

Grundwasseralter ausgewählter
Grundwasserkörper 2009/2010

Grazer Feld, Jauntal, Leibnitzer Feld,
Rheintal, Unteres Salzachtal, Wulkatal



GRUNDWASSERALTER AUSGEWÄHLTER GRUNDWASSERKÖRPER, 2009/2010

Grazer Feld, Jauntal, Leibnitzer Feld,
Rheintal, Unteres Salzachtal, Wulkatal

Martin Kralik
Florian Wenter
Franko Humer
Andreas Scheidleder
Johannes Grath

AZ: BMLFUW-UW.3.1.4/0176-VII/1/2008
PN: 3488



Projektleitung

Martin Kralik

AutorInnen

Martin Kralik

Florian Wenter

Franko Humer

Andreas Scheidleder

Johannes Grath

Karten

Irene Zieritz

Ingrid Gattringer

Roland Herndler

Lektorat

Maria Deweis

Satz/Layout

Ute Kutschera

Diese Publikation wurde im Auftrag des BMLFUW erstellt.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

INHALT

| | |
|---|----|
| DANKSAGUNG | 7 |
| ZUSAMMENFASSUNG | 8 |
| SUMMARY | 11 |
| 1 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG | 15 |
| 1.1 Einleitung | 15 |
| 1.2 Mittlere Verweilzeit, Verweildauer, Abstandsgeschwindigkeit und Wasseralter | 16 |
| 1.3 Geologische und hydrologische Grundlagen zur Bewertung der Mittleren Verweilzeit von Grundwässern | 16 |
| 1.4 Angewendete Methoden | 18 |
| 1.4.1 Probenahme | 18 |
| 1.4.2 Tritiummethode | 19 |
| 1.4.3 Tritium-Helium-3-Methode | 21 |
| 1.4.4 CFC- und SF ₆ -Methode | 22 |
| 1.5 Inhalt und Ziele des Vorhabens, Gliederung | 24 |
| 2 GEBIETSBESCHREIBUNGEN | 25 |
| 2.1 Grazer Feld | 25 |
| 2.1.1 Allgemeines | 25 |
| 2.1.2 Grundwasserkörpergrenzen | 25 |
| 2.1.3 Überlagernde Schichten | 27 |
| 2.1.4 Grundwasserleiter | 27 |
| 2.1.5 Grundwasserbilanz | 29 |
| 2.1.6 Hydrochemie | 31 |
| 2.1.7 Anthropogene Einflüsse | 33 |
| 2.2 Jauntal | 35 |
| 2.2.1 Allgemeines | 35 |
| 2.2.2 Grundwasserkörpergrenzen | 35 |
| 2.2.3 Überlagernde Schichten | 35 |
| 2.2.4 Grundwasserleiter | 37 |
| 2.2.5 Grundwasserbilanz | 38 |
| 2.2.6 Hydrochemie | 41 |
| 2.2.7 Anthropogene Einflüsse | 43 |
| 2.3 Leibnitzer Feld | 45 |
| 2.3.1 Allgemeines | 45 |
| 2.3.2 Grundwasserkörpergrenzen | 45 |
| 2.3.3 Überlagernde Schichten | 47 |

| | | |
|------------|-----------------------------------|-----------|
| 2.3.4 | Grundwasserleiter | 47 |
| 2.3.5 | Grundwasserbilanz..... | 50 |
| 2.3.6 | Hydrochemie | 52 |
| 2.3.7 | Anthropogene Einflüsse | 54 |
| 2.4 | Rheintal | 56 |
| 2.4.1 | Allgemeines..... | 56 |
| 2.4.2 | Grundwasserkörpergrenzen..... | 56 |
| 2.4.3 | Überlagernde Schichten..... | 56 |
| 2.4.4 | Grundwasserleiter | 58 |
| 2.4.5 | Grundwasserbilanz..... | 58 |
| 2.4.6 | Hydrochemie | 60 |
| 2.4.7 | Anthropogene Einflüsse | 63 |
| 2.5 | Unteres Salzachtal | 65 |
| 2.5.1 | Allgemeines..... | 65 |
| 2.5.2 | Grundwasserkörpergrenzen..... | 65 |
| 2.5.3 | Überlagernde Schichten..... | 67 |
| 2.5.4 | Grundwasserleiter | 67 |
| 2.5.5 | Grundwasserbilanz..... | 70 |
| 2.5.6 | Hydrochemie | 73 |
| 2.5.7 | Anthropogene Einflüsse | 76 |
| 2.6 | Wulkatal | 78 |
| 2.6.1 | Allgemeines..... | 78 |
| 2.6.2 | Grundwasserkörpergrenzen..... | 78 |
| 2.6.3 | Überlagernde Schichten..... | 78 |
| 2.6.4 | Grundwasserleiter | 80 |
| 2.6.5 | Grundwasserbilanz..... | 81 |
| 2.6.6 | Hydrochemie | 84 |
| 2.6.7 | Anthropogene Einflüsse | 86 |
| 3 | ERGEBNISSE | 88 |
| 3.1 | Grazer Feld | 88 |
| 3.1.1 | Sauerstoff-18 und Deuterium | 88 |
| 3.1.2 | Tritium | 91 |
| 3.1.3 | Tritium/Helium-3 | 92 |
| 3.1.4 | CFC und SF ₆ | 94 |
| 3.1.5 | Tiefenproben | 95 |
| 3.1.6 | Mittlere Verweilzeiten | 98 |
| 3.2 | Jauntal | 99 |
| 3.2.1 | Sauerstoff-18 und Deuterium | 99 |
| 3.2.2 | Tritium | 102 |
| 3.2.3 | Tritium/Helium-3 | 104 |

| | | |
|------------|-----------------------------------|------------|
| 3.2.4 | CFC und SF ₆ | 105 |
| 3.2.5 | Tiefenproben | 107 |
| 3.2.6 | Mittlere Verweilzeiten | 110 |
| 3.3 | Leibnitzer Feld | 111 |
| 3.3.1 | Sauerstoff-18 und Deuterium | 111 |
| 3.3.2 | Tritium | 114 |
| 3.3.3 | Tritium/Helium-3..... | 116 |
| 3.3.4 | CFC und SF ₆ | 117 |
| 3.3.5 | Tiefenproben | 119 |
| 3.3.6 | Mittlere Verweilzeiten | 122 |
| 3.4 | Rheintal | 123 |
| 3.4.1 | Sauerstoff-18 und Deuterium | 123 |
| 3.4.2 | Tritium | 125 |
| 3.4.3 | Tritium/Helium-3..... | 127 |
| 3.4.4 | CFC und SF ₆ | 128 |
| 3.4.5 | Tiefenproben | 130 |
| 3.4.6 | Mittlere Verweilzeiten | 133 |
| 3.5 | Unteres Salzachtal | 135 |
| 3.5.1 | Sauerstoff-18 und Deuterium | 135 |
| 3.5.2 | Tritium | 137 |
| 3.5.3 | Tritium/Helium-3..... | 139 |
| 3.5.4 | CFC und SF ₆ | 140 |
| 3.5.5 | Tiefenproben | 142 |
| 3.5.6 | Mittlere Verweilzeiten | 146 |
| 3.6 | Wulkatal | 148 |
| 3.6.1 | Sauerstoff-18 und Deuterium | 148 |
| 3.6.2 | Tritium | 151 |
| 3.6.3 | Tritium/Helium-3..... | 152 |
| 3.6.4 | CFC und SF ₆ | 154 |
| 3.6.5 | Tiefenproben | 156 |
| 3.6.6 | Mittlere Verweilzeiten | 159 |
| 4 | DISKUSSION | 161 |
| 4.1 | Grazer Feld | 161 |
| 4.2 | Jauntal | 162 |
| 4.3 | Leibnitzer Feld | 163 |
| 4.4 | Rheintal | 164 |
| 4.5 | Unteres Salzachtal | 165 |
| 4.6 | Wulkatal | 166 |
| 5 | SCHLUSSFOLGERUNGEN | 168 |

| | | |
|------------|---------------------------------------|-----|
| 6 | LITERATURVERZEICHNIS | 169 |
| 6.1 | Allgemein | 169 |
| 6.2 | Grazer Feld | 172 |
| 6.3 | Jauntal | 174 |
| 6.4 | Leibnitzer Feld | 175 |
| 6.5 | Rheintal | 175 |
| 6.6 | Unteres Salzachtal | 176 |
| 6.7 | Wulkatal | 176 |
| 7 | GLOSSAR DER FACHBEGRIFFE | 177 |
| 8 | ANHANG | 183 |

DANKSAGUNG

Besonderer Dank gilt Dr. Fenz und Dr. Philippitsch, die als Vertreter des Auftraggebers in zahlreichen Vorbereitungs- und Zwischendiskussionen die Präzisierung und Erreichung der Projektziele erheblich gefördert haben.

Ebenso danken wir den VertreterInnen der Ämter der Landesregierungen des Burgenlandes (Mag. Szinovatz), Kärntens (Dr. Schlamberger), Salzburgs (Dr. Geiger-Kaiser, Dr. Braunstingl), der Steiermark (DI Stadlbauer) und Vorarlbergs (DI Mathis, DI Zoderer) für die tatkräftige Unterstützung bei den Probenahmen und der Beschaffung von Unterlagen.

Unser Dank gilt auch den hydrogeologischen Experten Dr. Bertle (Rheintal), Dr. Fank (Leibnitzer Feld), T. Harum (Grazer Feld), Dr. Häusler (Wulkatal), Dr. Poltnig (Jauntal) für ihre Unterstützung und für zahlreiche Diskussionen.

Besonderer Dank gilt auch unseren analytischen Projektpartnern für qualitätsgesicherte Analysen und Diskussionen über deren Interpretationen wie Dr. Darling (FCKW, SF₆: British Geological Survey), Dr. Papesch, DI Tesch und Dr. Wyhlidal (¹⁸O, ²H, ³H: Austrian Institute of Technology, AIT) und Dr. Sültenfuß (³He, Ne: Universität Bremen).

ZUSAMMENFASSUNG

- guter Zustand bis 2015*** Die Abschätzung von Zeithorizonten innerhalb deren Maßnahmen im Grundwasserkörper Auswirkungen zeigen, ist durch die Vorgaben der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) bzw. des Wasserrechtsgesetzes (WRG § 30c) von großer Bedeutung, da bis zum Jahr 2015 im Grundwasser ein guter Zustand erreicht werden muss.
- Problemkreis Nitrat*** Bei Trinkwasserversorgungen und bei anderen Nutzungen mit landwirtschaftlich und urban geprägtem Grundwassereinzugsgebiet steht die Nitratproblematik an vorderster Stelle. Nitrat gelangt durch Versickerung aus intensiv bewirtschafteten Böden oder anderen Quellen in das Grundwasser und ggf. in das Trinkwasser.
- Erhebungsmethoden der MVZ*** Eine Abschätzung der Mittleren Verweilzeit (MVZ) des Grundwassers bzw. die Erkundung der natürlichen Fließwege des Grundwasserkörpers (Hydrogeologisches Konzept) ist mit Hilfe einer Kombination von isotopehydrologischen Messungen (Sauerstoff-18, Deuterium, Tritium, Tritium/Helium-3 etc.) und Messungen von Spurengasen (FCKW, SF₆ etc.) sowie mit guten hydrogeologischen Grunddaten zuverlässig.
- 6 Grundwasserkörper wurden untersucht*** Basierend auf einem vorausgegangenen Pilotprojekt wurden in den sechs Grundwasserkörpern Grazer Feld, Jauntal, Leibnitzer Feld, Rheintal, Unteres Salzachtal und Wulkatal 91 Messstellen des österreichischen Grundwasserüberwachungsmessnetzes (GZÜV) ausgewählt und im Jahr 2009 (bzw. 2010) beprobt.
- Auswahlkriterien der Messstellen*** Die Auswahl der Messstellen in den Grundwasserkörpern erfolgte nach regionaler Verteilung mit Bevorzugung von Sonden, Vorliegen von Bohrprofilen und Ausbauplänen, einer Teufe von mindestens einigen Metern in der gesättigten Zone und unterschiedlicher Hydrochemie (belastet–unbelastet).
- Von den für die Bestimmung der Mittleren Verweilzeit (MVZ < 50 Jahre) von Wässern in Praxis und Forschung angewandten Methoden wurden die
- 1) Variation der Sauerstoff-18-Isotope (4x im Jahr),
 - 2) Deuterium (Wasserstoff-2),
 - 3) Tritium (1x im Jahr),
 - 4) Tritium/Helium-3 (3H/3He) (1x im Jahr),
 - 5) Chlorierten Fluorkohlenwasserstoffe (CFC-11 und CFC-12) (1x im Jahr) und
 - 6) Schwefelhexafluorid (SF₆) (1x im Jahr)
- angewandt.
- Ziele der Studie*** Hauptziel war es, einen statistisch flächenhaften Überblick über die MVZ im obersten genutzten Grundwasserstockwerk (davon die obersten 0–10 m der gesättigten Zone durch Bepumpung gemischt) zu erlangen. Das ist auch jener Bereich, der im Rahmen der Qualitätsüberwachung vorwiegend erfasst wird und der auf allfällige Belastungen am empfindlichsten reagiert.
- Um aber auch ein Prozessverständnis über die Tiefenverteilung in den Bereichen vielfach unter 15 m (max. bis 248 m Tiefe) der gesättigten Zone zu erhalten, wurden im Frühjahr 2010 an einzelnen ausgewählten Messstellen bevorzugt tiefere Grundwasserproben entnommen.

Darüber hinaus wurden in Abstimmung mit den hydro(geo)logischen ExpertInnen in den Bundesländern eine Kurzdarstellung und ein hydrogeologisches Konzept jedes einzelnen Grundwasserkörpers erstellt.

Im Grundwasserkörper **Grazer Feld** wurden 18 GZÜV-Messstellen nach den eingangs erwähnten Kriterien ausgewählt. 63 Grundwasserproben wurden im Rahmen der vierteljährlichen GZÜV-Beprobung gesammelt. An annähernd 95 % der Messstellen (17) wurde eine MVZ von < 5 Jahren ermittelt. An einer Messstelle ließ sich eine Mittlere Verweilzeit von 11–25 Jahren errechnen.

GWK Grazer Feld

Der Grundwasserkörper **Jauntal** wurde an 12 Messstellen untersucht, wobei auch eine GZÜV-Messstelle als Tiefenmessstelle diente. Drei Messstellen (27 %), bevorzugt am südlichen Rand, fielen in die jüngste Kategorie (< 5 Jahre), im Mittelteil des tiefliegenden Grundwasserkörpers (Flurabstände 30–77 m) und an den nördlichen Quellen nahe der Drau stiegen die MVZ auf 5–10 und 11–25 Jahre an.

GWK Jauntal

Im Grundwasserkörper **Leibnitzer Feld** wurden 12 GZÜV-Messstellen ausgewählt. 48 Grundwasserproben wurden im Rahmen der vierteljährlichen GZÜV-Beprobung gesammelt. An 5 Messstellen (42 %) wurde eine MVZ von < 5 Jahren und an 7 Messstellen (rd. 58 %) eine MVZ von 5–10 Jahren berechnet.

GWK Leibnitzer Feld

Im Grundwasserkörper **Rheintal** kommt der hohe Anteil an Messstellen mit jungen Grundwässern (8 Messstellen bzw. 53 % < 5 Jahre) durch den raschen Zustrom aus den alpinen Gebirgsketten am Ostrand des Rheintales bzw. durch die Beeinflussung durch Uferfiltrat nahe der Flüsse Rhein und Ill zustande. Dazwischen befinden sich Grundwässer, die sich vorwiegend aus lokalen Niederschlägen speisen und in die Kategorie 5–10 Jahre fallen. Erst tiefe Messstellen mit bis zu 60 und 248 m Teufe ergeben Verweilzeiten, die in die Kategorie von 11–25 und 26–50 Jahren fallen.

GWK Rheintal

Im Grundwasserkörper **Unteres Salzachtal** wurden 25 Messstellen ausgewählt, an denen Isotopenuntersuchungen durchgeführt wurden. Sieben Messstellen (28 %) wiesen MVZ von < 5 Jahren auf, bei 12 Messstellen (48 %) betragen die Verweilzeiten 5–10 Jahre und bei fünf Messstellen lagen die Verweilzeiten im Bereich zwischen 11 und 25 Jahren. Demnach wird der überwiegende Anteil der Messstellen vorwiegend durch die Versickerung lokaler Niederschläge oder Infiltration von Oberflächengewässern geprägt. Dies lässt sich im Unteren Salzachtal zumeist durch das Fehlen von gering durchlässigen Deckschichten und den zum Teil geringen Flurabständen erklären. Lediglich eine Messstelle im Norden wies ein Grundwasseralter von > 50 Jahren auf. Bei dieser Messstelle wird angenommen, dass sie gespannte, pleistozäne Wässer erfasst.

GWK Unteres Salzachtal

Die Grundwasserkörpergruppe **Wulkatal** ist aus hydrogeologischer Sicht grundsätzlich sehr inhomogen aufgebaut. Dies spiegelt sich in den ermittelten Mittleren Verweilzeiten insofern wider, dass die einzelnen Messstellen lokale Einzugsgebiete repräsentieren, die nicht auf den gesamten Grundwasserkörper umgelegt werden können. Zwei Messstellen (22 %) der 9 GZÜV-Messstellen des Grundwasserkörpers Wulkatal wiesen MVZ von < 5 Jahren auf, der überwiegende Anteil der Messstellen jedoch deutlich höhere. Dies ist, ausgehend von der geringen Niederschlagsmenge im Wulkatal bei gleichzeitig geringer Grundwasserneubildungsrate, durchaus plausibel.

GWK Wulkatal

***MVZ steigen in
den 6 GWK nach
Osten an***

Generell konnte bei den sechs untersuchten Porengrundwasserkörpern mit den Isotopen- und Spurengasuntersuchungen eine gute Übereinstimmung mit den hydrogeologischen Vorstellungen gefunden werden und mit diesen die Konzepte verbessert und validiert werden. Nachfolgend sind die untersuchten Grundwasserkörper entsprechend ihrer Mittleren Verweilzeiten (beginnend mit den kürzesten) sortiert: Grazer Feld, Rheintal, Leibnitzer Feld, Unteres Salzachtal, Jauntal und Wulkatal. Dies hängt mit den Niederschlägen, Flurabständen, Deckschichten und Aquifermächtigkeiten zusammen. In allen Tiefenmessstellen nimmt die Verweilzeit gegenüber den oberflächennahen Messstellen signifikant zu.

Wie bereits auch in der Pilotstudie GW-Alter (KRALIK et al. 2009), zeigen auch die Nitratkonzentrationen in den bei diesen Untersuchungen erfassten Grundwasserkörpern keine eindeutig erkennbare Beziehung zu den mittleren Verweilzeiten.

Generell kann festgestellt werden, dass die mittleren Verweilzeiten vor allem in den niederschlagsarmen Regionen im Osten und Südosten höher sind, was auch zu erwarten war. Tendenziell sind auch die Grundwässer in diesen Regionen stärker belastet.

Aus den errechneten MVZ ist klar, dass besonders in den untersuchten Porengrundwassergebieten aktuell getroffene Maßnahmen zur Minderung von Grundwasserbelastungen abhängig von der Messstelle in sehr unterschiedlichen Zeiträumen von einigen Jahren bis Jahrzehnten ihre Wirkung zeigen können.

Auf jeden Fall erlaubt die Kombination der Messungen von Sauerstoff-18, Deuterium, Tritium, $^3\text{H}/^3\text{He}$ und eventuell SF_6 an einer repräsentativen Zahl von Messstellen, die MVZ im obersten Stockwerk eines Grundwasserkörpers zu bestimmen, um die Reaktionszeit für den Erfolg für bestimmte emissionsmindernde Maßnahmen hinreichend genau abschätzen zu können. Die Messungen der FCKW-Spurengase erwiesen sich in mehr als 95 % wegen alter Kontaminationen in den österreichischen Porengrundwasserkörpern für die Einstufung der Verweilzeiten als ungeeignet.

SUMMARY

The estimation of time frames between measures set in the recharge area and improvements observed at the observation wells is of utmost importance due to the requirements of the Water Framework Directive (WFD, Art. 4) and the Austrian Water Act (WRG, § 30c) to achieve good status of groundwater by 2015 at the latest.

good chemical status till 2015

For drinking water supplies and other uses of groundwater where the recharge area is dominated by agricultural or urban land use high nitrate concentrations are of major concern. Nitrate reaches groundwater and even drinking water by infiltration from soils under intensive agricultural use or from other sources.

problematic nitrate concentrations

The combination of isotope measurements (oxygen-18, deuterium, tritium, tritium/helium-3 etc.), tracer gases measurements (CFCs, SF₆ etc.) and good hydrogeological data is able to deliver quite reliable estimations of the Mean Residence Time (MRT) of groundwater respectively its natural flow paths (hydrogeological concept).

methods to determine MRTs

Based on the experience of a pilot project, in six groundwater bodies Grazer Feld, Jauntal, Leibnitzer Feld, Rheintal, Unteres Salzachtal and Wulkatal 91 monitoring wells of the Austrian Water Quality Monitoring Network (GZÜV) were selected and sampled in 2009 (respectively 2010).

6 groundwater-bodies were investigated

The selection of the monitoring wells in the groundwater bodies was based on regional distribution, preferring monitoring wells with available design plans and geological logs, lasting at least several meters into the saturated zone and representing different hydrochemistry (polluted–unpolluted).

criteria for the selection of monitoring wells

From the commonly applied methods in research and practical implementation to determine Mean Residence Times (MRT < 50 yrs) of waters, the following methods were tested:

- 1) Variation of the oxygen-18 isotopes (4x per year)
- 2) Deuterium (hydrogen-2)
- 3) Tritium (1x per year)
- 4) Tritium/Helium-3 (³H/³He) (1 x per year)
- 5) Chlorofluorocarbons (CFC-11 und CFC-12) (1x per year)
- 6) Sulphur hexafluoride (SF₆) (1x per year)

The main purpose was to obtain a statistical overview of the MRTs in the first few metres (0–10 m of the saturated zone which was mixed by pumping) of the frequently used uppermost groundwater horizon. This part of the aquifer is primarily monitored in the quality monitoring program and most sensitive to potential groundwater contamination.

main purpose of the study

To obtain further understanding of the processes along the vertical distribution in deeper parts of the saturated zone mostly below 15 m (max. 248 m depth) selected deeper monitoring wells were sampled during spring 2010.

In addition, a brief characterisation and a hydrogeological conceptual model of each investigated groundwater body was compiled, in cooperation with local hydrogeological experts of the Federal Provinces.

GWB Grazer Feld In the groundwater body **Grazer Feld** 18 monitoring wells were selected from the Austrian Water Quality Monitoring Network (GZÜV). 63 groundwater samples were taken during the quarterly GZÜV-sampling campaigns. In about 95 % of the monitoring wells (17) the MRTs are below 5 years. In one monitoring well the MRT is in the range of 11–25 years.

GWB Jauntal In the groundwater body **Jauntal** twelve monitoring wells were investigated and one of these GZÜV-wells was a deep well. Three (27 %) of these wells, especially in the southern part, showed MRTs of the youngest category (< 5 years). In the middle part of the deeper situated groundwater body (depth to groundwater table 30–77 m) and in the northern springs close to the river Drau MRT's increase to 5–10 and 11–25 years.

GWB Leibnitzer Feld Investigations in the groundwater body **Leibnitzer Feld** included twelve GZÜV-monitoring wells. Thus, on a quarterly basis, 48 groundwater samples were collected and analysed. Five monitoring wells (42 %) showed MRTs below 5 years and seven monitoring wells (58 %) indicate MRTs of 5–10 years.

GWB Rheintal In the groundwater body **Rheintal** the high percentage of young groundwater (8 monitoring wells (53 %) < 5 years) is induced by the quick inflow of water from the mountain ranges in the East of the Rhine valley and some monitoring wells close to the river Rhine and Ill are influenced by river bank filtration. The groundwater bodies in between are mainly recharged from local precipitation showing MRTs between 5–10 years. Only deep monitoring wells with depths down to 60 and 248 m indicate MRTs in the range of 11–25 and 26–50 years.

GWB Unteres Salzachtal In the groundwater body **Unteres Salzachtal** 25 monitoring wells were selected for isotopic investigations. At seven (28 %) monitoring wells MRTs were found below 5 years, whereas for 12 wells (48 %) MRTs of 5–10 years and for five wells MRTs of 11 to 25 years were calculated. Thus, the majority of the monitoring wells are influenced by the infiltration of local precipitation or surface waters. This can be explained by the lack of impermeable upper confining layers and the partly very thin unsaturated zones. Just one monitoring well in the North revealed a groundwater age of more than 50 years. The monitoring well seems to exploit artesian Pleistocene waters.

GWB Wulkatal The groundwater body **Wulkatal** is characterised by inhomogeneous hydrogeology. This is reflected by the fact that single monitoring wells represent local recharge areas, which are not representative for the whole groundwater body. Two monitoring wells (22 %) show MRTs below 5 years, whereas for the majority of the wells considerably higher MRT were calculated. This is quite plausible considering the small amount of precipitation and the low rate of groundwater recharge.

MRTs increase in the 6 GWB toward the East Generally, isotope and tracer gas investigations are in good coherence with the hydrogeological concepts in the investigated groundwater bodies. In this way the investigations contribute to the validation and further improvement of these conceptual models. According to the results of this study the groundwater bodies can be ordered by MRTs calculated, starting with the lowest MRTs: Grazer Feld, Rheintal, Leibnitzer Feld, Unteres Salzachtal, Jauntal und Wulkatal. This is mainly the result of variable precipitation, thickness of unsaturated zone, upper confined layers and aquifer thickness. In all deeper monitoring wells the residence times increase significantly with depth.

As already demonstrated in the pilot investigations (KRALIK et al. 2009), the nitrate concentrations are not in a clear relation to the MRTs in the investigated groundwater bodies.

In general, the mean residence times are higher in the East or South-East of Austria where precipitation rates are quite low. Groundwater in this region is also rather more polluted.

From the calculated MRTs it is evident that measures taken now to improve the groundwater quality will in most monitoring wells show effects in the time spans of a few years to some decades.

In any case, the combination of oxygen-18-, deuterium, tritium-, $^3\text{H}/^3\text{He}$ - and in some cases also SF_6 -measurements of a representative amount of monitoring wells allow for determining the mean residence times in the upper horizon of a groundwater body in order to estimate the response time of measures reducing emissions to groundwater.

The measurements of the CFC-tracer gases were in more than 95 % of the cases unsuitable to determine MRTs due to contamination of all the investigated porous groundwater bodies by these gases.

1 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

1.1 Einleitung

Durch die Vorgaben der WRRL (Art. 4) bzw. des WRG (§ 30c), dass der gute Zustand des Grundwassers bis zum Jahr 2015 zu erreichen ist, wird die Abschätzung jenes Zeithorizontes, innerhalb dessen Maßnahmen im Grundwasserkörper messbar werden können, von wesentlicher Bedeutung sein. Diese Fragestellung ist allerdings bereits jetzt im Zusammenhang mit der Evaluierung von ÖPUL (Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft) oder anderen Gewässerschutzmaßnahmen von Interesse, wodurch sie im geplanten Projekt vorrangig behandelt werden soll. Weitere Aspekte, wie beispielsweise die Variabilität des Grundwasseralters über die Tiefe, wären allenfalls später zu behandeln.

