotopen des Silberbaches – insbesondere für die Beprobung im Juli – zu beobachten sind. Der Abstich bewegt sich bei $\sim 35 \text{ m}$. Das Grundwasser hat eine Wassertemperatur von $\sim 10,5^\circ\text{C}$, die elektrische Leitfähigkeit beträgt $\sim 582 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C , der Sauerstoffgehalt $4,0 \text{ mg}/\text{l}$. Mit $\sim 45,5 \text{ mg}/\text{l}$ ist eine vergleichsweise hohe Sulfatkonzentration zu verzeichnen. Ein im Vergleich aller untersuchten Messstellen des Krappfeldes außergewöhnlich hoher Calciumgehalt von $\sim 109 \text{ mg}/\text{l}$ indiziert den Zustrom von Wässern, deren Chemismus markant durch die Oberkreiderücken beeinflusst wird. Eine Nitratkonzentration von $\sim 21 \text{ mg}/\text{l}$ reflektiert die landwirtschaftliche Nutzung des Einzugsgebietes. Die Borkonzentration des Grundwassers beläuft sich im 4. Quartal 2017 auf ca. $0,04 \text{ mg}/\text{l}$. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von $0,9 \text{ mg}/\text{l}$ wurde im Jahr 2011 einmalig überschritten.

PG20512252 nahe Passering erschließt den Hauptaquifer und ist durch einen Gehalt an tritiogenem Helium-3 von $14,3 \text{ TE}$ gekennzeichnet (Punkt 5 in Abbildung 24), womit die Messstelle im unteren Bereich der **MVZ-Kategorie 26–50 Jahre** einzuordnen ist. Tendenziell längere Verweilzeiten des Grundwassers werden durch die nördlich von Muschk im Beckenuntergrund des Krappfeldes befindliche Schwelle begünstigt, die einen weitreichenden Rückstau des Grundwassers einhergehend mit einem geringen Gefälle

bewirkt (Zojer & Harum, 1979). Die Beimischung der radiogenen Heliumkomponente (Punkt 5 in Abbildung 24) deutet auf einen Einfluss der nahe PG20512252 verlaufenden Zollfeldstörung hin. Die Tritiumwerte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge. Bedingt durch Mischungsprozesse bzw. den Verlust von Helium entlang des Fließweges plottet die Messstelle oberhalb der rekonstruierten Tritiumzeitreihe für Klagenfurt (Punkt 2 in Abbildung 25). Die mittleren Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte ($-9,84 \text{ ‰ } \delta^{18}\text{O}$ bzw. $-68,78 \text{ ‰ } \delta^2\text{H}$) bewegen sich in dem für den Großteil der Messstellen des Krappfeldes charakteristischen Rahmen und weisen keine saisonale Variabilität auf. Der Abtich beläuft sich auf $\sim 19 \text{ m}$. Das Grundwasser hat eine Wassertemperatur von etwa $\sim 11,2^\circ\text{C}$, die elektrische Leitfähigkeit beträgt $\sim 382 \text{ }\mu\text{S/cm}$ bei 20°C , der Sauerstoffgehalt $6,6 \text{ mg/l}$. Eine Nitratkonzentration von $\sim 21 \text{ mg/l}$ weist auf die landwirtschaftliche Nutzung des Einzugsgebietes hin. Die Natrium- und Chloridkonzentration beträgt jeweils $14,8 \text{ mg/l}$. Die Borkonzentration des Grundwassers beläuft sich im 4. Quartal 2017 auf ca. $0,59 \text{ mg/l}$. Der Schwellenwert gemäß QZV Chemie GW von $0,9 \text{ mg/l}$ wurde im Jahr 2014 letztmalig überschritten.

Das mit postglazialen Lockersedimenten verfüllte Becken des Krappfeldes umfasst trotz der ausgedehnten Verbreitung gering durchlässiger "Seetone" aufgrund der anstehenden grobkörnigen Sand- und Kies-Ablagerungen mit beträchtlichem nutzbarem Porenvolumen bedeutende Grundwasservorkommen, die für die regionale und überregionale Trinkwasserversorgung – wie z. B. Klagenfurt und St. Veit an der Glan – genutzt werden. Dem gegenüber steht die intensive anthropogene Nutzung des Beckenbereiches in Form von Landwirtschaft, Siedlungen, Industrie und Verkehr. Zusammenfassend lassen sich die untersuchten Grundwassermessstellen im Krappfeld als charakteristisch für lokale Grundwasservorkommen mit sowohl kurzen als auch längeren Mittleren Verweilzeiten beschreiben. Dementsprechend ergibt sich eine erhöhte Empfindlichkeit dieser Wasserressourcen gegenüber Änderungen im Wasserhaushalt sowie bewirtschaftungsbedingten Änderungen der Wasserqualität.

Tabelle 4: Grundwasserkörper Krappfeld [DRA]: Isotopendaten und Mittlere Verweilzeiten

Messstelle	Gemeinde	Teufe (m u. GOK)	$\delta^{18}\text{O}$ (Mittel) (‰ V- SMOW)	VarK $\delta^{18}\text{O}$ (%)	^3H	^3H	$^3\text{He}_{\text{trit}}$ (TE)	$^4\text{He}_{\text{radio}}$ (Nml/kg)	ΔNe (%)	MVZ- Kategorie (Jahre)
					3. Quartal 2017 (TE)	1. Quartal 2018 (TE)				
PG20501022	Althofen	53	-9,95	0,8	3,7	8,9	4,4	4,8E-05	22	11-25
PG20501082	Kappel am Krappfeld	50	-9,20	3,5	3,7	6,5	1,2	1,8E-06	9	5-10
PG20512062	Kappel am Krappfeld	45,5	-9,77	0,9	3,8	8,3	10,2	8,8E-05	18	11-25
PG20512102	Kappel am Krappfeld	65	-8,91	0,8	3,1	6,7	14,7	2,3E-06	20	26-50
PG20512111	Kappel am Krappfeld	46,4	-9,48	0,9	4,6	4,3	9,9	5,4E-06	16	11-25
PG20512121	Kappel am Krappfeld	76	-9,36	0,6	4,8	7,8	18,1	2,3E-05	17	26-50
PG20512132	Kappel am Krappfeld	5,8	-9,81	2,1	4,6	8,0	1,0	6,3E-07	1	<5
PG20512182	Kappel am Krappfeld	50	-9,84	0,7	4,3	9,7	5,8	8,5E-06	14	11-25
PG20512192	Kappel am Krappfeld	45	-9,85	0,5	3,4	6,5	9,4	1,1E-05	13	11-25
PG20512202	Kappel am Krappfeld	43	-9,69	1,5	5,5	6,8	3,4	7,1E-06	13	5-10
PG20512212	Kappel am Krappfeld	46	-9,24	0,2	2,9	6,7	2,4	1,5E-06	11	5-10

Messstelle	Gemeinde	Teufe (m u. GOK)	$\delta^{18}\text{O}$ (Mittel) (‰ V- SMOW)	VarK $\delta^{18}\text{O}$ (%)	^3H 3. Quartal 2017 (TE)	^3H 1. Quartal 2018 (TE)	$^3\text{He}_{\text{trit}}$ (TE)	$^4\text{He}_{\text{radio}}$ (Nml/kg)	ΔNe (%)	MVZ- Kategorie (Jahre)
PG20512222	Kappel am Krappfeld	86,5	-9,86	0,7	4,7	6,5	12,1	4,5E-05	13	11-25
PG20512232	Kappel am Krappfeld	42	-10,52	0,2	3,4	4,3	6,1	4,2E-05	17	11-25
PG20512242	Kappel am Krappfeld	48	-9,01	7,0	-	-	-	-	-	-*
PG20512252	Kappel am Krappfeld	38	-9,84	0,5	4,8	6,5	14,3	3,8E-05	11	26-50
PG20520012	Mölbling	32,8	-9,75	0,8	5,0	-	0,7	2,4E-06	10	<5
PG20523142	Kappel am Krappfeld	6,65	-9,68	1,0	5,7	7,7	1,6	1,3E-06	9	<5

Anmerkung: * keine Altersabschätzung möglich

Quelle: Umweltbundesamt

6 Südliche Kalkalpen [DRA]

6.1 Überblick

Die Grundwasserkörpergruppe Südliche Kalkalpen [DRA] ist nach der Zentralzone die zweitgrößte Grundwasserkörpereinheit Kärntens. Sie lässt sich in die Lienzer Dolomiten, die Gailtaler Alpen, die Karnischen Alpen und die Karawanken unterteilen. Da sich die südlichen Kalkalpen bis nach Italien und Slowenien hin fortsetzen, wird die Grenze im Süden durch die Staatsgrenze gebildet. Das Landschaftsbild im Süden Kärntens wird von Tälern wie dem Drautal und dem Gailtal und den zahlreichen Seen geprägt.



Grünsee mit Polinik und Plöcken, Karnische Alpen

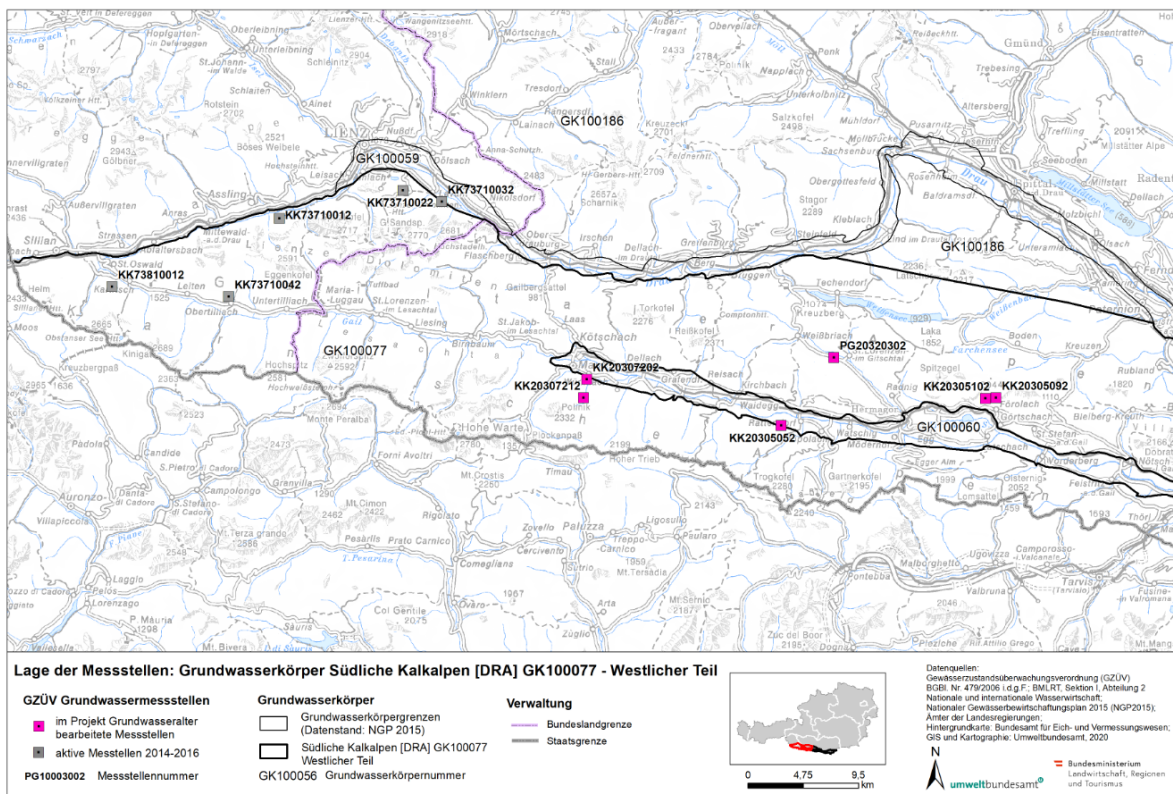
Das Periadriatische Lineament trennt als markante Störungszone die Südlichen Kalkalpen in einen nördlichen Gebirgszug (Drauzug und nördliche Karawanken) und einen südlichen Gebirgszug (Karnischen Alpen und südliche Karawanken). Die nördlichen Karawanken stellen die Fortsetzung des Drauzugmesozoikums im Osten dar.

Insbesondere die oft intensiv verkarsteten mesozoischen Kalke und Dolomite sind als Grundwasserleiter relevant. Als stauende Basis fungieren neben unterschiedlichen kristallinen Gesteinsserien Ton- und Sandsteine sowie Mergel, die auch die Ursache für Quellaustritte sein können.

Die Grundwasserneubildung erfolgt überwiegend über die flächenhafte Versickerung von Niederschlag.

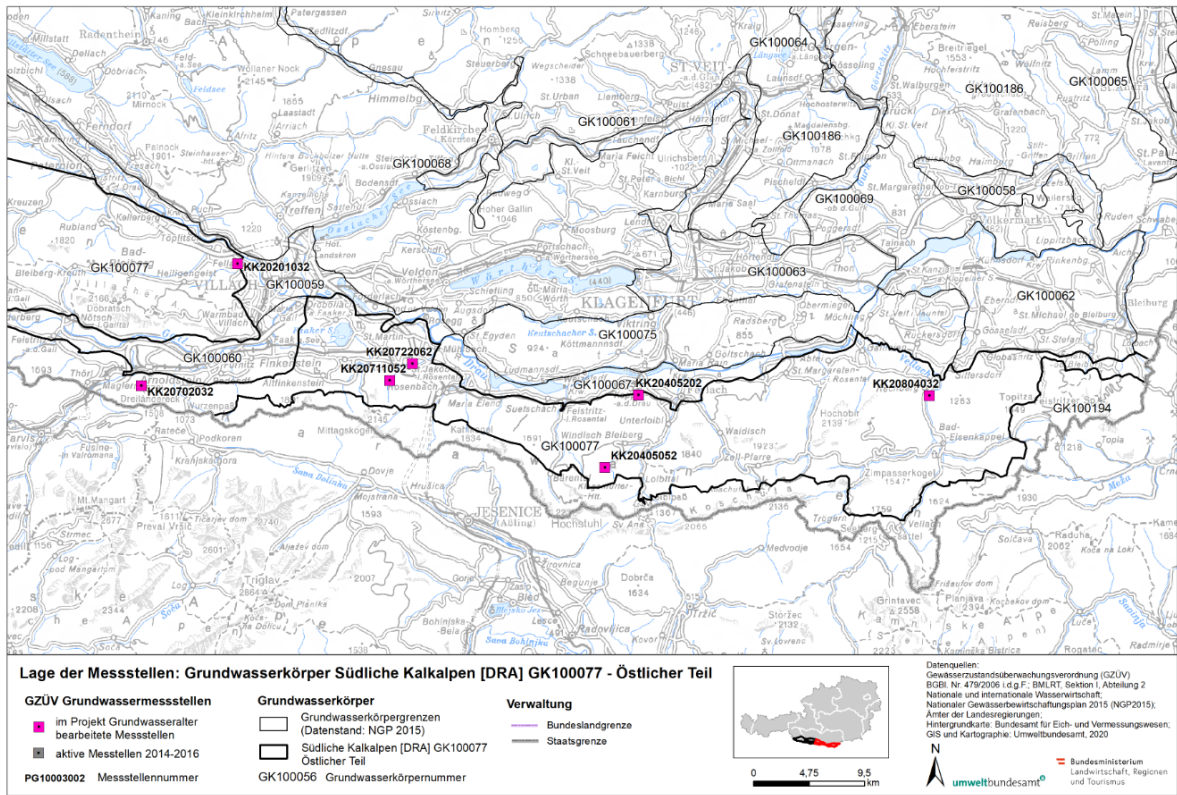
Die Grundwasserkörpergruppe Südliche Kalkalpen ist zu ca. 92 % mit Wäldern und naturnahen Flächen bedeckt. Rund 7 % der Fläche werden landwirtschaftlich genutzt. Mögliche Belastungen für das Grundwasser stellen im Wesentlichen Wasserentnahmen, die Forstwirtschaft und der Tourismus dar.

Abbildung 27: Übersichtskarte Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (westlicher Teil) mit den ausgewählten GZÜV-Messstellen



Datenquelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Abteilung 1 / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

Abbildung 28: Übersichtskarte Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (östlicher Teil) mit den ausgewählten GZÜV-Messtellen



Datenquelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.G.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

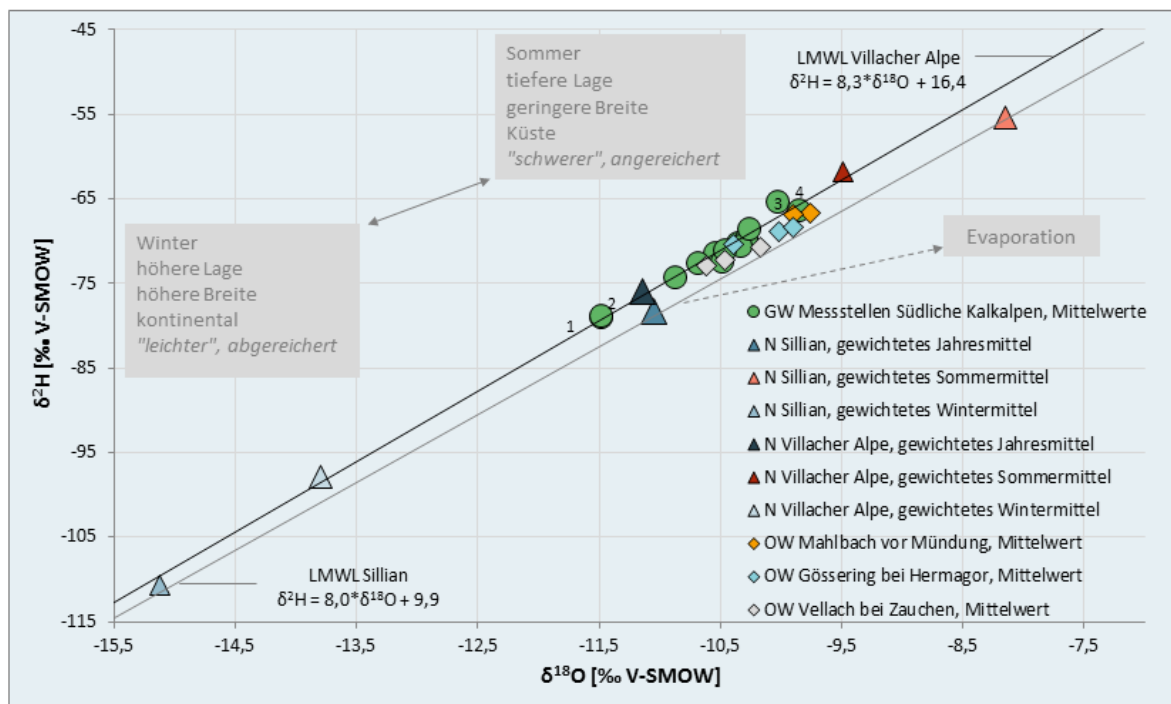
Insgesamt 13 GZÜV-Grundwassermesstellen des Grundwasserkörpers Südliche Kalkalpen [DRA] wurden hinsichtlich der Mittleren Verweilzeiten des Grundwassers untersucht (Abbildung 27). Eine detaillierte Beschreibung des Grundwasserkörpers ist im Anhang enthalten.

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium

Die graphische Gegenüberstellung der Sauerstoff-18 und Deuteriumkonzentrationen im Niederschlag, Grund- und Oberflächengewässern in Abbildung 29 erlaubt Rückschlüsse auf Bildungsbedingungen und Mischungsprozesse der lokalen Grundwasservorkommen.

Abbildung 29: Mittelwerte der Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen des Grundwasserkörpers Südliche Kalkalpen [DRA] im Vergleich zu den beprobten Oberflächengewässern (OW) sowie dem Niederschlag (N) in Sillian (2009–2017) und der Villacher Alpe (2008–2017).



Anmerkungen: (1) KK20305092 (Hermagor-Pressegger See) (verdeckt) Quelle: Umweltbundesamt
 (2) KK20305102 (Hermagor-Pressegger See)
 (3) KK20307212 (Kötschach-Mauthen)
 (4) KK20305052 (Hermagor-Pressegger See)

Aufgrund der starken Ost-West-Ausdehnung des Grundwasserkörpers (~200 km) sind die stabilen Isotopendaten der Grund- und Oberflächengewässer im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] in Abbildung 29 sowohl der Lokalen Meteorischen

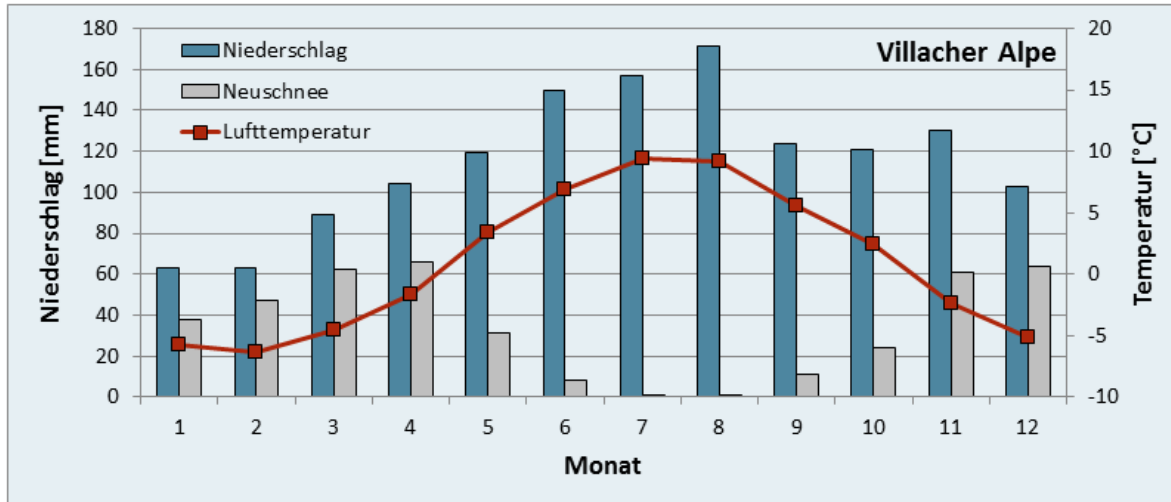
Niederschlagsgeraden (LMWL) der Niederschlagsstation Sillian (1.075 m ü.A.) als auch der LMWL der Niederschlagsstation Villacher Alpe (2.140 m ü.A.) gegenübergestellt.

Die Isotopenwerte der beprobten Grundwassermessstellen – es handelt sich überwiegend um Quellen – liegen zwischen den langjährigen gewichteten Jahresmitteln der Niederschläge und den gewichteten Mitteln der Sommerniederschläge von Sillian in Osttirol und der Villacher Alpe (Abbildung 29), d.h. im Vergleich zum gewichteten Niederschlagsmittel sind die Grundwässer angereichert. Diese Verschiebung der Sauerstoff-18 und Deuteriumwerte im Grundwasser in Richtung der gewichteten Mittel der Sommerniederschläge ist – wie im Gailtal – auf die spezifischen klimatischen und hydrologischen Bedingungen im Bereich der Südlichen Kalkalpen (Drauzug, Karawanken) zurückzuführen.

Zum besseren Verständnis der klimatischen Charakteristika werden Erläuterungen des KlimaAtlas Kärnten (<http://www.klimaatlas.ktn.gv.at/>) herangezogen: Demnach gehört das Untersuchungsgebiet zu den niederschlagsreichsten Regionen Österreichs. Das Flächenmittel der Niederschlagssumme schwankt in Kärnten zwischen 800 und 3.000 mm. Der Sommer ist dabei in großen Teilen Kärntens die niederschlagsreichste Jahreszeit und geprägt durch Schauer- und Gewittertätigkeit. Sowohl Tiefland- als auch Höhenstationen zeigen im Sommer ähnlich hohe Niederschlagssummen (im Mittel 419 mm), so dass die Niederschlagsverteilung räumlich ausgeglichen ist. Für die Karnischen Alpen, die Karawanken und den Drauzug ist hingegen der Herbst die nasseste Jahreszeit, geprägt durch niederschlagsreiche Mittelmeertiefs (Flächenmittel 338 mm) bis in die Talbereiche. Die niederschlagsärmste Jahreszeit (Flächenmittel 180 mm) ist in Kärnten der Winter (Dezember, Jänner und Februar), gefolgt vom Frühling (Flächenmittel 281 mm), in dem es zur Überlagerung von winterlichen Frontniederschlägen und sommerlichen Schauerniederschlägen kommt.

Beispielhaft sind in Abbildung 30 die Klimamittelwerte der Station Villacher Alpe mit den sommerlichen Niederschlagsmaxima dargestellt, die sich dann in einer entsprechenden, zu den Sommermitteln verschobenen Isotopensignatur der Grundwässer widerspiegeln (Abbildung 29).

Abbildung 30: Klimamittelwerte der Station Villacher Alpe im Bezugszeitraum 1981–2010. Niederschlag = mittlere monatliche Niederschlagssumme im Monat xy, Neuschnee = mittlere monatliche Neuschneesumme im Monat xy, Temperatur = mittlere monatliche Lufttemperatur im Monat xy.



Datenquelle: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/daten-download/klimamittel>

Die beiden Grundwassermessstellen mit den „leichtesten“ Sauerstoff-18- und Deuterium-Werten sind die im Förolacher Stollen zutretenden Quellen KK20305092/Quelle 88 (-11,49 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -79,0 ‰ $\delta^2\text{H}$) und KK20305102/Quelle 37 (-11,48 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -78,8 ‰ $\delta^2\text{H}$). Der Stollen durchörtert auf einer Länge von mehr als 3 Kilometern den zur Spitzegelgruppe gehörenden Graslitzenkamm der Gailtaler Alpen und drainiert dabei vor allem karbonatische Gesteine der Wettersteinserie. Die vergleichsweise abgereicherten („leichten“) Sauerstoff-18-Verhältnisse deuten auf ein relativ hochgelegenes Einzugsgebiet oder eine durch Winterniederschläge und Schneeschmelze dominierte Grundwasserneubildung.

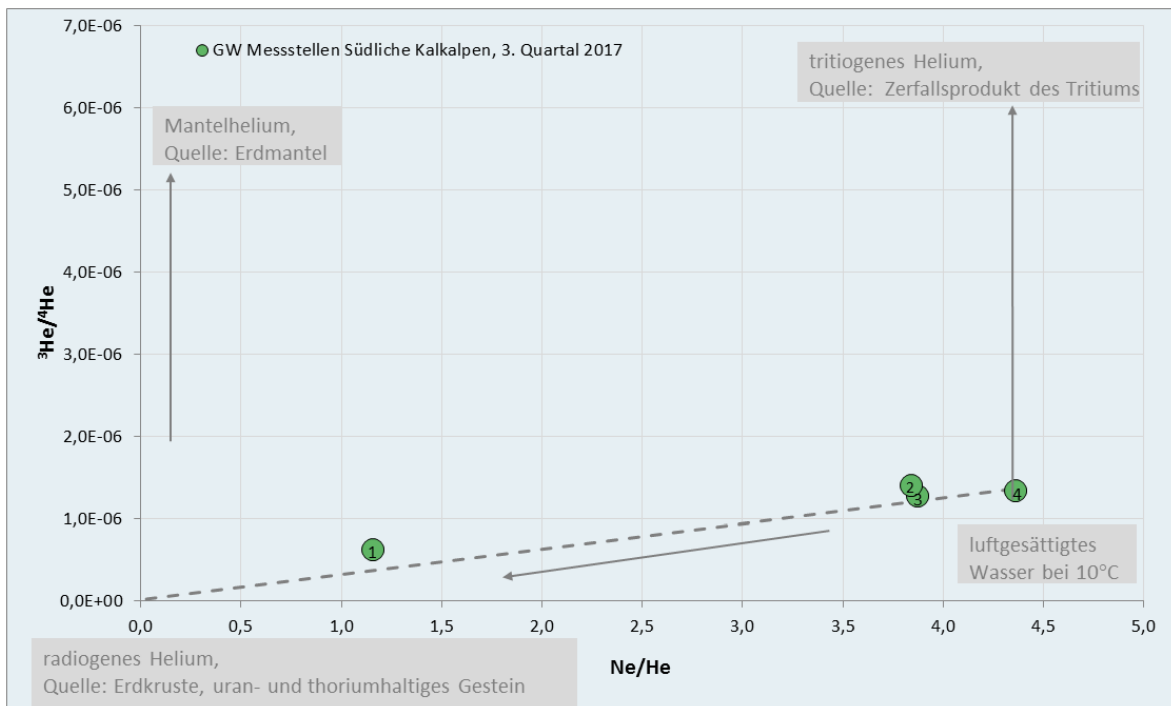
Vergleichsweise „schwere“, d.h. abgereicherte Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte sind beispielsweise für die Messstelle KK20307212, eine im Plöckenmassiv unterhalb der Würmlacher Alm und des Würmlacher Alpl in einem Hangschuttbereich entspringenden Quelle zu verzeichnen (-10,02 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -65,3 ‰ $\delta^2\text{H}$). Außerdem zeigt das Wasser der Grundwassermessstelle KK20305052/Talbodenquelle entsprechend angereicherte Isotopenwerte (-9,85 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und -66,3 ‰ $\delta^2\text{H}$). Diese Quelle entspringt südwestlich von Rattendorf am südlichen Rand des Gailtales und am unteren Hangfuß des Hochwipfel unterhalb der

Rattendorfer-Riegel-Alm. Die Einzugsgebiete dieser Grundwassermessstellen sind demzufolge eher in geringeren Höhenlagen des Talrandbereiches zu vermuten.

6.2.2 Tritium/Helium-3

Radiogene, tritiogene und Mantelkomponenten des Heliums im beprobten Grundwasser des Grundwasserkörpers Südliche Kalkalpen [DRA] können anhand der 3-Komponenten-Darstellung in Abbildung 31 unterschieden werden. Diese Differenzierung erlaubt weitere Rückschlüsse auf die Art und Weise der Grundwasserneubildung sowie unterirdische Wasserwegigkeiten.

Abbildung 31: Heliumkomponenten des Grundwassers bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA]



Anmerkungen: (1) KK20305052 (Hermagor-Pressegger See)

Quelle: Umweltbundesamt

(2) KK20201032 (Villach)

(3) PG20320302 (Gitschtal)

(4) KK20711052 (Finkenstein am Faaker See)

Insgesamt konnten im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA], bei denen es sich fast ausschließlich um Quellmessstellen handelt, aufgrund der lokalen Gegebenheiten (Art

des Quellaustritts) nur an vier Grundwassermessstellen die entsprechenden Probenahmen durchgeführt werden.

Eine Messstelle, KK20305052, die Talbodenquelle in der Gemeinde Eisenkappel-Vellach (Punkt 1 in Abbildung 31), weist eine markante Beimischung von radiogenem Helium-4 und tritiogenen Heliums auf. Einige weitere Grundwassermessstellen zeigen kleinere Beimischungen radiogenem Heliums, so z.B. die im Talboden vom Gitschtal gelegene Messstelle PG20320302 (Gemeinde Gitschtal) und die Unionquelle Villach (KK20201032). Der Nachweis von radiogenem Helium wird häufig mit dem Auftreten von Störungszonen und/oder tieferer Zirkulation von Grundwasserkomponenten sowie dem Kontakt mit uran- und thoriumhaltigen Gesteinen in Verbindung gebracht. Das Pustertail-Gailtal-Teilstörungssystem als Teil des Periadriatischen Lineamentes bietet beispielsweise die entsprechenden Wegigkeiten für das aufsteigende radiogene Helium in Bezug auf die Talbodenquelle KK20305052 (Abbildung 31).

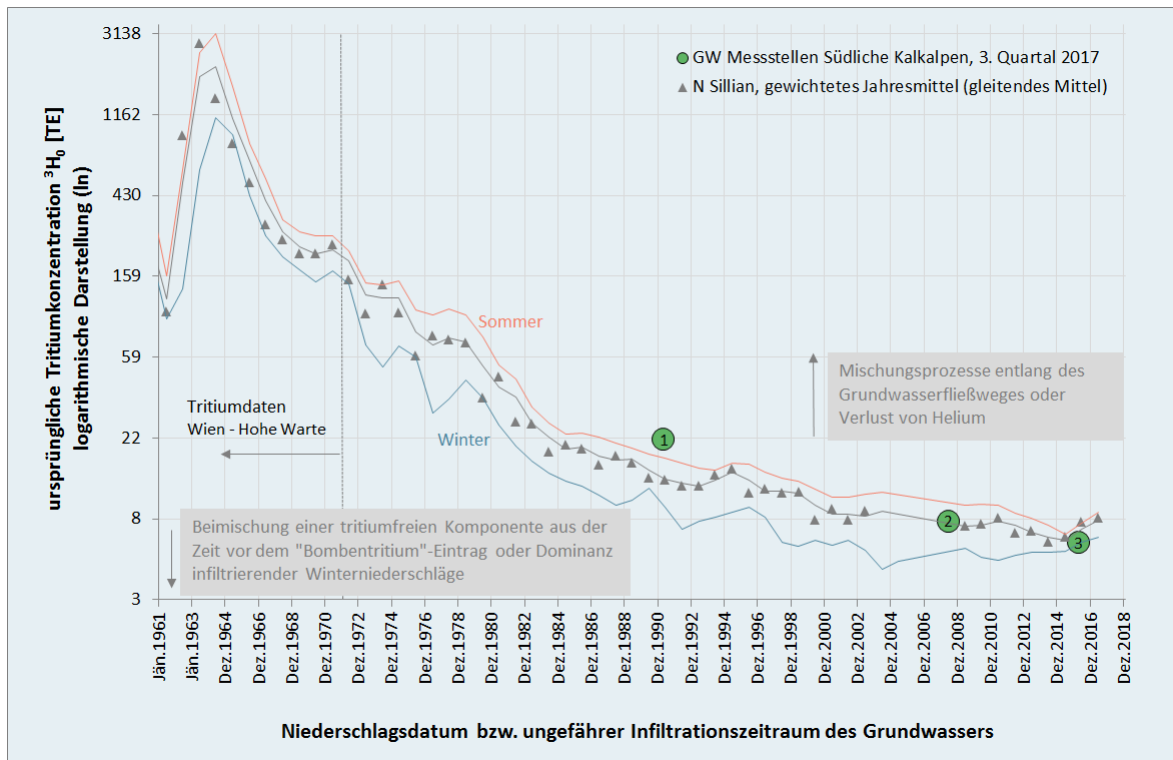


Blick vom Obir auf das Drautal

Eine der vier auf Tritium/Helium-3 untersuchten Messstellen (KK20711052-Pototschequelle, Gemeinde Finkenstein am Faaker See) gruppiert nahe der Heliumzusammensetzung von Wasser im Gleichgewicht mit der Atmosphäre und verweist

dementsprechend auf kürzlich infiltriertes Grundwasser ohne zusätzliche terrigene bzw. tritiogene Heliumkomponenten.

Abbildung 32: Zeitreihe der Tritiumkonzentrationen des Niederschlags (N) in Sillian (1961–2017) als Jahres-, Sommer- und Wintermittel im Vergleich zu den rekonstruierten Tritiumkonzentrationen der ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA].



- Anmerkungen: (1) KK20305052 (Hermagor-Pressegger See)
 (2) KK20201032 (Villach)
 (3) PG20320302 (Gitschtal)

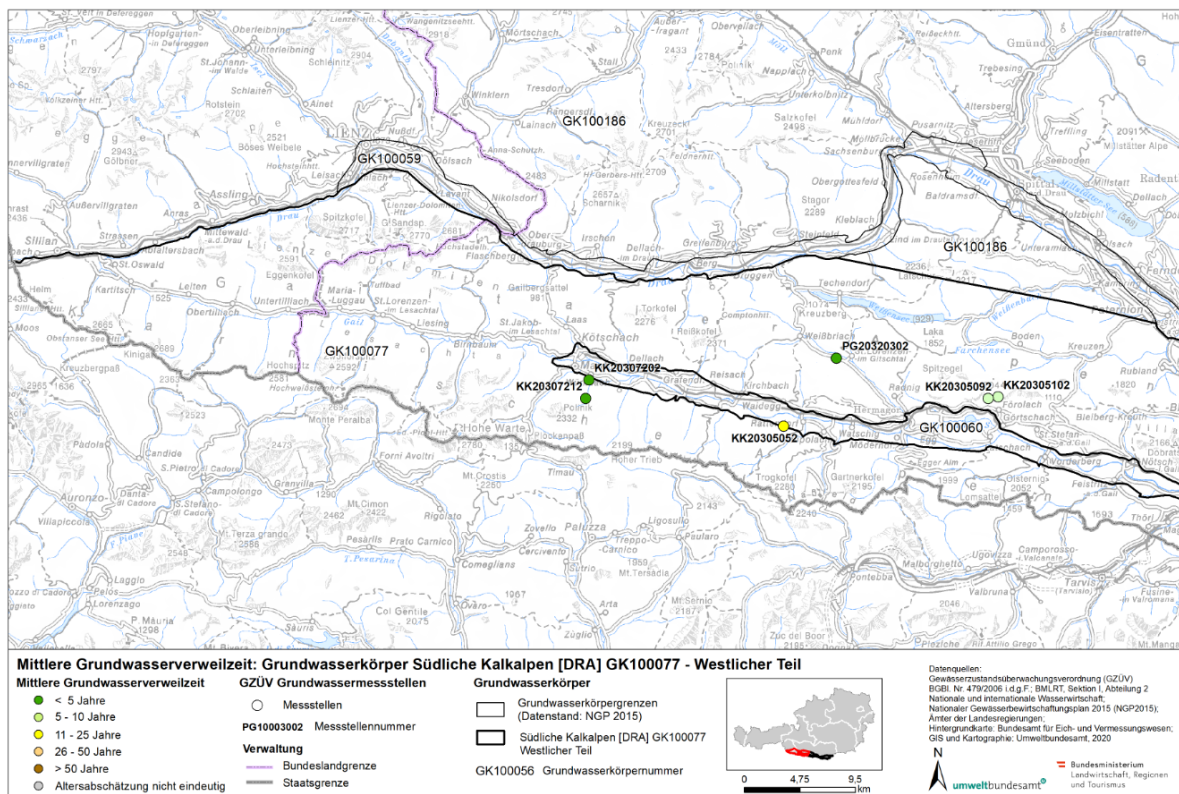
Quelle: Umweltbundesamt

Die ursprünglichen Tritiumgehalte lassen sich auf Basis der vorhandenen Messdaten nur für drei Grundwassermessstellen der Tritiuminputfunktion des Niederschlages (Messstelle Sillian) gegenüberstellen. Während die Tritiumgehalte der Messstellen KK20201032 (Unionquelle Villach) und PG20320302 (Gitschtal) gut mit der Niederschlagsinputfunktion übereinstimmen und die Tritiumzusammensetzung der lokalen Niederschläge der letzten fünf bis zehn Jahre widerspiegeln, liegt die Tritiumkonzentration von KK20305052 (Talbodenquelle, Gemeinde Eisenkappel-Vellach) deutlich oberhalb der Inputfunktion. Dies ist ein Hinweis auf Verlust von Helium durch längere Aufenthaltszeiten in der

ungesättigten Zone, kann aber auch durch Mischungsprozesse entlang des Grundwasserfließweges verursacht sein.

6.3 Diskussion – Ergebnis

Abbildung 33: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (westlicher Teil)

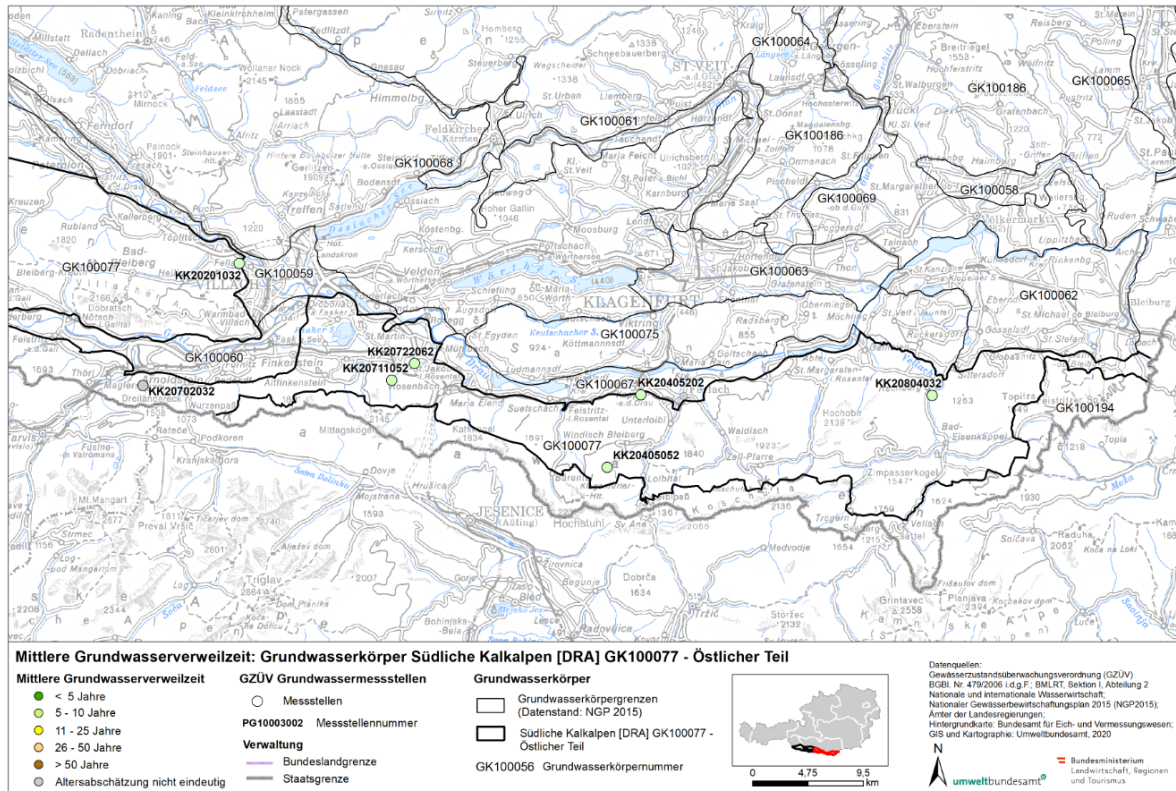


Datenquelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.G.F.; BMLRT, Abteilung 1 / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregionen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt 2020

Die Grundwasserkörpergruppe Südliche Kalkalpen [DRA] umfasst die Lienzer Dolomiten in Osttirol, die Gailtaler Alpen, die Karnischen Alpen und die Karawanken in Kärnten und weist eine Gesamtfläche von 2.143 km² auf. Der Grundwasserkörper erstreckt sich in west-östlicher Richtung über knapp 200 km, die Breite schwankt zwischen 5 und 30 km. Weniger als 25 % der Fläche des Grundwasserkörpers sind durch Deckschichten geschützt

(H₂O-Fachdatenbank 2018). Die flächenhafte Versickerung von Niederschlagswasser vor allem in den Sommer- und Herbstmonaten bildet den Hauptanteil der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Abbildung 34: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (östlicher Teil)



Datenquelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.G.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

Hinsichtlich der beobachteten Beimischung von radiogenem Helium-4 ist u. a. der Einfluss des Pustertal-Gailtal-Teilstörungssystems als Teil des Periadriatischen Lineamentes in Betracht zu ziehen. Sowohl Störungssysteme als auch Grundgebirgsschwellen wie beispielsweise am Ostrand des Gailtales können entsprechende Wegigkeiten für den Aufstieg von Gasen und tief zirkulierenden Grundwässern bieten.

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Untersuchungen nach Gebirgsgruppen der Südlichen Kalkalpen gliedert dargestellt.

6.3.1 Karnische Alpen

Aufgrund der nach Süden einfallenden Schichten treten im Plöckengebiet in den Karnischen Alpen auf Kärntner Seite nur wenige größere Quellvorkommen auf. Die stärkste Quelle des ganzen Plöckengebietes ist die im Süden des Massivs gelegene *Sorgente Fontanon* bei Timau, die im Durchschnitt mehrere hundert Liter pro Sekunde schüttet (Zötl, 1974). Der Wechsel von Kalkarealen mit örtlich starken Wasserwegigkeiten und oberflächennaher Verkarstung sowie Schieferbereichen mit geringen Durchlässigkeiten, aber kleinen Quellaustritten, kennzeichnen das Gebiet.

Die im vorliegenden Projekt untersuchte Quelle Missoria (**KK20307202**) entspringt südlich von Kötschach-Mauthen unterhalb der Missoriaalm an der Grenzfläche zwischen Hangschutt- und Schiefer- bzw. Sandsteinbereichen.