**Wann werden
Maßnahmen
wirksam?**

Bei zahlreichen Trinkwasserversorgungen mit landwirtschaftlich geprägtem Grundwassereinzugsgebiet steht die **Nitratproblematik** an erster Stelle. Nitrat gelangt durch Versickerung aus intensiv bewirtschafteten Böden in das Grundwasser und ggf. in das Trinkwasser. In vielen der betroffenen Gebiete werden seit längerer Zeit Anstrengungen im Sinne einer das Grundwasser schonenden Landbewirtschaftung unternommen, um die Nitratbelastung des Grundwassers zu reduzieren. Jedoch sind bisher in vielen Untersuchungsgebieten derartige Verbesserungen (noch) nicht festzustellen.

**Nitrat im
Grundwasser**

Die WRRL verlangt, dass die Verschlechterung des Zustands aller Grundwasserkörper verhindert wird und, wie bereits erwähnt, dass der gute Zustand bis zum Jahr 2015 zu erreichen ist. Des Weiteren sind alle signifikanten und anhaltend steigenden Belastungstrends umzukehren. Zu diesem Zweck und im Hinblick auf die einzuhaltenden Fristen sind von den Mitgliedstaaten erforderliche Maßnahmen zu setzen. Lassen die natürlichen Gegebenheiten keine rechtzeitige Verbesserung des Zustandes der Wasserkörper zu, so ist es in begründeten Fällen zulässig, die Fristen zu erstrecken.

**Erreichen des guten
Zustands bis 2015**

Aber auch aus der Sicht der Maßnahmenpakete, wie sie derzeit im ÖPUL-Programm vorgesehen sind, stellt die Möglichkeit einer zeitlichen und inhaltlichen Zielprognose – wann können Maßnahmen wirksam werden? – eine wesentliche Argumentationshilfe bei der Überzeugungsarbeit hinsichtlich der politischen Umsetzung von Maßnahmen im Gewässerschutz (v. a. Nitrat) dar.

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 isopenhydrologischen Messungen (Sauerstoff-18, Tritium/Helium-3 etc.) und Spurengasen (FCKW, SF₆ etc.) in Kombination mit hydrogeologischen Untersuchungen möglich, falls nicht weit reichende anthropogene Tritium-Kontaminationen (z. B. aus Deponien, Kläranlagen) vorliegen.

**Abschätzung der
MVZ**

Überdies liefert die Abschätzung der Mittleren Verweilzeiten (MVZ) eine Evaluierung der hydrogeologischen Konzepte der Grundwasserkörper, die Basis für praktische Umsetzungen wie Einrichtungen und Bemessungen von Wasserschutzgebieten, Festlegung von Entnahmekonsensmengen etc. sein können.

1.2 Mittlere Verweilzeit, Verweildauer, Abstandsgeschwindigkeit und Wasseralter

Um Missverständnissen vorzubeugen, werden die Begriffe Mittlere Verweilzeit (MVZ), Verweildauer in der gesättigten Zone und Abstandsgeschwindigkeit in der folgenden Tabelle 1 definiert. Alle drei sind relevant für die Trendumkehr von Konzentrationen im Grundwasser.

Tabelle 1: Definition von Mittlerer Verweilzeit (MVZ) (= Grundwasseralter), Verweildauer in der gesättigten Zone und Abstandsgeschwindigkeit.

| Begriff | Definition | Abhängig von | Bemerkungen |
|--------------------------------------|---|---|---|
| Mittlere Verweilzeit (MVZ) | Mittlere Aufenthaltsdauer des Wassers im Untergrund vom Zeitpunkt der Infiltration bis zum Abfluss in einer Quelle oder der Förderung in einem Brunnen. | den physikalischen Eigenschaften des Untergrunds und der Grundwasserneubildung. | Berechnet od. geschätzt in Jahren. Wegen der heterogenen Natur des Bodens, der ungesättigten Zone und des Aquifers bzw. der Mischung von Wässern mit unterschiedlicher Verweildauer handelt es sich meist um eine Altersverteilung. |
| Verweildauer in der gesättigten Zone | Zeitspanne vom Eintritt eines Wassers in den Grundwasserleiter (Aquifer) und seinem Austritt aus diesem (MÜLLER 2000). | den physikalischen Eigenschaften des Grundwasserleiters und der Grundwasserneubildung. | Berechnet od. geschätzt in Jahren |
| Abstandsgeschwindigkeit | Geschwindigkeit, mit der Wasser oder eine in diesem gelöste Verunreinigung die Verbindungsstrecke zwischen zwei Punkten in der Zeit t durchfließt. | den physikalischen Eigenschaften und dem Rückhaltevermögen des durchflossenen Untergrundes. | Berechnet od. geschätzt in Metern/Jahr. Wegen der Heterogenität des Untergrundes und der hydrodynamischen Dispersion handelt es sich meist um eine Verteilung von Geschwindigkeiten. |

Wasseralter Die Mittlere Verweilzeit (MVZ) wird häufig ungenau auch als „Wasseralter“ bezeichnet.

1.3 Geologische und hydrologische Grundlagen zur Bewertung der Mittleren Verweilzeit von Grundwässern

Die Bewegung und der Austausch bzw. der Durchfluss von Wasser in Grundwasserkörpern ist wesentlich langsamer als in Oberflächengewässern und die Mittlere Verweilzeit (MVZ) ist daher wesentlich länger, wie aus Abbildung 1 (KINNIBURGH et al. 2004) ersichtlich ist.

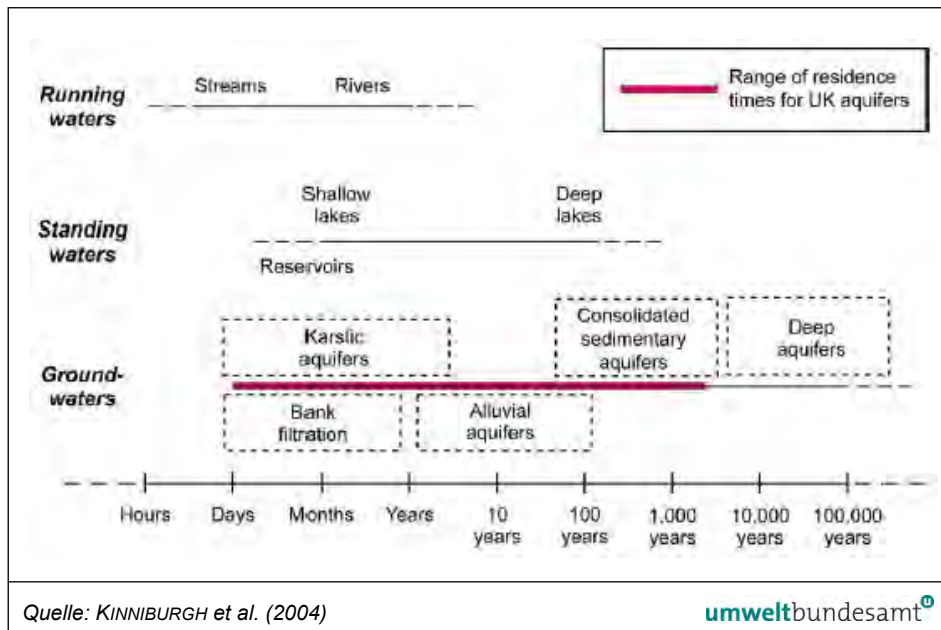


Abbildung 1: Verweilzeiten von Wässern in Süßwasserkörpern.

Jeder Grundwasserkörper hat eine unterschiedliche und komplexe Charakteristik, die zu einer großen Variabilität von Transportpfaden von Wasser und seinen Verunreinigungen führt. Die vielschichtigen Transporteigenschaften erklären sich aus einer großen Variabilität von größeren und kleineren intergranularen Poren bis zu einem extensiven Netzwerk von offenen Klüften. So kann auch bei demselben Typ von Grundwasserleiter wegen des Auftretens von raschen und langsamen Transportwegen die Abstandsgeschwindigkeit stark variieren.

Unter Anwendung des Konzepts „Verschmutzungs-Quelle“ – „Pfad“ – „Schutzgut“ („source“ – „pathway“ – „receptor“) auf Grundwasserkörper besteht der Transportpfad aus der ungesättigten und gesättigten Zone wie aus Abbildung 2 ersichtlich ist.

Wasser infiltriert normalerweise vertikal in variabel ausgebildete Böden, durch unterschiedlich mächtige und durchlässige ungesättigte Zonen und fließt dann lateral zu einem Brunnen, einer Quelle, einem Fluss oder einem terrestrischen Feuchtgebiet. Durch die Zumischung einer vertikalen Komponente kommt es häufig auch zur Mischung von unterschiedlich alten Wässern, deren MVZ tendenziell mit der Tiefe zunehmen.

Aus Spezialuntersuchungen ist bekannt, dass die MVZ von Grundwasser von Stunden, wenigen Monaten bis zu tausenden Jahren variieren kann (siehe den dunklen Balken in Abbildung 1). Meist werden Grundwässer aus wenigen Metern bis zu einigen zehn Metern Tiefe genutzt.

Verweilzeiten werden häufig verlängert, da sich in der gesättigten Zone von Porengrundwasser die infiltrierenden Wässer mit großen Mengen alten Grundwassers mischen, die bereits im Aquifer vorhanden sind.

Die erhöhte relative Niederschlagshäufigkeit können insbesondere bei jungen Grundwässern diese zu noch kürzeren Verweilzeiten verschieben. Seit dem Dezember 2008 waren im ersten Halbjahr 2009 die Niederschlagsmengen in allen Grundwassergebieten um 50 % höher als in der Vergleichsperiode 1970–2000.

variable Transportwege im GWK

unterschiedlich lange MVZ im Grundwasser

Niederschlagsmengen 2009 50% höher

Während MVZ in den alpinen Karst- und Kluftaquifereen wegen hoher Raten von Grundwasserneubildung relativ kurz sind, sind diese in den obersten fluviatilen Porenaquifereen in den flachen Gebieten im Norden und Osten Österreichs wesentlich höher.

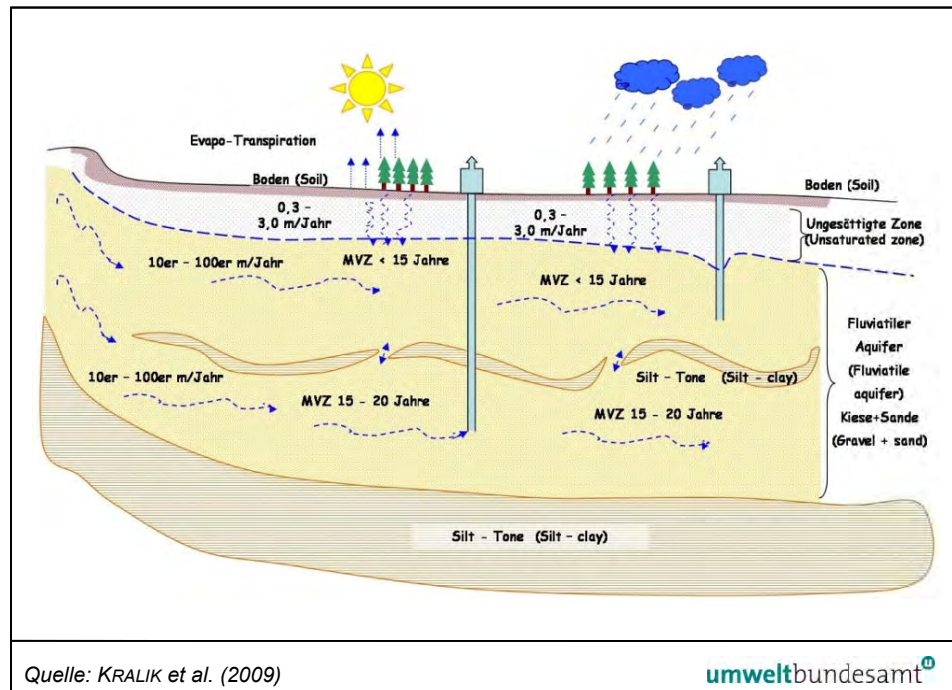


Abbildung 2: Schematische Skizze der Abstandsgeschwindigkeiten (m/a) von infiltrierenden Wässern im Boden, ungesättigter Zonen bzw. Mittlere Verweilzeiten (MVZ) in Jahren in Grundwasseraquifereen.

1.4 Angewendete Methoden

1.4.1 Probenahme

¹⁸O- und ²H-Proben

Für die Untersuchungen von Delta Sauerstoff-18 und Delta Wasserstoff-2 (Deuterium) wurden 1 Liter Wasserproben (PE-Flaschen) entnommen.

Die Probenahme erfolgt nach ÖNORM EN ISO 5667-1 (2007) nach der SOP 010503-02 des Umweltbundesamts.

Die Wassertemperatur, die elektr. Leitfähigkeit, der pH-Wert und der gelöste Sauerstoff wurden mittels eines WTW Multiline P4-Geräts nach einer Kalibrationsüberprüfung vor Ort in der Schöpfprobe sofort nach der Entnahme gemessen.

³H³He-Proben

Mittels Tauchpumpe wurde an dieser Stelle ein konstanter Strom von ungefähr 0,1 l/s luftblasenfrei gefördert und die eingeschlossenen Helium- bzw. Neongase wurden in einem Weichkupferrohr (Volumen ca. 40 ml) durch Abquetschen mittels Spezialschneiden als Doppelprobe gewonnen. Die Probe von Tritium wurde zusammen mit der von Sauerstoff-18 in einer 1 Liter PE-Flasche gesammelt.

Von dem gleichen Pumpstrom wurde eine 0,25 Liter und eine 0,5 Liter Steilbrustflasche für die Fluorchlorwasserstoff-(F-11 und F-12) und die Schwefelhexafluorid(SF₆)-Analysen unter Wasser in einem Kübel befüllt. Beide Steilbrustflaschen wurden in mit Quellwasser gefüllten Blechdosen verpackt und versendet.

CFC- und SF₆-Proben

1.4.2 Tritiummethode

Als Bestandteil des Wassermoleküls ist Tritium der einzige Datierungstracer, der den Wasserkreislauf direkt widerspiegelt. Erste Anwendungen der Methode begannen in einer Zeit, in der die Konzentration im Niederschlag bereits durch die Freisetzung von Tritium aus oberirdischen Kernwaffentests dominiert wurde. Sie nutzten insbesondere den starken Eintrag durch die oberirdischen Wasserstoffbombenexperimente anfangs der 60er-Jahre (Erhöhung der natürlichen Konzentration im Niederschlag um etwa das 300-fache, siehe Abbildung 3) und den anschließenden Konzentrationsabfall als Markierung für neu gebildetes Grundwasser.

Tritium spiegelt Wasserkreislauf direkt wider

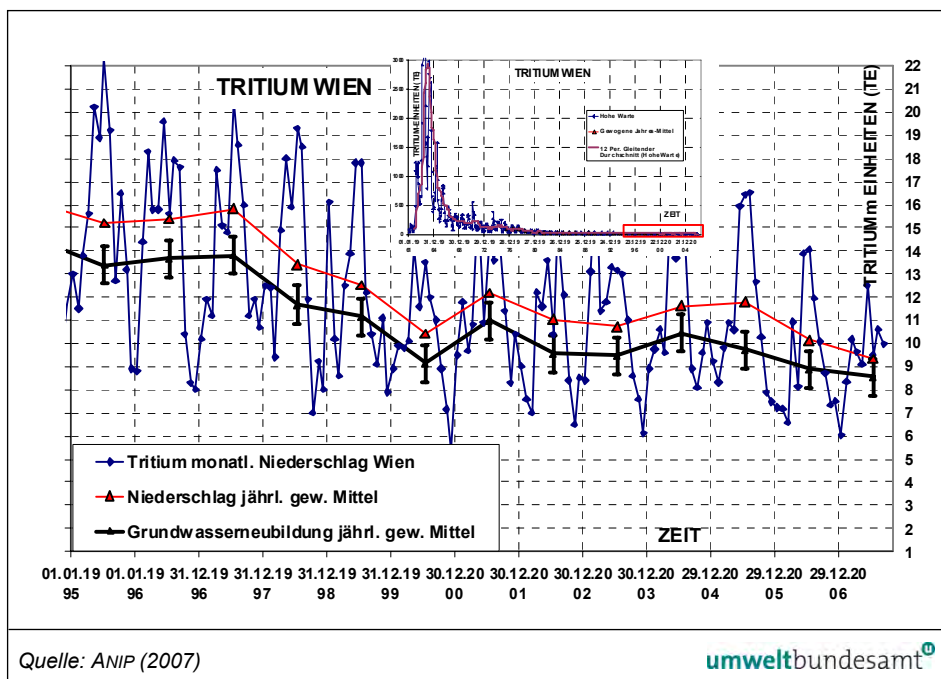
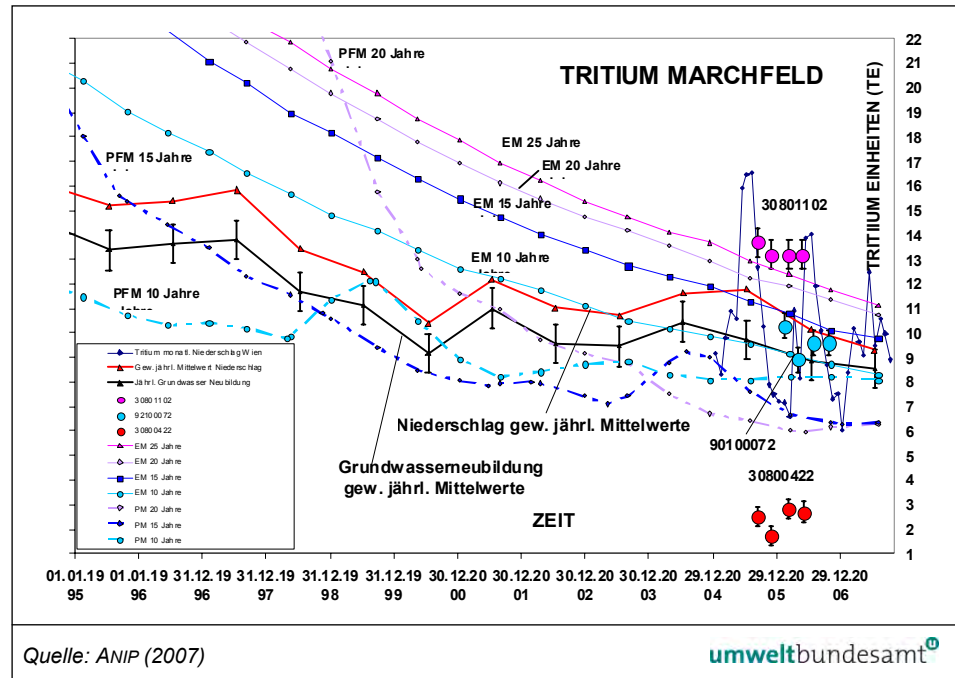


Abbildung 3: Monatliche Tritiumgehalte im Niederschlag (Wien), gewogenes Jahresmittel bzw. errechnete mittlere Tritiumgehalte und deren Standardabweichung der angenommenen Grundwasserneubildung im Marchfeld.

Wenn in einer Region die Tritium-Konzentration in dem in den Untergrund infiltrierenden Niederschlag bekannt ist (siehe Abbildung 3), kann an Brunnen oder Quellen aufgrund der Abnahme durch den radioaktiven Zerfall des Tritiums (Halbwertszeit $T_{1/2} = 12,43$ Jahre) der Zeitpunkt der Infiltration als so genannte „Mittlere Verweilzeit“ (MVZ) oder „Grundwasseralter“ berechnet werden. Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, bleiben in der Region Wien die durchschnittlichen Tritiumjahresmittel im Niederschlag (rote Linie) zwischen 9 und 12 Tritiumeinheiten (TE) mehr oder minder konstant (seit 2000).

Berechnung des Grundwasseralters

Wenn das Grundwasser bevorzugt vom Winterniederschlag stammt (geringere Tritiumwerte im Winter) schwanken diese Werte zwischen 9 und 11 TE (schwarze Linie). Wenn die untersuchten Wasserproben Tritium-Konzentrationen zwischen 10 und 12 TE aufweisen oder bei Nachweis von bevorzugter Grundwasserneubildung im Winterhalbjahr zwischen 9 und 11 TE liegen, kann mangels früherer Messungen nur eine MVZ von ungefähr < 15 Jahren abgeschätzt werden.



EM Exponential Modell

PFM Piston-Flow-Modell

Abbildung 4: MVZ nach Tritium-Modellalter, basierend auf Wiener Niederschlag im Vergleich zu Tritium in der Grundwasserneubildung und in drei Messstellen des Marchfeldes.

In Abbildung 4 sind die vier über ein Jahr gemessenen Tritiumwerte eines Grundwassers mit sehr langen MVZ (> 50 Jahre; Nr.30800422), langen MVZ (26 Jahre; Nr. 30801102) und kürzeren MVZ (< 15 Jahre; Nr. 90100072) sowie die MVZ des Exponential- und des „Piston-Flow“-Modells dargestellt. Wie an den meisten Messstellen liegen die Messwerte der Probenahmestelle 30801102 innerhalb des analytischen Fehlers ($\pm 0,6$ TE) während an der Messstelle 9010072 die Variation des Niederschlagstritiums ersichtlich ist. Die Werte letzterer liegen auch im Bereich der rezenten Grundwasserneubildung und aus der Variation lässt sich eine MVZ von 3–7 Jahren errechnen. Auch das Grundwasser der Messstelle 30800422 zeigt – obgleich es eine MVZ von > 50 Jahren besitzt – über das Jahr eine Änderung der Mischung von tritiumfreien Wässern oder solchen mit unterschiedlichen Tritiumgehalten. Gänzlich vor 1950 gebildete Grundwässer enthalten im Rahmen der üblichen Messgenauigkeit kein Tritium mehr.

Flüsse können erhöhte Tritium-Konzentrationen (> 11–12 TE) aufweisen, die aus dem langjährigen Grundwasserspeicher oder aus Kernkraftwerken (z. B. in March und Donau) stammen können. MVZ von Grundwassermessstellen, die erheblich durch Flusswasser beeinflusst sind, können mangels hinreichend bekannter Inputkurven mit der Tritiummethode nicht bestimmt werden.

Tritium in Flüssen

Die hier angeführten Tritiumwerte wurden am Austrian Institute of Technology in Seibersdorf gemessen. Die Probe wurde zunächst destilliert und nach Zugabe von Natriumperoxid in einer Stahlzelle elektrolytisch zersetzt. Nach Erhöhung des pH-Wertes mittels Kohlendioxidgas und erneuter Destillation wurde die Tritium-Konzentration in einem Flüssigkeitszintillationsmessgerät (LSC) gemessen. Die angegebene Aktivitätskonzentration (TE bzw. Bq/kg) bezieht sich auf die Probe zum Probenahmezeitpunkt.

Bestimmungsmethode von Tritium

1.4.3 Tritium-Helium-3-Methode

Enthält eine Wasserprobe Tritium, so reichert sich sein Zerfallsprodukt, das ^3He , mit der Zeit an. Abgeschlossen ist ein Grundwassersystem diesbezüglich (Akkumulationsbeginn) erst dann, wenn der Kontakt zur Gasphase in der ungesättigten Zone (Austausch, Diffusion) unterbunden ist. Bei nennenswerten Mächtigkeiten der ungesättigten Zone beginnt die Mittlere Verweilzeit erst in der gesättigten Zone, also später als bei der Infiltration des Wassers an der Oberfläche, wie bei der Tritium-Methode modelliert. Aus der Kenntnis des bereits zerfallenen Tritiums ($^3\text{He}_{\text{tr}}$) in Relation zum noch in der Probe befindlichen Tritium (^3H) lässt sich die Bildungsdauer des ^3He ermitteln und für Verweilzeitbewertungen verwenden. Bei Mischwässern entspricht das Heliumalter jedoch nicht dem gewichteten Mittel der Verweilzeiten der Komponenten.

Sowohl das hier berichtete Edelgase Helium als auch Neon sowie deren Isotopenverhältnisse wurden am Institut für Physik der Universität Bremen analysiert.

Im Labor wird dem Wasser das Gas vollständig entzogen und im Hochvakuum werden alle Gase mittels Wasserdampf auf Tieftemperaturfallen transferiert. Bei 25 K wird He und Ne von anderen Gasen getrennt. Ein Teil des He-Ne Gasgemisches wird in einem Quadrupolmassenspektrometer auf ^4He , ^{20}Ne und ^{22}Ne analysiert. Mit einer weiteren Tieftemperaturfalle (14 K) wird das verbleibende He und Ne auf Aktivkohle gebunden. Nach Aufheizen auf 45 K desorbiert nur He, welches anschließend in einem Sektorfeldmassenspektrometer auf ^3He und ^4He analysiert wird. Das System wird mit atmosphärischer Luft kalibriert. Die Messgenauigkeit beträgt für $^3\text{He}/^4\text{He}$ - und $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ -Verhältnisse 0,4 % und für Isotopenkonzentrationen 0,7 % (2σ -Vertrauensbereich) (SÜLTENFUß & MASSMANN 2004).

1.4.4 CFC- und SF₆-Methode

Die FCKW-Gehalte in der Atmosphäre sind seit rund 50 Jahren bei CFC-12 (Dichlordifluormethan: CF₂Cl₂) und CFC-11 (Trichlorfluormethan: CFCI₃) bzw. seit über 30 Jahren bei CFC-113 (1,1,2-Trichlor-1,2,2-trifluorethan: CCIF₂-CCl₂F) bis in die 90er-Jahre ständig gewachsen (siehe Abbildung 5). Ebenso wie bei der Tritium-Helium-Methode beginnt bei nennenswerten Mächtigkeiten der ungesättigten Zone die Mittlere Verweilzeit erst in der gesättigten Zone und daher später als bei der Infiltration des Wassers, wie bei der Tritium-Methode modelliert. Weiterhin dürfen keine weiteren Kontaminationsquellen weder als industrielle Überschüsse in der Luft noch als Abfall im Boden vorhanden sein. In den untersuchten Grundwasserkörpern Marchfeld, Parndorfer Platte und Traun-Enns-Platte kamen Überschüsse besonders von CFC-11, aber auch teilweise von CFC-12 und CFC-113 (KRALIK et al. 2009) vor.

Bestimmung von CFC-11 und CFC-12

FCKW-Überschüsse auch in dieser Studie

Dieses Problem, dass in dicht besiedelten Beckenlagen die Anwendung der FCKW-Methode zur Datierung des Grundwassers wegen industrieller Überschüsse nicht möglich ist, wird in dieser Studie für sechs weitere Grundwasserkörper bestätigt. Nahezu alle Messungen weisen einen Überschuss abseits der Gleichgewichts-Input-Funktion (10 °C, blaue Linie) auf. Bloß die salzburger Quelle KK54100272, die ihr Einzugsgebiet ausschließlich im Hagengebirge hat liegt nahe der blauen Gleichgewichtslinie (Abbildung 6). Die übrigen Analysenpunkte, die im Bereich der Gleichgewichtslinie liegen stammen vorwiegend aus Grundwässern mit keinem gelösten Sauerstoff, in denen bekanntlich FCKW abgebaut werden und so auch nicht für Datierungszwecken genutzt werden können.