Da für diese Quelle im vorliegenden Projekt aufgrund der lokalen Gegebenheiten keine Helium-3-Daten erhoben werden konnten, wurde die Mittlere Verweilzeit auf Basis einer Tritiumzeitreihe mit vier Datenpunkten aus den Jahren 1996/97 und einem Datenpunkt aus 2018 modelliert. Die Mittlere Verweilzeit der Quelle Missoria (KK20307202) fällt demnach in die **MVZ-Kategorie < 5 Jahre**.

Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch ($\sim 10,9$ mg/l), gering mineralisiert (~ 216 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C) und weist eine Wassertemperatur von etwa $\sim 7,0^\circ\text{C}$ auf. Das Quellwasser entspricht dem erdalkalisch-carbonatischem Wassertyp. Das mittlere Sauerstoff-18-Verhältnis beträgt $-10,36\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$. Der „leichteste“ Isotopenwert wurde im April gemessen und zeigt den unmittelbaren Einfluss von Schneeschmelze und Winterniederschlägen. Die hydrochemischen Eigenschaften des Quellwassers, gekennzeichnet durch eine niedrige Gesamthärte (7°dH), sowie geringe Chlorid- ($< 0,5$ mg/l), Nitrat- ($3,5$ mg/l) und Sulfatkonzentrationen ($4,9$ mg/l) spiegeln die Niederschlagszusammensetzung wider und verweisen ebenfalls auf geringe Aufenthaltszeiten des Wassers im Gestein.

Die weiter südöstlich hangaufwärts gelegene Kressquelle (**KK20307212**) entspringt ebenfalls im Plöckenmassiv unterhalb der Würmlacher Alm und des Würmlacher Alpl in einem Hangschuttbereich unterhalb ausstreichender Feldkogel-Kalke. Im Umfeld der Austrittsstelle befinden sich zwei vermutete Störungszonen.

Das Grundwasser der Quelle ist oxisch ($\sim 11,7$ mg/l), gering mineralisiert (~ 168 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C) und weist eine, auf oberflächennahe Zirkulation deutende, Wassertemperatur von etwa $\sim 5,8^\circ\text{C}$ auf. Das mittlere Sauerstoff-18-Verhältnis beträgt $-10,02\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$, das mittlere

Einzugsgebiet der Quelle KK20307212 liegt damit niedriger als das der tiefer gelegenen Quelle Missoria (KK20307202). Der „schwerste“ Sauerstoff-18-Wert (-9,23 ‰ $\delta^{18}\text{O}$) wurde im Juli gemessen, Beeinflussungen durch Schneeschmelze oder Winterniederschläge scheinen zu diesem Zeitpunkt schon nur noch geringe Anteile auszumachen.

Die Tritiumkonzentrationen liegen mit 6,9 TE (Juli 2017) und 5,4 TE (Januar 2018) im Bereich der – durch mediterrane Luftmassen beeinflussten – Niederschlagskonzentrationen. Die mittlere Verweilzeit des Grundwassers ist nach MVZ-Modellierung auf Basis von Tritiumdaten (vier Datenpunkte aus den Jahren 1996/97 und zwei Datenpunkte aus den Jahren 2017/18) und dem Abgleich mit den Sauerstoff-18-Daten ebenfalls in die **MVZ-Kategorie < 5 Jahre** einzuordnen.

Südwestlich von Rattendorf am südlichen Rand des Gailtales und am unteren Hangfuß des Hochwipfels unterhalb der Rattendorfer-Riegel-Alm liegt die Talbodenquelle (**KK20305052**), die von allen im vorliegenden Projekt untersuchten Quellen der Südlichen Kalkalpen durch die höchsten Gehalte an radiogenem Helium (1,3E-04 Nml/kg) gekennzeichnet ist. Im Nahbereich der Quelle liegen vermutete und bekannte Störungszonen. Das Gailtal selbst ist durch das Pustertal-Gailtal-Teilstörungssystem gekennzeichnet, ein Teil des Periadriatischen Lineamentes, dessen Verlauf für weit südlich der Talmitte angenommen wird. In diesen Bereichen sind möglicherweise die entsprechenden Gas- und Wasserwegigkeiten für Helium-4 vorhanden.

Das Wasser der Messstelle **KK20305052** ist zudem durch einen außergewöhnlich hohen Gehalt an tritiogenem Helium (16,7 TE) gekennzeichnet, so dass von einer Beimischung eines Anteils von Grundwasser aus den 1960er/1970er-Jahren mit ursprünglich hohen Konzentrationen an Tritium aus der Zeit der Kernwaffentests auszugehen ist. Insgesamt scheinen aber jüngere Wässer an der Quelle zu dominieren. Die mittlere Verweilzeit der Quelle fällt in die **MVZ-Kategorie 11–25 Jahre**. Auf Basis der vorliegenden Daten ist von einer Mischung von Grundwässern mit deutlich unterschiedlichen Altern auszugehen. Eine Absicherung der Ergebnisse durch eine Wiederholungsmessung von Tritium/Helium-3 wird empfohlen.

Das mittlere Sauerstoff-18-Verhältnis beträgt -9,85 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ und entspricht damit den Sauerstoff-18-Verhältnissen der im Gailtal selbst gelegenen Porengrundwassermessstellen (siehe Kapitel 4.2.1) und lässt keine eindeutigen Rückschlüsse auf Grundwasserneubildung aus Hochlagen des Hochwipfelgebietes zu.

Die Tritiumkonzentrationen liegen mit 4,9 TE (Juli 2017) und 5,5 TE (Januar 2018) im Bereich der aktuellen Niederschlagskonzentrationen. Das Grundwasser der Quelle ist oxisch ($\sim 10,8$ mg/l), gering mineralisiert (~ 185 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C) und weist eine Wassertemperatur von etwa $\sim 8,4^\circ\text{C}$ auf. Die Nitrat- und Chloridkonzentrationen im Quellwasser sind mit 1,8 mg/l und 0,7 mg/l auffallend niedrig, analog zur flussaufwärts gelegenen Messstelle PG20306042 (siehe Kapitel 4.3). Beide Messstellen lassen keine Beeinflussung durch die starke landwirtschaftliche Nutzung im Umfeld der Messstellen erkennen. Die Sulfatkonzentrationen liegen bei ~ 14 mg/l.

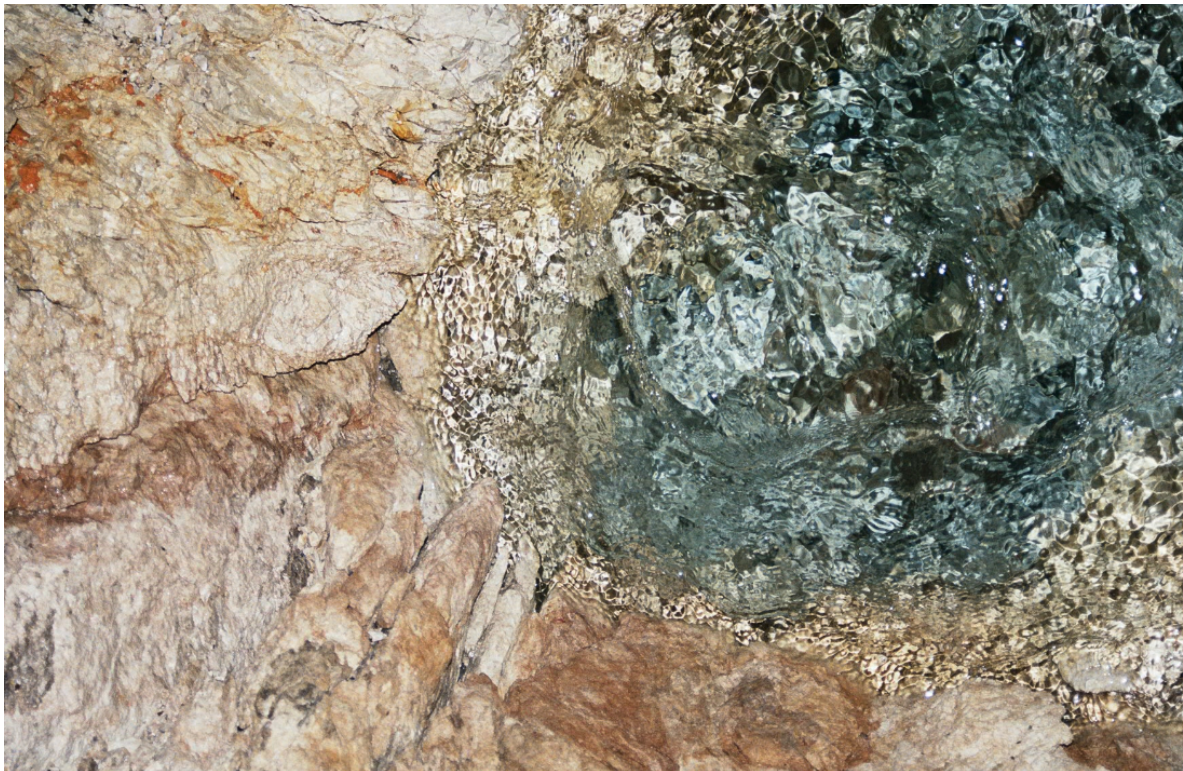
6.3.2 Gailtaler Alpen

Der in eine Tiefe von 21 m abgeteufte Sonde **PG20320302** liegt zwischen Weißbriach und St. Lorenzen im Gitschtal am rechten Ufer der Gössering. Das Grundwasser der Quelle ist oxisch ($\sim 9,2$ mg/l), weist eine elektrische Leitfähigkeit von (~ 331 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C) und eine Wassertemperatur von etwa $\sim 9,5^\circ\text{C}$ auf. Das mittlere Sauerstoff-18-Verhältnis beträgt $-10,29$ ‰ $\delta^{18}\text{O}$, der zur Verfügung stehende Tritiumwert für die Probe aus Juli 2017 liegt im Bereich aktueller Niederschlagskonzentrationen (5,7 TE). Das Grundwasser der Messstelle fällt in die **MVZ-Kategorie < 5 Jahre**, die gefundenen tritiogenen Helium-3-Konzentrationen sind mit 0,4 TE sehr gering. Eine geringfügige Beeinflussung durch radiogenes Helium liegt vor, die entsprechenden Gas- und Wasserwegigkeiten stehen möglicherweise im Zusammenhang mit der durch das Tal verlaufenden Iseltalstörung.

Die hydrogeologischen und hydrochemischen Gegebenheiten des Förolacher Stollens (**KK20305102/Quelle 37** und **KK20305092/Quelle 88**) wurden ausführlich von Ramspacher et al. (1991) beschrieben. Der Förolacher Stollen liegt nordöstlich des Pressegger Sees etwa 100 m über dem Gailtalboden auf 670 m Seehöhe. Der Stollen durchörtert auf einer Länge von mehr als 3 Kilometern den zur Spitzegelgruppe gehörenden Graslitzenkamm der Gailtaler Alpen und drainiert dabei vor allem karbonatische Gesteine der Wettersteinserie. Diese wurden durch die Gebirgsbildung steil gestellt und durch einige W-E-Störungen lateral verschoben. Im Förolacher Stollen wurden insgesamt 112 Wasserzutritte bzw. Quellaustritte kartiert, die sowohl feinste und weite Klüfte als auch als wallerartige Quellen oder große Karstöffnungen umfassen (Ramspacher et al., 1991).

Die Quelle 37 des Förolacher Stollens (KK20305102) ist die schüttungsstärkste (~ 80 l/s) und entspringt stark gestörtem Wettersteindolomit nahe der Zuchenstörung. Die Quelle 88 des Förolacher Stollens (KK20305092) ist ebenfalls schüttungsstark mit mehr als 50 l/s und entspringt dem liegenden Wettersteindolomit.

Die Wässer der beiden Quellen (KK20305092/Q88 bzw. KK20305102/Q37) sind oxisch (10,5 bzw. 10,3 mg/l), gering mineralisiert (264 bzw. 244 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C) und weisen Wassertemperaturen von 7,0 bzw. 7,6°C auf. Die Quellwässer entsprechen dem überwiegend durch Dolomit geprägtem, erdalkalisch-carbonatischem Wassertyp. Das mittlere Sauerstoff-18-Verhältnis beträgt -11,49 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ bzw. -11,48 ‰ $\delta^{18}\text{O}$. Die vergleichsweise abgereicherten („leichten“) Sauerstoff-18-Verhältnisse deuten auf ein relativ hochgelegenes Einzugsgebiet und/oder eine durch Winterniederschläge und Schneeschmelze dominierte Grundwasserneubildung.



Wallerquelle im Förolacher Stollen

Die Mittleren Verweilzeiten der Quellen im Förolacher Stollen wurden von Rampscher et al. (1991) anhand von Isotopendaten auf ≤ 5 Jahre abgeschätzt. Im vorliegenden Projekt wurden für die Berechnung der Mittleren Verweilzeit von KK20305102 (Quelle 37) Tritiumdaten aus den Jahren 1996/97 und die aktuelle Tritiummessung aus dem Januar 2018 (beide 5,0 TE) herangezogen. Aufgrund des saisonal ausgewogenen Sauerstoff-18-Verhältnisses wurde zur Berechnung der MVZ ein Exponentielles Mischungsmodell gewählt, das für beide Quellaustritte in **Mittleren Verweilzeiten der Kategorie 5–10** Jahre resultiert. Eingangsdaten für das Exponentielle Mischungsmodell waren die niederschlagsgewichteten Tritiumdaten der Station Villacher Alpe für den Zeitraum 1971–2017. Eine Absicherung der ermittelten MVZ durch eine Tritiummessung an den Quellen in zwei bis drei Jahren wird empfohlen.

Die Unionquelle (**KK20201032**) entwässert die Nordostflanke der Villacher Alpe, auch als Dobratsch bekannt. Der isolierte Bergstock, der als Teil der Gailtaler Alpen über dem Zusammenfluss von Drau und Gail aufragt, wird von den Störungszonen des Bleiberger Tals im Norden und der Periadriatischen Naht im Süden begrenzt. Die Gipfelscholle der Villacher Alpe ist überwiegend durch Wettersteinkalk sowie Alpinen Muschelkalk und Buntkalk charakterisiert, darunter liegen Grödener und Raibler Schichten, welche wiederum auf dem Gailtalkristallin aufliegen.

Die Quellen sichern zu 80 % die Wasserversorgung der Stadt Villach, weitere 20 % der benötigten Wasserreserven für Villach stammen aus dem Grundwasserfeld Urlaken.

Die hydrogeologischen und hydrochemischen Charakteristika der Unionquelle (**KK20201032**) wurden ausführlich von Probst & Zojer (1993) untersucht und beschrieben. Demnach handelt es sich bei der Unionquelle um eine Karstquelle, deren Einzugsgebiet durch kalkige Karbonatgesteine (Wettersteinkalk) geprägt ist und sich – wie durch Markierungsversuche nachgewiesen – bis zur Roßtratte ausdehnt. Das Hochplateau Roßtratte liegt unterhalb des Dobratschgipfels in östlicher Richtung auf ~1.680 m Höhe. Die Unionquelle weist eine Schüttungsspanne von 200 bis 400 l/s auf und reagiert mit einer Verzögerung von bis zu drei Wochen auf Starkregen- und Schneeschmelzereignisse. Der Jungwasseranteil aus den schnell entwässernden Karstklüften kann zwischen 50–70% betragen (Probst & Zojer, 1993).

Die Mittlere Verweilzeit der Unionquelle (**KK20201032**) fällt in die MVZ-Kategorie **5–10 Jahre**. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch (~11,0 mg/l), gering mineralisiert (~280 µS/cm bei 20°C) und weist eine Wassertemperatur von etwa ~9,2°C auf. Das Quellwasser entspricht dem erdalkalisch-carbonatischem Wassertyp. Das mittlere Sauerstoff-18-Verhältnis beträgt -10,87 ‰ $\delta^{18}\text{O}$, der „leichteste“ Wert (-11,09 ‰ $\delta^{18}\text{O}$) wurde im April gemessen und reflektiert den Einfluss von Schneeschmelze und Winterniederschlägen. (Weitere Proben wurden im Juli, Oktober 2017 und Januar 2018 gezogen). Die Tritiumkonzentrationen liegen mit 4,7 TE (Juli 2017) und 5,8 TE (Januar 2018) im Bereich der – durch mediterrane Luftmassen beeinflussten – Niederschlagskonzentrationen.

6.3.3 Karawanken

Nahe der durch die Gailitz gebildeten Westgrenze der Karawanken liegt am Nordabhang nahe Seltschach die Mastizquelle (**KK20702032**). Das gesamte zur Gebirgsgruppe

Steinberg gehörende Gebiet zwischen Klausbach und Petrinjakbach ist durch glazial ausgeformte Hochflächen charakterisiert. Wechsellagerungen von paläozoischen Schiefen und Sandsteinen mit Kalken bilden den Untergrund, der im Bereich der Hochflächen von Moränenablagerungen überlagert wird. Eine mit Lockersediment gefüllte und in West-Ost-Richtung verlaufende Umfließgrinne bildet den Grundwasserspeicher für die Quellen im Gebiet. Die Grundwasserneubildung erfolgt in den südlich angrenzenden Steilhängen bis hinauf in die Kammbereiche der Karawanken.

Das Grundwasser der Mastizquelle KK20702032 ist oxisch ($\sim 9,8$ mg/l), weist eine elektrische Leitfähigkeit von (~ 276 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C) und eine Wassertemperatur von etwa $\sim 7,9^\circ\text{C}$ auf. Das mittlere $\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnis beträgt $-10,33$ ‰ $\delta^{18}\text{O}$. Der „leichteste“ Wert ($-10,73$ ‰ $\delta^{18}\text{O}$) wurde im Juli gemessen, so dass davon auszugehen ist, dass sich die Schneeschmelze mit mehrmonatiger Verzögerung auf das Quellwasser auswirkt. Die Tritiumkonzentrationen im Grundwasser liegen mit $5,8$ TE (Juli 2017) und $6,8$ TE (Januar 2018) im Bereich der aktuellen Niederschlagskonzentrationen. Da Tritium/Helium-3-Daten aufgrund der lokalen Situation an der Messstelle nicht erhoben werden konnten und historische Tritiumdaten nicht vorliegen, kann für diese Messstelle **keine solide Verweilzeitabschätzung** vorgenommen werden. Es ist aber tendenziell – aufgrund der beobachteten hohen Saisonalität der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte – mit jüngeren Verweilzeiten zu rechnen.

Am Nordhang des hauptsächlich aus Schlerndolomit aufgebauten Türkenkopfes (Gebiet Mittagkogel) entspringt die Pototschequelle (**KK20711052**) im oberen Einzugsgebiet des Mallenitzenbaches in Konglomeraten. Diese sind durch Kalkgerölle aus den Karawanken sowie blaugraue, tonig-schluffige Sande bzw. graue Sande und Kohleeinlagerungen charakterisiert (GBA, 1982). Das Grundwasser des Brunnen KK20711052 ist oxisch ($\sim 11,3$ mg/l), weist eine elektrische Leitfähigkeit von (~ 279 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C) und eine Wassertemperatur von etwa $\sim 6,9^\circ\text{C}$ auf. Das Grundwasser der Messstelle fällt in die **MVZ-Kategorie 5–10 Jahre**. Für die Modellierung der Verweilzeiten standen Tritiumdaten aus den Jahren 1996/97 (vier Datenpunkte) und 2017/18 (zwei Datenpunkte) zur Verfügung. Das mittlere $\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnis beträgt $-10,55$ ‰ $\delta^{18}\text{O}$. Die geringe Variabilität der $\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnisse über die vier Probenahmezeitpunkte deutet auf eine gute Durchmischung im Grundwasserneubildungsgebiet. Die aktuellen Tritiumkonzentrationen im Grundwasser liegen mit $5,9$ TE (Juli 2017) und $7,3$ TE (Januar 2018) im Bereich der Niederschlagskonzentrationen.

Der Horizontalfilterbrunnen **KK20722062** liegt in der Quartärfüllung des Rosentales südöstlich des Faakers Sees zwischen den Ortschaften Mallenitzen und Winkl. Das Grundwasser der Messstelle fällt in die **MVZ-Kategorie 5–10 Jahre**. Für die Modellierung der Verweilzeiten standen Tritiumdaten aus den Jahren 1996/97 (vier Datenpunkte) und 2017/18 (zwei Datenpunkte) zur Verfügung. Das mittlere $\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnis beträgt -10,49 ‰ $\delta^{18}\text{O}$, die geringe Variabilität deutet auf eine gute Durchmischung im Grundwasserneubildungsgebiet hin, die aktuellen Tritiumkonzentrationen liegen mit 5,9 TE (Juli 2017) und 7,3 TE (Januar 2018) im Bereich der – durch mediterrane Luftmassen beeinflussten – Niederschlagskonzentrationen. Die unterirdische Anströmung erfolgt ausgehend von den Karawanken aus südwestlicher Richtung parallel zum Mallenitzenbach. Das Grundwasser des Brunnen KK20722062 ist oxisch ($\sim 9,6$ mg/l), weist eine elektrische Leitfähigkeit von (~ 367 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C) und eine Wassertemperatur von etwa $\sim 11,4^\circ\text{C}$ auf.

Im Bodental südwestlich von Windisch-Bleiberg liegt auf 1.028 m ü. A. das Meerauge (**KK20405052**). Die **Mittlere Verweilzeit** dieser Quelle wurde anhand einer Tritiumzeitreihe mit fünf Datenpunkten aus den Jahren 1996/97 und zwei Datenpunkten aus dem vorliegenden Projekt modelliert. Demnach fällt die Mittlere Verweilzeit in die Kategorie **5–10 Jahre**. Eine für die Tritium/Helium-3-Analytik notwendige Probenahme konnte aufgrund der lokalen Gegebenheiten im Rahmen des Untersuchungsprogramms nicht durchgeführt werden. Die Abschätzung der Mittleren Verweilzeit unterliegt somit methodischen Einschränkungen.

Das gesamte Quellgebiet einschließlich weiterer Quellaustritte ist ausführlich bei Brenčič & Poltnig (2008) beschrieben. Die Tümpel- bzw. Trichterquelle (Limnokrene) tritt über die Sohle in einen kreisrunden $\sim 3\text{-}5$ m tiefen Teich mit einem Durchmesser von etwa 20 m aus. Die Quelle **KK20405052** liegt im Verzahnungsbereich von Schuttablagerungen des Schwemmfächers aus dem Bereich der südlich gelegenen Selenitza und Wertatscha mit Seetonablagerungen im Bereich Schwerzer/Rausch. Da die Schwemmfächersedimente den Seeton im Bereich des Meerauges unterlagern, handelt es sich hier um einen gespannten Grundwasserleiter. Wie von Brenčič & Poltnig (2008) erläutert, konnte sich im Bereich von Schwächezonen des Seetons durch den Wasserdruck ein aufwärts gerichteter Wasserstrom entwickeln, der zur Ausschwemmung und dem Abtransport von Feinsedimenten sowie zur Ausbildung des charakteristischen Quellaustritts führte.