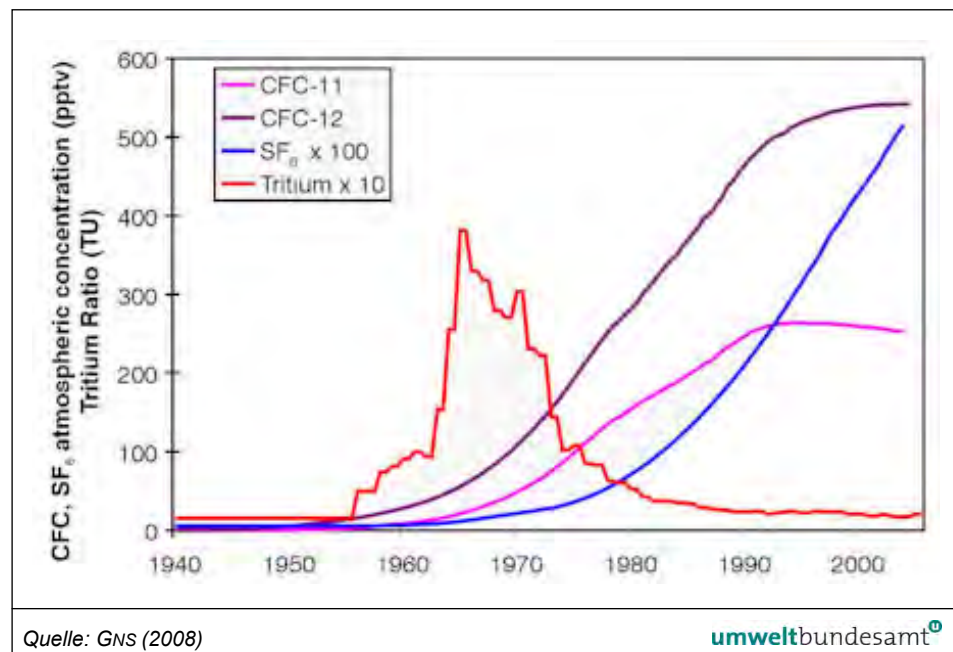


Abbildung 5: Auftreten von FCKW, SF₆ und Tritium in der Atmosphäre (1940–2008).

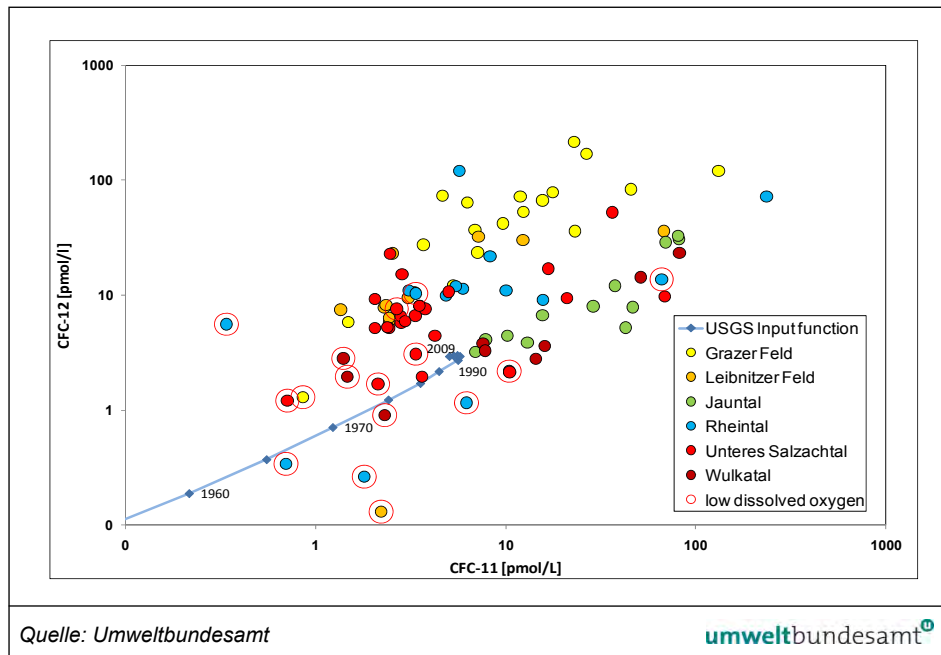


Abbildung 6: Verteilung der Fluorchlorwasserstoff-(CFC-11 und CFC-12) Konzentrationen im Grundwasser der untersuchten Grundwasserkörper. Mehr als 90 % weisen einen Überschuss abseits der Gleichgewichts-Input-Funktion (10 °C, blaue Linie) auf. Die mit roten Kreisen gekennzeichneten Werte entstanden wahrscheinlich durch mikrobiologischen Abbau unter sauerstofffreien Bedingungen.

Das Gas Schwefelhexafluorid (SF_6) ist in den letzten 30 Jahren zu einem bedeutenden Umwelttracer geworden. Das Gas ist ungiftig, nicht brennbar, farblos, chemisch inert und besitzt ein Molgewicht von 146 g/mol. Nur Temperaturen über 500 °C sowie extrem harte UV-Strahlung sind in der Lage, das Molekül zu spalten. Es ist in der heutigen Atmosphärenkonzentration ein weitgehend anthropogenes Gas und wurde erstmals in den 50er-Jahren produziert. Hauptverwendungen des Gases waren und sind die Isolierung von elektrischen Hochspannungsschaltern, als Schutzgas bei Metallschmelzen und als Füllgas für Schallschutzscheiben und Autoreifen. Seit dem Beginn der industriellen Verwendung ist die SF_6 -Konzentration in der Atmosphäre vom geschätzten vorindustriellen Wert von 0,054 ($\pm 0,009$) pptv auf einen Wert von etwa 6 pptv im Jahr 2005 angestiegen.

Die im Rahmen dieser Studie im Grundwasser gelösten Gase wurden im Labor des British Geological Survey in Wallingford (DARLING & GOODY 2007) mittels Stickstoff ausgetrieben und mittels Kühlfallen, gefüllt mit porösen Polymeren, wieder gefangen. Die Quantifizierung erfolgte in speziellen Gaschromatographen mit einem „electron-capture“ Detektor gemäß der Methode von BULLISTER & WEISS (1988).

Die FCKW- und SF_6 -Analysen wurden auf einen Standard hin kalibriert, der an der atmosphärischen Forschungsstation „Mace Head“ des AGAGE Netzwerkes genommen wurde (DARLING & GOODY 2007). Die Doppelprobenahmen an 4 Messstellen ergaben Standardabweichungen von 0,6 (CFC-11), 0,8 (CFC-12) und 0,3 (SF_6).

Bestimmung von SF_6

Bestimmungsmethode von SF_6

1.5 Inhalt und Ziele des Vorhabens, Gliederung

Auswahl der Methodik

Im Rahmen dieses Projektes wurde aufbauend auf dem Pilotprojekt an den Grundwasserkörpern Marchfeld, ParndorferPlatte und Traun-Enns Platte (KRALIK et al. 2009) wurde die viermalige Probenahme im Rahmen der GZÜV-Beprobung für Sauerstoff-18 und Deuterium beibehalten. Für die spezielle Sammlung ausgewählter Tracer und des Tritiums wurde der dritte Beprobungstermin ausgewählt. Um eine statistische Repräsentativität für den Grundwasserkörper zu erreichen wurden ungefähr die Hälfte der zur Verfügung stehenden GZÜV-Messstellen ausgewählt, wobei neben der flächenhaften Verteilung die Information über den Ausbau der Messstelle, die Tiefe, die hydrologische Situation und evtl. anthropogene Belastungen berücksichtigt wurden.

Auswahl der Tracer

Für die Bestimmung der MVZ werden sehr häufig so genannte Umwelttracer verwendet. Dabei handelt es sich um Stoffe, die entweder natürlich in der aquatischen Umwelt vorkommen oder durch menschliche Aktivitäten in einem Ausmaß in die Umwelt eingebracht werden bzw. wurden, sodass entweder über deren Inputkurven (z. B. ^{18}O , CFC, SF_6) oder deren radioaktiven Zerfall (z. B. Tritium (^3H), $^3\text{H}/^3\text{He}$, ^{14}C) Rückschlüsse auf die Mittlere Verweilzeit des Grundwassers gezogen werden können. Die verschiedenen Tracer decken unterschiedliche Altersbereiche ab, weshalb die Auswahl geeigneter Tracer zur Eingrenzung des Alters auf Basis einer Ersteinschätzung des Systems erfolgte. Die stark variierenden Analysekosten für die zur Verfügung stehenden Tracer fanden im Rahmen dieses Pilotprojektes ebenfalls Berücksichtigung. Auf dieser Basis wurden ^{18}O , ^2H , ^3H , $^3\text{H}/^3\text{He}$, **CFC-11**, **CFC-12** und **SF_6** als Tracer ausgewählt.

Vorrangiges Ziel der Abschätzung der MVZ des Grundwassers in einem Grundwasserkörper war es, Aussagen treffen zu können, ob bis 2015 aus hydrogeologischer Sicht Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwasserqualität wirksam werden können.

ausgewählte sechs Porengrundwasserkörper

Basierend auf den genannten Überlegungen wurden in Absprache mit dem Auftraggeber sechs über Österreich verteilte Porengrundwasserkörper (Tabelle 2) ausgewählt.

Tabelle 2: Ausgewählte Grundwasserkörper (GWK).

| GWK-Nr. | GWK-Bezeichnung | Aquifertyp | Einstufung Nitrat Auswertzeitraum 2007–2009 |
|---------|--------------------|------------|---|
| 100097 | Grazer Feld | Poren-GWK | |
| 100062 | Jauntal | Poren-GWK | |
| 100098 | Leibnitzer Feld | Poren-GWK | Beobachtungsgebiet |
| 100149 | Rheintal | Poren-GWK | |
| 100006 | Unteres Salzachtal | Poren-GWK | |
| 100081 | Wulkatal | Poren-GWK | Beobachtungsgebiet |

2 GEBIETSBESCHREIBUNGEN

2.1 Grazer Feld

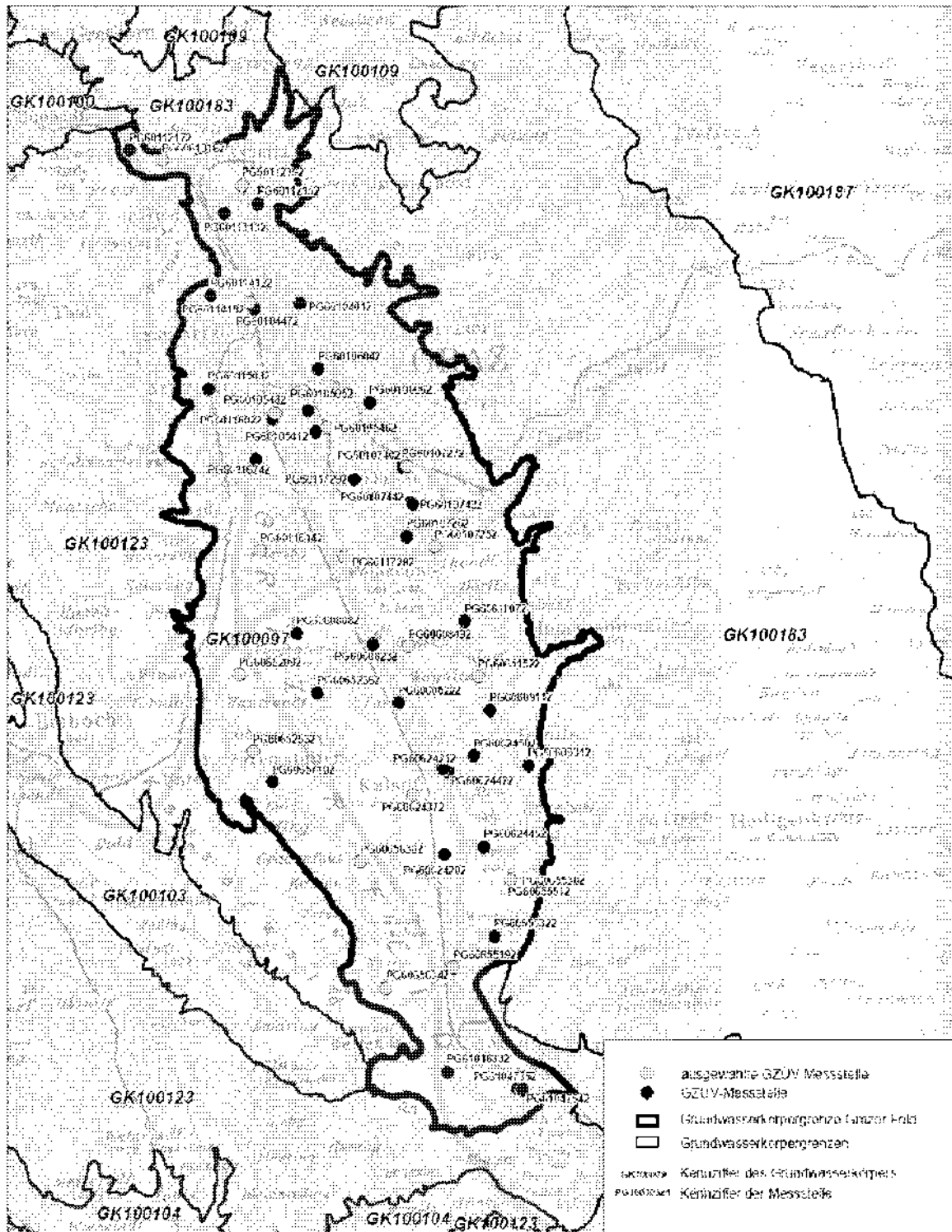
2.1.1 Allgemeines

Der 166 km² große oberflächennahe Einzelgrundwasserkörper Grazer Feld liegt in der Steiermark und erstreckt sich vom Grazer Stadtgebiet bis nach Wildon im Süden. Die mittlere Seehöhe beträgt 337 m.ü.A. mit einer Bandbreite von 291–468 m.ü.A. (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.1.2 Grundwasserkörpergrenzen

Die westliche Begrenzung ist überwiegend von Gesteinen des Grazer Paläozoikums aufgebaut. Im Süden schließt die breite Fläche der Kaiserwaldterrasse an und begrenzt das Feld. Der östliche Talrand wird von jungtertiären Ablagerungen des oststeirischen Hügellandes mit einigen Paläozoikumaufbrüchen gebildet. Kalvarienberg und Grazer Schlossberg ragen inselartig aus der quartären Lockergesteinsfüllung des Tales auf (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Grundwasserkörper Grazer Feld Übersichtskarte



Österreich, Gewässerzustand/Ebene der Untereinheit
 GZÜV/PGI Nr. 479/2011 abg. F. PR/FL/65, Sektor
 VPE/Berlin | Nationale Wasserwirtschaft,
 Amt der Landesregierungen

Auswertung/Original: Umweltbundesamt, Graz, Jänner 2011

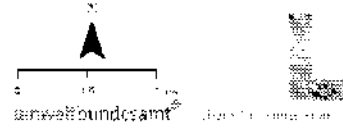


Abbildung 7: Übersichtskarte Grundwasserkörper Grazer Feld mit GZÜV-Messstellen.

2.1.3 Überlagernde Schichten

2.1.3.1 Bodentypen

Es kommen im Wesentlichen sieben Bodentypen nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung vor (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Tabelle 3: Bodentypen im Grundwasserkörper Grazer Feld nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung (H₂O FACHDATENBANK 2009).

| Boden – FAO-Soil Type Units | Anteil in % |
|-----------------------------|-------------|
| Bd – Dystric Cambisol | 2 % |
| Be – Eutric Cambisol | 68,4 % |
| Lo – Orthic Luvisol | 4,9 % |
| Eo – Orthic Rendzina | 10,7 % |
| Jd – Dystric Fluvisol | 1,1 % |
| Wd – Dystric Planosol | 1 % |
| We – Eutric Planosol | 11,9 % |

2.1.3.2 Deckschicht und Flurabstand

Der Flächenanteil des Grundwasserkörpers mit einer ausgebildeten Deckschicht liegt bei über 75 %. Aufgebaut wird diese überwiegend aus fluviatilen Sedimenten mit einzugsgebietsspezifischen Sedimenten (Gneise, Glimmerschiefer, Karbonate) (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Im Bereich des Wasserwerkes Feldkirchen (Gebiet mit den höchsten Flurabständen) ist eine beträchtliche Dynamik der Flurabstände mit Spiegelschwankungen bis zu über 2,5 m gegeben (durchschnittliche Differenzen von 0,5–0,75 m). Nach Süden zu ist eine starke Abnahme der Dynamik gegeben, in den Exfiltrationsbereichen ist sie mit < 0,25 m sehr gering. (HARUM & GOLDBRUNNER, 2007).

Der Norden des Grundwasserkörpers ist von flächigen Siedlungsgebieten geprägt, im Südteil wird das Nitratrückhaltevermögen mit „gering bis hoch“ eingestuft (aus der Karte: Nitratrückhaltevermögen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 2006).

2.1.4 Grundwasserleiter

2.1.4.1 Druckverhältnisse

Im Grundwasserkörper herrschen freie Druckverhältnisse (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.1.4.2 Aquifermächtigkeit

Im nördlichen Grazer Feld liegen die Aquifermächtigkeiten fast durchwegs über 20 m. Die größten Mächtigkeiten liegen bei bis zu 53 m. Auf den Hauptterrassen liegen die Mächtigkeiten meist zwischen 10–20 m (HARUM et al. 1996). Die Aquifermächtigkeiten liegen beim Kraftwerk Gössendorf bei rund 16 m, beim Kraftwerk Kalsdorf zwischen 6 und 8 m (HARUM & GOLDBRUNNER 2007).

2.1.4.3 Grundwasserstauer

Im Bereich des Stadtgebietes werden die quartären Schotter großteils von tertiären tonig-sandigen Schluffen, untergeordnet auch tertiären Sanden, unterlagert (HARUM et al. 1996), wobei die Tertiäroberkante im zentralen und südlichen Teil des Grazer Feldes als Wasserstauer anzusehen ist, im nördlichen Teil sind es Gesteine des Grazer Paläozoikums (H₂O FACHDATENBANK 2009). Dominierendes Element des wasserstauenden Untergrundes ist eine Tiefenrinne, welche beim Durchbruch durch das paläozoische Grundgebirge im Norden klammartig ausgebildet ist, gegen Süden verflacht und sich trichterförmig erweitert (HARUM & GOLDBRUNNER 2007).

2.1.4.4 Mächtigkeiten des Grundwasserkörpers

Mächtigkeit des GWK von 1–32 m

Bei Höchststand des Grundwassers liegen die Grundwassermächtigkeiten im nördlichen Grazer Feld im Bereich der Murauen meist zwischen 15 und 25 m und auf den Hauptterrassen zwischen 1 und 15 m. Die höchste Grundwassermächtigkeit wird im Bereich der Tiefenrinne mit bis zu 32 m erreicht. Bei Grundwassertiefstand verringern sich die oben genannten Werte um rund 1–3 m (HARUM et al. 1996, Karte). Die Grundwassermächtigkeit nimmt gegen Süden hin ab. Im südlichen Grazer Feld betragen die höchsten Mächtigkeiten 16–18 m (Nordteil Bereich der Tiefenrinne) (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.1.4.5 Petrographie des Grundwasserleiters

Das gesamte Grazer Feld ist in seiner Morphologie von den weit ausgedehnten Terrassenflächen der wurmzeitlichen Schotter, die annähernd parallel zur Mur angeordnet sind, geprägt. Das Becken ist mit überwiegend gut durchlässigen quartären sandigen Kiesen aufgefüllt. Einen breiten Raum nimmt die höhere Teilflur der Wurm-Niederterrasse (Bahnhofsterrasse) mit einem markanten Abfall zur etwa 2 km breiten holozänen Austufe ein. Zwei Grundgebirgsaufbrüche ragen im Stadtgebiet inselförmig aus der breiten Schotterflur: der Schlossberg (Dolomit) und der Kalvarienberg (Schichten von Kher). Ältere Hochterrassen sind noch im Süden am westlichen Talrand vorhanden (HARUM et al. 1996). Auch südlich der Autobahn A2 bilden die Austufe der Mur und die Würm-Hauptterrasse die Haupteinheiten des Grazer Feldes. Die tertiären feinklastischen Ablagerungen am Ostrand des gesamten Grazer Feldes sind überwiegend gering durchlässig und daher von untergeordneter Wasserführung.

2.1.4.6 Grundwasserabflussrichtungen

Im Nordteil ist die Hauptabstromrichtung generell von den Terrassen zur Mur hin gerichtet. Der gesamte Südteil ist durch eine zur Mur gerichtete Strömungsrichtung und Exfiltration des Grundwassers in die Augerinne und die Mur geprägt (HARUM & GOLDBRUNNER 2007).

2.1.4.7 Hydraulische Leitfähigkeit und Abstandsgeschwindigkeiten

OTT & SCHICKOR (1990) ermittelten auf Basis der Eichung eines Strömungsmodells Gebietsdurchlässigkeiten für den Bereich der Holozänterrassen und der Au von $k_f = 1\text{--}3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Im Bereich der westlichen Hauptterrasse kann auf Basis eines Großpumpversuches und Grundwassermodells im Bereich des

Wasserwerkes Kalsdorf mit Gebietsdurchlässigkeiten von rund $2-9 \cdot 10^{-3}$ m/s gerechnet werden (FANK & ROCK 1994). Besonders im Aubereich ist ein sehr heterogener Aquifer mit einer großen Variationsbreite der k_f -Werte mit bereichsweise hohem Schluffanteil vorhanden. Instationäre Modellrechnungen ergeben ebenfalls Werte dieser Größenordnung (HARUM & GOLDBRUNNER 2007). Generell liegen die Abstandsgeschwindigkeiten im gesamten Grazer Feld im Bereich von 5–8 m/d – am Ostrand sind diese jedoch etwas langsamer.

2.1.5 Grundwasserbilanz

Eine einfache Abschätzung des Grundwasserdargebots im Auenbereich ergibt eine abströmende Menge von über 150 l/s (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.1.5.1 Niederschlag und Evaporation

Die langfristige mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 860 mm mit einer Bandbreite von 814–926 mm (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.1.5.2 Interaktionen Oberflächengewässer und Grundwasser

Ein großer Teil des Aubereichs stellt ein Exfiltrationsgebiet des Grundwassers dar. Rechtes und linkes Ufer der Mur zusammengefasst, kann der Quellwasseranteil in der Au mit mindestens 200–900 l/s Quellwasser abgeschätzt werden (UVE Wasserkraftwerke Gössendorf und Kalsdorf, 2007).

Vorfluter der Grundwasserfelder sind einerseits die Mur und im Südteil die Mühlgänge und die Lahnen, in denen das Grundwasser frei austritt (UVE Wasserkraftwerke Gössendorf und Kalsdorf, 2007).

2.1.5.3 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung erfolgt hauptsächlich über die flächenhafte Versickerung der Niederschläge, gefolgt von Neubildung durch Oberflächengewässer und Grundwasserzuström (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Teilbereiche des Westabfalls der meist verkarsteten paläozoischen Schichten des Plabutsch-Buchkogelzuges entwässern in das Grazer Feld, wobei dies in der Bilanz von sehr geringer Bedeutung ist (BATSCHE et al. 1967, zit. in HARUM et al. 1996).

Die Grundwasserneubildung, berechnet aus der klimatischen Wasserbilanz, beträgt im Grazer Feld im Bereich Schwarzl-See im Mittel 200 mm (24 % des mittleren jährlichen Niederschlags). Im Zeitraum von 1971 bis 1991 betrug die maximale jährliche Grundwasserneubildung 698 mm (1972), die geringste 164 mm (1977) (FANK et al. 1993). Bei hoher Flächenversiegelung (Stadtgebiet) kann von einer stark reduzierten Grundwasserneubildung (rd. 100 mm ausgehen) ausgegangen werden (HARUM et al. 1996). Bei einer Gesamtfläche von 165 km² und einer Grundwasserneubildung aus Niederschlag von 200 mm/a ergibt sich eine mittlere Jahressumme der Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag von 33 Mio. m³ (H₂O FACHDATENBANK 2009).

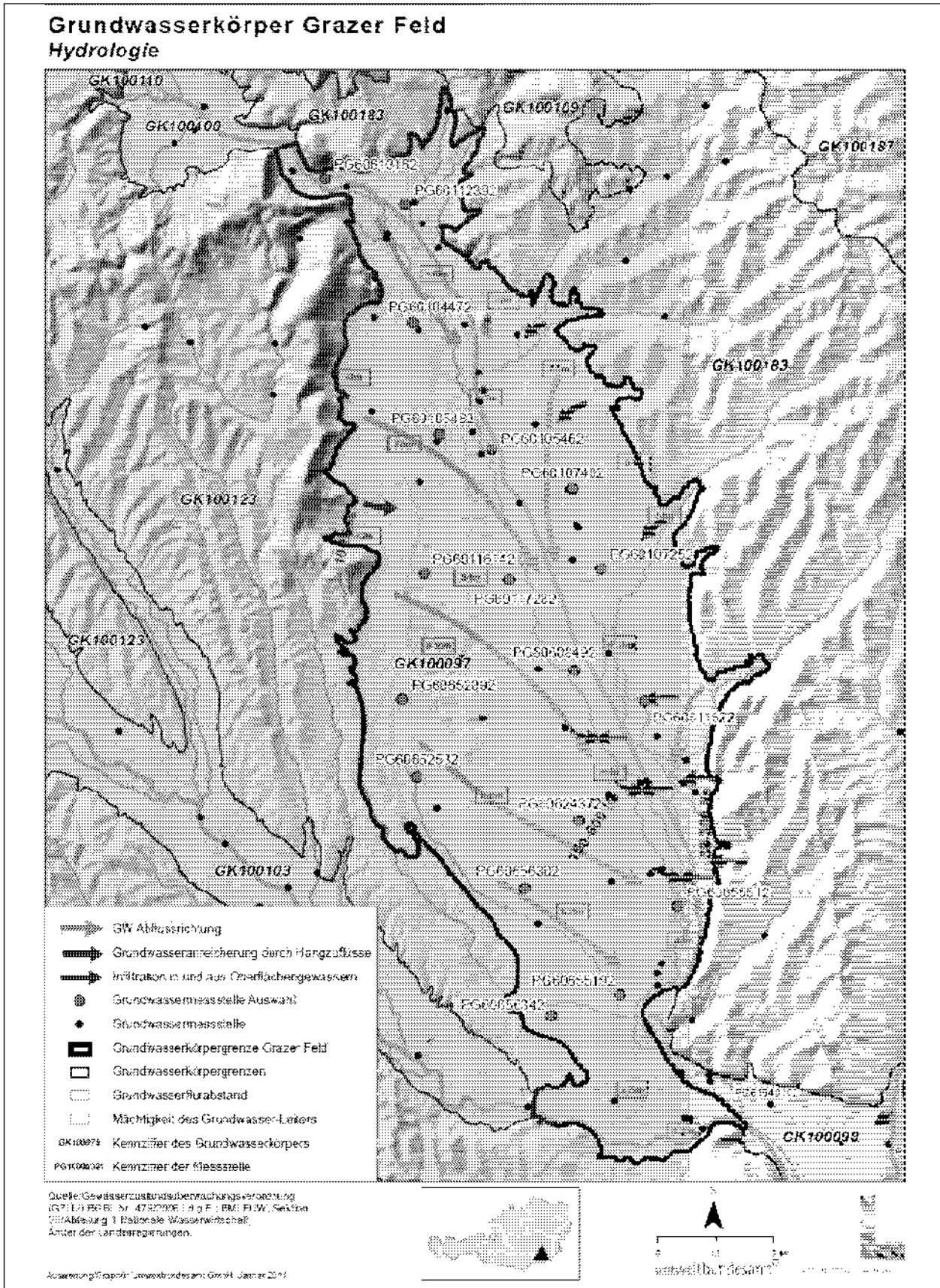


Abbildung 8: Schematisch dargestellte Hydrologie im Grundwasserkörper Grazer Feld.