Das Grundwasser der Quelle KK20405052 ist oxisch ($\sim 11,5$ mg/l), gering mineralisiert (~ 245 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 20°C) und weist eine Wassertemperatur von etwa $\sim 6,4^\circ\text{C}$ auf. Die

Grundwasserqualitätsparameter geben keinen Hinweis auf eine anthropogene Beeinflussung des Quellwassers. Das mittlere $\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnis beträgt $-10,27\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$, die Tritiumkonzentrationen liegen mit 3,7 TE (Juli 2017) und 5,9 TE (Januar 2018) im Bereich der – durch mediterrane Luftmassen beeinflussten – Niederschlagskonzentrationen.

Am Nordhang des Singerberg - Sinacher Gupfes auf etwa 1.028 m Seehöhe liegen die Singerbergquellen (**KK20405202**). Das Gebiet Singerberg – Sinacher Gupf, ein Ausläufer der nördlichen Karawanken, ist vor allem durch auskeilenden Wettersteinkalk, aber auch -dolomit gekennzeichnet. Das Grundwasser des Brunnen KK20405202 ist oxisch ($\sim 11,5\text{ mg/l}$), weist eine niedrige elektrische Leitfähigkeit von $\sim 269\text{ }\mu\text{S/cm}$ bei 20°C und eine Wassertemperatur von etwa $\sim 7,3^\circ\text{C}$ auf. Das Grundwasser entspricht dem erdalkalisch-carbonatischem Wassertyp. Die Mittlere Verweilzeit der Quelle KK20405202 fällt in die Kategorie **5–10 Jahre** basierend auf den Tritiumdaten der Jahre 1996/97 und 2017/18. Das mittlere Sauerstoff-18-Verhältnis beträgt $-10,27\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$. Die Tritiumkonzentrationen liegen mit 3,7 TE (Juli 2017) und 5,9 TE (Januar 2018) im Bereich der – durch mediterrane Luftmassen beeinflussten – aktuellen Niederschlagskonzentrationen.

Die Jakobsquelle (**KK20804032**) ist Teil des Quellbereichs Vellach-Rechberg und die östlichste der im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen untersuchten Quellen. Geologie und Hydrogeologie dieser Quellgruppe sind ausführlich bei Brenčič & Poltnig (2008) beschrieben. Poltnig & Strobl (1996) führten hydrochemische und Umweltisotopenuntersuchungen an dieser und weiteren Quellen im Hochobirmassiv durch. In der Quellgruppe treten versickernde Karstwässer des Hochobirmassivs an die Oberfläche. Die Quellvorkommen befinden sich nahe am tiefsten Punkt der Überschiebungsbahn, an der die verkarsteten Wettersteinkalke und -dolomite auf die rhätischen Plattenkalke der „Sockeldecke“ aufgeschoben sind (Brenčič & Poltnig, 2008). Markierungsversuche zeigen, dass die Verkarstung unter die heutigen Austritte hinausreicht.

Die Gesamtschüttung der Jakobsquelle (**KK20804032**) liegt bei rund 20 l/s. Die Mittlere Verweilzeit der Quelle kann im vorliegenden Projekt anhand einer Tritiumzeitreihe modelliert werden, die neun Datenpunkte aus den Jahren 1993/94 und zwei Datenpunkte aus dem vorliegenden Projekt umfasst. Demnach fällt die Quelle KK20804032 in die **MVZ-Kategorie 5–10 Jahre**. Das Grundwasser der Messstelle ist oxisch ($\sim 8,6\text{ mg/l}$), stark mineralisiert ($\sim 573\text{ }\mu\text{S/cm}$ bei 20°C) und weist eine Wassertemperatur von etwa $\sim 11,7^\circ\text{C}$

auf. Von einer größeren Zirkulationstiefe der Quellwässer ist demnach auszugehen. Das Quellwasser entspricht dem erdalkalisch-carbonatischem Wassertyp.

Die Quelle weist zudem erhöhte Gehalte an Fluorid, Nickel, Lithium, Strontium und Radon-222 auf. Poltnig & Strobl (1996) gehen deshalb von einer engeren Beziehung zu den Wässern der Periadriatischen Naht aus. Das mittlere Sauerstoff-18-Verhältnis beträgt $-10,69 \text{ ‰ } \delta^{18}\text{O}$. Die Tritiumkonzentrationen liegen mit 5,0 TE (Juli 2017) und 5,7 TE (Januar 2018) im Bereich der – durch mediterrane Luftmassen beeinflussten – aktuellen Niederschlagskonzentrationen.



Blick über den Ferlachstausee auf die Karawanken

Tabelle 5: Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA]: Isotopendaten und Mittlere Verweilzeiten

Messstelle	Gemeinde	Höhe (m ü. A.)	$\delta^{18}\text{O}$ (Mittel) (‰ V- SMOW)	VarK $\delta^{18}\text{O}$ (%)	^3H 3. Quartal 2017 (TE)	^3H 1. Quartal 2018 (TE)	$^3\text{He}_{\text{trit}}$ (TE)	$^4\text{He}_{\text{radio}}$ (Nml/kg)	ΔNe (%)	MVZ- Kategorie (Jahre)
KK20201032	Villach	554	-10,87	1,4	4,7	5,8	3,2	4,6E-06	30,6	5-10
KK20305052	Hermagor-Pressegger See	596	-9,85	1,6	4,9	5,5	16,7	1,3E-04	6,0	11-25
KK20305092	Hermagor-Pressegger See	977	-11,49	0,4	3,0	5,0	-	-	-	5-10
KK20305102	Hermagor-Pressegger See	942	-11,48	0,2	6,9	5,0	-	-	-	5-10
KK20307202	Kötschach-Mauthen	789	-10,36	0,9	3,7	5,4	-	-	-	<5
KK20307212	Kötschach-Mauthen	1104	-10,02	5,4	5,8	5,9	-	-	-	<5
KK20405052	Ferlach	1028	-10,27	1,4	5,8	5,6	-	-	-	5-10
KK20405202	Ferlach	497	-10,46	1,2	6,6	6,8	-	-	-	5-10
KK20702032	Arnoldstein	709	-10,33	3,0	5,9	5,8	-	-	-	-*

Messstelle	Gemeinde	Höhe (m ü. A.)	$\delta^{18}\text{O}$ (Mittel) (‰ V- SMOW)	VarK $\delta^{18}\text{O}$ (%)	^3H 3. Quartal 2017 (TE)	^3H 1. Quartal 2018 (TE)	$^3\text{He}_{\text{trit}}$ (TE)	$^4\text{He}_{\text{radio}}$ (Nml/kg)	ΔNe (%)	MVZ- Kategorie (Jahre)
KK20711052	Finkenstein am Faaker See	692	-10,55	3,0	5,0	7,3	-	-	-	5-10
KK20722062	St. Jakob im Rosental	545	-10,49	0,5	5,7	5,7	-	-	-	5-10
KK20804032	Eisenkappel-Vellach	551	-10,69	1,8	4,7	5,8	-	-	-	5-10
PG20320302	Gitschtal	714	-10,29	1,7	4,9	5,5	0,4	4,9E-06	16,0	<5

Anmerkung: * keine Altersabschätzung möglich

Quelle: Umweltbundesamt

7 Literaturverzeichnis

7.1 Allgemein

Aeschbach-Hertig, W. (1994): Helium und Tritium als Tracer für physikalische Prozesse in Seen (Doctoral dissertation, Diss. Naturwiss. ETH Zürich, Nr. 10714, 1994.

Aggarwal, P. K., Froehlich, K. F., & Gat, J. R. (2005): Isotopes in the water cycle. Dordrecht: Springer.

Amin, I. E., & Campana, M. E. (1996): A general lumped parameter model for the interpretation of tracer data and transit time calculation in hydrologic systems. *Journal of Hydrology*, 179(1), 1–21.

ANIP – Austrian Network of Isotopes in Precipitation (2017): Österreichisches Netzwerk für Isotopen (^{18}O , ^2H , ^3H) in Niederschlägen und Oberflächengewässern. BMLRT, Ämter d. Landesregierungen, ARC und Umweltbundesamt, Wien.
<https://www.umweltbundesamt.at>

Cook, P. & Herczeg, A. L. (2000): Environmental tracers in subsurface hydrology. Kluwer Academic Publishers, London. 529 p.

CORINE – Coordinated Information on the European Environment (2012): Umweltbundesamt GmbH.
http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_projekte/rp_corine/

Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern.

H₂O-Fachdatenbank (2018): Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Sektion I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen.

Kazemi, G. A., Lehr, J. H., & Perrochet, P. (2006): Groundwater age. John Wiley & Sons.

Kendall, C. & McDonnell, J.J. (Hrsg.) (1998): Isotope Tracers in Catchment Hydrology. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 839 p.

Kendall, C. & McDonnell, J. J. (Hrsg.). (2012): Isotope tracers in catchment hydrology. Elsevier.

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.

Moser, H. & Rauert, W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrologie. Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 8. Borntraeger. Berlin.

Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW; BGBl. II Nr. 98/2010 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über den guten chemischen Zustand des Grundwassers.

Schlosser, P.; Stute, M.; Dörr, H.; Sonntag, C. & Münnich, K.O. (1988): Tritium/³He dating of shallow groundwater. Earth and Planetary Science Letters 89: 353–362.

Schlosser, P.; Stute, M.; Sonntag, C. & Münnich, K.O. (1989): Tritogenic ³He in shallow groundwater. Earth and Planetary Science Letters 94: 245–254.

Stichler, W. & Hermann, A. (1983): Application of environmental isotope techniques in water balance studies of small basins: In: New Approaches in Water Balance Computations, IAHS, Hamburg, IAHS-148: 93–112.

Sültenfuß, J. & Massmann, G. (2004): Datierung mit der ³He-Tritium-Methode am Beispiel der Uferfiltration im Oderbruch. Grundwasser, 4, 221–234.

Zuber, A. (1986): Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. In: Handbook of Environmental Isotope Geochemistry (ed. by P. Fritz & J. Ch. Fontes), Vol. 2, part B, 1–59. Elsevier, Amsterdam.

7.2 Drautal [DRA]

Anderle, N. (1954): Zur Kenntnis der Grundwasserverhältnisse der Umgebung von Lienz, Villach, Klagenfurt und Wolfsberg. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt; 97 (1954), S.337–366. Wien.

Arndt, R. & Bäk, R. (2005): Geophysik im Drautal - Ergebnisse und Erkenntnisse. Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt Blatt 182 Spittal an der Drau, 12.–16.09.2005 Gmünd, Kärnten. - Geol. B.-A.: 103–115, Wien.

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2017): Grundwasseralter 2015–2017. Ausgewählte Grundwasserkörper. Wien. Homepage des BMLRT > Wasser > Wasserqualität und Gewässerschutz > Grundwasser > Grundwasseralter in Österreich – Bericht 2015-2017

Hager, B. & U. Foelsche (2015): Stable isotope composition of precipitation in Austria. Austrian Journal of Earth Sciences, 108(2), 2–13. doi:10.17738/ajes.2015.0012.

Platzer, G. (1968): Beobachtungen über die Auswirkung der extremen Hochwasser 1965 und 1966 auf den Grundwasserkörper im Becken von Lienz (Osttirol).[Illustr.]. Steir. Beitr. z. Hydrogeol. 20: 81–98.

Probst, G., Brandner, R., Hacker P., Heiss G., Leis, A., Prager, CH., Strobl, E. & Zojer, H. (2002): Hydrogeologische Grundlagenstudie Westliche Gailtaler Alpen - Lienz Dolomiten (Kärnten - Osttirol), Endbericht.- Unveröff. Ber., Joanneum Research.

7.3 Gailtal [DRA]

Anderle, N. (1954): Zur Kenntnis der Grundwasserverhältnisse der Umgebung von Lienz, Villach, Klagenfurt und Wolfsberg. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt; 97 (1954), S.337–366. Wien.

Geologische Bundesanstalt: Multithematische geologische Karte von Österreich 1:1.000.000. Wien.

Hager, B. & U. Foelsche (2015): Stable isotope composition of precipitation in Austria. Austrian Journal of Earth Sciences, 108(2), 2–13. doi:10.17738/ajes.2015.0012.

Holzeis, F.; Kopeinig, C.; Mandl, P. & Moser, J. (2014): Wasser in Kärnten. Eine hydrologische Bilanz. Teil 1 – Wasserhaushalt. Hrsg.: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 8 – Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz, Unterabteilung Wasserwirtschaft/Hydrographie. Klagenfurt.

Kahler, F. (1968): Die Gipsvorkommen an der Südseite der Gailtaler Alpen. Carinthia II., 158./78.,90-96.

Kärnten Atlas V4: gis.ktn.gv.at. Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.8 – Kompetenzzentrum, Umwelt, Wasser und Naturschutz, UA IT-Umweltdaten und KAGIS. Klagenfurt.

Marty, B., O’Nions, R.K., Oxburgh, E.R., Martel, D. & Lombardi, S. (1992): Helium isotopes in Alpine regions. Tectonophysics, 206 (1-2), 71-78.

Poltnig, W. (1987): Geologisch/hydrogeologischer Bericht für den Talabschnitt Gailitz/Arnoldstein - Villach (Unteres Gailtal). Teilbericht zur Erfassung des Naturraumpotentials des Bezirkes Villach. Klagenfurt.

Probst, G. & Zojer, H. (1993): Karstwasserreserven der Villacher Alpe (Kärnten). Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 14, 119–131.

Probst, G. (1988): Hydrogeologische Untersuchungen im Rahmen des Projektes „Untersuchungen zur Erfassung der Grundwasservorräte im Oberen Gailtal/Kärnten“. Abschlussbericht September 1988. Forschungsgesellschaft Joanneum GmbH, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Graz.

Schwalm, A. & Zeitz, J. (2011): DOC-Bildung und -Austrag in Mooren – ein Literaturüberblick. TELMA, 41, 137–154.

Steiner, G. M. (1992): Österreichischer Moorschutzkatalog. Grüne Reihe des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie, Bd. 1; Wien.

Strehl, E.; Niedermayr, G.; Scheriau-Niedermayr, E. & Pak, E. (1980): Die Gipsvorkommen an der Südseite des Dobratsch (Villacher Alpe), Kärnten. Carinthia II, 170./90., 77–89.

Umweltbundesamt (2001): Altlast K 11 „ECO-Wärmetauscher“. Beurteilung der Sanierungsmaßnahmen. Stand 6. November 2001. Wien.

Weissel, G. (2004): Zur Hydrographie des Gailtales. In: Petutschnig, W. und Honsig-Erlenburg, W. (Hrsg.): Die Gewässer des Gailtales. Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten, Klagenfurt, S. 19–21.

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Klimanormalwerte Österreich 1981–2010: Mittlerer Jahresniederschlag 1981–2010.

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/daten-download/klimamittel>

Zojer, H. (Projektleitung) (1988): Hydrogeologische Untersuchungen im Rahmen des Projektes „Ermittlung des Naturraumpotentials ausgewählter Tallandschaften Kärntens: Unteres Gailtal“ KC-11. Endbericht. Forschungsgesellschaft Joanneum GmbH, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Graz.

Zojer, H. (1995): Hydrogeologie glazial übertiefer Täler am Beispiel des unteren Gailtales. ÖWAV-Seminar „Hydrogeologie glazial übertiefer Täler“. 1. bis 2. Juni 1995, Villach. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.

7.4 Krappfeld [DRA]

Geologische Bundesanstalt: Multithematische geologische Karte von Österreich 1:1.000.000. Wien.

Harum, T. & Zojer, H. (1981): Wasserbilanz Krappfeld. Unveröffentlichter Bericht. Forschungszentrum Graz, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Graz.

Herzog, U. (1988): Geologisches Gutachten. Treibacher Chemische Werke AG – Ansuchen um wasserrechtliche Bewilligung für die Sonderabfalldeponie „Roßwiese“. Amt der Kärntner Landesregierung, Unterabteilung 15G, Geologie. Klagenfurt.

Holzeis, F.; Kopeinig, C.; Mandl, P. & Moser, J. (2014): Wasser in Kärnten. Eine hydrologische Bilanz. Teil 1 – Wasserhaushalt. Hrsg.: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 8 Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz, Unterabteilung Wasserwirtschaft/Hydrographie. Klagenfurt.

Kahler, F. (1953): Der Bau der Karawanken und des Klagenfurter Beckens. Carinthia II, 16. Sonderheft.

Kärnten Atlas V4: gis.ktn.gv.at. Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.8 – Kompetenzzentrum, Umwelt, Wasser und Naturschutz, UA IT-Umweltdaten und KAGIS. Klagenfurt.

Umweltbundesamt (1996): Altlast K 7: Deponie Roßwiese. Altlastenatlas, Stand 26.9.1996. Wien.

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Klimanormalwerte Österreich 1981–2010: Mittlerer Jahresniederschlag 1981–2010.

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/daten-download/klimamittel>

Zojer, H. & Harum, T. (1979): Erforschung des Naturraumpotentials ausgewählter Tallandschaften: Krappfeld. Endbericht 1979. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag der Kärntner Landesregierung. Forschungszentrum Graz, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Graz.

Zojer, H. (1985): Hydrogeologisches Gutachten Deponie Roßwiese Treibacher Chemische Werke AG, Forschungszentrum Graz, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Graz.

7.5 Südliche Kalkalpen [DRA]

Brenčič, M. & Poltnig, W. (2008): Podzemne vode Karavank/Grundwasser der Karawanken. Joanneum Research Forschungsgesellschaft m.b.H., Lubljana, Graz

GBA – Geologische Bundesanstalt (Hrsg.) (1982): Erläuterungen zu Blatt 201–210 Villach-Assling. Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000. Geologische Bundesanstalt, Wien.

Poltnig, W. & Strobl, E. (1996): Einflüsse von CO₂-Exhalationen aus dem Bereich der Periadriatischen Naht auf Karstwässer des Hochobirmassivs (Karawanken, Kärnten). Beiträge zur Hydrogeologie 47: 145–158.

Probst, G. & Zojer, H. (1993): Karstwasserreserven der Villacher Alpe (Kärnten). Arch. F. Lagerst.forsch.Geol.B.-A., Band 14, S. 119–131.

Ramspacher, P., Riepler, F., Zojer, H., Stichler, W. (1991): Hydrogeologie des Förolacher Stollens, Gailtaler Alpen (Kärnten). Steir. Beitr. z. Hydrogeologie 42: 9–60.

Zötl, J. G. (1974): Beispiele hydrogeologischer Erfahrungen im Zuge des Ausbaues technischer Objekte in Karstgebieten. In Karsthydrogeologie (pp. 206-254). Springer, Vienna.

8 Abkürzungen

Abk.	Abkürzung
^2H	Deuterium (schwerer Wasserstoff)
^3H	Tritium (überschwerer Wasserstoff)
$^3\text{He} / ^3\text{He}_{\text{trit.}}$	Helium-3 / tritiogenes Helium-3
$^4\text{He} / ^4\text{He}_{\text{rad.}}$	Helium-4 / radiogenes Helium-4
^{18}O	Sauerstoff-18
$\delta^2\text{H} / \delta^{18}\text{O}$	Delta-Notation (Abweichung des Isotopenhäufigkeitsverhältnisses der Probe gegenüber dem Referenzstandard, Angabe in ‰)
^{14}C	Kohlenstoff-14
^{36}Cl	Chlor-36
ANIP	Austrian Network of Isotopes in Precipitation (Österreichisches Messnetz für Isotope im Niederschlag und in Oberflächengewässern)
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMLRT	Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (vormals BMNT)
BMNT	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (vormals BMLFUW)
Bq	Becquerel (Maßeinheit für Radioaktivität)
CORINE	Coordination of Information on the Environment (koordinierte Erfassung von Informationen über die Umwelt)
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff
DRA	Planungsraum „Drau“

Abk.	Abkürzung
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
GWK/GK	Grundwasserkörper
GWRL	EU Grundwasserrichtlinie
GZÜV	Gewässerzustandsüberwachungsverordnung
H	Wasserstoff
LMWL	Local Meteoric Water Line (lokale meteorische Niederschlagsgerade)
m ü. A.	Meter über Adria (österreichisches Höhenbezugssystem, referenziert auf den Pegel von Triest an der Adria)
MVZ	Mittlere Verweilzeit
N	Niederschlag
Ne	Neon
Nml/kg	Normmilliliter je Kilogramm
O	Sauerstoff
ÖPUL	Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft
OW	Oberflächengewässer
QZV Chemie GW	Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser
SF ₆	Schwefelhexafluorid
TE	Tritium-Einheit
VarK	Variationskoeffizient
V-SMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water: Referenzstandard für stabile Isotope (² H, ¹⁸ O)

Abk.	Abkürzung
WISA	Wasserinformationssystem Austria
WRG 1959	Wasserrechtsgesetz 1959
WRRL	EU Wasserrahmenrichtlinie

9 Kontaktinformationen zu den Autorinnen

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5, 1090 Wien

Dr. Heike Brielmann

Tel.: +43-1-31304-3546

heike.brielmann@umweltbundesamt.at

Mag. Franko Humer (Projektkoordination)