2.1.6 Hydrochemie

Die Aquifer-Geochemie ist überwiegend silikatisch/karbonatisch (H₂O FACHDATENBANK 2009).

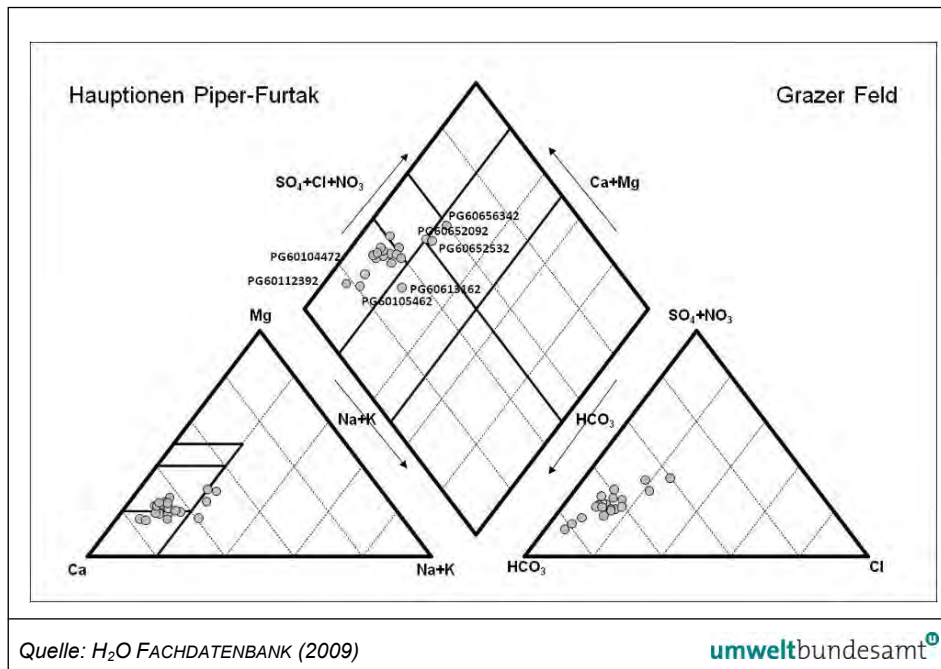


Abbildung 9: Hauptionen des Grundwassers der GZÜV-Messstellen im Grazer Feld, dargestellt in einem Piper-Furtak-Diagramm.

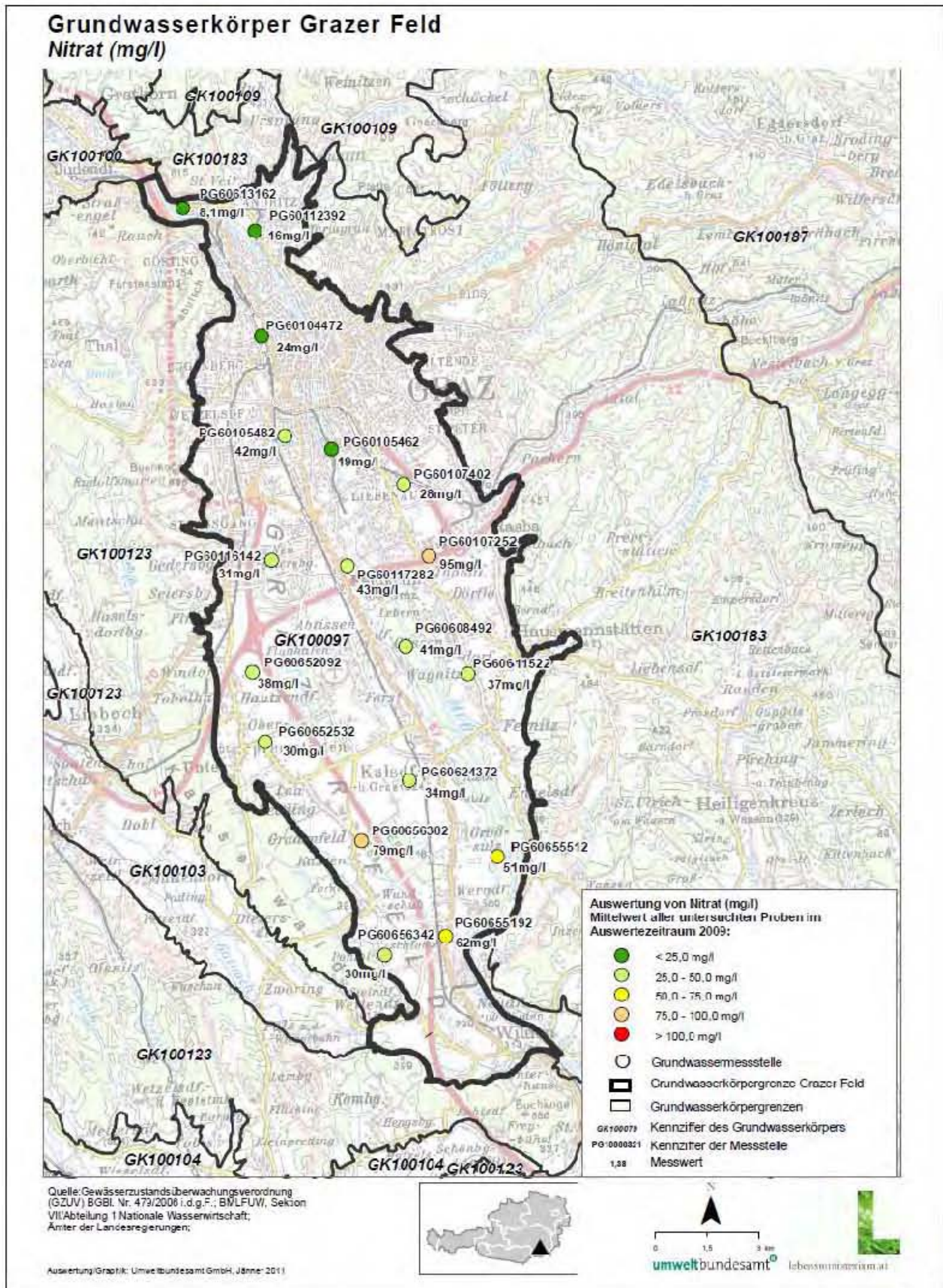


Abbildung 10: Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld (Mittelwert im Jahr 2009) (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Die Tabelle 4 zeigt die Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser bei den für das Projekt ausgewählten 18 GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld (H₂O FACHDATENBANK 2009). Die ausgewählten Messstellen weisen im Zeitraum 2009 im Mittel Nitrat-Konzentrationen zwischen 16 und 95 mg/l auf, mit Ausnahme der Messstelle PG60613162 mit nur 8,1 mg/l. Die Lage der Messstellen mit den jeweiligen mittleren Nitrat-Konzentrationen des Jahres 2009 ist in Abbildung 10 dargestellt.

Tabelle 4: Nitrat-Konzentrationen [mg/l] im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld (H₂O FACHDATENBANK 2009).

| Messstellen-bezeichnung | 1. Quartal 2009 | 2. Quartal 2009 | 3. Quartal 2009 | 4. Quartal 2009 | Mittelwert 2009 |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PG60104472 | 16,4 | 20,2 | 22,8 | 36,6 | 24,0 |
| PG60105462 | 12,6 | 18,2 | 18,8 | 26,6 | 19,1 |
| PG60105482 | 35,0 | 37,5 | 41,1 | 53,9 | 41,9 |
| PG60107252 | 94,4 | 113 | 88,8 | 85,2 | 95,4 |
| PG60107402 | 29,3 | 27,0 | 27,6 | 29,5 | 28,4 |
| PG60112392 | 13,4 | 10,7 | 18,6 | 21,5 | 16,1 |
| PG60116142 | 29,9 | 30,9 | 31,7 | 30,8 | 30,8 |
| PG60117282 | 42,8 | 41,3 | 44,5 | 43,0 | 42,9 |
| PG60608492 | 46,9 | 40,5 | 40,5 | 37,1 | 41,3 |
| PG60611522 | 50,0 | 36,1 | 34,9 | 28,7 | 37,4 |
| PG60613162 | 8,9 | 7,0 | 5,8 | 10,7 | 8,1 |
| PG60624372 | 33,5 | 30,8 | 38,1 | – | 34,1 |
| PG60652092 | 37,7 | 39,6 | 33,2 | 40,0 | 37,6 |
| PG60652532 | 29,5 | 29,6 | 28,1 | 32,5 | 29,9 |
| PG60655192 | 72,1 | 75,6 | 44,5 | 56,2 | 62,1 |
| PG60655512 | 52,5 | 52,7 | 51,3 | 48,6 | 51,3 |
| PG60656302 | 79,7 | 89,9 | 69,7 | 77,9 | 79,3 |
| PG60656342 | 33,5 | 29,7 | 25,8 | 29,6 | 29,7 |

2.1.7 Anthropogene Einflüsse

Anthropogene Einflüsse auf das Grundwasser sind durch Industrieanlagen, Altlasten, Land- und Forstwirtschaft, Verkehrswege sowie Rohstoffgewinnung gegeben.

Das Spektrum der GW-Nutzung reicht von der Einzeltrinkwasserversorgung über die kommunale Nutzung bis zur Nutzwassergewinnung sowohl für landwirtschaftliche als auch für gewerbliche Zwecke. Das Grazer Feld stellt ein sehr ergiebiges Porengrundwasserfeld dar, dessen Nutzungsgrenzen bei Betrachtung bestehender maximaler Konsensmengen fast erreicht sind. Allerdings sind die tatsächlichen Entnahmen erheblich geringer als die bewilligten Konsensmengen.

Tabelle 5: Landnutzung im Grundwasserkörper Grazer Feld (nach CORINE 2000).

| | |
|---|--------|
| CORINE: 1. BEBAUTE FLÄCHE | 57,7 % |
| CORINE: 2. LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN | 33,0 % |
| CORINE: 3. WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN | 8,3 % |
| CORINE: 5. WASSERFLÄCHEN | 0,8 % |

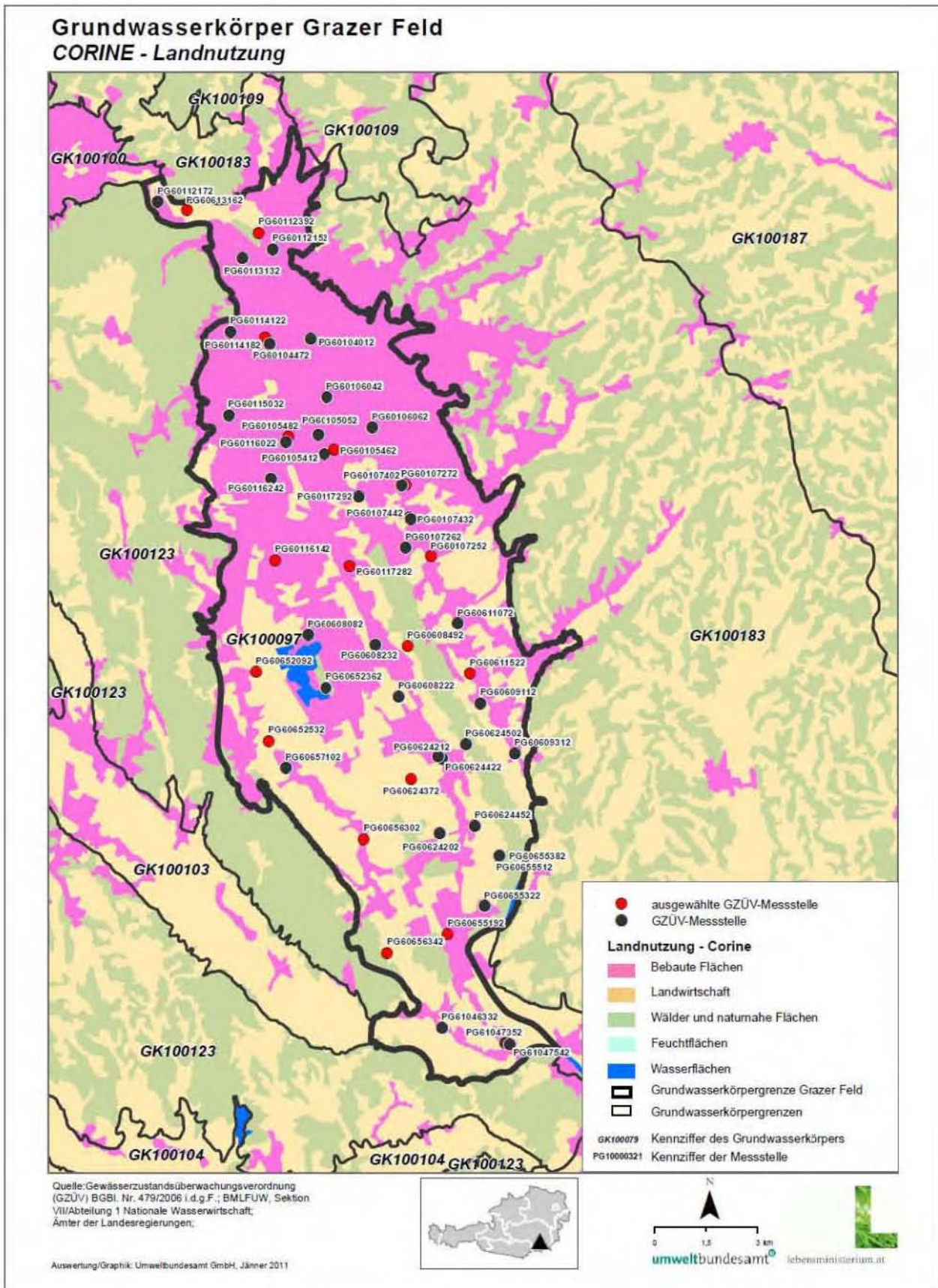


Abbildung 11: Landnutzung im Grundwasserkörper Grazer Feld (nach CORINE 2000).

2.2 Jauntal

2.2.1 Allgemeines

Der Grundwasserkörper Jauntal befindet sich im Südosten von Kärnten und stellt die Fortsetzung des Klagenfurter Beckens gegen Osten dar.

Die Gesamtausdehnung des Jaunfeldes beträgt 163 km², die mittlere Seehöhe über der Gebietsfläche liegt bei 473 m.ü.A. mit einer Bandbreite von 359–647 m.ü.A. (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.2.2 Grundwasserkörpergrenzen

Der Einzelgrundwasserkörper Jauntal wird im Westen durch den Sattnitzzug (Grundwasserkörper-Gruppe Sattnitz), im Norden durch die Drau, im Süden durch das Petzenmassiv bzw. durch den östlichen Teil der Karawanken (Grundwasserkörper-Gruppe Südliche Kalkalpen) und im Osten durch das auftauchende Kristallin der Gurktaler Decke (Grundwasserkörper-Gruppe Zentralzone) begrenzt.

2.2.3 Überlagernde Schichten

2.2.3.1 Bodentypen

Es kommen im Wesentlichen sechs Bodentypen nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung vor (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Tabelle 6: Bodentypen im Grundwasserkörper Jauntal nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung (H₂O FACHDATENBANK 2009).

| Boden – FAO-Soil Type Units | Anteil in % |
|-----------------------------|-------------|
| Bd – Dystric Cambisol | 5,5 % |
| Be – Eutric Cambisol | 70,2 % |
| Lo – Orthic Luvisol | 1,1 % |
| Eo – Orthic Rendzina | 0,6 % |
| Jc – Calcaric Fluvisol | 8 % |
| We – Eutric Planosol | 14,6 % |

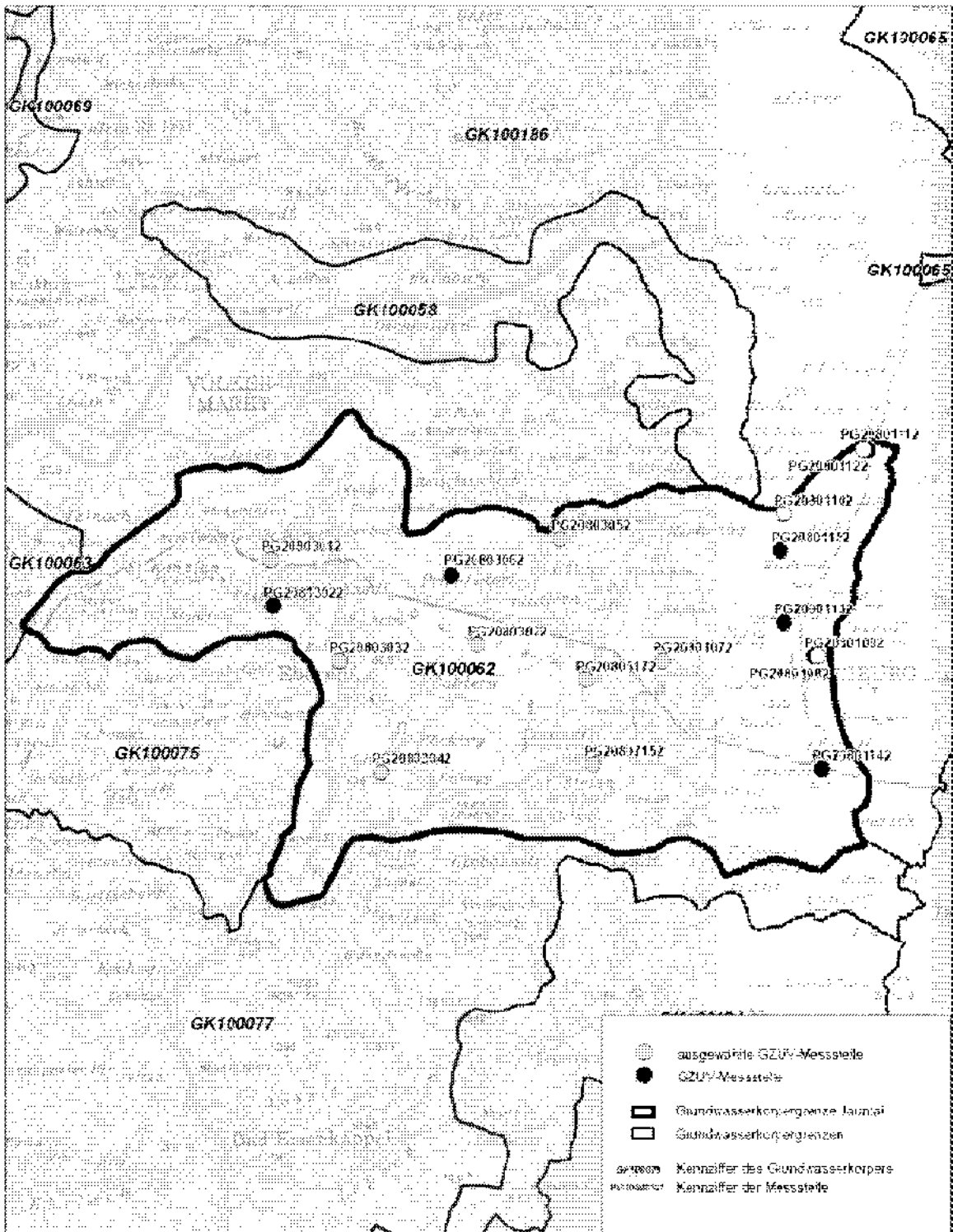
2.2.3.2 Deckschicht und Flurabstand

Der Anteil einer ausgebildeten Deckschicht liegt bei 0–25 %.

Der mittlere Flurabstand beträgt 35 m mit einer Bandbreite von 5–77 m. Die Standrohrspiegelschwankungen im Referenzzeitraum vom 16.2.1993 bis 31.12.2002 betragen im Mittel 2 m mit einer Bandbreite von 0,5–5 m (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Das Nitratrückhaltevermögen der ungesättigten Zone wird über weite Teile mit „mittel“ bzw. „gering“ beurteilt (aus der Karte: Nitratrückhaltevermögen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 2006).

Grundwasserkörper Jauntal Übersichtskarte



Quelle: Gewässerstandsüberwachungsverordnung (GZÜV) EBG, Nr. 479/2006 i.d.g.F., BMWF, Wien, Sektion V/4, Entwicklung / Nationale Wasserwirtschaft, Amt der Landesregierungen.

Abwärtung/Graphik: Umweltbundesamt, Graz, 22. März 2011

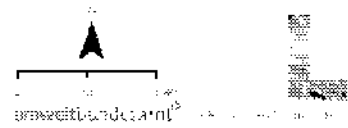


Abbildung 12: Übersichtskarte Grundwasserkörper Jauntal mit GZÜV-Messstellen.

2.2.4 Grundwasserleiter

2.2.4.1 Druckverhältnisse

Es herrschen überwiegend freie Druckverhältnisse (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.2.4.2 Aquifermächtigkeit

Die mittlere Aquifermächtigkeit über das gesamte Gebiet liegt bei 70 m mit einer Bandbreite von 40–100 m (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.2.4.3 Grundwasserstauer

Während im Norden und Osten das Grundgebirge durch Phyllite und Grünschiefer der Gurktaler Decke gebildet wird und im Mittelabschnitt triassische Karbonate auftreten, besteht der Beckenuntergrund im Süden vorwiegend aus feinkörnigen, schluffig-tonigen tertiären Sedimenten und Konglomeraten. Der Beckenuntergrund weist ein rinnenförmig ausgestaltetes Relief auf (ZOJER 1981).

2.2.4.4 Mächtigkeiten des Grundwasserkörpers

Die mittlere Mächtigkeit des Grundwasserkörpers über Gebietsfläche liegt bei 30 m mit einer Bandbreite von 10–50 m. Die Mächtigkeiten der einzelnen Grundwasserkörper innerhalb der Rinnensysteme erreichen zum Teil 50 m, sind jedoch auf die schmalen Rinnen beschränkt. Die mittleren Mächtigkeiten der Grundwasserkörper liegen zwischen 30 und 40 m (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Mächtigkeit des GWK von 10–50 m

2.2.4.5 Petrographie des Grundwasserleiters

Die quartäre Beckenfüllung im Jauntal wird vor allem durch die mächtigen pleistozänen Lockersedimente bestimmt, die neben fluvioglazialen Terrassenschottern und Moränenresten auch Konglomerate und feinkörnige See-Sedimente enthalten. Die große Bedeutung des Jaunfeldes für die Wasserwirtschaft resultiert aus der weiten Verbreitung mächtiger hochdurchlässiger fluvioglazialer Schotterfluren, die einem rinnenförmig strukturierten Grundgebirgsrelief aufliegen (H₂O FACHDATENBANK 2009).

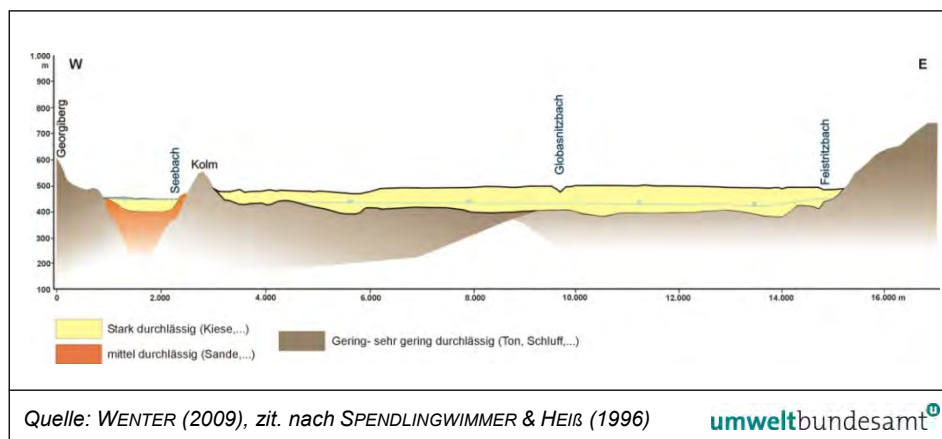


Abbildung 13: Schematisches geologisches Profil durch das Jauntal.

2.2.4.6 Grundwasserabflussrichtungen

Es treten mehrere größere Rinnenstrukturen auf, in denen der Abfluss des Grundwassers von Süden nach Norden zur Drau erfolgt. Im westlichen Abschnitt erstreckt sich eine Rinne von Gösselsdorf über Eberndorf und Kühnsdorf zur Drau, eine zweite biegt bei Eberndorf Richtung Nordost ab. Im Mittleren Teil des Jauntales zieht eine Rinne von St. Stefan über Traundorf nach Norden und im Osten erstreckt sich eine Rinnenstruktur von Bleiburg nach Draurain. Die Entwässerung des Hauptaquifers im Norden wird durch zahlreiche sehr ergiebige Quellen entlang der Drau, die das Jauntal dort sehr tief einschneidet, dokumentiert. Die Quellschüttungen besonders ergiebiger Quellen (Peratschitzen-Quelle, Grabenquelle, Dobrowa- und Draurain-Quelle) liegen bei einer Menge von 300–600 l/s. Der Gesamtabfluss beträgt ca. 1.400 l/s (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Der östliche Teil des zentralen Jaunfeldes (zwischen Ruttach und St. Michael) entwässert zur Gänze in Richtung Dobrowa. Somit besteht auch die Möglichkeit einer Mischung mit den Wässern aus dem Wackendorfer Feld (direkte Versickerung und Versickerung Wackendorfer Bach) und einer Fließbewegung in Richtung der Dobrowa-Quellen, während der nordöstliche Teil des Feldes zu den Quellen von Draurain hin entwässert wird (ZOJER 1981).

2.2.4.7 Hydraulische Leitfähigkeit und Abstandsgeschwindigkeiten

Die mittlere hydraulische Durchlässigkeit liegt bei $3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Der kf-Wert des langsamen Anteils liegt bei $2 \cdot 10^{-4}$ m/s, der des raschen Anteils bei $2 \cdot 10^{-2}$ m/s (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.2.5 Grundwasserbilanz

Mit dem Infiltrationsanteil aus dem Niederschlag (1.455 l/s), zusammen mit der Grundwasseranreicherung durch die Bäche im Süden und Norden, steht dem Jauntal ein gesamtes Grundwasserdargebot von ca. 1.870 l/s zur Verfügung. Diesem stehen die Quellabflüsse in die Drau (1.460 l/s), sowie die Grundwasserentnahmen (260 l/s) gegenüber (SPENDLINGWIMMER & HEIß 1996).

Die Abschätzung der Aquifer-Durchflussmenge der östlichen Aquiferrinne (Abflussquerschnitt Replach–Heiligengrab) ergibt ca. 540 l/s. Die Abschätzung der Abflussmenge im Aquifer innerhalb der westlichen Tiefenrinne im Abflussquerschnitt Buchbrunn (bezogen auf den oberen höher durchlässigen Aquifer) liegt bei ca. 700 l/s.

2.2.5.1 Niederschlag

Die langfristige mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 1.028 mm mit einer Bandbreite von 877–1.275 mm (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.2.5.2 Interaktionen Oberflächengewässer und Grundwasser

Der südöstliche Bereich des Jaunfeldes wird durch die Freistritz entwässert, allmählich mit Grundwasser angereichert und oberflächlich in die Drau abgeführt (ZOJER 1981).

Den unterirdischen Abfluss des Jaunfeldes repräsentieren drei Quellgruppen (SPENDLINGWIMMER & HEIß 1996):

- Quellen um Kühnsdorf–Peratschitzen (Q 300 l/s), Tischollquelle und Kühnsdorfer Quellen mit Q gesamt 450–600 l/s
- Edling mit Q 450 l/s (ZOJER 1981) – 320 l/s
- Dobrowa-Draurain mit Q 500 l/s

Im westlichen Teil des Jaunfeldes liegt ein Grundwasserdargebot in der Rinne Eberndorf–Kühnsdorf von etwa 600–650 l/s vor (siehe Abbildung 14): Im östlichen und zentralen Teil gibt es keine Interaktionen zwischen Grundwässern und Oberflächengewässern (ZOJER 1981).

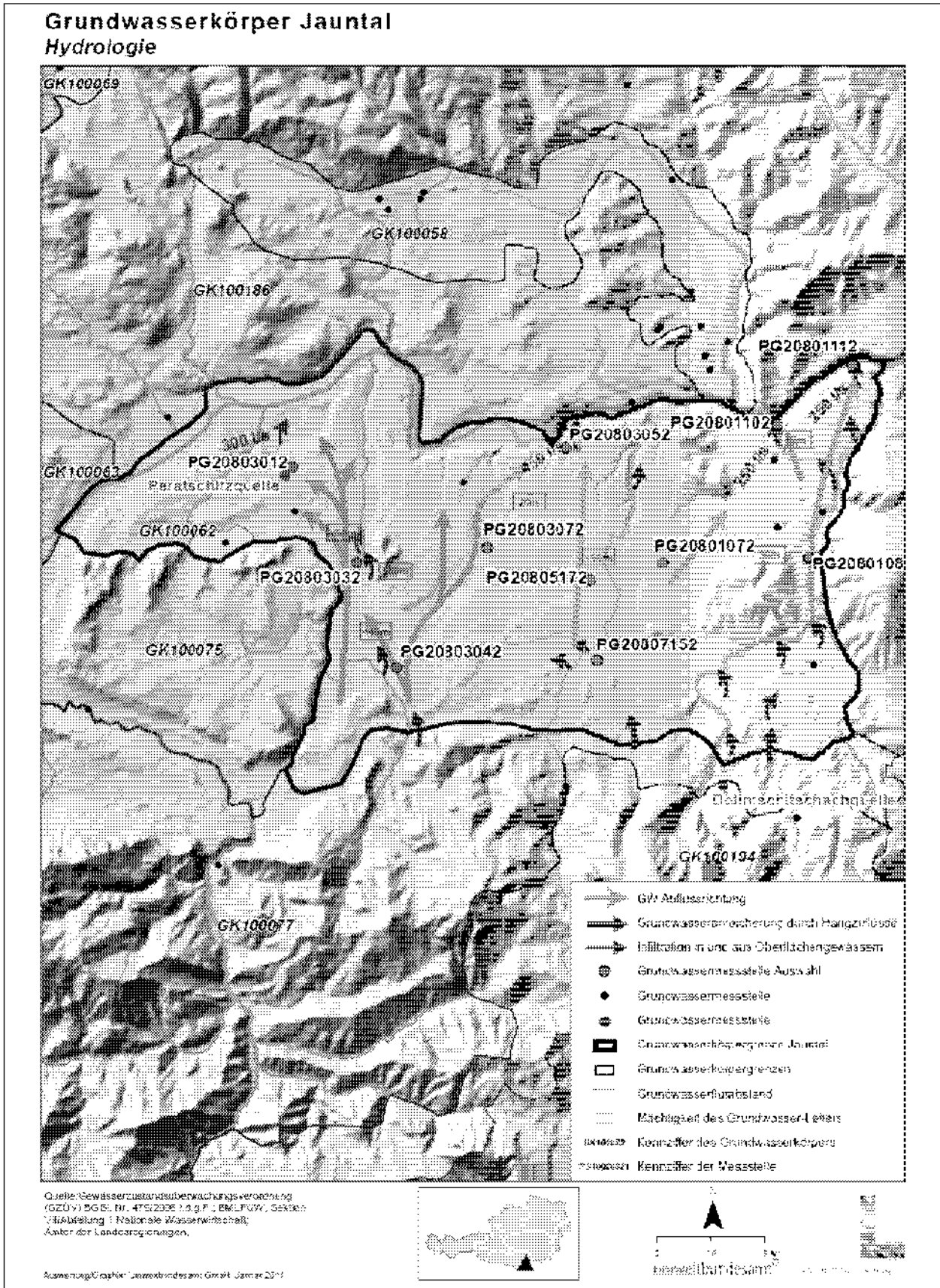


Abbildung 14: Schematisch dargestellte Hydrologie im Grundwasserkörper Jauntal (WENTER, 2009, zit. nach SPENDLINGWIMMER & HEIS 1996).

2.2.5.3 Grundwasserneubildung

Gut durchströmte Bereiche der Hauptaquifere deuten mit Mittleren Verweilzeiten von 5–10 Jahren auf eine vergleichsweise rasche Grundwassererneuerung hin. In isolierten Aquiferrandlagen oder abgeschirmten Bereichen des Grundwasserkörpers sind MVZ von bis zu 16 Jahren charakteristisch (SPENDLINGWIMMER & HEIß 1996).

Die GW-Neubildung erfolgt hauptsächlich im Winterhalbjahr über den Niederschlag. Des Weiteren spielt die Neubildung aus Oberflächengewässern eine nicht unerhebliche Rolle. Die Grundwasseranreicherung erfolgt neben lokal infiltriertem Niederschlag durch Oberflächenwässer aus den Südlichen Kalkalpen (Petzen). Einige der aus ergiebigen Karst-Überlaufquellen der Petzen-Topitza gespeisten Bäche führen bei Erreichen der Schotterflur zu einer erheblichen Anreicherung des Hauptaquifers (ca. 250–280 l/s) (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag über die Gesamtfläche des Jaunfeldes liegt im Bereich von 300 mm (SPENDLINGWIMMER & HEIß 1996) und 420 mm (ZOJER 1981):

- Versickerungsraten von Oberflächengewässern (ZOJER 1981): Suchabach: 120 l/s, Wackendorfer Bach: 70 l/s, einzelne Bäche am Petzenfuß: 40 l/s
- Infiltration: östliches Jaunfeld: 200 l/s, Übergang Ruttach–St. Michael: 120 l/s, Wackendorfer Feld: 90 l/s, Wackendorfer Bach: 70 l/s (gesamt = 480 l/s)

2.2.6 Hydrochemie

Die Tabelle 7 zeigt die Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser bei den für das Projekt ausgewählten 12 GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Jauntal. Die Lage der Messstellen mit den jeweiligen mittleren Nitrat-Konzentrationen des Jahres 2009 ist in Abbildung 16 dargestellt.

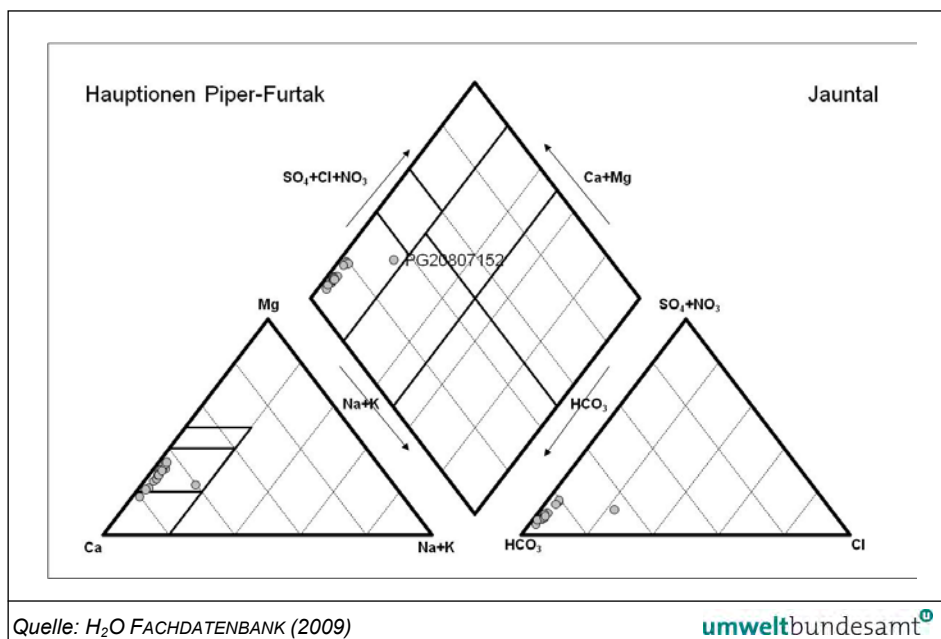


Abbildung 15: Hauptionen des Grundwassers der GZÜV-Messstellen im Jauntal, dargestellt in einem Piper-Furtak-Diagramm.

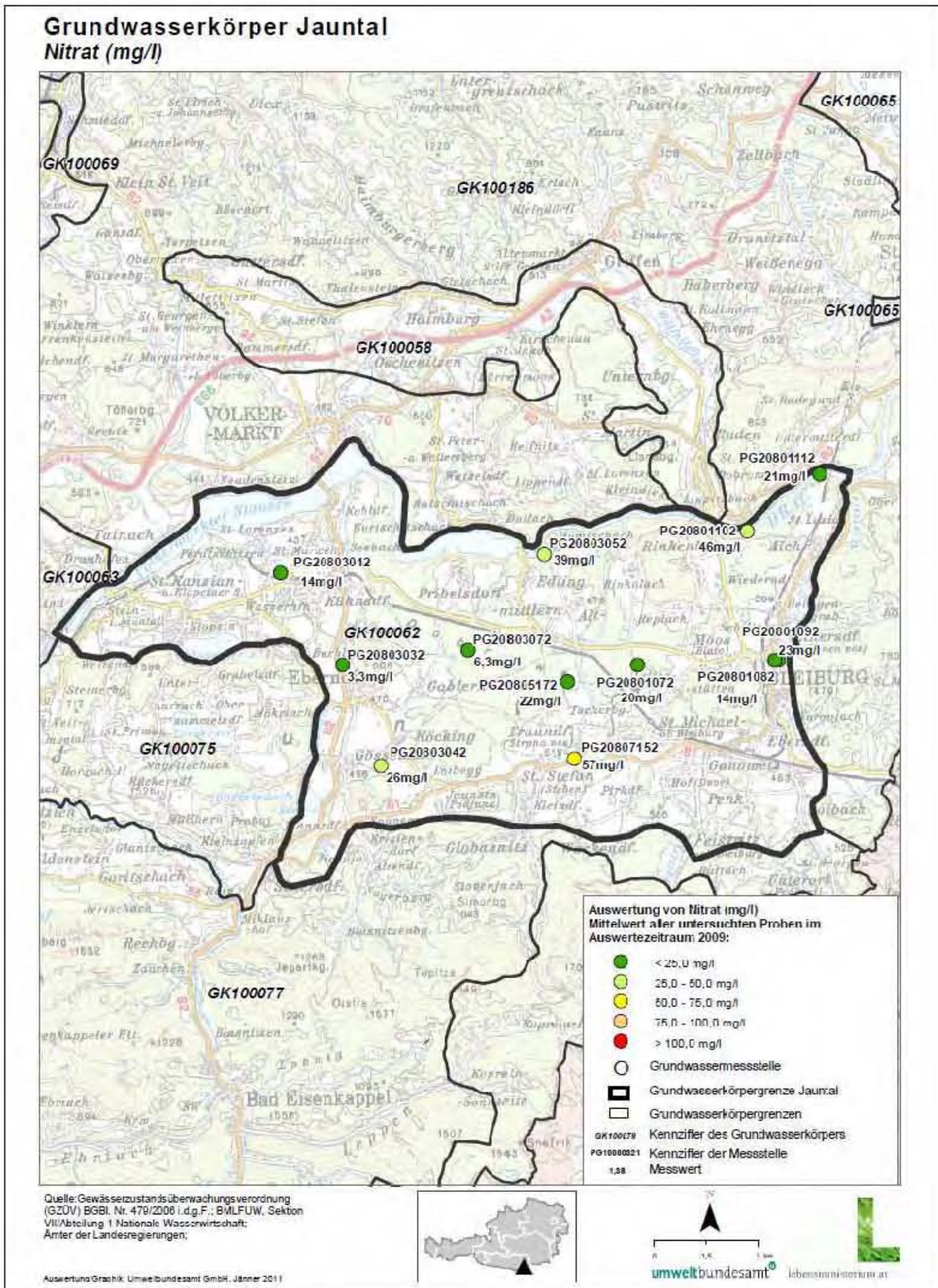


Abbildung 16: Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Jauntal (Mittelwert im Jahr 2009) (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Die Geochemie im Grundwasserkörper ist überwiegend erdalkalisch-karbonatisch (KRALIK et al. 2005). Die Zusammensetzung des Grundwassers der Sonde PG20807152 ist zu höheren Na- und Cl-Gehalten verschoben, was auf Belastungen durch Straßenstreuung und Landwirtschaft zurückzuführen ist.

Die Nitratgehalte im Wasser des Grundwasserkörpers Jauntal schwanken zwischen rd. 3 und 65 mg/l und betragen im Mittel 24 mg/l (2009). Auffällig gering (3 bzw. 6 mg/l) sind die mittleren Nitratgehalte in PG20803032 und PG20803072. Erhöht sind die Nitratgehalte in den Quellen (PG20803052 und PG20801102) nahe der Drau und besonders an den Messstellen PG20803042 und PG20807152 (26 bzw. 57 mg/l) im Süden des Grundwasserkörpers.

Die Tabelle 7 zeigt die Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser bei den für das Projekt ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Jauntal (H₂O FACHDATENBANK 2009). Die ausgewählten Messstellen weisen im Zeitraum 2009 im Mittel Nitrat-Konzentrationen zwischen 3,3 und 56,7 mg/l auf. Die Lage der Messstellen mit den jeweiligen mittleren Nitrat-Konzentrationen des Jahres 2009 ist in Abbildung 16 dargestellt.

Tabelle 7: Nitrat-Konzentrationen [mg/l] im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Jauntal (H₂O FACHDATENBANK 2009).

| Messstellen-bezeichnung | 1. Quartal 2009 | 2. Quartal 2009 | 3. Quartal 2009 | 4. Quartal 2009 | Mittelwert 2009 |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PG20801072 | | 19,3 | 20,0 | 19,6 | 19,6 |
| PG20801082 | | 14,1 | 14,1 | 13,1 | 13,8 |
| PG20801092 | | 24,3 | 22,3 | 21,2 | 22,6 |
| PG20801102 | | 49,0 | 45,5 | 42,7 | 45,7 |
| PG20801112 | | 20,4 | 20,2 | 21,6 | 20,7 |
| PG20803012 | | 14,3 | 13,0 | 13,7 | 13,7 |
| PG20803032 | | 4,2 | 3,1 | 2,7 | 3,3 |
| PG20803042 | | 27,7 | 26,0 | 24,7 | 26,1 |
| PG20803052 | | 39,3 | 39,0 | 38,4 | 38,9 |
| PG20803072 | | 7,5 | 4,7 | 6,6 | 6,3 |
| PG20805172 | | 21,0 | 22,8 | 21,4 | 21,7 |
| PG20807152 | | 52,4 | 52,3 | 65,3 | 56,7 |

2.2.7 Anthropogene Einflüsse

Anthropogene Einflüsse im Jauntal sind besonders durch Wasserentnahmen, Industrie, Altlasten, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Tourismus gegeben.

Tabelle 8: Landnutzung im Jauntal (nach CORINE 2000).

| | |
|---|--------|
| CORINE: 1. BEBAUTE FLÄCHE | 7,8 % |
| CORINE: 2. LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN | 45,5 % |
| CORINE: 3. WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN | 38,1 % |
| CORINE: 4. FEUCHTFLÄCHEN | 1,1 % |
| CORINE: 5. WASSERFLÄCHEN | 7,5 % |

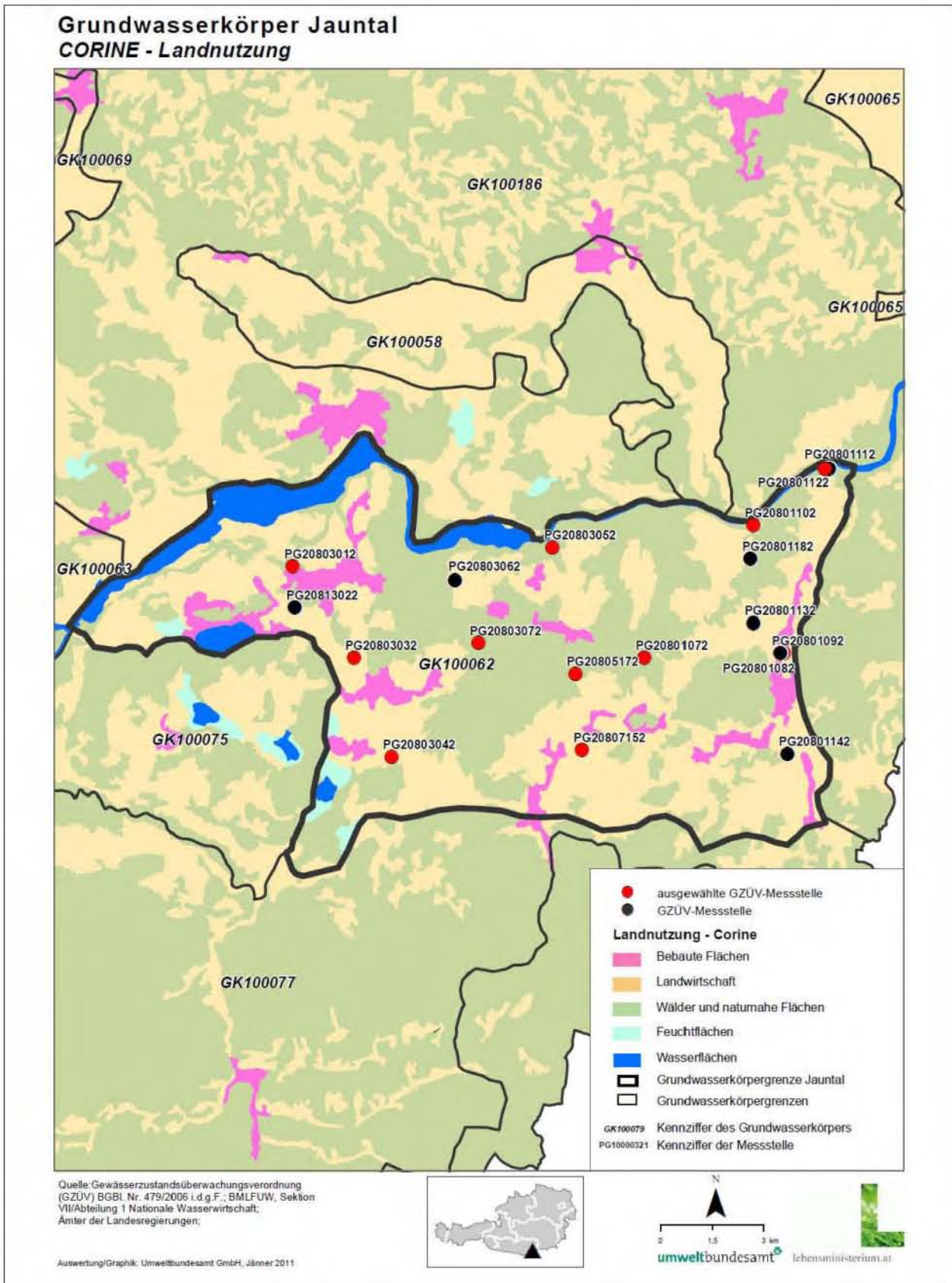


Abbildung 17: Landnutzung im Grundwasserkörper Jauntal (nach CORINE 2000).

2.3 Leibnitzer Feld

Die hydrogeologischen Verhältnisse des Leibnitzer Feldes wurden in der Arbeit von FANK et al. (1993) eingehend untersucht und dargestellt. Die folgenden Ausführungen zum Leibnitzer Feld entsprechen daher, bis auf wenige zitierte Ausnahmen dieser Arbeit.

2.3.1 Allgemeines

Der Grundwasserkörper „Leibnitzer Feld“ befindet sich in der Steiermark, südlich von Graz.

Der Einzel-Porengrundwasserkörper erstreckt sich in Nord-Süd-Richtung, beginnend ab der Enge von Wildon bis in den Raum östlich von Straß. Die Gesamtfläche umfasst 103 km² auf einer Seehöhe zwischen 157 und 340 m.ü.A.

2.3.2 Grundwasserkörpergrenzen

Der Grundwasserkörper wird im Norden durch den Kollischberg und Aframberg, im Osten durch die Hügel des Oststeirischen Neogenbeckens, im Süden durch die Mur sowie im Westen durch den Buchkogel und die Hügel des Weststeirischen Neogenbeckens begrenzt.

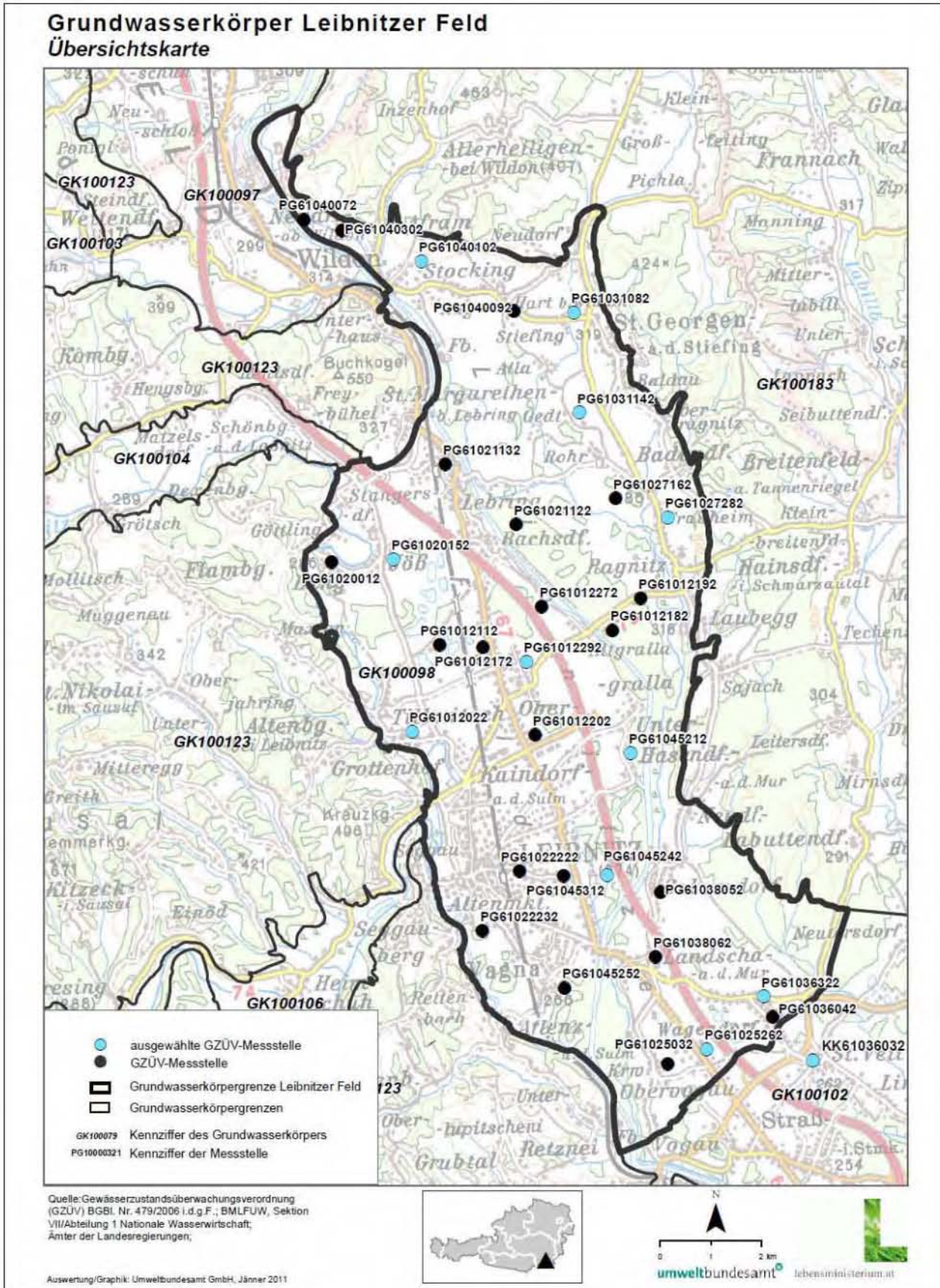


Abbildung 18: Übersichtskarte Grundwasserkörper Leibnitzer Feld mit GZÜV-Messstellen.

2.3.3 Überlagernde Schichten

2.3.3.1 Bodentypen

Es kommen im Wesentlichen vier Bodentypen nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung vor.

Tabelle 9: Bodentypen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung (H₂O FACHDATENBANK 2009).

| Boden – FAO-Soil Type Units | Anteil in % |
|-----------------------------|-------------|
| Bd – Dystric Cambisol | 0,5 |
| Je – Eutric Fluvisol | 79,6 |
| Oe – Eutric Histosol | 13,6 |
| Pg – Gleyic Podzol | 5,4 |
| Rest | 0,9 |

2.3.3.2 Deckschicht und Flurabstand

Über 75 % des Grundwasserkörpers sind mit Deckschichten versehen, wobei es sich überwiegend um Lehme unterschiedlicher Mächtigkeit handelt. Die Grundwasserüberdeckung variiert in Abhängigkeit von der Oberflächenmorphologie zwischen weniger als 2 m im Bereich der Talauen und mehr als 8 m im Bereich der Hochterrassen im nordöstlichen Leibnitzer Feld und im Bereich der Reißterrasse im Raum Jöß. Im westlichen Leibnitzer Feld liegen die Grundwasserüberlagerungen bei mittlerem GW-Stand zwischen 4 und 7 m.

Ein geringes Nitratrückhaltevermögen zeigen die Deckschichten im Bereich der Mur und im Großteil des Südens bzw. Südwestens des Grundwasserkörpers (aus der Karte: Nitratrückhaltevermögen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 2006).

2.3.4 Grundwasserleiter

2.3.4.1 Druckverhältnisse

Im GWK herrschen freie Druckverhältnisse.

2.3.4.2 Aquifermächtigkeit

Die beiden Teilfluren (höhere Teilflur der Niederterrasse – Hauptterrasse des Leibnitzer Feldes – und tiefere Teilflur) werden aus im Durchschnitt 6–10 m mächtigen Schottern (sandiger Kies mit Steinen) aufgebaut (FANK et al. 1993). Die fluviatilen Kiese zeigen auf engstem Raum typische Inhomogenitäten – es treten sowohl laterale wie auch vertikale Änderungen der Sedimentzusammensetzung auf (FANK et al. 1993). Die Auzonen der Mur zeigen über dem älteren Untergrund einen Schotterkörper, der durchwegs zwischen 4 und 6 m Mächtigkeit erreicht. Aufbau und Zusammensetzung des Sand-Kies-Körpers entsprechen denen der Niederterrassen. Die murnahen Bereiche sind häufig durch Rinnenlandschaften gekennzeichnet, wobei die Rinnen mit Feinsedimenten verfüllt sind.

2.3.4.3 Grundwasserstauer

Der Grundwasserstauer des seichtliegenden Talgrundwassers wird aus Neogensedimenten aufgebaut.