Tel.: +43-1-31304-3470

franko.humer@umweltbundesamt.at

Dipl. Geoök. Uta Wemhöner

Tel.: +43-1-31304-3592

uta.wemhoener@umweltbundesamt.at

Mag. Christina Schartner

Tel.: +43-1-31304-3523

christina.schartner@umweltbundesamt.at

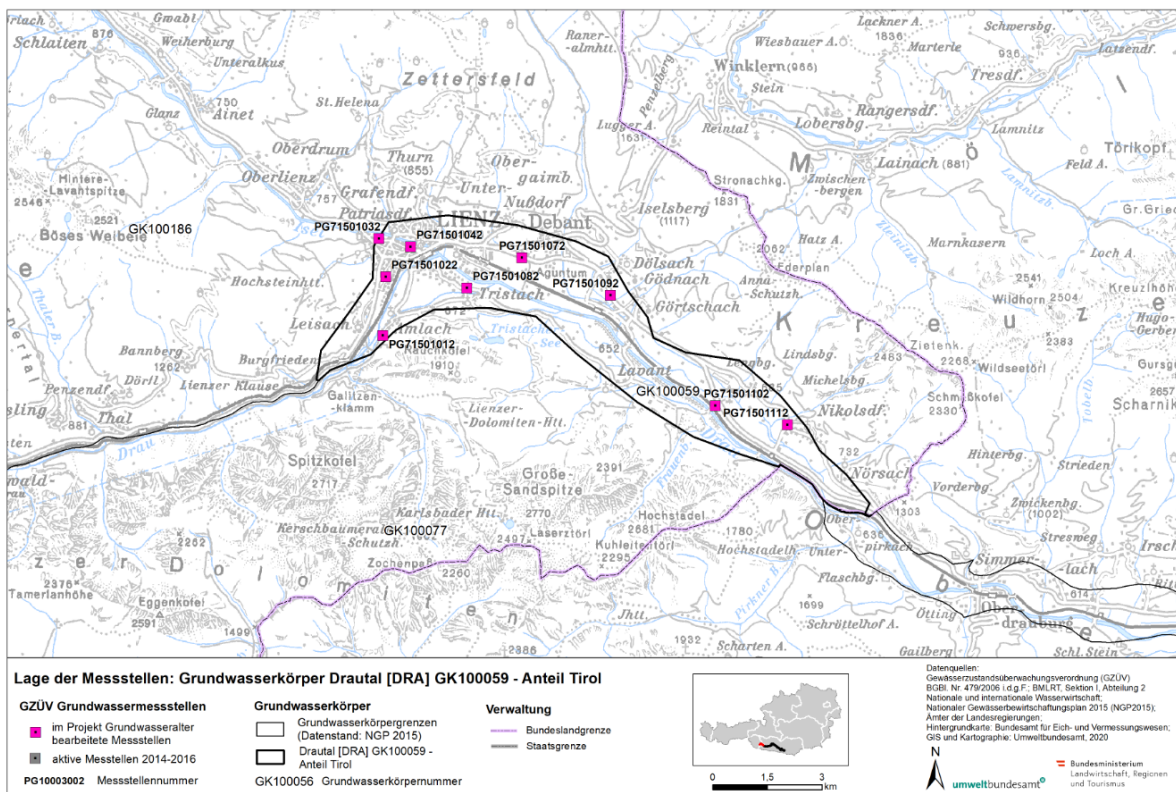
10 Anhang: Gebietsbeschreibungen

10.1 Drautal [DRA] (Tiroler Anteil)

10.1.1 Allgemeines

Der Einzelgrundwasserkörper Drautal ist ein oberflächennaher Porengrundwasserkörper, der sich über eine Länge von ca. 130 km als schmales, langes Band in West-Ost Richtung von Lienz in Osttirol (Bundesland Tirol) über Spittal bis nach Villach (Bundesland Kärnten) erstreckt. Die Breite schwankt zwischen 1 km und 2 km, die Fläche umfasst 214 km² (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Abbildung 35: Übersichtskarte Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil)



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler

Der Tiroler Anteil des Grundwasserkörpers Drautal weist eine Fläche von 33,8 km² auf und liegt auf einer durchschnittlichen Seehöhe von 665 m. Die Seehöhe des Tiroler Anteils liegt zwischen 974 m am höchsten und 624 m am tiefsten Punkt. Die Ausdehnung des Grundwasserkörpers von West nach Ost beläuft sich auf rund 15 km, die Nord-Süd Ausdehnung weist rund 8 km auf. Im Westen des Tiroler Anteils des Drautals ist das Tal durch die Vereinigung der Isel und der Drau gekennzeichnet, um deren Mündungsgebiet sich die Stadt Lienz befindet.

10.1.2 Grundwasserkörpergrenzen

Der Tiroler Anteil des Drautals wird im Süden durch die Lienzer Dolomiten, im Westen durch das Deferegger Gebirge und im Norden durch die Schober- sowie die Kreuzeckgruppe begrenzt.

10.1.3 Überlagernde Schichten

10.1.3.1 Bodentypen

Entsprechend der FAO-Soil Type Units Klassifizierung ist Orthic Fluvisol der dominierende Bodentyp des Grundwasserkörpers. Weitere Bodentypen und ihre Verbreitung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Tabelle 6: Bodentypen im Grundwasserkörper Drautal gemäß FAO-Soil Type Units Klassifizierung

Boden – FAO-Soil Type Units	Anteil (%)
Orthic Luvisol	42,2
Calcaric Luvisol	32,9
Orthic Rendzina	12,7
Dystric Cambisol	11,5

Boden – FAO-Soil Type Units	Anteil (%)
Eutric Cambisol	0,7

Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

10.1.3.2 Deckschicht und Flurabstand

Die Deckschichten des Grundwasserkörpers Drautal bestehen aus tonschluffigen oder feinsandigen Ausbildungen, deren Flächenanteil lediglich bis zu 25 % beträgt und die eine Mächtigkeit von 1,3 bis 2,4 m aufweisen. Die mittlere Mächtigkeit der Deckschichten beträgt 1,8 m.

Der Grundwasserflurabstand erreicht maximal 20 m und liegt im Mittel bei 6,5 m (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.1.4 Grundwasserleiter

10.1.4.1 Druckverhältnisse

Das oberflächennahe Grundwasser ist vorwiegend ungespannt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.1.4.2 Aquifermächtigkeit

Die Bandbreite der Aquifermächtigkeit erstreckt sich von 30 m bis 60 m und beträgt im Mittel 40 m (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.1.4.3 Grundwasserstauer

Als Grundwasserstauer fungieren Feinkornsedimente sowie das Grundgebirge, von dem angenommen wird, dass es hauptsächlich aus kristallinen Gesteinen der Zentralzone aufgebaut ist (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.1.4.4 Mächtigkeiten des Grundwasserkörpers

Die Mächtigkeit des Grundwasserkörpers liegt zwischen 1 m und maximal 50 m (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.1.4.5 Petrographie des Grundwasserleiters

Während des Pleistozäns wurde das Drautal glazial übertieft. Mit dem Abschmelzen des Gletschers füllte sich das Tal mit Schmelzwasser, damit einhergehend erfolgte die Ablagerung feinkörniger Sedimente. Dementsprechend prägen mächtige Horizonte feinkörniger Sedimententwicklungen mit grobkörnigen Einschaltungen den sedimentären Aufbau des Drautales. Zahlreiche Schwemmkegel von den Talrändern dürften maßgeblichen Anteil am Aufbau der mächtigen Talfüllung haben. Erst darüber konnte sich eine fluviatile Abfolge ablagern, wie es in den hangendsten 30 m der Fall ist. Es wechseln mehrmals grobkörnige, gut durchlässige Schichten mit sandig-schluffigen Lagen. Wasserwirtschaftlich relevante Grundwasservorkommen sind jedoch auf die oberen 50 bis 60 m beschränkt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.1.4.6 Grundwasserabflussrichtungen

Die generelle Grundwasserabflussrichtung folgt dem Verlauf der Drau und bewegt sich dementsprechend von West nach Südost.

10.1.4.7 Hydraulische Leitfähigkeit

Die mittlere hydraulische Durchlässigkeit ist hoch und liegt bei $5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Anhand von Pump- und Messversuchen wurden Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $1 \cdot 10^{-4}$ m/s (langsamer Teil) und $8 \cdot 10^{-3}$ m/s (rascher Teil) ermittelt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.1.5 Grundwasserbilanz

10.1.5.1 Niederschlag und Evaporation

Die langfristige mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 1092 mm mit einem Schwankungsbereich von 928 mm bis 1.280 mm (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.1.5.2 Grundwasser

Die Grobschotter weisen besonders im westlich Talbereich des Lienzer Becken eine große Mächtigkeit auf. Auch der Grundwasserspiegel ist im westlichen Talbereich erst in einer Tiefe von etwa 15–20 m anzutreffen, so dass für diesen Bereich eine direkte Kommunikation zwischen Drau, Isel und dem Grundwasser auszuschließen ist. Gegen Osten bis Nikolsdorf und der Talverengung bei Nörsach nehmen der Flurabstand des Grundwassers rasch ab und der Anteil von Feinsedimenten zu. Auböden und oberirdische Gräben, die sogenannten „Lauen“, charakterisieren diesen Talbereich. Interaktionen zwischen der Drau und dem Grundwasser sind möglich.

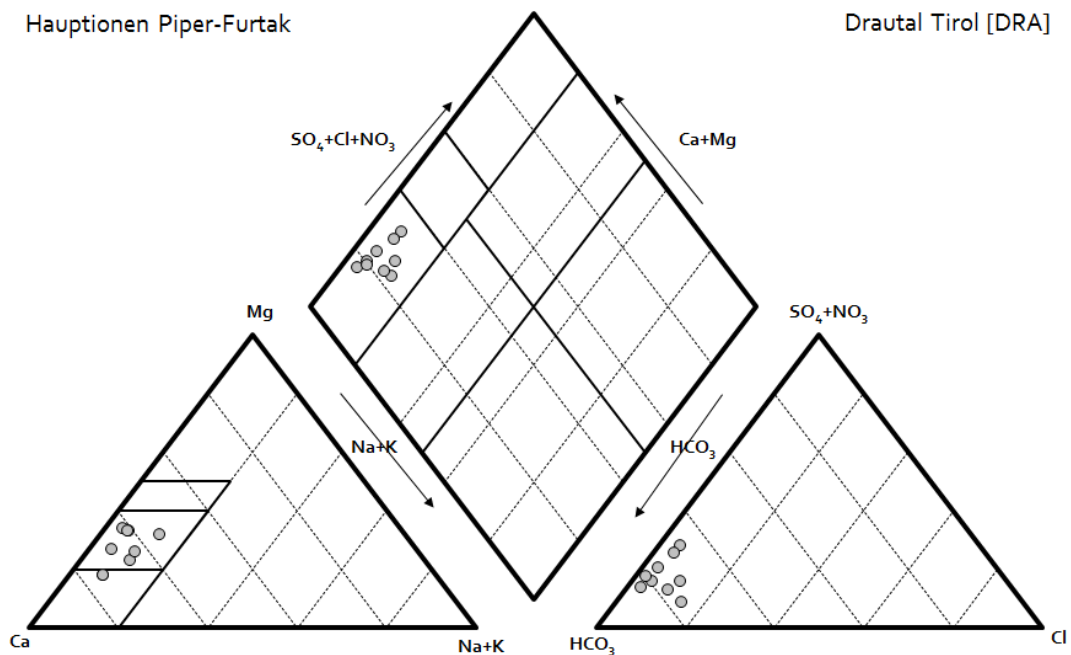
10.1.5.3 Grundwasserneubildung

Die jährliche Grundwasserneubildung erfolgt dort, wo das Drautal von verkarsteten Gesteinen begrenzt wird (Bereich Lienzer Dolomiten, Südrand oberes Drautal), unterirdisch über Karstwässer. Sonst erfolgt die Anreicherung überwiegend durch versickerndes Niederschlagswasser (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.1.6 Grundwasser – Chemie und Monitoring

Die Geochemie des Aquifers ist überwiegend Ca-Mg-karbonatisch.

Abbildung 36: Hauptionen des Grundwassers im Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil) – Darstellung in einem Piper-Furtak-Diagramm



Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

10.1.7 Anthropogene Einflüsse

Bedingt durch die geringmächtige Deckschicht des Grundwasserkörpers Drautal besteht generell eine potentielle Gefährdung des Grundwassers aufgrund anthropogener Einwirkungen. Da jedoch eine intensiv betriebene Landwirtschaft und große Industriegebiete fehlen, weist das Grundwasser des Drautales durchwegs eine gute Qualität auf.

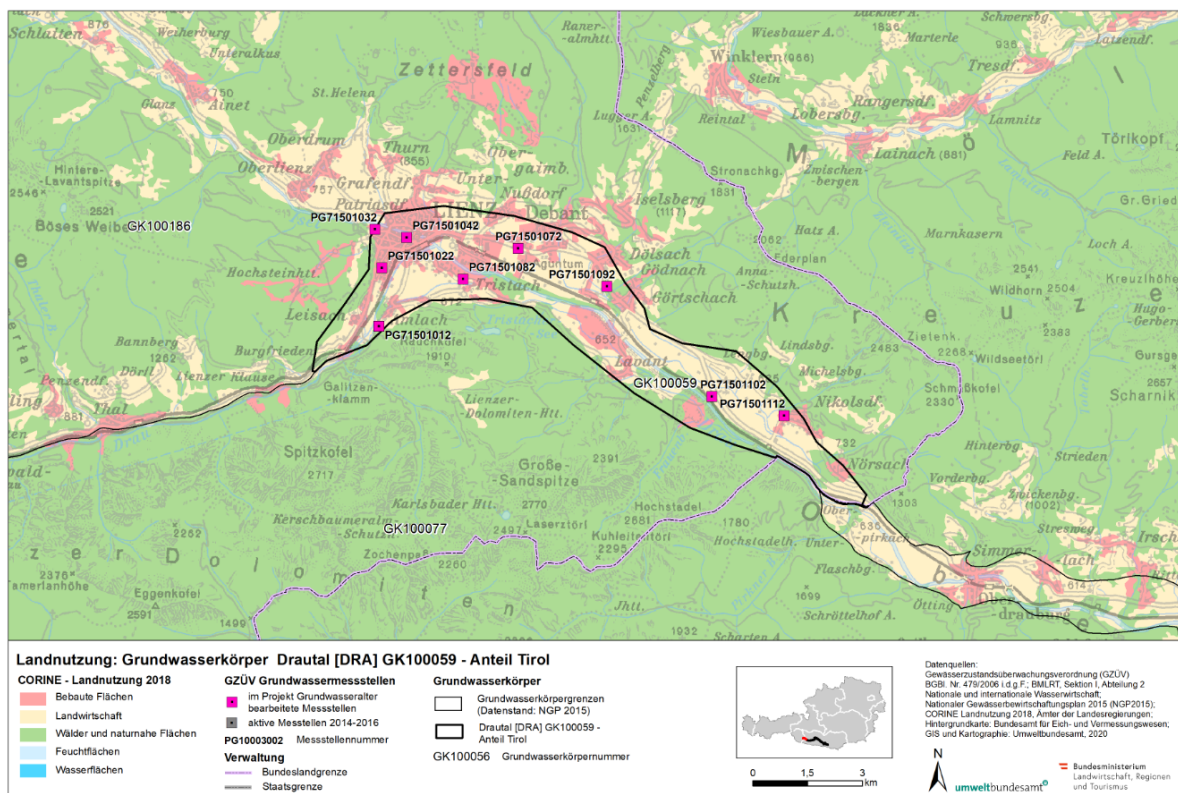
Tabelle 7: Landnutzung im Grundwasserkörper Drautal [DRA] nach CORINE (2006)

Landnutzung nach CORINE	Anteil (%)
Bebaute Fläche	22,8
Landwirtschaftliche Flächen	57,6
Wälder und naturnahe Flächen	15,4

Landnutzung nach CORINE	Anteil (%)
Feuchtfleichen	0,2
Wasserflächen	4,0

Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

Abbildung 37: Landnutzung nach CORINE (2012) im Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil)



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.G.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); CORINE Landnutzung 2012; Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

10.1.8 Literatur

Brückl, E. (2001): Geophysikalische Untersuchungen zur Hydrogeologie des Oberen Drautales (Kärnten). – Bericht, Wien.

H₂O-Fachdatenbank (2018): Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Sektion I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen.

Ingenieurgem. Lässer-Feizlmayr (1990): Wasserversorgungsanlage, Pumpwerk Urlaken. – Bericht, Villach.

Ingerle, K. (1978): Wasserversorgung Villach, Errichtung eines Großvertikalfilterbrunnens in Landskron und Auswertung des Pumpversuches. – Bericht, Innsbruck.

Meurers, B.; Kayhan, A.; Brückl, E. & Steinhauser, P. (1992): Geophysikalische Untersuchungen im Villacher Becken. – Bericht, Wien.

Janschek, H. (1989-1992): Geoelektrische Tiefensondierungen Oberes Drautal. – Bericht, Ferlach.

Krainer, K. (1988): Ein geologischer Streifzug durch Kärnten. Carinthia II 178/98: 141-170, Klagenfurt.

Nachtnebel, H.P. (1993): Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg/Oberes Drautal. – Bericht, Wien.

Oberhauser, R. (Red.) (1980): Der geologische Aufbau Österreichs. Springer, Wien-New York.

Poltnig, W. & Probst, G. (1989): Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg/Oberes Drautal 2.Teil (KA-24c/F-88); Quartärgeologische Kartierung. – Bericht, Graz.

Poltnig, W. & Probst, G. (1992): Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg/Oberes Drautal 4.Teil (KA-24c/F-88). – Bericht, Graz.

Poltnig, W., Probst, G. & Reiss, F. (1990): Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg/Oberes Drautal 3.Teil (KA-24c/F-88). – Bericht, Graz.

Schmid, Ch. (1990): Bericht über die geophysikalischen Bohrlochmessungen im Oberen Drautal. – Bericht, Leoben.

Schmid, Ch., Posch, E. & Walach, G. (1990): Gravimetrische Messungen im Lienzer Becken. – Bericht, Leoben.

Schmöller, R. (1991): Geophysikalische Erkundung der tektonischen Verhältnisse des Baus des westlichen Villacher Beckens als Basis für die Suche nach Tiefengrundwasser (KA-36/F-89). – Bericht, Leoben.

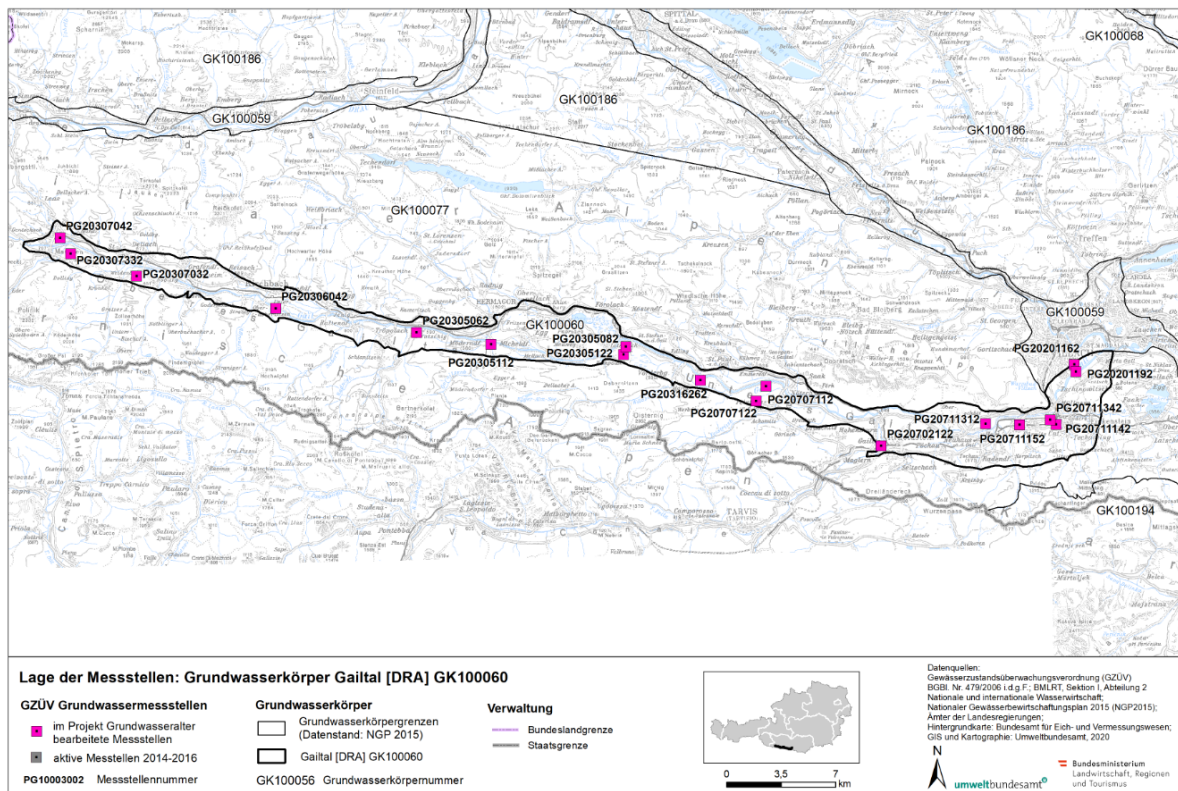
Weber, F. & Schmid, Ch. (1989): Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg/Oberes Drautal 2.Teil (KA-24c/F-88). – Bericht, Leoben.

10.2 Gaital [DRA]

10.2.1 Allgemeines

Der Einzelgrundwasserkörper Gaital [DRA] ist ein oberflächennaher Porengrundwasserkörper, der sich über eine Länge von ca. 80 km als schmales, sehr langes Band von Kötschach-Mauthen im Westen bis in den Villacher Raum im Osten zieht. Seine Fläche beträgt 175 km² (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Abbildung 38: Übersichtskarte Grundwasserkörper Gaital [DRA]



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.G.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

10.2.2 Grundwasserkörpergrenzen

Der Einzelgrundwasserkörper wird im Süden von den Karbonaten der Karnischen Alpen (Grundwasserkörpergruppe Südliche Kalkalpen) begrenzt. Teilweise bilden die paläozoischen Schiefer den südlichen Talrand, teilweise tauchen aber auch verkarstete paläozoische Karbonate unter das Talniveau ab. Im Norden und Westen wird die Grenze vom Gailtaler Kristallin bzw. von Karbonaten der Gailtaler Alpen und der Villacher Alpe (Grundwasserkörpergruppe Südliche Kalkalpen) gebildet. Im Osten wird der Grundwasserkörper durch das Villacher Becken begrenzt. Entlang des Gailtals verläuft eine markante Störungszone, das periadriatische Lineament, das die Gailtaler Alpen im Norden von den Karnischen Alpen im Süden trennt (Amt der Kärntner Landesregierung 2003).

10.2.3 Überlagernde Schichten

10.2.3.1 Bodentypen

Entsprechend der FAO-Soil Type Units Klassifizierung ist Dystric Cambisol der dominierende Bodentyp des Grundwasserkörpers Gailtal. Weitere Bodentypen und ihre Verbreitung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Tabelle 8: Bodentypen im Grundwasserkörper Gailtal [DRA] gemäß FAO-Soil Type Units Klassifizierung

Boden – FAO-Soil Type Units	Anteil (%)
Dystric Cambisol	33,2
Orthic Rendzina	30,5
Eutric Fluvisol	21
Orthic Luvisol	13,9
Calcaric Lithosol	1,3

Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

10.2.3.2 Deckschicht und Flurabstand

Deckschichten in Form von Aulehmen sind nur in einem geringen Ausmaß von weniger als 25 % der Fläche vorhanden. Der Flurabstand bewegt sich zwischen 0 und 22 m (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.2.4 Grundwasserleiter

10.2.4.1 Druckverhältnisse

Das oberflächennahe Grundwasser ist vorwiegend ungespannt (H₂O-Fachdatenbank 2018). Im Talabschnitt bei Feistritz und Nötsch liegen auch gespannte bis artesische Grundwässer vor.