Die quartäre Talfüllung liegt einem Relief mit relativ einheitlicher Konfiguration auf, das Gefälle entspricht ca. dem des heutigen Murlaufes. In dem flachwelligen Relief mit durchwegs seichten und breiten Muldenzonen sind nur einige Ansätze von Hohlformen festzustellen, die dem Charakter von Tiefenrinnen entsprechen. Der präquartäre Untergrund wird größtenteils aus schluffig-sandigen bzw. tonigen Gesteinen (Sand, Sandstein, Schluff, Ton, Mergel, Tonmergel, „Tegel“) des Jungtertiär aufgebaut. Im nordöstlichen Leibnitzer Feld wurden unter den Quartärschottern Leithakalke erbohrt.

2.3.4.4 Mächtigkeiten des Grundwasserkörpers

Mächtigkeit des GWK von 2–8 m

Bei mittlerem Grundwasserstand weist der seichtliegende quartäre Grundwasserkörper Mächtigkeiten zwischen weniger als 2 m in grundgebirgsnahen Randlagen und mehr als 8 m in kleinen Teilbereichen in der Nähe der Mur (Raum Lebring) auf (Abbildung 19). Grundwassermächtigkeiten von mehr als 4 m werden nur in den schon wasserwirtschaftlich genutzten Bereichen im nordöstlichen Leibnitzer Feld sowie im Bereich von Kaindorf und Tillmitsch im westlichen Leibnitzer Feld erreicht (H₂O FACHDATENBANK 2009).

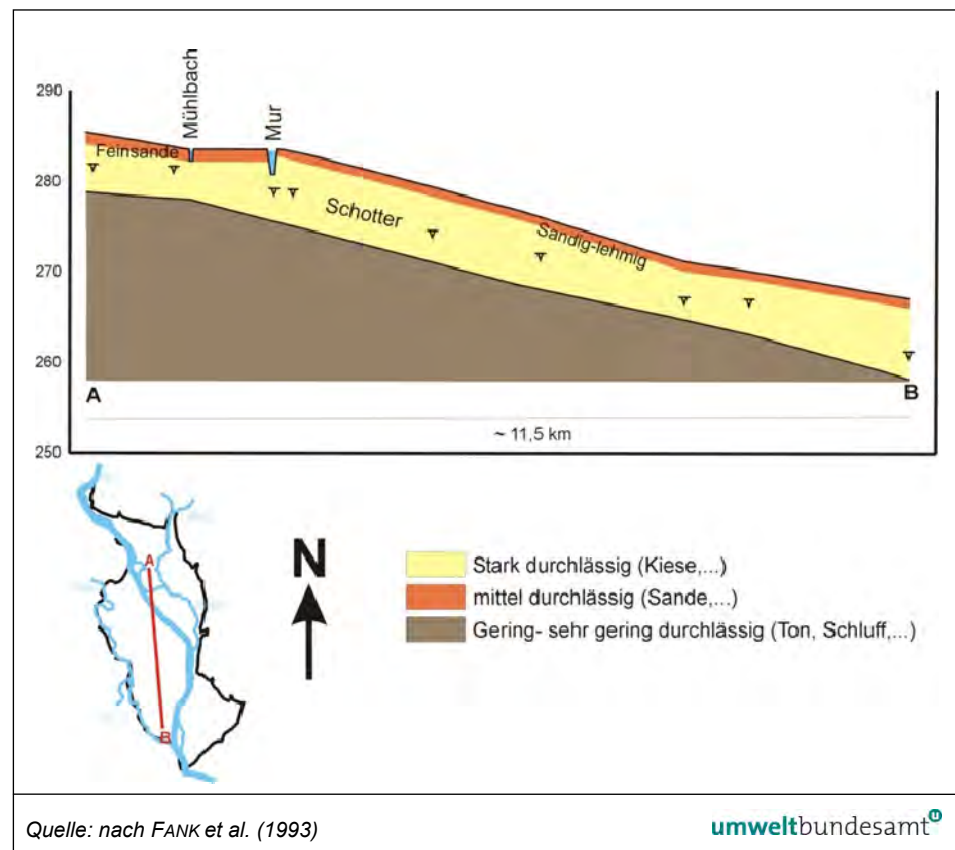


Abbildung 19: Schematischer Schnitt durch das Leibnitzer Feld.

2.3.4.5 Petrographie des Grundwasserleiters

Bei den quartären Ablagerungen werden die Auzonen, die würmzeitlichen Niederterrassen und risszeitlichen Hochterrassen (z. B. Helfbrunner Flur) unterschieden. Die Niederterrassen sind in zwei Teilfluren untergliedert, wobei der Abfall von der höheren zur tieferen Teilflur meist um die 5 m beträgt. Die Mächtigkeit der beiden Teilfluren beträgt durchschnittlich 6–10 m. Die Niederterrasse wird meist aus vorwiegend gering schluffigen, sandigen Kiesen mit Steinen aufgebaut. Die Auzonen an der Mur zeigen ebenfalls einen Aufbau aus schwach schluffigen, sandigen Kiesen, über denen im Gegensatz zur Niederterrasse eine 1,5–3 m mächtige Aulehmdecke liegt. Die Mächtigkeit der Sedimente der Austufe liegt meist zwischen 4 und 6 m.

2.3.4.6 Grundwasserabflussrichtungen

Der nordöstliche Teil des Leibnitzer Feldes ist durch ein murparalleles Abströmen des Grundwassers in Richtung Südosten geprägt. Der Begleitstrom der Stiefing, die selbst über dem Grundwasser hängt und außer bei Hochwasser keinen Einfluss auf das Strömungsverhalten nimmt, bewirkt beim Zusammenreffen mit dem Mur-Begleitgrundwasserstrom ein Umbiegen der Strömungsrichtung gegen Süden. Am östlichen Rand des Leibnitzer Feldes im Bereich südlich von Steinfeld bis an die Mur nach Osten gewinnt abströmendes Grundwasser von den umrahmenden Hängen her immer größere Bedeutung. Die Strömungsrichtung in diesem Bereich ist NE-SW-orientiert und trifft auf den Mur-Begleitstrom, was einen deutlichen Knick der Grundwassergleichen bedingt. Dieses deutliche Anströmen von den Hängen her ist hauptsächlich durch den Anstieg des Untergrundreliefs und die dadurch bedingten Gefälleverhältnisse und schlechteren Durchlässigkeiten als in den zentralen Bereichen der Schotterterrassen zu erklären (BERNHART 1973).

Die generelle Fließrichtung im westlichen Leibnitzer Becken ist NNW-SSE orientiert. Für Teilbereiche im äußersten Westen wird die Laßnitz bzw. die Sulm zur Vorflut für das Grundwasser. Die unterschiedlichen Gefälleverhältnisse der Grundwasser-Oberfläche im Nordwesten des westlichen Leibnitzer Feldes zum übrigen Teil drücken den Übergang von der Rißterrasse zur Würmterrasse aus. In der wesentlich schlechter durchlässigen Rißterrasse erfolgt eine Gefälleverteilung von 5–6 ‰.

Im südöstlichen Leibnitzer Feld (Übergang zum Unteren Murtal) bewirkt einströmendes Grundwasser aus der Helfbrunner Terrasse eine N-S-gerichtete Strömung, die aber durch den Begleitgrundwasserstrom der Mur bald in Richtung NW-SE umschwenkt und im spitzen Winkel auf die Mur hin ausgerichtet ist.

Das Kraftwerk Gralla bewirkt im südöstlichen Teil des nordöstlichen Leibnitzer Feldes ein Zuströmen des Grundwassers zur Mur mit relativ steilem Gefälle. Verstärkt wird diese dadurch ausgebildete Rinne in der Grundwassermorphologie durch eine Rinnenstruktur im Relief der Grundwassersohle.

2.3.4.7 Hydraulische Leitfähigkeit und Abstandsgeschwindigkeiten

Die Durchlässigkeiten des Aquifers liegen zwischen $1 \cdot 10^{-4}$ und $2 \cdot 10^{-2}$ m/s (H₂O FACHDATENBANK 2009). Insgesamt gesehen sind die Unterschiede in den Durchlässigkeitsbeiwerten im gesamten Grundwasserkörper Leibnitzer Feld eher

klein. Mit Ausnahme der lokal sehr unterschiedlichen k_f -Werte im Raum Vogau bewegen sich die übrigen zwischen $2 \cdot 10^{-3}$ und $7 \cdot 10^{-3}$ m/s. Generell sind die besseren Durchlässigkeiten in den Talauen von Mur und Sulm anzutreffen. Die nutzbaren Porositäten auf Nieder- und Hochterrassen liegen zwischen 6 und 9 % und im Aubereich zwischen 9 und 18 % (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Die Abstandsgeschwindigkeiten bewegen sich in der Größenordnung von 0,4–8,5 m/d (150–3.100 m/a).

2.3.5 Grundwasserbilanz

Bei mittlerem Grundwasserstand beträgt der Durchfluss auf Höhe der Stadt Leibnitz 125 l/s (FANK 1999).

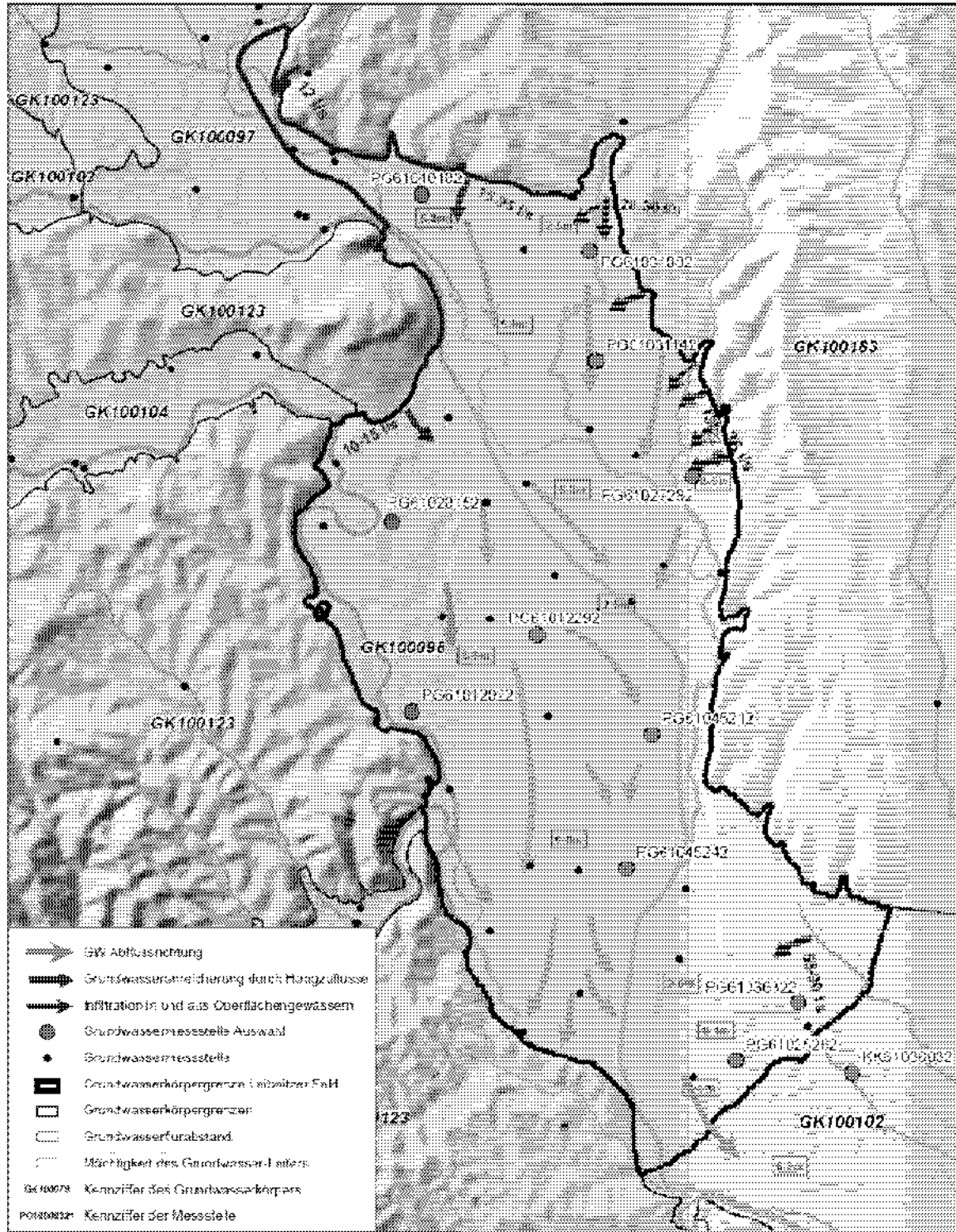
2.3.5.1 Niederschlag und Evaporation

Die langfristige mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt im Leibnitzer Feld 902 mm mit einer Bandbreite von 848 bis 939 mm (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.3.5.2 Interaktionen Oberflächengewässer und Grundwasser

- Starke Interaktion der Vorfluter Stiefing, Auenhofbach, Haslachbach und Mühlgang mit dem Grundwasser.
- In vielen Bereichen der Au drainagieren Oberflächenwässer das Grundwasser.
- Die Oberflächengerinne und Altarme der Bäche Sulm und Laßnitz kommunizieren mit dem Grundwasser.
- Die Stiefing ist ein bedeutender Faktor für die Grundwasserneubildung des nordöstlichen Leibnitzer Feldes, die Alimentation des Grundwassers hängt stark von der Wasserführung des Gerinnes ab.
- Der Weissenegger Mühlkanal hat fast auf seiner ganzen Länge Kontakt mit dem Grundwasser und steht mit diesem in ständiger Wechselwirkung, besonders mit dem seichtliegenden Grundwasser in der Au zwischen Mühlgang und Mur.
- Das Uferfiltrat der Mur alimentiert in bedeutendem Ausmaß das Grundwasser.

Grundwasserkörper Leibnitzer Feld Hydrologie



Quelle: Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. Nr. 47/2006 i.d.F. i.B.M.F.U.V., Sektion V/1/Abteilung 3 Nationale Wasserwirtschaft, Amt der Landesregierungen

Auswertungsdatum: 06.04.2011, 09.04.2011

Abbildung 20: Schematisch dargestellte Hydrologie im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld (WENTER 2010, zit. nach FANK et al. 1993).

2.3.5.3 Grundwasserneubildung

Nach dem Grundwassermodell „Leibnitzer Feld“ (Simulationszeitraum 1987) ergibt sich eine Neubildung aus versickerndem Niederschlag (340 mm/a, Durchschnittswert der Jahre 1971–1990) von etwa 28 Mio. m³ (71 %), gefolgt von den Interaktionen mit den kommunizierenden Oberflächengewässern (18 %) und den Randzuflüssen mit 4,4 Mio. m³ (11 %).

Lokal tretende Anreicherung aus den unterlagernden Leithakalken auf.

Bei einer Gesamtfläche von 105 km² einer angenommenen mittleren Grundwassermächtigkeit von 4 m und einem Speicherkoeffizienten von rund 13 % ergibt sich ein Grundwasservolumen von 54,6 Mio. m³. Bei einer Gesamtgebietsfläche von rund 100 km² beträgt die Abflussspende aus der Grundwasserneubildung innerhalb des Leibnitzer Feldes im Mittel 10 l/s pro km² (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.3.6 Hydrochemie

Die überwiegende Geochemie im GWK ist silikatisch/karbonatisch (H₂O FACHDATENBANK 2009).

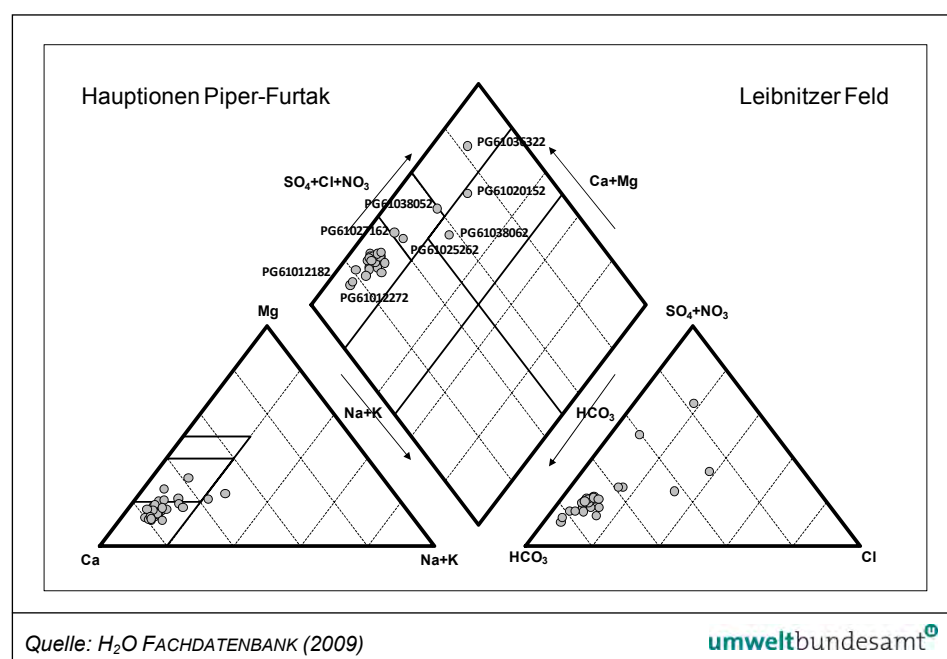


Abbildung 21: Hauptionen des Grundwassers der GZÜV-Messstellen im Leibnitzer Feld, dargestellt in einem Piper-Furtak-Diagramm.

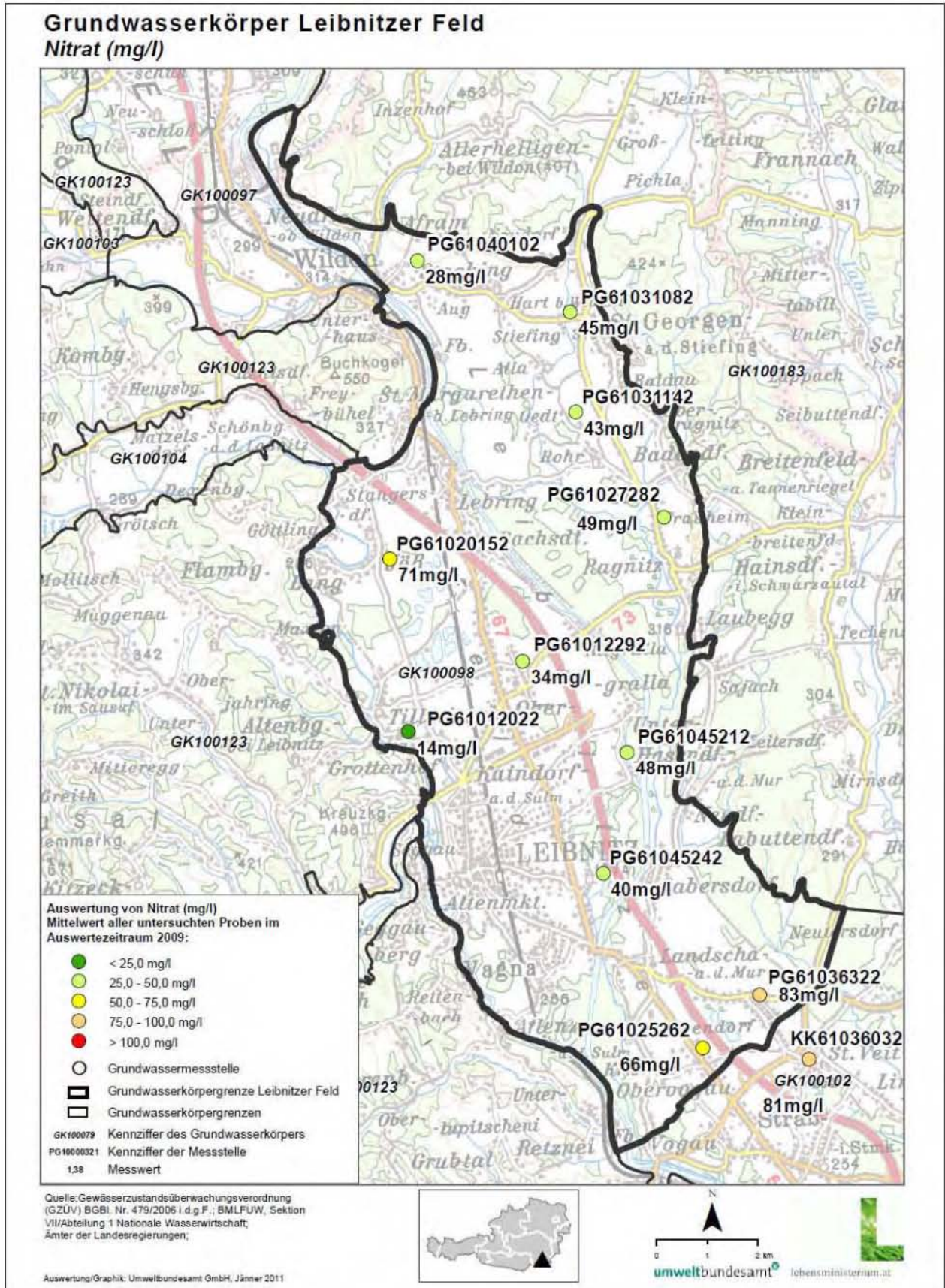


Abbildung 22: Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld (Mittelwert im Jahr 2009) (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Die Tabelle 10 zeigt die Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser bei den für das Projekt ausgewählten 12 GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld (H₂O FACHDATENBANK 2009). Die ausgewählten Messstellen weisen im Zeitraum 2009 im Mittel Nitrat-Konzentrationen zwischen 28,3 und 82,6 mg/l auf. Eine Ausnahme ist die Messstelle PG61012022 mit nur 14 mg/l. Die Lage der Messstellen mit den jeweiligen mittleren Nitrat-Konzentrationen des Jahres 2009 ist in Abbildung 22 dargestellt.

Tabelle 10: Nitrat-Konzentrationen [mg/l] im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld (H₂O FACHDATENBANK 2009).

| Messstellen- bezeichnung | 1. Quartal 2009 | 2. Quartal 2009 | 3. Quartal 2009 | 4. Quartal 2009 | Mittelwert 2009 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| PG61012022 | 14,7 | 12,2 | 16,1 | 12,9 | 14,0 |
| PG61012292 | 35,6 | 37,3 | 28,2 | 34,6 | 33,9 |
| PG61020152 | 62,4 | 71,0 | 73,6 | 76,7 | 70,9 |
| PG61025262 | 62,3 | 60,6 | 62,4 | 78,1 | 65,9 |
| PG61027282 | 47,0 | 49,9 | 52,7 | 46,2 | 49,0 |
| PG61031082 | 43,9 | 46,2 | 45,0 | 44,8 | 45,0 |
| PG61031142 | 45,2 | 45,4 | 44,1 | 38,8 | 43,4 |
| PG61036322 | 73,0 | 80,0 | 86,5 | 90,8 | 82,6 |
| PG61040102 | 24,7 | 27,1 | 29,8 | 31,7 | 28,3 |
| PG61045212 | 41,3 | 54,3 | 52,3 | 42,8 | 47,7 |
| PG61045242 | 56,1 | 44,4 | 15,9 | 41,5 | 39,5 |
| KK61036032 | 79,7 | 71,8 | 76,7 | 96,6 | 81,2 |

2.3.7 Anthropogene Einflüsse

Anthropogene Einflüsse auf das Grundwasser sind durch Wasserentnahmen, Bauwerke, Industrieanlagen, ausgewiesene Altlasten, Tourismus sowie Land- und Forstwirtschaft gegeben (H₂O FACHDATENBANK 2009). Zudem erfolgt eine Nutzung im großen Maßstab zur Trinkwasserversorgung und zu gewerblichen Zwecken. Besonderen Schutz genießen die Grundwasservorkommen durch die Schongebiete „Nordöstliches Leibnitzer Feld“, „Westliches Leibnitzer Feld“, „Ragnitz“ und „Ehrenhausen“ sowie durch eine Reihe von weiteren Schutzgebieten. Starke Eingriffe in die ehemaligen Strömungsverhältnisse im murnahen Bereich erfolgen durch Kraftwerksbauten.

Basierend auf Auswertungen von Corine Landcover 2000-Daten (CORINE 2000) ergibt sich über dem Grundwasserkörper Leibnitzer Feld die in Tabelle 11 dargestellte anteilmäßige Verteilung der Landnutzung.

Tabelle 11: Landnutzung im Leibnitzer Feld (nach CORINE 2000).

| | |
|---|--------|
| CORINE: 1. BEBAUTE FLÄCHE | 19,4 % |
| CORINE: 2. LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN | 61,3 % |
| CORINE: 3. WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN | 14,8 % |
| CORINE: 5. WASSERFLÄCHEN | 4,5 % |

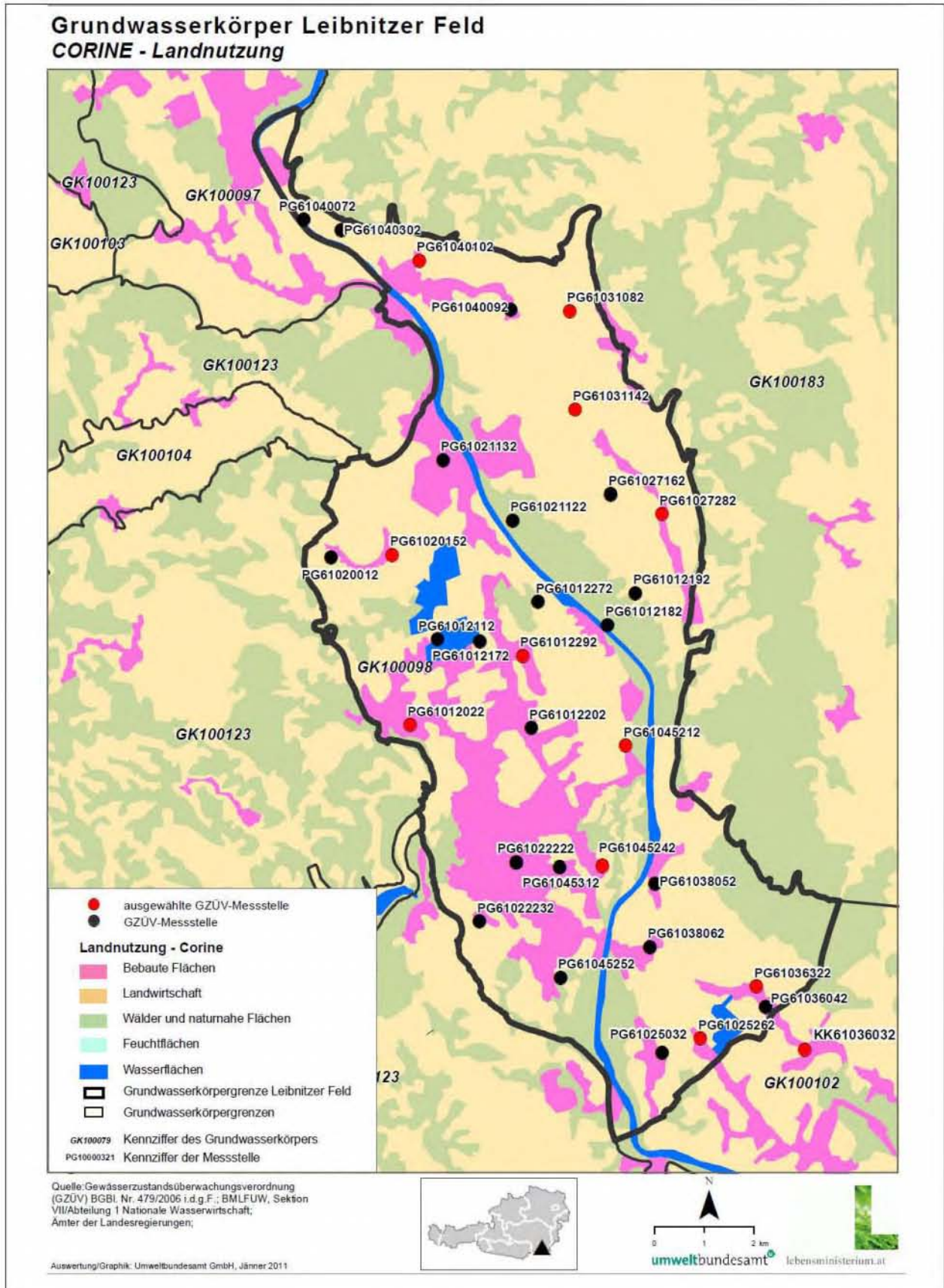


Abbildung 23: Landnutzung im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld (nach CORINE 2000).