10.2.4.2 Aquifermächtigkeit

Die Bandbreite der Aquifermächtigkeit erstreckt sich von 25 m bis 50 m und beträgt im Mittel 35 m (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.2.4.3 Grundwasserstauer

Die stauende Basis bildet das Gailtalkristallin bzw. darüber liegende Seetone. Ausgehend von geophysikalischen Untersuchungen dürfte sich die Oberkante des Grundwasserstauers zwischen 200 und 300 m unter Geländeoberkante bewegen, wobei im westlichen Gailtal (Bereich Rattendorf) auch Tiefen bis maximal 450 m zu erwarten sind (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.2.4.4 Mächtigkeiten des Grundwasserkörpers

Ausgehend von Bohrungen und seismischen Untersuchungen lässt sich ableiten, dass die Mächtigkeit des Grundwasserkörpers zwischen 8 und 38 m liegt, wobei sich das Mittel um 15 m bewegt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.2.4.5 Petrographie des Grundwasserleiters

Der sedimentäre Aufbau des glazial übertieften Gailtales ist sehr komplex. Unterhalb der Aulehmbedeckung bieten rasche Wechselfolgen von Fein- und Grobsedimenten, in denen

auch kiesreiche Abschnitte immer wieder relativ hohe Schluffanteile enthalten, sehr unterschiedliche, meist jedoch schlechte Aquiferbedingungen. Die Grundwasserführung beschränkt sich vor allem auf wenige, geringmächtige, aber gut durchlässige Schichten, die allerdings nicht über größere Distanzen zu verfolgen sind. Im Pleistozän wurde das Gailtal durch die Einwirkung des Gletschers weitgehend ausgeräumt. Die im Zuge der Abschmelzung des Würmgletschers zum Vorschein gekommene Übertiefung des Talbodens bildete eine ideale Voraussetzung für Massenbewegungen in Form von Bergstürzen, Muren und Rutschungen. Bekannt für gewaltige Bergstürze ist die Dobratsch-Südseite. Außerdem kam es zu einem verstärkten Massenabtrag über Schwemmkegel der in das Gailbett mündenden Seitengerinne. Bedingt durch das sehr geringe Gefälle der Gail reichte ihre Transportkraft nicht aus das Schottermaterial abzutransportieren. Dies hatte Flusslaufverlegungen, starke Mäandrierungen und zahlreiche Altarme zur Folge. Im Laufe der Zeit wurde das Gailtal in mehrere kleine Talabschnitte unterteilt, wo sich auch feinkörnige Sedimente wie Schluffe oder Seetone ablagern konnten. Als Resultat ständig wechselnder Sedimentationsbedingungen liegt heute ein sehr inhomogener Lockergesteinskörper im Gailtal vor. Er ist gekennzeichnet durch eine unregelmäßige Abfolge aus Schottern, Kiesen, Sanden und undurchlässigen Schluff- und Tonlagen, die mit den seitlich eingeschütteten Schwemmkegeln verzahnen. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Sedimentationsabläufe ist eine Stockwerksgliederung des Hauptgrundwasserstromes nicht auszuschließen.

10.2.4.6 Grundwasserabflussrichtungen

Die generelle Grundwasserabflussrichtung folgt dem Verlauf der Gail und bewegt sich dementsprechend von West nach Ost bis Villach.

10.2.4.7 Hydraulische Leitfähigkeit

Die mittlere hydraulische Durchlässigkeit ist hoch und liegt bei $5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Anhand von Pump- und Messversuchen wurden Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $5 \cdot 10^{-5}$ m/s (langsamer Teil) und $2 \cdot 10^{-2}$ m/s (rascher Teil) ermittelt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.2.5 Grundwasserbilanz

10.2.5.1 Niederschlag und Evaporation

Die langfristige mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 1.377 mm mit einem Schwankungsbereich von 1.102 mm bis 1.772 mm (H₂O-Fachdatenbank 2018). Für das Gailtal wurden ausgehend von den Daten der Jahre 1981–2010 mittlere jährliche Verdunstungsmengen zwischen 600 und 850 mm berechnet. Damit weist das Gailtal die höchsten Verdunstungsmengen auf Kärntner Gebiet auf (Holzeis et al., 2014).

10.2.5.2 Grundwasser

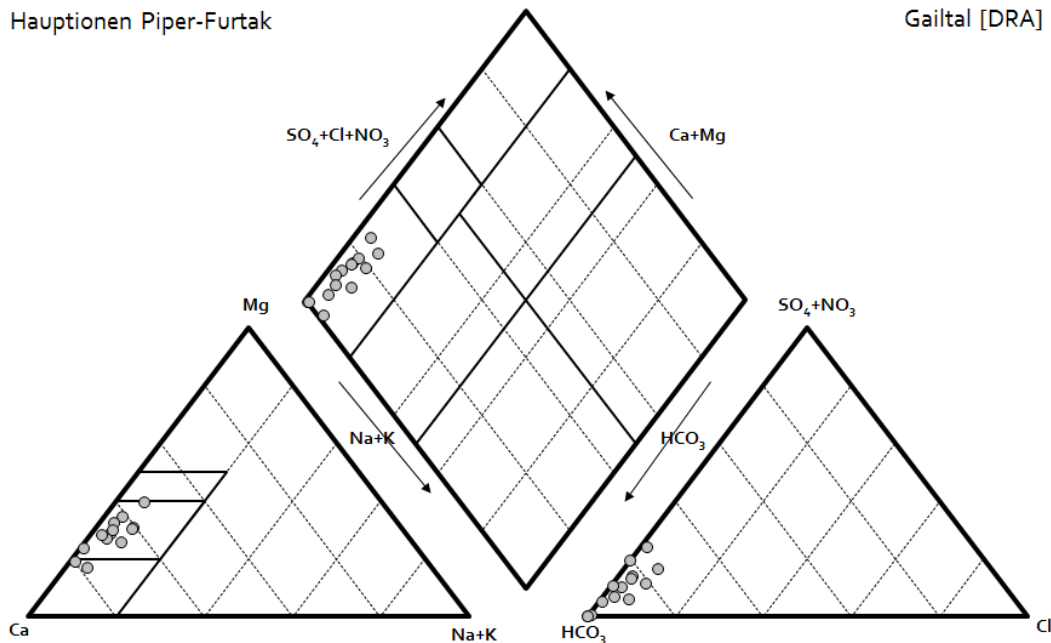
Die Gail bildet die Vorflut auch für tieferliegendes, örtlich gespanntes Grundwasser. Es gibt Gebiete, an denen eine Anreicherung der Gail durch das Grundwasser aber praktisch ausgeschlossen werden kann. Im Norden zwischen Förolach und Nötsch streichen Aquicluden (kristalline Basis, Seetone) aus, wodurch die Wässer direkt in die Gail abgeführt werden. Auch von der Südseite kann eine Infiltration in die Talsedimente und in weiterer Folge in die Gail nur von untergeordneter Bedeutung sein, da die langen Quellhorizonte an den Kalk-Schiefer-Kontakt oder an eine Stauwirkung feiner Lockersedimente im Talaufbau gebunden sind. Als nennenswerte Anreicherung des Gailgrundwasserkörpers und damit auch des Vorfluters verbleibt die Pressegger-Furche (Zojer, 1981–1988).

10.2.5.3 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung erfolgt durch direkte Infiltration von Niederschlagswasser von der Oberfläche des Gailtalbodens sowie durch Versickerung von Oberflächengerinnen, die von den Flanken der Umrahmung dem Gailtal zufließen. Es gibt eine Vielzahl von kleinen Bächen, vor allem im Süden, die in ihren eigenen Schwemmkegel versickern und nicht wieder an der Oberfläche austreten. In jenen Bereichen, in denen an den Talrändern verkarstete Karbonate unter das heutige Talniveau reichen, wird das Talgrundwasser durch randliche Zuflüsse zusätzlich angereichert (Zojer, 1981–1988).

10.2.6 Grundwasser – Chemie und Monitoring

Abbildung 39: Hauptionen des Grundwassers im Grundwasserkörper Gailtal [DRA] – Darstellung in einem Piper-Furtak-Diagramm



Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

Die Geochemie des Aquifers ist überwiegend silikatisch und karbonatisch (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.2.7 Anthropogene Einflüsse

Wasserentnahmen, Bauwerke, Industrieanlagen, Altlasten, Deponien und die Landwirtschaft stellen potentielle anthropogene Einflüsse auf das Grundwasser im Gailtal dar.

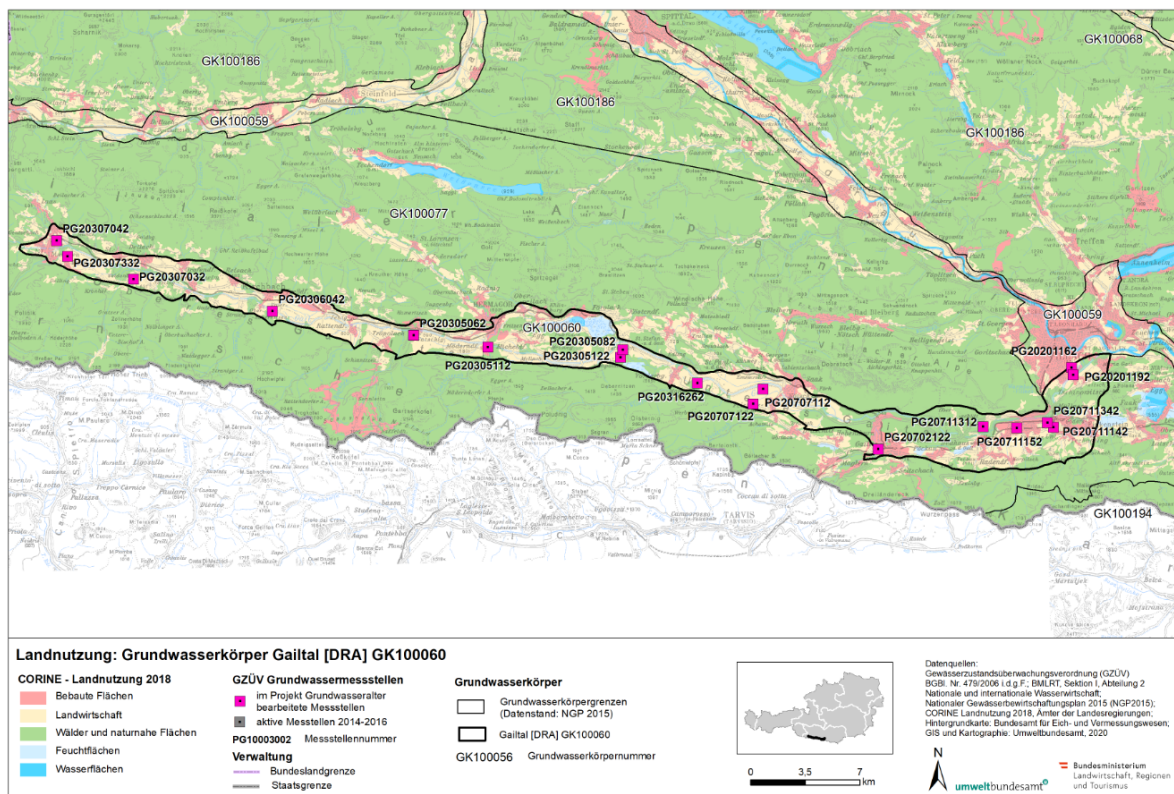
Tabelle 9: Landnutzung im Grundwasserkörper Gailtal [DRA] nach CORINE (2006)

Landnutzung nach CORINE	Anteil (%)
Bebaute Fläche	2,9

Landnutzung nach CORINE	Anteil (%)
Landwirtschaftliche Flächen	66,4
Wälder und naturnahe Flächen	29,3
Feuchtfleichen	1,1
Wasserflächen	0,3

Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

Abbildung 40: Landnutzung nach CORINE (2012) im Grundwasserkörper Gailtal [DRA]



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); CORINE Landnutzung 2012; Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

10.2.8 Literatur

Amt der Kärntner Landesregierung (2003): Grundwasser in Kärnten, Beschreibung der Grundwasserkörper – Hydrochemische Auswertung. Kärntner Institut für Seenforschung, Verein für angewandte Gewässerökologie, Abteilung 15 – Umweltschutz und Technik. Klagenfurt.

Drau Consulting GmbH (1992): Bericht über die Durchführung einer Peilbohrung in Hohenthurn (DC165). – Bericht, Klagenfurt.

GEOSEIS (1982/83): Erforschung des Naturraumpotentials ausgewählter Tallandschaften Kärntens – Unteres Gailtal KC-11; Endbericht über die refraktionsseismischen Untersuchungen. – Bericht, Katzelsdorf.

H₂O-Fachdatenbank (2018): Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Sektion I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen.

Holzeis, F.; Kopeinig, C.; Mandl, P. & Moser, J. (2014): Wasser in Kärnten. Eine hydrologische Bilanz. Teil 1 – Wasserhaushalt. Hrsg.: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 8 – Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz, Unterabteilung Wasserwirtschaft/Hydrographie. Klagenfurt.

Janschek, H. (1981/82): Erforschung des Naturraumpotentials ausgewählter Tallandschaften Kärntens – Unteres Gailtal KC-11. Geoelektrische Tiefensondierungen. – Bericht, Ferlach.

Janschek, H. (1985): Erforschung des Naturraumpotentials ausgewählter Tallandschaften Kärntens – Unteres Gailtal KC-11. Geoelektrische Tiefensondierungen Feistritzer Mooswiese. – Bericht, Ferlach.

Janschek, H. (1985): Erforschung des Naturraumpotentials ausgewählter Tallandschaften Kärntens – Unteres Gailtal KC-11d. Geophysikalische Messungen in den Bohrungen G1/84, B1/84 und C1/84. – Bericht, Ferlach.

Janschek, H. (1992): Geoelektrische Widerstandskartierung im Bereich der Bohrung H-G1/91, Hohenthurn. – Bericht, Ferlach.

Krainer, K. (1988): Ein geologischer Streifzug durch Kärnten. Carinthia II 178/98: 141-170, Klagenfurt.

Oberhauser, R. (Red.) (1980): Der geologische Aufbau Österreichs. Springer, Wien-New York.

Stuag (1981): Hydrogeologischer Aufschluß westlich von Rattendorf; Bohrung und Pumpversuch. – Bericht, Wien.

Van Husen, D. (1980): Zur Ausbildung und Stellung der wärmzeitlichen Sedimente im Unteren Gailtal.– Z. Gletscherk. Glazialgeol., 16: 85–97, Wien.

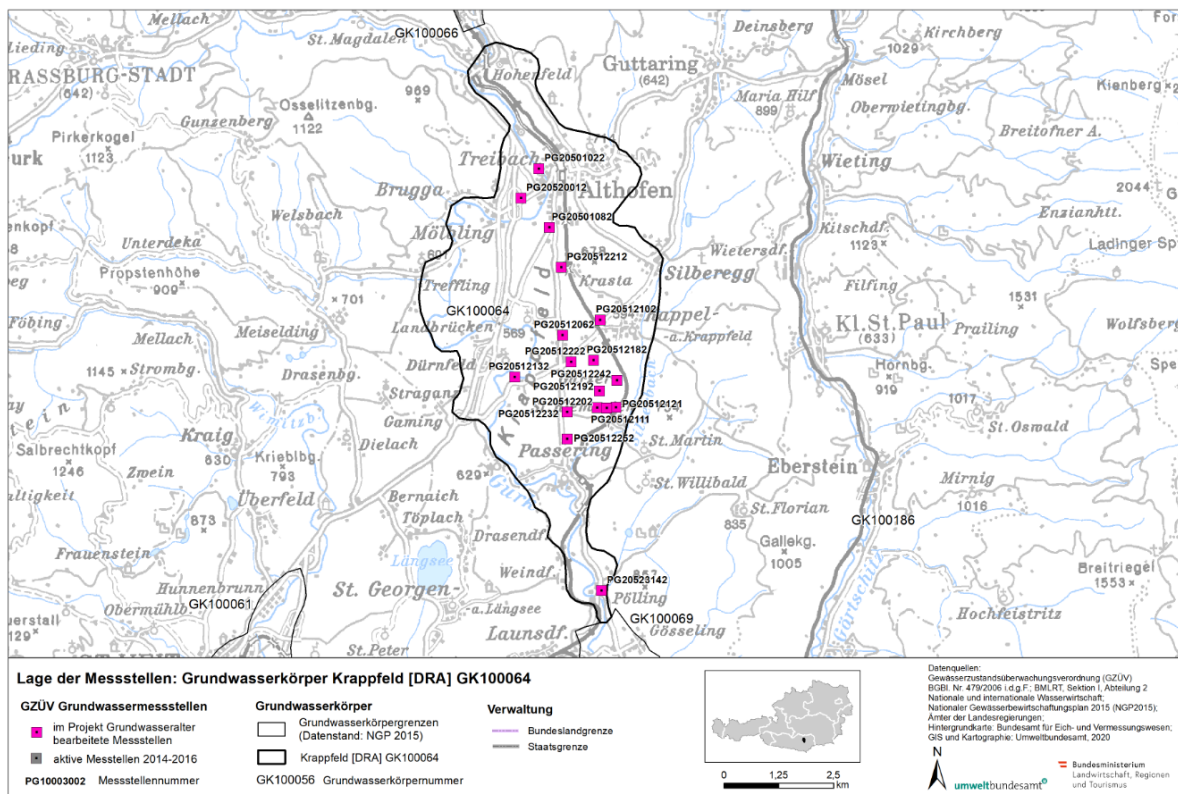
Zojer, H. (1981-1988): Hydrogeologische Untersuchungen im Rahmen des Projektes „Ermittlung des Naturraumpotentials ausgewählter Talandschaften Kärntens: Unteres Gailtal KC-11. Endbericht, Graz.

10.3 Krappfeld [DRA]

10.3.1 Allgemeines

Der Einzelgrundwasserkörper Krappfeld ist ein oberflächennaher Porengrundwasserkörper, der sich über eine Länge von 14 km und einer maximalen Breite von 7 km in Kärnten erstreckt. Die Gesamtfläche beträgt 37 km², die Bandbreite der Seehöhe reicht von 516 m bis 718 m und liegt im Mittel bei 587 m (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Abbildung 41: Übersichtskarte Grundwasserkörper Krappfeld [DRA]



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

10.3.2 Grundwasserkörpergrenzen

Der Grundwasserkörper Krappfeld erstreckt sich von Althofen im Norden nach Passering im Süden, wo er an triassische Karbonate angrenzt. Im Westen wird er durch die Gurktaler Decke, im Osten vom Kristallin der Saualpe und Teilen der Gurktaler Decke begrenzt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.3.3 Überlagernde Schichten

10.3.3.1 Bodentypen

Entsprechend der FAO-Soil Type Units Klassifizierung ist Eutric Cambisol der dominierende Bodentyp des Grundwasserkörpers. Weitere Bodentypen und ihre Verbreitung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Tabelle 10: Bodentypen im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA] gemäß FAO-Soil Type Units Klassifizierung

Boden – FAO-Soil Type Units	Anteil (%)
Eutric Cambisol	93,1
Orthic Luvisol	5,5
Dystric Planosol	1,2
Dystric Cambisol	0,3

Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

10.3.3.2 Deckschicht und Flurabstand

Die Deckschichten des Grundwasserkörpers Krappfeld bestehen aus schluffigen oder feinsandigen Ausbildungen, deren Flächenanteil zwischen 25 % und 50 % liegt und die eine Mächtigkeit von 9 bis 15 m aufweisen. Die mittlere Mächtigkeit der Deckschichten beträgt 12 m.

Der Grundwasserflurabstand erreicht maximal 42 m und liegt im Mittel bei 27 m. Der geringste Flurabstand liegt bei 20 m (H₂O-Fachdatenbank 2018). Im Bereich der Würm-Hauptterrasse befindet sich unter einer mittel- bis grobsandigen und kiesigen Schicht ein tonig-schluffiger Horizont. Dieser undurchlässige Horizont stellt die Stauschicht für einen seicht liegenden, schwebenden Grundwasserkörper dar. Dieser höher gelegene Grundwasserkörper ist an den Terrassenabfällen zur Gurk und zum Silberbach angeschnitten, wodurch immer wieder kleinere Quellen austreten und Vernässungen zu beobachten sind. Durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung und das Fehlen von dichten Deckschichten ist dieses seicht liegende Grundwasser stark anthropogen beeinflusst.

Darunter folgt ein Horizont mit fein- bis grobsandigen Kiesen, die den Hauptgrundwasserleiter darstellen. Der Grundwasserspiegel befindet sich im Bereich des Brunnenfeldes bei St. Klementen etwa 27 bis 28 m unter Gelände, die Oberkante des Grundwasserstauers (schluffig-tonige Schichten) liegt etwa in 45 m Tiefe. Die Grundwassermächtigkeit dieses Hauptgrundwasserleiters beträgt etwa 17 bis 18 m. Dieser Hauptgrundwasserkörper ist durch einen freien Grundwasserspiegel gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass zwischen dem hangenden oberflächennahen Grundwasserkörper und dem Hauptgrundwasserkörper ein ungesättigter Bereich vorliegt. Unter dem Stauer des Hauptgrundwasserkörpers tritt ein dritter tiefliegender Aquifer auf, der von etwa 61 bis 75 m Tiefe reicht (Amt der Kärntner Landesregierung, 2003).

10.3.4 Grundwasserleiter

10.3.4.1 Druckverhältnisse

Das oberflächennahe Grundwasser sowie der Hauptaquifer sind vorwiegend ungespannt (H₂O-Fachdatenbank 2018). Der tiefliegende dritte Aquifer ist durch gespanntes Grundwasser gekennzeichnet, wobei der Druckspiegel etwa 4 bis 5 m über dem freien Grundwasserspiegel des Hauptgrundwasserkörpers liegt (Amt der Kärntner Landesregierung 2003).