2.4 Rheintal

2.4.1 Allgemeines

Der Grundwasserkörper Rheintal befindet sich in Vorarlberg, südlich des Bodensees. Die Fläche des oberflächennahen Grundwasserkörpers beträgt 202 km², wobei die maximale Breite des Einzelgrundwasserkörpers bei 10 km, die Längserstreckung bei 40 km liegt. Die mittlere Seehöhe über die Gebietsfläche beträgt 418 m.ü.A. mit einer Bandbreite von 395–539 m.ü.A. (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.4.2 Grundwasserkörpergrenzen

Die Westgrenze wird vom Rhein, die Nordgrenze vom Bodensee gebildet. Im Osten des Grundwasserkörpers ist eine Umrahmung der Talniederung durch Gebirgskörper morphologisch deutlich ausgeprägt.

2.4.3 Überlagernde Schichten

2.4.3.1 Bodentypen

Es kommen sieben Bodentypen nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung vor (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Tabelle 12: Bodentypen im Grundwasserkörper Rheintal nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung (H₂O FACHDATENBANK 2009).

| Boden – FAO-Soil Type Units | Anteil in % |
|-----------------------------|-------------|
| Bd – Dystric Cambisol | 0,5 |
| Je – Eutric Fluvisol | 79,6 |
| Oe – Eutric Histosol | 13,6 |
| Pg – Gleyic Podzol | 5,4 |
| Rest | 0,9 |

2.4.3.2 Deckschicht und Flurabstand

Der Anteil einer ausgebildeten Deckschicht mit geringer Durchlässigkeit beträgt zwischen 25 und 50 % der Grundwasserkörperfläche, die Mächtigkeit beträgt im Mittel 5 m mit einer Bandbreite von 0,5–15 m. Diese Deckschichten werden hauptsächlich durch siltig/schluffige Sande und Schluffe aufgebaut.

Der mittlere Flurabstand im Grundwasserkörper Rheintal liegt bei 10 m, mit einer Bandbreite von 1–30 m. Die Standrohrspiegelhöhen im Referenzzeitraum vom 1.1.1980 bis 31.12.2002 schwankten im Mittel um 6 m mit einer Schwankungsbandbreite von 0,4–20 m (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Das Nitratrückhaltevermögen ist im Norden des Grundwasserkörpers überwiegend mit „mittel bis hoch“ zu beurteilen, für den Südteil des Grundwasserkörpers sind diesbezüglich keine Daten verfügbar (aus der Karte: Nitratrückhaltevermögen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 2006).

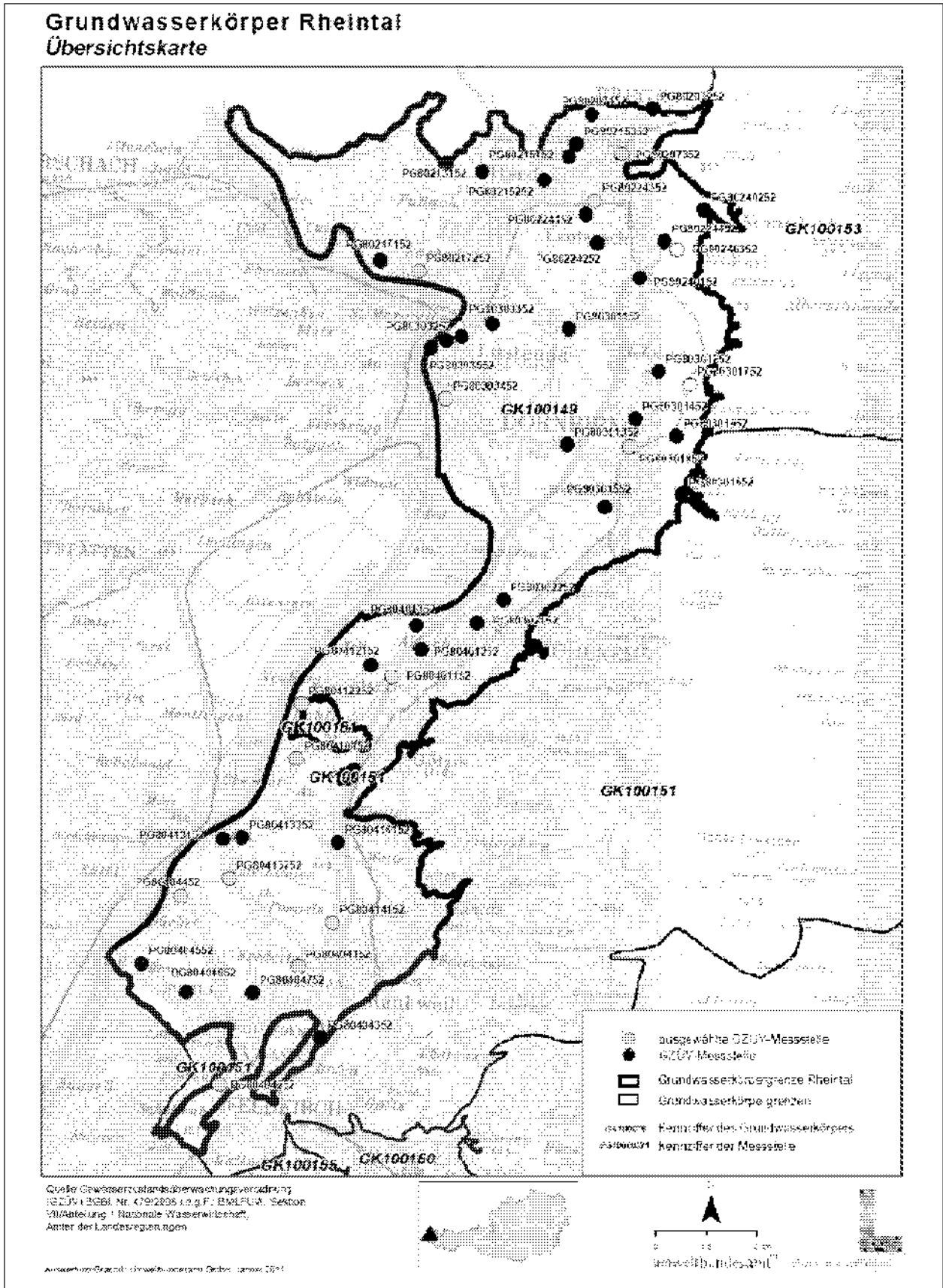


Abbildung 24: Übersichtskarte Grundwasserkörper Rheintal mit GZÜV-Messstellen.

2.4.4 Grundwasserleiter

2.4.4.1 Druckverhältnisse

Im Grundwasserkörper herrschen im Bereich des Schwemmfächers der Bregenzerach im Norden und im Bereich des Schwemmfächers der Ill im Süden überwiegend freie Druckverhältnisse. In den Bereichen dazwischen ist das Grundwasser gebietsweise gespannt, teilweise sogar artesisch gespannt.

2.4.4.2 Aquifermächtigkeit

Die mittlere Aquifermächtigkeit liegt bei 30 m mit einer Bandbreite von 1–70 m (H₂O FACHDATENBANK 2009). Die Mächtigkeit der Schwemmfächer ist begrenzt und überschreitet 50 m nur selten.

2.4.4.3 Grundwasserstauer

Der Grundwasserstauer ist überwiegend aus tonigen, schluffigen Ablagerungen aufgebaut (H₂O FACHDATENBANK 2009). Daten zur Tiefe der Staueroberkante liegen nicht vor.

2.4.4.4 Petrographie des Grundwasserleiters

Petrologischer Hauptanteil des Porengrundwasserleiters Rheintal ist Mittelkies mit Nebenanteil Feinsand. Leistungsfähige Porengrundwasserkörper treten in erster Linie im Bereich der Schwemmfächer der großen Seitenflüsse (Ill, Bregenzerach, Dornbirnerach) sowie der in das Haupttal mündenden Bäche auf. Parallel zum Alpenrhein tritt ein langgestreckter Porengrundwasserkörper auf, der in erster Linie aus Sand- und Kiesablagerungen des Rheins aufgebaut wird (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.4.4.5 Grundwasserabflussrichtungen

Die Hauptabflussrichtungen verlaufen im Grundwasserkörper vom Rand zum Rhein hin, des Weiteren ist ein Begleitgrundwasserstrom zum Rhein ausgebildet. Im Schwemmfächer der Bregenzerach verläuft die Hauptabflussrichtung zum Bodensee.

2.4.4.6 Hydraulische Leitfähigkeit und Abstandsgeschwindigkeiten

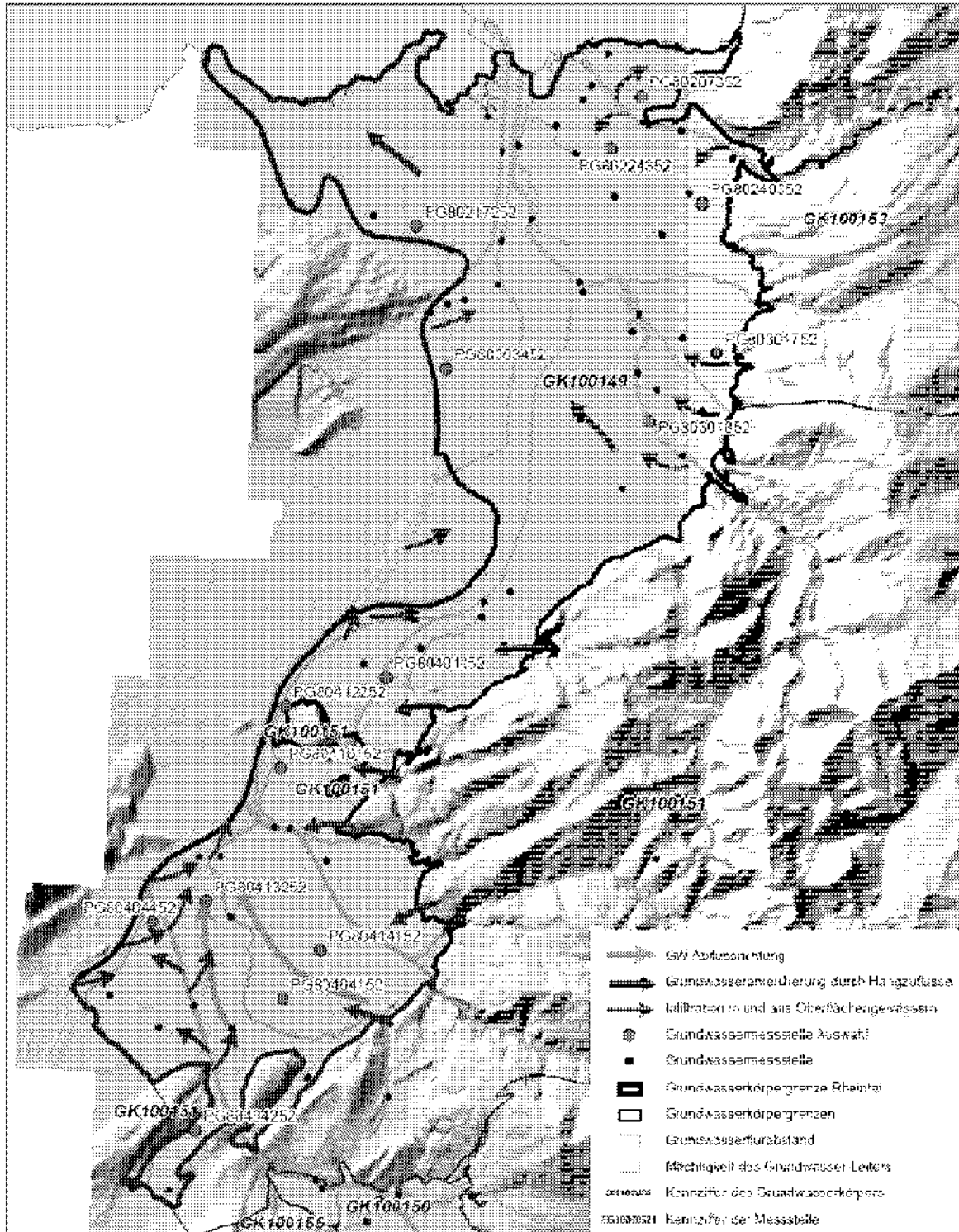
Die mittlere hydraulische Durchlässigkeit beträgt $5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Der kf-Wert des langsamen Teils liegt bei $1 \cdot 10^{-5}$ m/s, der des raschen Teils bei $1 \cdot 10^{-2}$ m/s (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.4.5 Grundwasserbilanz

2.4.5.1 Niederschlag

Die langfristige mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 1.436 mm mit einer Bandbreite von 1.191–2.275 mm/a (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Grundwasserkörper Rheintal Hydrologie



Quelle: Gewässerschutzabteilung der Landesregierung (GZU) BGBl. Nr. 475/2006 i. d. F., BMLFUW, Sektion Vitiabteilung / Nationale Wasserwirtschaft, Amt der Landesregierung.

Auswertung: Graphik, Umweltbundesamt, Wien, Jänner 2011

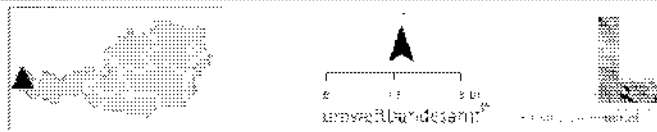


Abbildung 25: Schematisch dargestellte Hydrogeologie im Grundwasserkörper Rheintal (WENTER 2009).

2.4.5.2 Interaktionen Oberflächengewässer und Grundwasser

Größere Grundwassermengen finden sich nur im Nahbereich des Rheins sowie im Schwemmfächer der Ill und der Bregenzerach und in einigen Bereichen der Schuttkegel der Seitenbäche.

In den Bereichen mit quartärer Bedeckung erfolgt der Kontakt zwischen fließendem Bergwasser und stagnierendem Talgrundwasser (OBERHAUSER 1991).

2.4.5.3 Grundwasserneubildung

Der Hauptanteil der Grundwasserneubildung erfolgt durch flächenhafte Versickerung des Niederschlags, zusätzlich spielt die Neubildung durch Oberflächengewässer eine Rolle. Des Weiteren gibt es unterirdische Zuflüsse von Karstwässern in den Grundwasserkörper (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Beim Ill-Schwemmfächer erfolgt die Alimentation durch die Versickerung der Niederschläge, Versickerung der Ill und den unterirdischen Zustrom aus dem Raum Brederis (siehe Abbildung 25). Beim Schwemmfächer der Bregenzerach erfolgt die Alimentation des Grundwassers durch Versickerung von Niederschlägen im Grundwasserfeld, durch Randzuflüsse und vor allem durch Infiltration aus der Bregenzerach. Die Alimentation des Grundwasserkörpers parallel zum Alpenrhein erfolgt hauptsächlich durch Infiltration des Rheins und zum Teil durch Grundwasserzuflüsse aus den Schwemmfächern der Nebenflüsse. Der Schwemmfächer der Dornbirnerach ist zum Teil mit den Schwemmfächern der kleineren nördlich und südlich gelegenen Bäche überschritten. Die Alimentation erfolgt durch Versickerung der Niederschläge und Versickerung der Bäche in ihren Schwemmkegeln (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Vor allem die in Rheintalnähe großflächig aufgeschlossenen Schratzenkalke bilden zusammen mit aufliegendem klüftigem Sandstein und Kalken einen verkarstungsfähigen Komplex, der unterirdisch Karstwässer der Talebene zuführt (OBERHAUSER 1991).

2.4.6 Hydrochemie

Die Aquifer Geochemie ist überwiegend erdalkalisch-carbonatisch (teils Ca-teils Ca/Mg-dominant) und zusätzlich sulfatisch beeinflusst (KRÁLIK et al. 2005). Grundwasser der Sonde PG80401152 fällt in das Feld der erdalkalisch-alkalisch-carbonatischen Zusammensetzung, da vermutlich eine massive Beeinflussung der Salzstreuung auf der nahen Autobahn vorliegt.

In den Gebieten, wo das Grundwasser sich nicht bewegen kann, fehlt auch oberflächennah der Sauerstoff und es besteht eine hohe Mineralisierung mit hohen Eisen- und Mangangehalten (OBERHAUSER 1991).

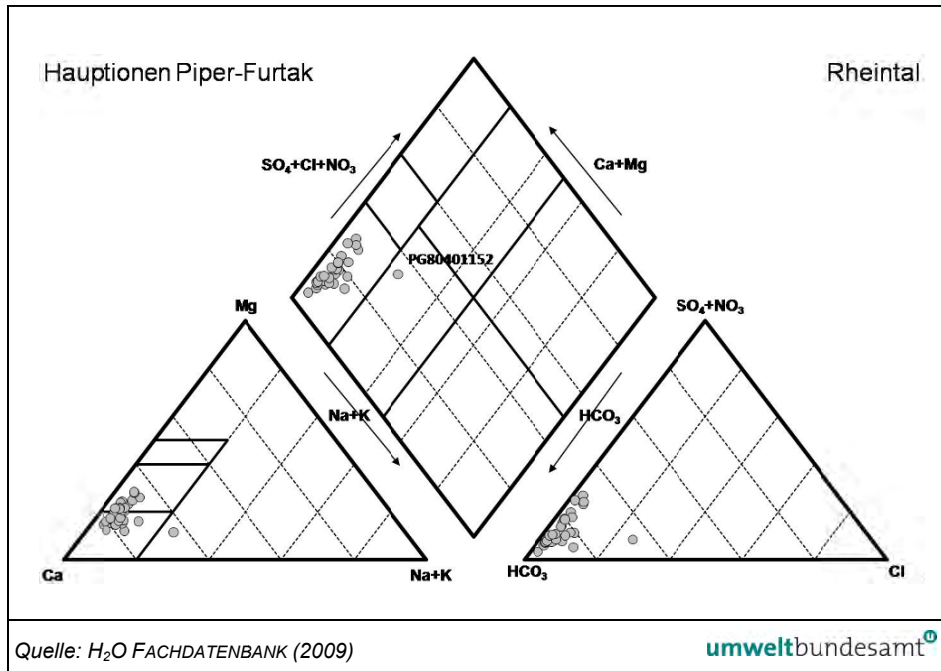


Abbildung 26: Hauptionen des Grundwassers der GZÜV-Messstellen im Rheintal, dargestellt in einem Piper-Furtak-Diagramm.

Tabelle 13: Nitrat-Konzentrationen [mg/l] bei den ausgewählten Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Rheintal.

| Messstellen-bezeichnung | 2. Quartal 2009 | 4. Quartal 2009 | Mittelwert 2009 |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PG80207352 | 5,0 | 4,2 | 4,6 |
| PG80217252 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| PG80224352 | 0,1 | 1,2 | 0,7 |
| PG80240352 | 7,1 | 6,9 | 7,0 |
| PG80301752 | 3,5 | 4,1 | 3,8 |
| PG80301852 | 1,6 | 0,7 | 1,1 |
| PG80303452 | 0,9 | 0,1 | 0,5 |
| PG80401152 | 6,2 | 3,3 | 4,8 |
| PG80404152 | 16,0 | 15,0 | 15,5 |
| PG80404252 | 0,1 | 0,4 | 0,2 |
| PG80404452 | 4,9 | 5,7 | 5,3 |
| PG80410152 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| PG80412252 | 13,0 | 13,0 | 13,0 |
| PG80413252 | 2,5 | 14,0 | 8,3 |
| PG80414152 | 7,0 | 7,6 | 7,3 |

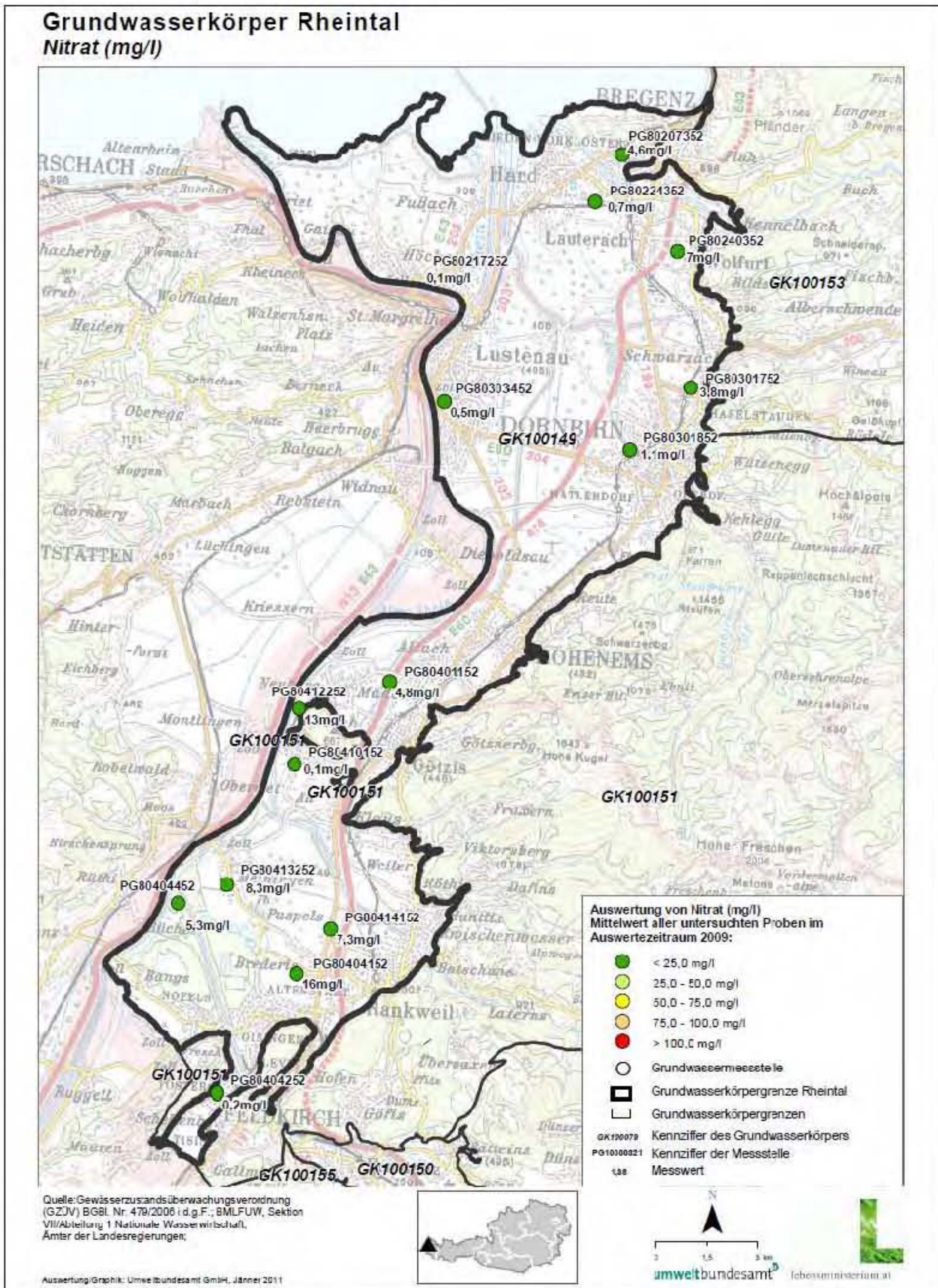


Abbildung 27: Nitrat-Konzentrationen des Grundwassers bei den ausgewählten Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Rheintal (Mittelwert im Jahr 2009).

Die Nitratwerte im Wasser des Grundwasserkörpers Rheintal schwanken zwischen 0,1 und 16 mg/l, sind aber im Mittel von 4,8 mg/l gering. Nur zwei Messstellen (PG80404152, PG80412252) in und nahe Feldkirch sind geringfügig erhöht (16 bzw. 13 mg/l).

2.4.7 Anthropogene Einflüsse

Eine anthropogene Beeinflussung ist im Grundwasserkörper vor allem durch Wasserentnahmen, Industrieanlagen, Altlasten, Deponien, Landwirtschaft, Verkehrsnetz, Tourismus und Forstwirtschaft gegeben.

Basierend auf Auswertungen von Corine Landcover 2000-Daten (CORINE 2000) ergibt sich über dem Grundwasserkörper Rheintal die in Tabelle 14 dargestellte anteilmäßige Verteilung der Landnutzung.

Tabelle 14: Landnutzung im Grundwasserkörper Rheintal nach CORINE (2000).

| | |
|---|--------|
| CORINE: 1. BEBAUTE FLÄCHE | 37,5 % |
| CORINE: 2. LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN | 49,9 % |
| CORINE: 3. WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN | 7,1 % |
| CORINE: 4. FEUCHTFLÄCHEN | 3,2 % |
| CORINE: 5. WASSERFLÄCHEN | 2,3 % |

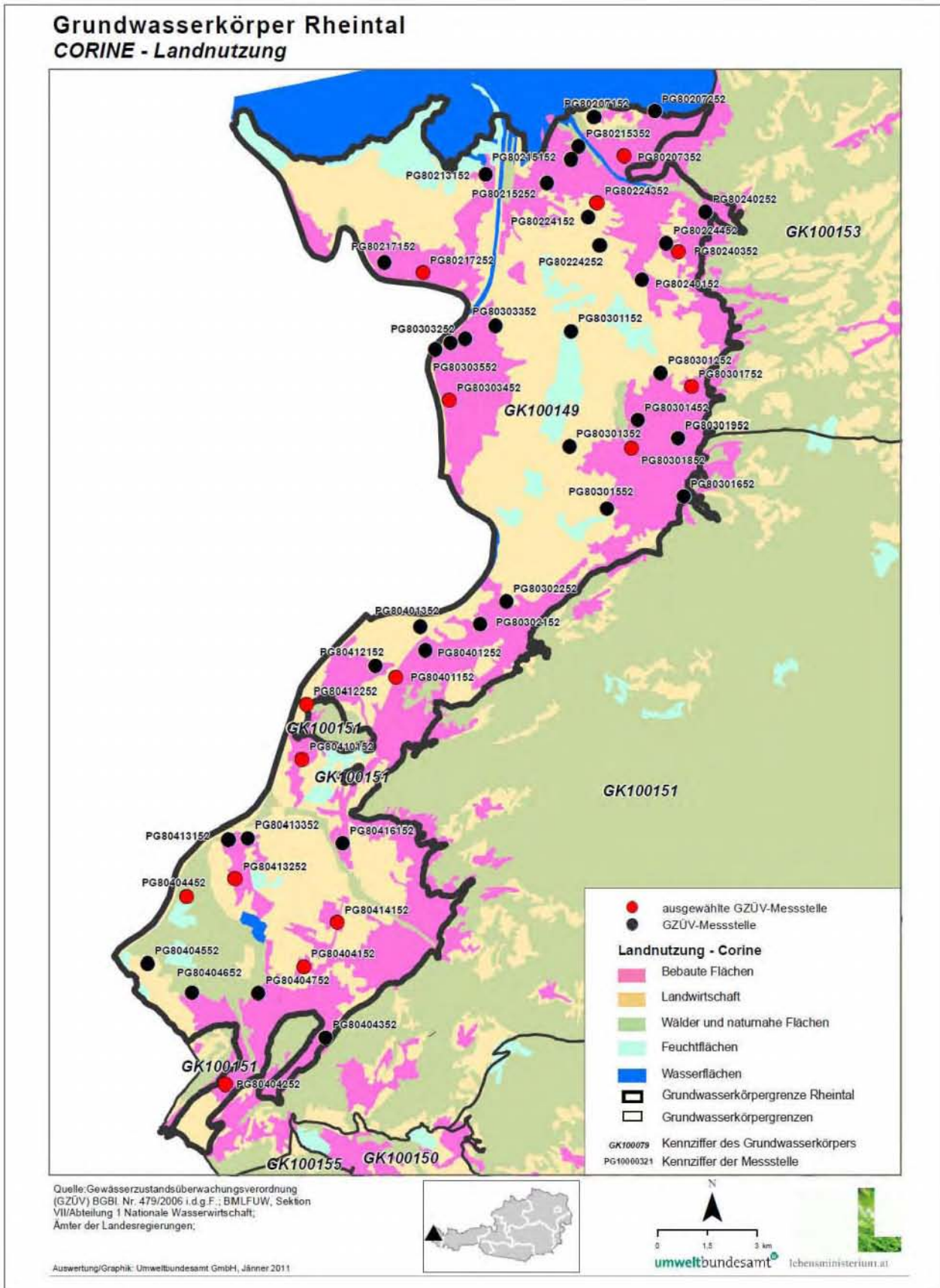


Abbildung 28: Landnutzung im Grundwasserkörper Rheintal (nach CORINE 2000).