10.3.4.2 Aquifermächtigkeit

Die Bandbreite der Aquifermächtigkeit erstreckt sich von 30 m bis 48 m und beträgt im Mittel 40 m (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.3.4.3 Grundwasserstauer

Als Grundwasserstauer dienen die Gurktaler Decke und mergelige Ablagerungen aus der Oberkreide (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.3.4.4 Mächtigkeiten des Grundwasserkörpers

Die Mächtigkeit des Grundwasserkörpers liegt zwischen 10 m und maximal 30 m. Das Mittel beläuft sich auf 20 m (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.3.4.5 Petrographie des Grundwasserleiters

Das Krappfeld stellt ein Einbruchsbecken dar, das treppenförmig entlang von Nord nach Süd streichenden tektonischen Brüchen zwischen den Phylliten der Gurktaler Alpen im Westen und dem Kristallin der Saualpe (vor allem Phyllite, Glimmerschiefer und Gneise) im Osten abgesenkt ist. Die Gurktaler Decke und mergelige Ablagerungen aus der Oberkreide bilden den Beckenuntergrund. Die Sedimentfüllung ist gekennzeichnet durch tertiäre Feinkornablagerungen, die direkt dem Beckenuntergrund aufliegen und mächtige glaziale bis spätglaziale Kiese und Sande. Diesen sind schluffige Lagen eingeschaltet, was zur Ausbildung von mehreren Grundwasserhorizonten führte (Amt der Kärntner Landesregierung, 2003).

Die quartären Schotter der Beckenfüllung sind aus Kristallingeröllen aufgebaut und stammen vorwiegend aus dem würmzeitlichen Murgletscher (Zojer & Harum, 1979).

10.3.4.6 Grundwasserabflussrichtungen

Die bevorzugte Fließrichtung des Grundwassers führt von Norden nach Süden (Amt der Kärntner Landesregierung, 2003).

10.3.4.7 Hydraulische Leitfähigkeit

Die mittlere hydraulische Durchlässigkeit ist sehr hoch und liegt bei $5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Anhand von Pump- und Messversuchen wurden Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $1 \cdot 10^{-4}$ m/s (langsamer Teil) und $1 \cdot 10^{-2}$ m/s (rascher Teil) ermittelt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.3.5 Grundwasserbilanz

10.3.5.1 Niederschlag

Die langfristige mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 788 mm mit einem Schwankungsbereich von 778 mm bis 805 mm (H₂O-Fachdatenbank 2018). Für das Krappfeld wurde ausgehend von den Daten der Jahre 1981–2010 eine mittlere jährliche Verdunstungsmenge von ca. 547 mm berechnet (Holzeis et al., 2014).

10.3.5.2 Grundwasser

Die Gurk infiltriert im Norden in den Grundwasserkörper Krappfeld, im Süden fungiert sie als Vorflut für das Grundwasser.

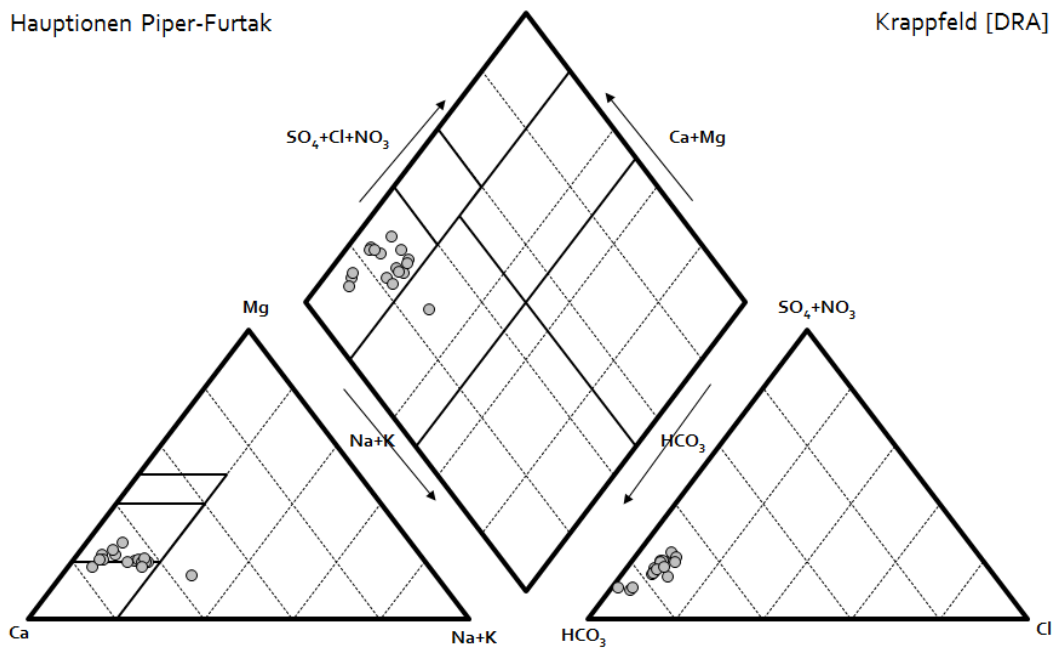
10.3.5.3 Grundwasserneubildung

Neben der Infiltration von Wasser aus der Gurk stellt die flächenhafte Versickerung von Niederschlag die Hauptkomponente der Grundwasserneubildung dar (H₂O-Fachdatenbank 2018). Die jährliche mittlere Grundwasserneubildungshöhe beträgt 1,32 m³/s, während sich der unterirdische Abfluss aus dem Becken auf 0,51 m³/s beläuft (Herzog et al., 1982).

10.3.6 Grundwasser – Chemie und Monitoring

Die Geochemie des Aquifers ist überwiegend silikatisch und karbonatisch (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Abbildung 42: Hauptionen des Grundwassers im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA] – Darstellung in einem Piper-Furtak-Diagramm



Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

10.3.7 Anthropogene Einflüsse

Anthropogene Belastungen des Grundwassers ergeben sich insbesondere aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung des Krappfeldes sowie durch Industrieanlagen. Darüber hinaus bestehen anthropogene Einflüsse durch ausgewiesene Altlasten und Deponien, Wasserentnahmen, Verkehr sowie Forstwirtschaft.

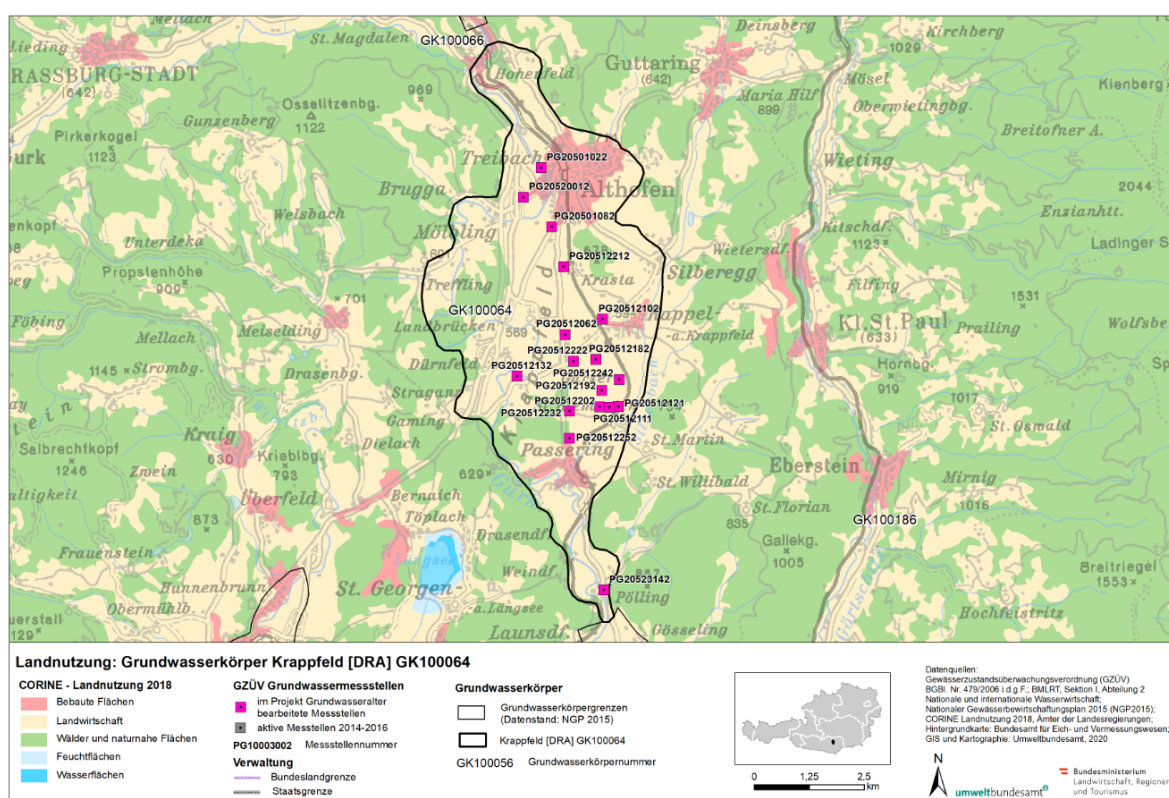
Tabelle 11: Landnutzung im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA] nach CORINE (2006)

Landnutzung nach CORINE	Anteil (%)
Bebaute Fläche	3,6
Landwirtschaftliche Flächen	90,6
Wälder und naturnahe Flächen	5,7
Feuchtflächen	0

Landnutzung nach CORINE	Anteil (%)
Wasserflächen	0

Quelle: H2O-Fachdatenbank 2018

Abbildung 43: Landnutzung nach CORINE (2012) im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA]



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); CORINE Landnutzung 2012; Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

10.3.8 Literatur

Amt der Kärntner Landesregierung (2003): Grundwasser in Kärnten, Beschreibung der Grundwasserkörper – Hydrochemische Auswertung. Kärntner Institut für Seenforschung, Verein für angewandte Gewässerökologie, Abteilung 15 – Umweltschutz und Technik. Klagenfurt.

H₂O-Fachdatenbank (2018): Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Sektion I / 3 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen.

Herzog, U.; Weber, F.; Janschek, H.; Harum, T.; Zojer, H & Van Husen, D. (1982): Naturraumpotential Krappfeld. Abschlussbericht. Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt.

Holzeis, F.; Kopeinig, C.; Mandl, P. & Moser, J. (2014): Wasser in Kärnten. Eine hydrologische Bilanz. Teil 1 – Wasserhaushalt. Hrsg.: Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 8 Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz, Unterabteilung Wasserwirtschaft/Hydrographie. Klagenfurt.

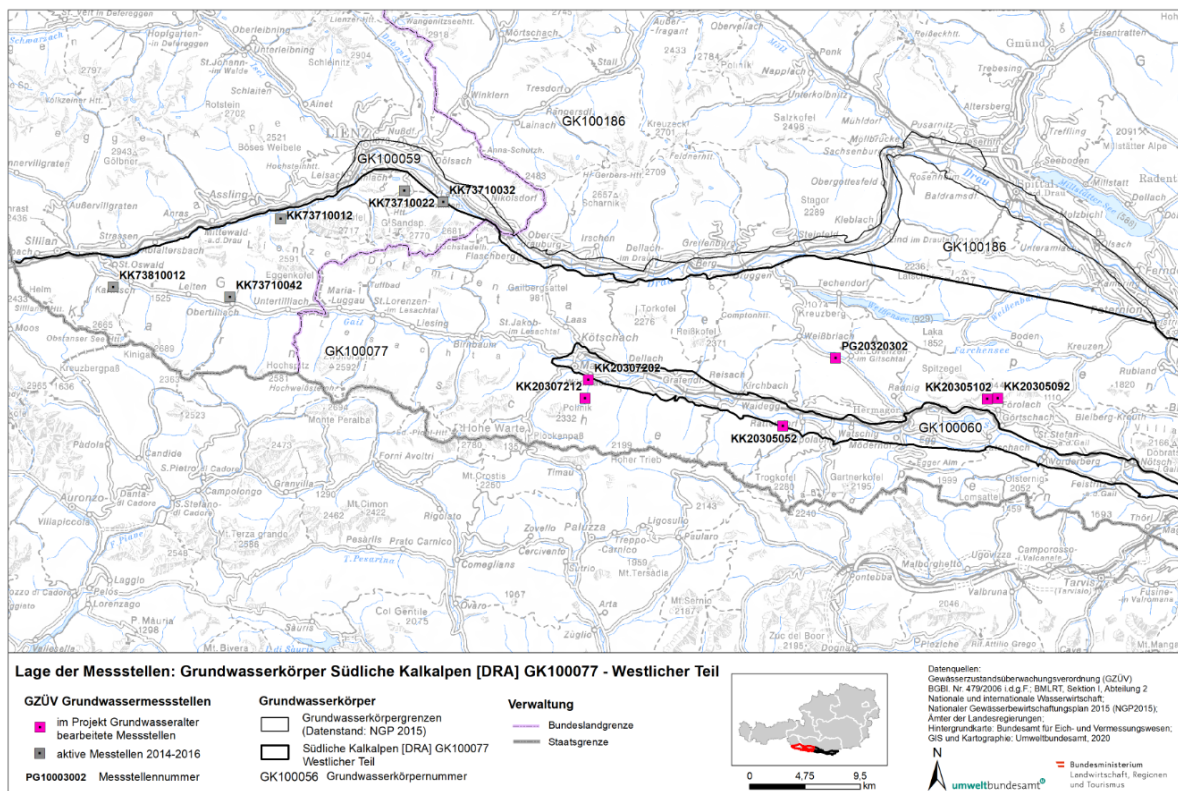
Zojer, H. & Harum, T. (1979): Erforschung des Naturraumpotentials ausgewählter Tallandschaften: Krappfeld. Endbericht 1979. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag der Kärntner Landesregierung. Forschungszentrum Graz, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Graz.

10.4 Südliche Kalkalpen [DRA]

10.4.1 Allgemeines

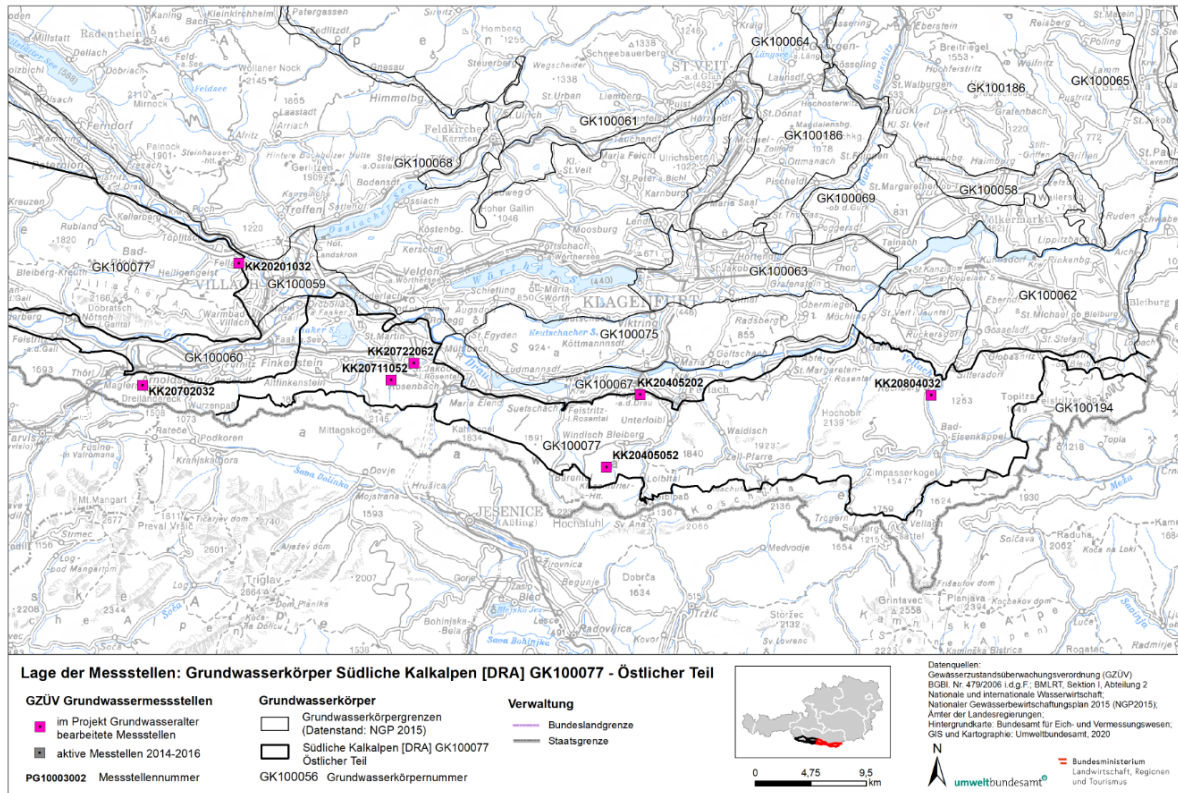
Die Grundwasserkörpergruppe Südliche Kalkalpen ist nach der Zentralzone die zweitgrößte Grundwasserkörper-Einheit Kärntens. Sie erstreckt sich von den Lienzer Dolomiten in Osttirol über den gesamten Südkärntner Raum und setzt sich auch über die Grenze bis Italien und Slowenien fort. Die Gesamtfläche beträgt 2.143 km², wobei jener Anteil, der in Tirol liegt, 315 km² umfasst und die Fläche in Kärnten 1.825 km² einnimmt. Die Längserstreckung erreicht knapp 200 km, die Breite schwankt zwischen 5 und 30 km. Die Grundwasserkörper-Gruppe lässt sich ihrerseits in die Lienzer Dolomiten, die Gailtaler Alpen, die Karnischen Alpen und die Karawanken unterteilen.

Abbildung 44: Übersichtskarte Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (westlicher Teil)



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.G.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler

Abbildung 45: Übersichtskarte Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (östlicher Teil)



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.G.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

10.4.2 Grundwasserkörpergrenzen

Im Nordwesten werden die Südlichen Kalkalpen vom Drautal bzw. von den Zentralalpen (Grundwasserkörper-Gruppe Zentralalpen) und nach Osten hin vom Rosental und vom Jauntal begrenzt. Da sich die südlichen Kalkalpen bis nach Italien und Slowenien hin fortsetzen, wird die Grenze im Süden durch die Staatsgrenze gebildet. Die Karawanken im Südosten von Kärnten wurden als grenzüberschreitender Grundwasserkörper mit Slowenien ausgewiesen.

10.4.3 Überlagernde Schichten

10.4.3.1 Bodentypen

Entsprechend der FAO-Soil Type Units Klassifizierung ist Orthic Rendzina der dominierende Bodentyp des Grundwasserkörpers. Weitere Bodentypen und ihre Verbreitung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Tabelle 12: Bodentypen im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] gemäß FAO-Soil Type Units Klassifizierung

Boden – FAO-Soil Type Units	Anteil (%)
Orthic Rendzina	41,4
Dystric Cambisol	24,7
Calcaric Lithosol	17,9
Orthic Luvisol	9,2
Eutric Cambisol	2,0
Eutric Fluvisol	1,8
Calcaric Fluvisol	1,3
Cambic Rendzina	1
Eutric Planosol	0,3
Rest	0,3

Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

10.4.3.2 Deckschicht

Der Flächenanteil der Deckschichten über dem Grundwasserkörper beträgt weniger als 25 % (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.4.4 Grundwasserleiter

10.4.4.1 Druckverhältnisse

Das oberflächennahe Grundwasser weist freie Druckverhältnisse auf (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.4.4.2 Grundwasserstauer

Als Grundwasserstauer fungieren Ton- und Sandsteine, Mergel und die verschiedensten kristallinen Gesteinsserien, die auch die Ursache für die Quellaustritte sein können.

10.4.4.3 Petrographie des Grundwasserleiters

Die Südlichen Kalkalpen werden geologisch in zwei Großeinheiten unterteilt. Sie bestehen aus dem Ostalpinen Mesozoikum (Lienzer Dolomiten, Gailtaler Alpen und Nordkarawanken) und im südlicheren Teil aus dem Südalpinen Mesozoikum und Paläozoikum (Karnische Alpen, Südkarawanken). Diese beiden Einheiten werden durch eine markante Störungslinie, dem Periadriatischen Lineament, voneinander getrennt.

Die Gailtaler Alpen bestehen aus einem liegenden Kristallinanteil (Gailtaler Kristallin) und einem tektonisch auflagernden Sedimentstapel, dem Drauzugmesozoikum. Die kristallinen Gesteine stellen hier den Grundwasserstauer dar.

In den Lienzer Dolomiten überwiegen Hauptdolomit und Plattenkalk, wobei der Hauptdolomit eine stärkere Verkarstung und damit größere Durchlässigkeit für Karstwässer aufweist.

Die Karbonate der Villacher Alpe sind einer starken tektonischen Zerlegung unterworfen, was ideale Voraussetzungen für eine intensive Verkarstung schafft. Am Fuße des Gebirgsstocks finden sich stark schüttende Quellen wie z.B. die Union- und Thomasquelle oder die Nötschbachquelle.

Die Periadriatische Naht trennt als markante Störungszone die Südlichen Kalkalpen in einen nördlichen Gebirgszug (Drauzug und nördliche Karawanken mit Ferlacher Horn, Hochobir und Petzen) und einen südlichen Gebirgszug (Karnischen Alpen und südliche Karawanken). Die nördlichen Karawanken stellen die Fortsetzung des

Drauzugmesozoikums im Osten dar. Sie wurden entlang der dextralen Drautalstörung nach Südosten verschoben.

Während die Karnischen Alpen hauptsächlich aus verkarstungsfähigen Bänder- und Flaserkalken und nichtverkarstungsfähigen Tonschiefer und Sandsteinen aufgebaut sind, bestehen die südlichen Karawanken aus altpaläozoischen Karbonaten und klastischen Sedimenten, auf denen triassische Deckengebirge mit Kalken, Dolomiten, Sand- und Siltsteinen aufgelagert sind und schließlich von einer Decke aus Dachsteinkalk überlagert werden.

10.4.4 Grundwasserabflussrichtungen

Bei den Südlichen Kalkalpen handelt es sich um Gebirgszüge, in denen Karstwässer dominieren. Es sind Grundwasserabflüsse nach allen Richtungen nachgewiesen. Im Grenzgebiet der Karawanken zu Slowenien sind die Abflussrichtungen grenzüberschreitend. Die Verweilzeiten sind wie für Karstwässer typisch sehr unterschiedlich und uneinheitlich.

10.4.4.5 Hydraulische Leitfähigkeit

Es liegen sehr unterschiedliche hydraulische Leitfähigkeiten und Abstandsgeschwindigkeiten vor. In den tiefgründig verkarsteten Wettersteinkalken des Dobratsch wurden beispielsweise Abstandsgeschwindigkeiten bis zu über 1.000 m/d nachgewiesen.

10.4.5 Grundwasserbilanz

10.4.5.1 Niederschlag

Die langfristige mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 1.344 mm mit einem Schwankungsbereich von 928 mm bis 2.361 mm (H₂O-Fachdatenbank 2018).

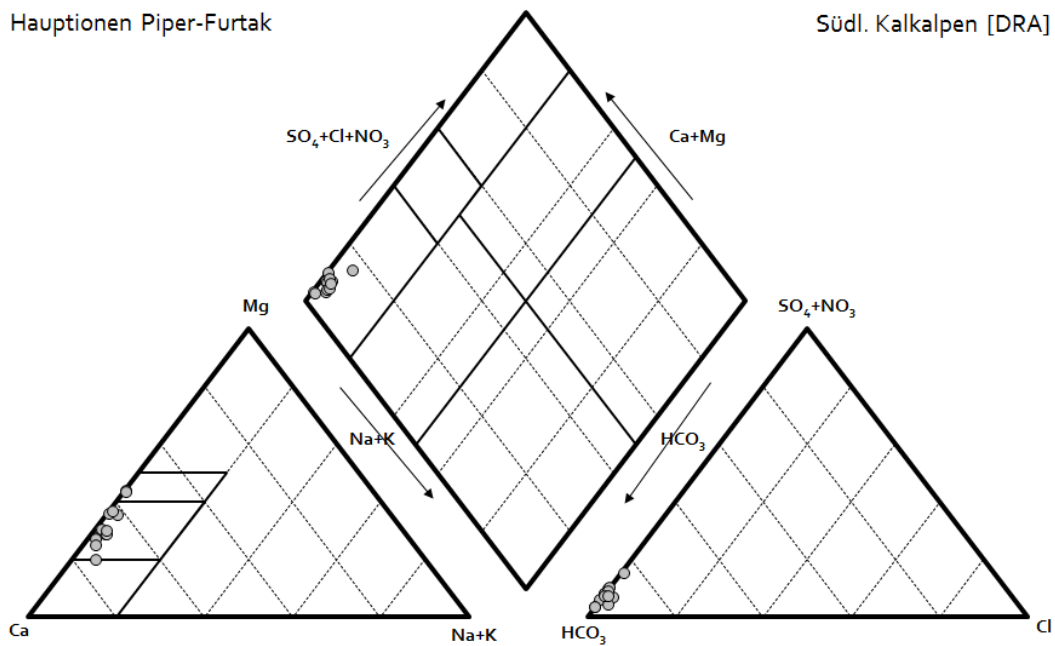
10.4.5.2 Grundwasserneubildung

Flächenhafte Versickerung von Niederschlagswasser bildet den Hauptanteil der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung (H₂O-Fachdatenbank 2018).

10.4.6 Grundwasser – Chemie und Monitoring

Die Geochemie des Aquifers ist überwiegend karbonatisch (H₂O-Fachdatenbank 2018).

Abbildung 46: Hauptionen des Grundwassers im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] – Darstellung in einem Piper-Furtak-Diagramm



Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

10.4.7 Anthropogene Einflüsse

Mögliche Belastungen für das Grundwasser sind durch Wasserentnahmen, Forstwirtschaft und Tourismus gegeben.

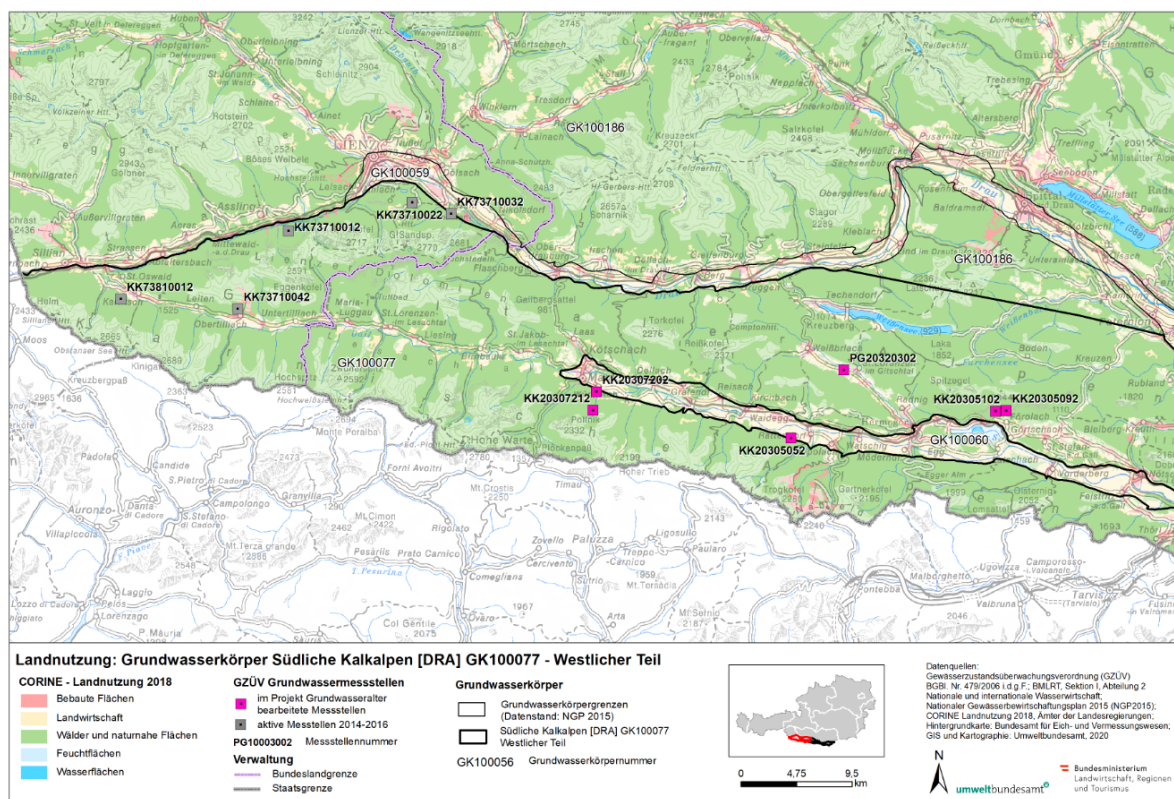
Tabelle 13: Landnutzung im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] nach CORINE (2006)

Landnutzung nach CORINE	Anteil (%)
Bebaute Fläche	
Landwirtschaftliche Flächen	

Landnutzung nach CORINE	Anteil (%)
Wälder und naturnahe Flächen	
Feuchtfleichen	
Wasserflächen	

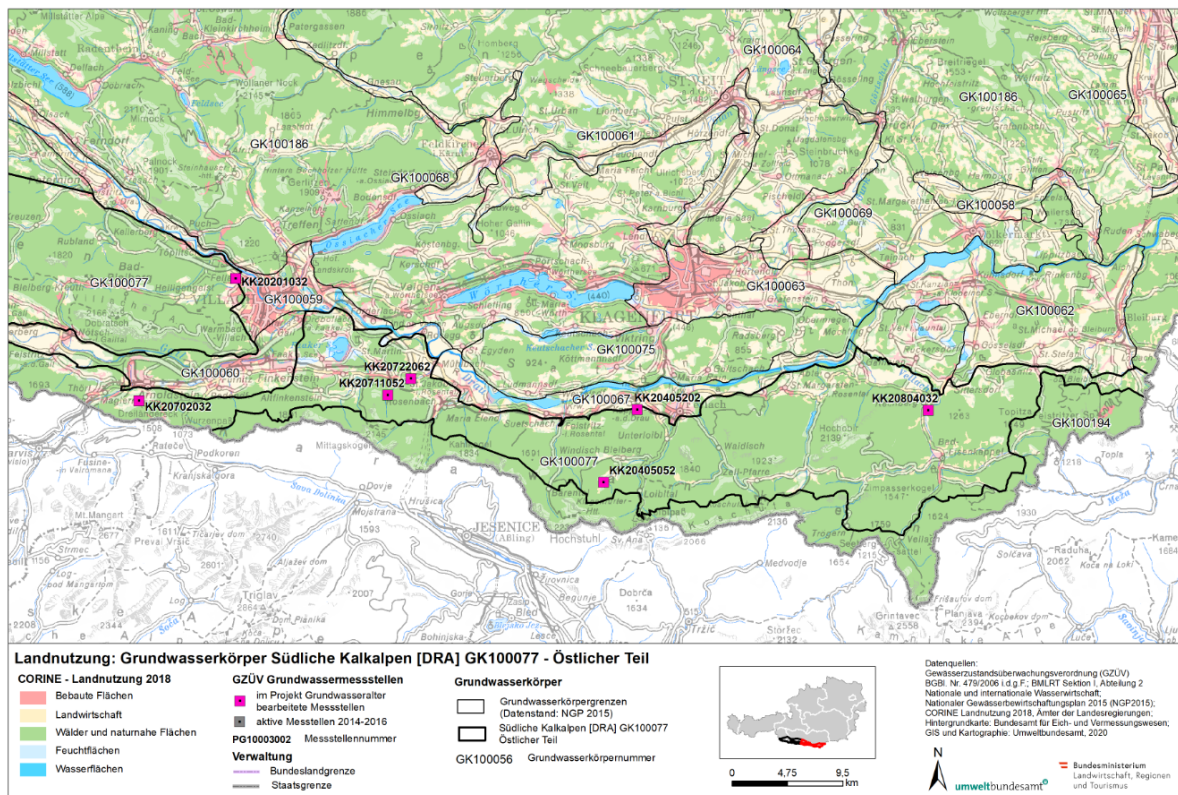
Quelle: H₂O-Fachdatenbank 2018

Abbildung 47: Landnutzung nach CORINE (2012) im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (westlicher Teil)



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.G.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); CORINE Landnutzung 2012; Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

Abbildung 48: Landnutzung nach CORINE (2012) im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (östlicher Teil)



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLRT, Abteilung I / 2 Nationale und internationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen; Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015); CORINE Landnutzung 2012; Hintergrundkarte: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen; GIS und Kartographie: Umweltbundesamt GmbH 2020

10.4.8 Literatur

Brencic, M.; Budkovic, T.; Ferjancic, L. & Poltnig, W. (1994): Hydrogeologie der westlichen Karawanken. – Bericht, Graz-Laibach.

Brencic, M.; Ferjancic, L.; Poltnig, W. & Strobl, E. (1995): Hydrogeologie der westlichen Koschuta. – Bericht, Graz-Laibach.

Cichocki, G. (1999): Zur Hydrogeologie der östlichen Karnischen Alpen (Egger Alm – Poludnig – Oisternig), Untersuchung zur Vulnerabilität von (Karst-) Aquiferen. – Diplomarbeit, Graz.

Krainer, K. (1988): Ein geologischer Streifzug durch Kärnten. Carinthia II 178/98: 141–170, Klagenfurt.

Oberhauser, R. (Red.) (1980): Der geologische Aufbau Österreichs. Springer, Wien-New York.

Poltnig, W.; Domberger, G.; Stadler, H. & Entner, I. (1992–1996): Untersuchung zur Abflusstypisierung in regional ausgesuchten Fest- und Lockergesteinen Kärntens (Teil I – III; KA-24d). – Bericht, Graz.

Poltnig, W.; Probst, G. & Zojer, H. (1996): Untersuchungen zur Speicherung und zum Schutz von Karstwässern der Villacher Alpe (Kärnten). – Mitt. Österr. Geol. Ges. 87: 75–90, Graz.

Poltnig, W. & Strobl, E. (1994): Hydrogeologische Untersuchung der Entwässerung des Hochobirmassivs. – Bericht, Graz.

Poltnig, W. & Strobl, E. (1997): Hydrogeologie der Karawanken: Abschnitt Hochstuhl - Loiblpass. – Bericht, Graz.

Poltnig, W. & Strobl, E. (2002): Hydrogeologie der Karawanken: Abschnitt Petzen. – Bericht, Graz.

Poltnig, W.; Strobl, E.; Benischke, R.; Budkovic, T.; Leis, A. & Saccon, P. (2001): Hydrogeologie der Karawanken. – Bericht, Graz-Laibach.

Premstaller, M. (1991): Hydrogeologische Untersuchungen in den westlichen Karawanken. - Diplomarbeit, Graz.

Probst, G. & Brandner, R. (1998-2002): Hydrogeologische Grundlagenstudie westliche Gailtaler Alpen – Lienzer Dolomiten; Kärnten – Osttirol. – Bericht, Graz.

Probst, G. (1995-2000): Hydrogeologie Reißkofel-Jauken unter Berücksichtigung umweltrelevanter Kriterien (Teil I – IV; KA-24e). – Bericht, Graz.

Schmid, Ch. (1997): Interpretation von in-situ-Messungen in der Reißkofel-Südflanke mittels eines räumlichen Finite Differenzen Modells. – Diplomarbeit, Wien.

Städtisches Gas- und Wasserwerk Villach (1991): Wasservorkommen Karawankentunnel.
– Bericht, Villach.

Thorweihe, U. (1976): Zur Hydrogeologie des Nassfeld-Garnterkofel-Gebietes in den Karnischen Alpen. – Bericht, Berlin.

Zojer, H.; Poltnig, W.; Probst, G.; Schefzik, G. & Neubauer, K. (1986–1989):
Karstwasserreserven in der Villacher Alpe (KA-24b). – Bericht, Graz.

Zojer, H.; Probst, G. & Fank, J. (1981-1987): Erkundung unterirdischer Wasservorkommen in Kärnten: Hydrogeologie der zentralen Gailtaler Alpen - Weissensee (Teil I – V; KA-24a). – Bericht, Graz.

Zojer, H. (1999): Hydrogeologische Untersuchungen in den Karnischen Alpen zwischen Rudnigbach und Garnitzenbach, Vulnerabilitätskartierung alpiner (Karbonat-) Aquifere. – Diplomarbeit, Graz.

Zojer, H. (1989): Hydrogeologische Untersuchungen zum Schutz der Wasserversorgung von Villach. – Bericht, Graz.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgewählte Grundwasserkörper	8
Tabelle 2: Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil): Isotopendaten und Mittlere Verweilzeiten	42
Tabelle 3: Grundwasserkörper Gailtal [DRA]: Isotopendaten und Mittlere Verweilzeiten	63
Tabelle 4: Grundwasserkörper Krappfeld [DRA]: Isotopendaten und Mittlere Verweilzeiten	84
Tabelle 5: Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA]: Isotopendaten und Mittlere Verweilzeiten	106
Tabelle 6: Bodentypen im Grundwasserkörper Drautal gemäß FAO-Soil Type Units Klassifizierung	120
Tabelle 7: Landnutzung im Grundwasserkörper Drautal [DRA] nach CORINE (2006)	124
Tabelle 8: Bodentypen im Grundwasserkörper Gailtal [DRA] gemäß FAO-Soil Type Units Klassifizierung	129
Tabelle 9: Landnutzung im Grundwasserkörper Gailtal [DRA] nach CORINE (2006).....	133
Tabelle 10: Bodentypen im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA] gemäß FAO-Soil Type Units Klassifizierung	138
Tabelle 11: Landnutzung im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA] nach CORINE (2006) ..	142
Tabelle 12: Bodentypen im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] gemäß FAO-Soil Type Units Klassifizierung	147
Tabelle 13: Landnutzung im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] nach CORINE (2006).....	150

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematisches Diagramm idealisierter Bedingungen in einem Grundwasserleiter mit den entsprechenden Transferfunktionen und erwarteten Verweilzeitverteilungen	10
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Spannweite von Grundwasserverweilzeiten in einem hydrogeologischen System	12
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen den saisonalen Schwankungen der Sauerstoff-18-Konzentrationen im Niederschlag und im Grundwasser	15
Abbildung 4: Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte von Grundwasserproben im Vergleich zum Niederschlag in Graz (2005–2014).....	16
Abbildung 5: Vergleich der Zeitreihe von Tritium im Niederschlag von Innsbruck und verschiedener modellierter Verweilzeitverteilungen mit exemplarischen Tritiumgehalten im Grundwasser	19
Abbildung 6: Tritium und sein Zerfallsprodukt Helium-3 (linke Seite). Verlust von Helium-3 in der ungesättigten Zone (rechte Seite).....	21
Abbildung 7: Heliumkomponenten exemplarischer Grundwasserproben.....	22
Abbildung 8: Zeitreihe der Tritiumkonzentrationen des Niederschlags in Graz (1961–2014) im Vergleich zu den unter Annahme von Piston-Flow-Bedingungen berechneten Infiltrationszeitpunkten der exemplarischen Grundwasserproben.....	24
Abbildung 9: Übersichtskarte Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil) mit den ausgewählten GZÜV-Messstellen	29
Abbildung 10: Mittelwerte der Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen des Grundwasserkörpers Drautal [DRA] (Tiroler Anteil) im Vergleich zu Moosbrunnquelle und Laserzbach sowie dem Niederschlag (N) in Sillian (2009–2017)	30
Abbildung 11: Klimamittelwerte der Station Lienz im Bezugszeitraum 1981–2010.	31
Abbildung 12: Heliumkomponenten des Grundwassers bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil)	33
Abbildung 13: Zeitreihe der Tritiumkonzentrationen des Niederschlags (N) in Sillian (1961–2017) im Vergleich zu den rekonstruierten Tritiumkonzentrationen der ausgewählten Grundwassermessstellen (GW) im Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil).	34
Abbildung 14: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil)	36

Abbildung 15: Übersichtskarte Grundwasserkörper Gailtal [DRA] mit den ausgewählten GZÜV-Messstellen.....	45
Abbildung 16: Mittelwerte der Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen des Grundwasserkörpers Gailtal [DRA] im Vergleich zur Gail (OW=Oberflächengewässer) sowie dem Niederschlag (N) in Sillian (2009–2017) und der Villacher Alpe (2008–2017).	46
Abbildung 17: Klimamittelwerte der Station Kornat im Lesachtal im Bezugszeitraum 1981–2010. Niederschlag = mittlere monatliche Niederschlagssumme im Monat xy, Temperatur = mittlere monatliche Lufttemperatur im Monat xy.	47
Abbildung 18: Heliumkomponenten des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Gailtal [DRA]	50
Abbildung 19: Zeitreihe der Tritiumkonzentrationen des Niederschlags (N) in Sillian (1961–2017) als Jahres-, Sommer- und Wintermittel im Vergleich zu den rekonstruierten Tritiumkonzentrationen der ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Gailtal [DRA]	51
Abbildung 20: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Gailtal [DRA]	53
Abbildung 21: Übersichtskarte Grundwasserkörper Krappfeld [DRA] mit den ausgewählten GZÜV-Messstellen.....	66
Abbildung 22: Mittelwerte der Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen des Grundwasserkörpers Krappfeld [DRA] im Vergleich zu den beprobten Oberflächengewässern (OW) sowie dem Niederschlag (N) in Klagenfurt (2008–2017).....	68
Abbildung 23: Klimamittelwerte der Station Klagenfurt-Flugplatz im Bezugszeitraum 1981–2010. Niederschlag = mittlere monatliche Niederschlagssumme im Monat xy, Temperatur = mittlere monatliche Lufttemperatur im Monat xy.	69
Abbildung 24: Heliumkomponenten des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA].....	71
Abbildung 25: Zeitreihe der Tritiumkonzentrationen des Niederschlags (N) in Klagenfurt (1961–2017) als Jahres-, Sommer- und Wintermittel im Vergleich zu den rekonstruierten Tritiumkonzentrationen der ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA]	72
Abbildung 26: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA]	74
Abbildung 27: Übersichtskarte Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (westlicher Teil) mit den ausgewählten GZÜV-Messstellen.....	87

Abbildung 28: Übersichtskarte Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (östlicher Teil) mit den ausgewählten GZÜV-Messstellen.....	88
Abbildung 29: Mittelwerte der Sauerstoff-18- und Deuteriumgehalte des Grundwassers (GW) bei den ausgewählten Messstellen des Grundwasserkörpers Südliche Kalkalpen [DRA] im Vergleich zu den beprobten Oberflächengewässern (OW) sowie dem Niederschlag (N) in Sillian (2009–2017) und der Villacher Alpe (2008–2017).	89
Abbildung 30: Klimamittelwerte der Station Villacher Alpe im Bezugszeitraum 1981–2010. Niederschlag = mittlere monatliche Niederschlagssumme im Monat xy, Neuschnee = mittlere monatliche Neuschneesumme im Monat xy, Temperatur = mittlere monatliche Lufttemperatur im Monat xy.....	91
Abbildung 31: Heliumkomponenten des Grundwassers bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA]	92
Abbildung 32: Zeitreihe der Tritiumkonzentrationen des Niederschlags (N) in Sillian (1961–2017) als Jahres-, Sommer- und Wintermittel im Vergleich zu den rekonstruierten Tritiumkonzentrationen der ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA].	94
Abbildung 33: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (westlicher Teil).....	95
Abbildung 34: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten Messstellen im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (östlicher Teil)	96
Abbildung 35: Übersichtskarte Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil).....	119
Abbildung 36: Hauptionen des Grundwassers im Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil) – Darstellung in einem Piper-Furtak-Diagramm	124
Abbildung 37: Landnutzung nach CORINE (2012) im Grundwasserkörper Drautal [DRA] (Tiroler Anteil).....	125
Abbildung 38: Übersichtskarte Grundwasserkörper Gailtal [DRA]	128
Abbildung 39: Hauptionen des Grundwassers im Grundwasserkörper Gailtal [DRA] – Darstellung in einem Piper-Furtak-Diagramm.....	133
Abbildung 40: Landnutzung nach CORINE (2012) im Grundwasserkörper Gailtal [DRA] ...	134
Abbildung 41: Übersichtskarte Grundwasserkörper Krappfeld [DRA].....	137
Abbildung 42: Hauptionen des Grundwassers im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA] – Darstellung in einem Piper-Furtak-Diagramm.....	142
Abbildung 43: Landnutzung nach CORINE (2012) im Grundwasserkörper Krappfeld [DRA]	143
Abbildung 44: Übersichtskarte Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (westlicher Teil)	145

Abbildung 45: Übersichtskarte Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (östlicher Teil)	146
Abbildung 46: Hauptionen des Grundwassers im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] – Darstellung in einem Piper-Furtak-Diagramm	150
Abbildung 47: Landnutzung nach CORINE (2012) im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (westlicher Teil).....	151
Abbildung 48: Landnutzung nach CORINE (2012) im Grundwasserkörper Südliche Kalkalpen [DRA] (östlicher Teil)	152

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus

Stubenring 1, 1010 Wien

bmlrt.gv.at