2.5 Unteres Salzachtal

2.5.1 Allgemeines

Der Grundwasserkörper Unteres Salzachtal befindet sich im Bundesland Salzburg. Er erstreckt sich von der Talenge am Pass Lueg entlang der Salzach nach Norden über die Stadt Salzburg bis nach St. Georgen im Gebiet der Staatsgrenze zu Deutschland (siehe Abbildung 29). Es handelt sich um einen vorwiegend oberflächennahen Porengrundwasserkörper. Die Fläche beträgt 182 km² mit einer Längserstreckung von rund 60 km und einer maximalen Breite von 13 km. Die mittlere Seehöhe entspricht 437 m.ü.A. mit einer Bandbreite von 374–635 m.ü.A. (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.5.2 Grundwasserkörpergrenzen

Die Grundwasserkörpergrenzen sind morphologisch durch die weiträumige Umrahmung der Talniederung durch Gebirgskörper deutlich ausgeprägt. Im Nordwesten wird der Grundwasserkörper Unteres Salzachtal durch die Flüsse Saalach und Salzach begrenzt.

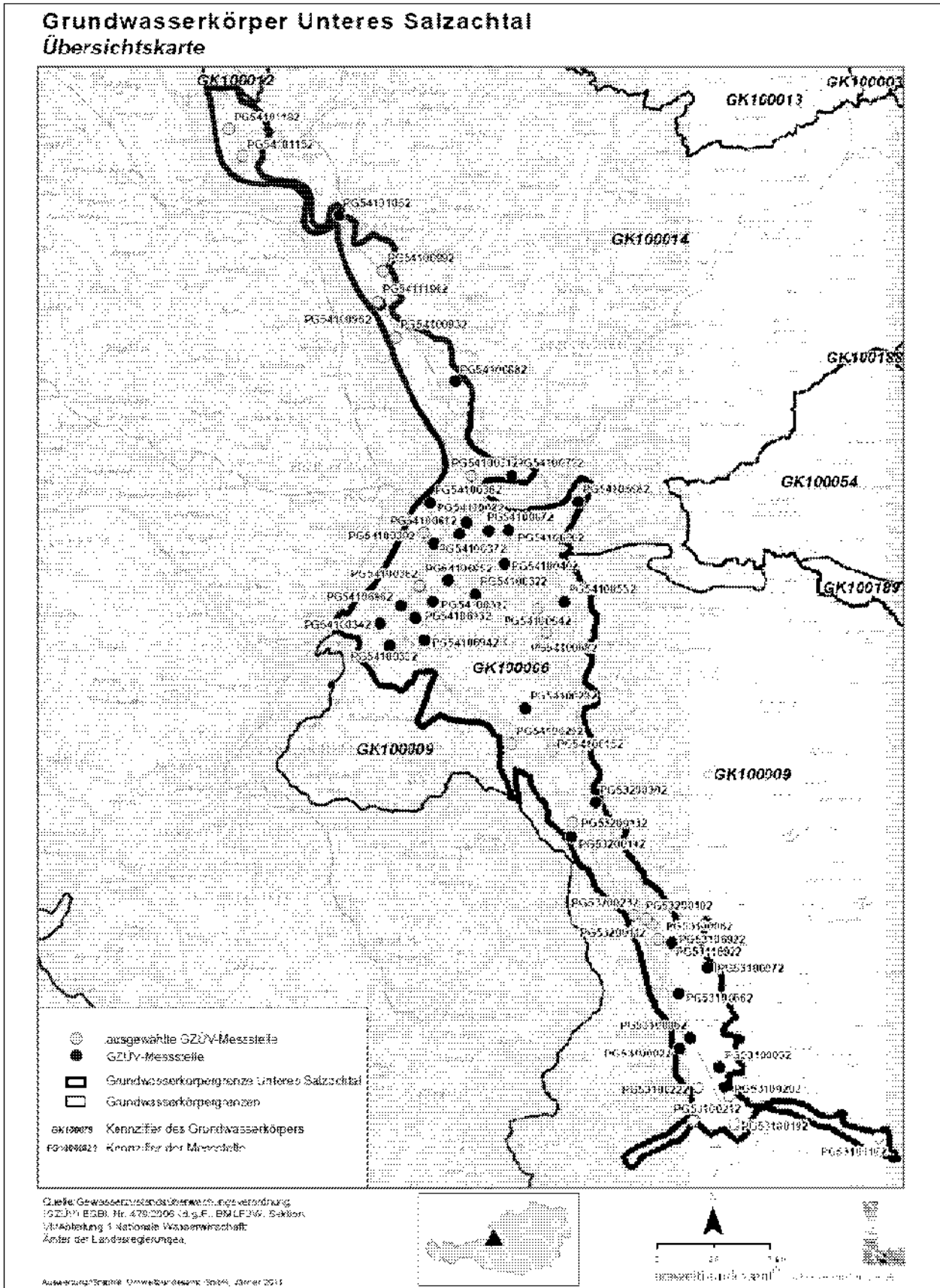


Abbildung 29: Übersichtskarte Grundwasserkörper Unteres Salzachtal mit GZÜV-Messstellen.

2.5.3 Überlagernde Schichten

2.5.3.1 Bodentypen

Es kommen im Wesentlichen sieben Bodentypen nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung vor.

Tabelle 15: Bodentypen im Grundwasserkörper Rheintal nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung (H₂O FACHDATENBANK 2009).

| Boden – FAO-Soil Type Units | Anteil in % |
|-----------------------------|-------------|
| Bd – Dystric Cambisol | 3,3 |
| Lo – Orthic Luvisol | 18,3 |
| Eo – Orthic Rendzina | 61,2 |
| Ec – Cambic Rendzina | 5,0 |
| Ic – Calcaric Lithosol | 5,8 |
| Je – Eutric Fluvisol | 1,8 |
| Wd – Dystric Planosol | 4,6 |

2.5.3.2 Deckschicht und Flurabstand

Der Flächenanteil mit vorhandener Deckschicht liegt im Bereich zwischen 0 und 25 %. Es handelt sich dabei meist um aus Silt/Schluff aufgebaute Deckschichten oder um Aulehne mit Mächtigkeiten zwischen deutlich < 1 m und 3 m.

Das Nitratrückhaltevermögen wird im Mittelteil und im Nordabschnitt des Grundwasserkörpers überwiegend mit „mittel bis hoch“ angegeben. Im südlichen Teil wird es meist mit „gering“ und in einigen kleinräumigen Abschnitten mit „sehr gering“ beurteilt (aus der Karte: Nitratrückhaltevermögen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 2006).

Der mittlere Flurabstand über den gesamten Grundwasserkörper Unteres Salzachtal beträgt 5 m mit einer Bandbreite von 2–15 m (H₂O FACHDATENBANK 2009). Die Grundwasser-Flurabstände unterliegen im Nordteil generell beträchtlichen Schwankungen, die von 0 m bei Hochwasser bis 7 m im salzchnahen Bereich bei Niedrigwasser schwanken können. Südlich von Salzburg beträgt der Flurabstand überwiegend 5–10 m. Die Grundwasserspiegelschwankungen im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal im Referenzzeitraum 1991–2003 betragen im Mittel 2 m mit einer Bandbreite von 1–6 m.

2.5.4 Grundwasserleiter

2.5.4.1 Druckverhältnisse

Generell ist im Salzburger Becken nur ein ungespanntes Grundwasserstockwerk ausgebildet. Im Gebiet von Taugl kommen lokal gespannte Grundwässer vor. Es handelt sich dabei vermutlich um auf die südöstliche Talseite beschränkte, seichtliegende Grundwasserspeicherungen (BRANDECKER 1994).

2.5.4.2 Aquifermächtigkeit

Die mittlere Mächtigkeit über Gebiet liegt bei 25 m, wobei es beträchtliche Unterschiede innerhalb des Grundwasserleiters gibt. Die Bandbreite der Mächtigkeiten des Grundwasserleiters liegt zwischen unter 1 m und über 50 m (H₂O FACHDATENBANK 2009). Die Aquifermächtigkeiten sind im Raum Golling mit über 100 m am größten. Von hier aus nehmen sie nach Norden – mit Ausnahme des Tauglgebietes – auf bis zu 10–20 m bei Anif ab. Im nördlichen Teil des Grundwasserkörpers schwanken die Mächtigkeiten zwischen 5 m und < 1 m (BRANDECKER 1994).

2.5.4.3 Grundwasserstauer

Im Nordteil ist der Grundwasserstauer weitgehend eben ausgeprägt, im Südteil steigt er generell von Süden nach Norden an. Das zuvor ausgeräumte Tal wurde mit glazialen Sedimenten – vor allem Grundmoränen, Seetone, Seeschluffe und postglaziale Schotter – verfüllt, wobei lokale Einflüsse zu einem unterschiedlichen Sedimentationsrhythmus führten (BRANDECKER 1994). Die Höhenlage des Grundwasserstauers ist in Ost-Westrichtung (quer) oft lokal auf relativ engem Raum sehr unterschiedlich ausgeprägt.

2.5.4.4 Mächtigkeiten des Grundwasserkörpers

GW-Mächtigkeit von 0–50 m

Im südlichsten Teil ist die Grundwassermächtigkeit mit um die 50 m am größten, sie nimmt gegen Norden ab und erreicht in der Gegend um Anif an die 10 m (BRANDECKER 1994). Im Stadtgebiet von Salzburg liegt die Grundwassermächtigkeit im Bereich der Salzach bei 0–5 m, südwestlich davon bei etwa 5–10 m (HYDROGRAFISCHER LANDESDIENST SALZBURG 2007). Im Nordteil schwankt die Mächtigkeit zwischen < 1 und 5 m (BRANDECKER 1994).

2.5.4.5 Petrographie des Grundwasserleiters

Die Petrographie besteht hauptsächlich aus quartärem Mittelkies mit siltig/schluffigem Sand als Nebenanteil (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Im südlichsten Teil des Salzburger Beckens finden sich wasserführende, weitgehend feinstofffreie Schotter. Die stauenden Seetone reichen nördlich von Hallein noch bis ca. 25 m, bei Glasenbach lediglich 10 m unter Gelände der Austufe. Über diesen Feinsedimenten folgen mehrere Meter mächtige Sande und darauf wiederum die postglazialen Schotterkörper. Letztere sind jedoch teilweise durch Schmelzwässer erodiert worden. Die dadurch entstandene Terrassenlandschaften zeigen beachtliche Unterschiede bei den Grundwasser-Flurabständen. Bei dem Georgenberg, die Kuppe bei der Tauglschlinge und dem Urstein-Hügel handelt es sich um herausragende Nagelfluh-Inselberge im westlichen Teil der Talebene. Im Norden des südlichen Teiles, wo sich das Salzburger Becken ausweitete, wird die Sedimentationsfolge homogener – ausgenommen von begrenzten Einflüssen des Glasenbaches rechtsseitig der Salzach und jenen der Königssee Ache im Raum St. Leonhard–Grödig.

Im Stadtgebiet von Salzburg ist der geringmächtige Grundwasserleiter überwiegend aus Schottern aufgebaut.

Im Nordteil sind kleinere Flysch-Aufragungen, die den Porengrundwasserkörper durchstoßen, von lokaler Bedeutung. Die Talniederungen im Nordteil des Grundwasserkörpers weisen nur eine geringmächtige Schotterdecke auf, die von kaum wasserwegigen Schlierböden unterlagert ist. Der Porengrundwasserleiter der schottrigen Talfüllung im Abschnitt Antheringer–Weitwörther Au (Nordteil) erreicht mit max. 6 m zwar keine große Mächtigkeit, ist aber wegen seiner sehr guten Wasserwegigkeit sehr ergiebig.

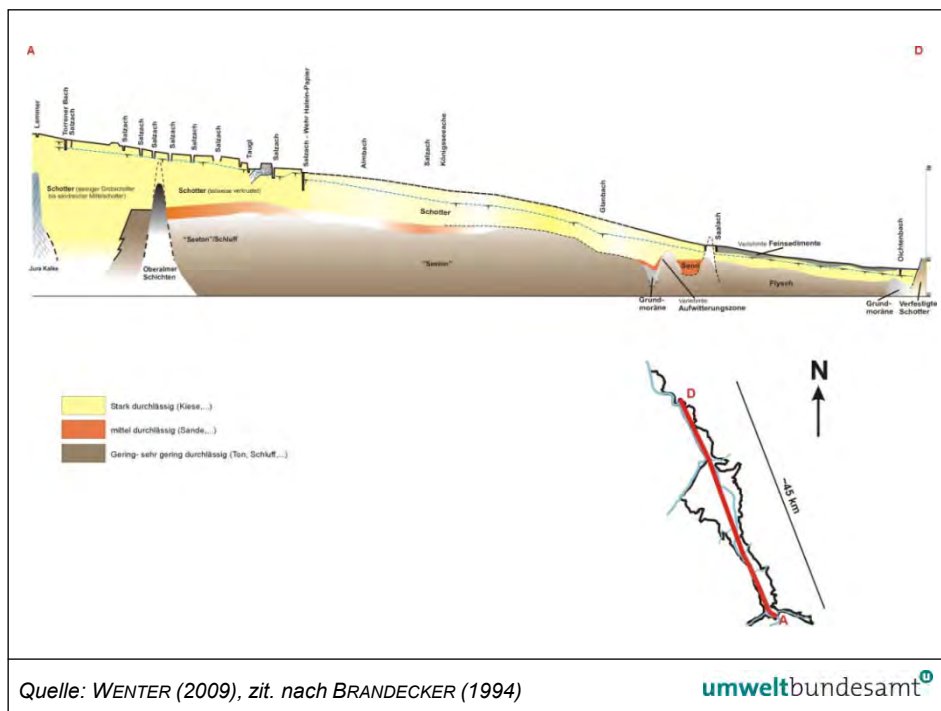


Abbildung 30: Schematischer Schnitt durch den Grundwasserkörper Unteres Salzachtal (WENTER 2009 – Nord- und Südteil, zit. nach BRANDECKER 1994).

2.5.4.6 Grundwasserabflussrichtungen

Grundsätzlich gibt es im Grundwasserkörper keinen die Salzach begleitenden Grundwasserstrom.

Im südlichen und zentralen Teil des Grundwasserkörpers verlaufen die Grundwasser-Abflussrichtungen, nicht zuletzt infolge der kräftigen Zuströmungen aus der rechten und bis auf den Südteil auch aus der linken Talseite, über weite Strecken großteils im spitzen Winkel zur Salzach (Abbildung 31; BRANDECKER 1994).

2.5.4.7 Hydraulische Leitfähigkeit

Die horizontale hydraulische Leitfähigkeit beträgt im Mittel $3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Der k_f -Wert des langsamen Teils liegt im Bereich von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, die hydraulische Leitfähigkeit des rascheren Anteils bei etwa $9 \cdot 10^{-3}$ m/s (geschätzte Werte) (H₂O FACHDATENBANK 2009). Im zentralen Teil des Unteren Salzachtales bewegen sich die k_f -Werte überwiegend im Bereich zwischen $1 \cdot 10^{-2}$ und $5 \cdot 10^{-4}$ m/s (rascher Anteil $1 \cdot 10^{-2}$ m/s, langsamer Anteil $1 \cdot 10^{-5}$ m/s) (HYDROGRAFISCHER LANDESDIENST SALZBURG 2007).

2.5.5 Grundwasserbilanz

Nach überschlägigen Berechnungen beträgt die mittlere Durchflussmenge im Talquerschnitt bei Kuchel insgesamt ca. 600 l/s und nördlich von Hallein annähernd $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Den verschiedenen Grundwasseranreicherungen im Talraum zwischen Golling und Hallein in der Größenordnung von etwa 2.000–2.500 l/s dürften natürliche und künstliche Abgänge von zusammen ca. 1.500–2.000 l/s gegenüberstehen (BRANDECKER 1994).

2.5.5.1 Niederschlag und Evaporation

Die langfristig mittlere Jahressumme der Niederschläge beträgt 1.364 m mit einer Bandbreite von 1.059–1.648 mm.

2.5.5.2 Interaktionen Oberflächengewässer und Grundwasser

- Erhebliche Grundwasser-Infiltration aus der Ache in die Schotterkörper des Salzachtales.
- Im Gebiet der Mündung des Lammertales in das Haupttal wird der Porengrundwasserleiter durch Infiltrate der Lammer angereichert.
- Im Bereich des Taugl-Schwemmfächers erfolgt die Alimentation des Hauptaquifers durch die Taugel – bedingt durch ältere Seetonschichten – in zwei Horizonten (Infiltrationsmengen der Taugl bis zu 500 l/s).
- Im Almbach-Schwemmfächer kommt es zu erheblicher Infiltration des Almbaches.
- Der Grundwassererneuerung stehen Exfiltrationen in die Salzach, lokal auch in deren Zubringer gegenüber (BRANDECKER 1994).
- Aus der Königsseeache exfiltriert Oberflächenwasser ins Grundwasser.
- Im Umfeld der Stadt Salzburg werden die Gerinne wie Almkanal, Glambach, Saalach und Salzach im Allgemeinen von Grundwasser infiltriert (HYDROGRAFISCHER LANDESDIENST SALZBURG 2007).
- Im nördlichen Teil gibt es eine Infiltration von Grundwasser in die Salzach im Bereich der Antheringer Au (BRANDECKER 1994).

2.5.5.3 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung erfolgt hauptsächlich aus der flächenhaften Versickerung aus dem Niederschlag, zudem durch Infiltration von Oberflächenwässern und Zustrom aus den Randbereichen (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Im südlichen Teil des Grundwasserkörpers zwischen Golling und der südlichen Stadtgrenze von Salzburg erfolgt die Grundwasserneubildung hauptsächlich durch

- versickernde Niederschläge in der Talbodenfläche (in einer Größenordnung von rund 1 m³/s) und oberflächlich abfließenden Hangwässern.
- Infiltrate der Salzach, deren Einfluss sich jedoch – ausgenommen bei Hochwassersituationen – fast ausschließlich auf flussnahe Bereiche der Talniederungen (Aufläachen) beschränkt.
- Grundwasseranreicherung durch die Zubringer: hauptsächlich Lammer, Taugl, Almbach und Königsee Ache. Die Flusssohle reicht meist (knapp) unter den Grundwasserspiegel.
- Infiltrate aus dem Beckenrahmen, die nicht nur im südlichsten, sondern auch im gesamten östlichen Talabschnitt von Bedeutung sind (BRANDECKER 1994).

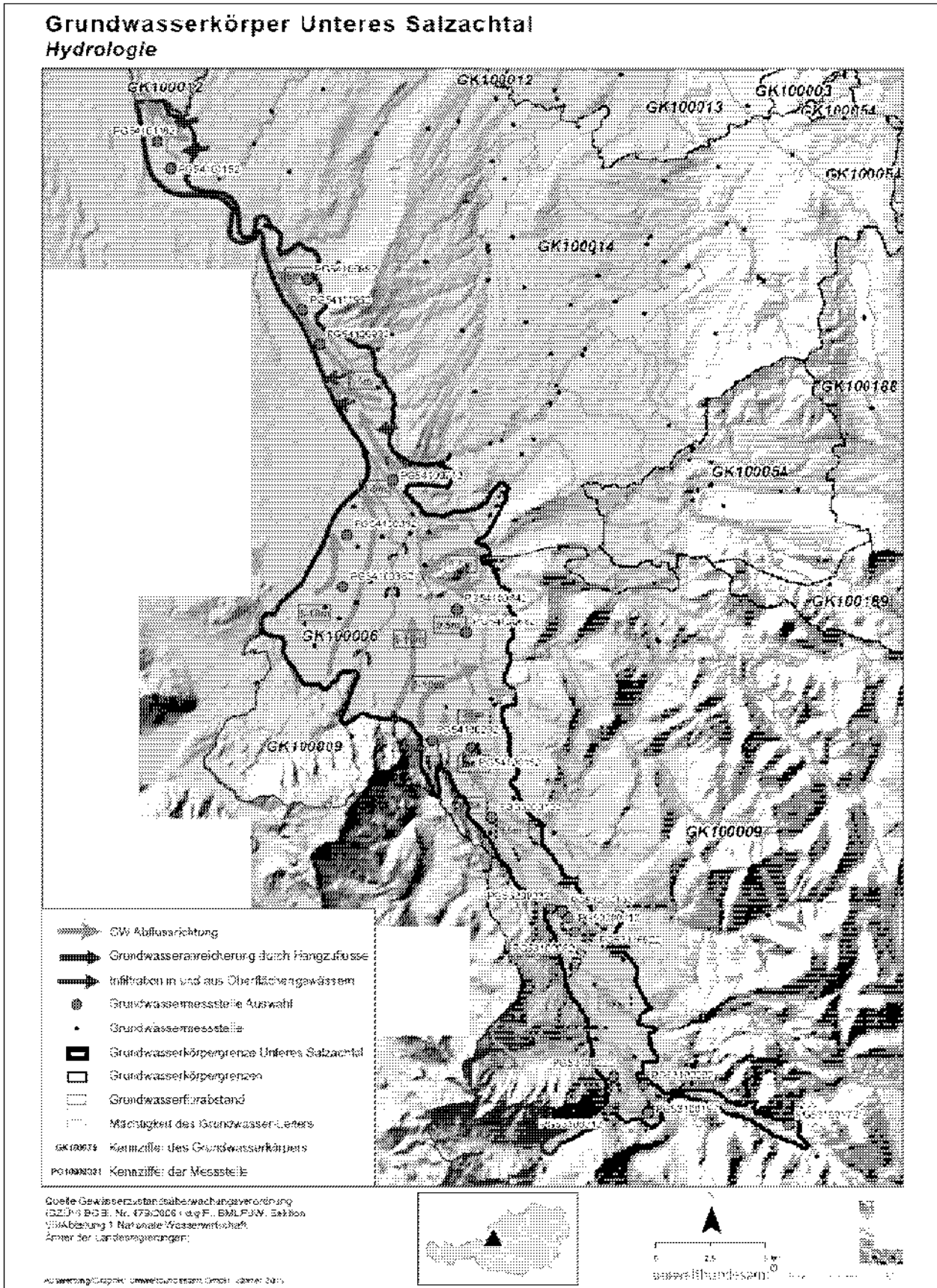


Abbildung 31: Schematisch dargestellte Hydrogeologie im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal (WENTER 2009).

2.5.6 Hydrochemie

Die Grundwasserchemie im Unteren Salzachtal ist überwiegend karbonatisch. Hydrometereologisch unterschiedliche Bedingungen wirken sich auf die GW-Beschaffenheit nur sehr gering aus.

Die Wässer aus dem südlichen Talraum und jene aus dem Hagengebirge zeigen vorwiegend einen Salz-Einfluss (NaCl), jene vom Tennengebirge eher einen Gips-Einfluss (SO₄-Lösungen). Allgemein gibt es bei den Grundwasserinhaltsstoffen eine geringe Gebietsschwankung (BRANDECKER 1994).

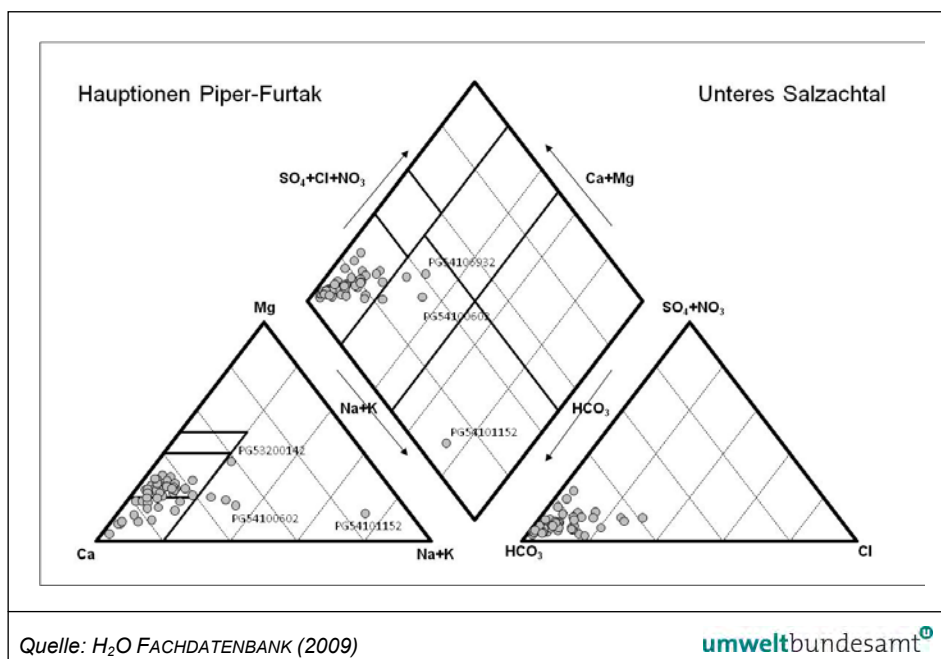


Abbildung 32: Hauptionen des Grundwassers der GZÜV-Messstellen im Unteren Salzachtal, dargestellt in einem Piper-Furtak-Diagramm.

Tabelle 16: Nitrat-Konzentrationen [mg/l] bei den ausgewählten Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal.

| Messstellen-bezeichnung | 2. Quartal 2009 | 4. Quartal 2009 | Mittelwert 2009 |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PG53100082 | 4,3 | 3,7 | 4,0 |
| PG53100172 | 2,6 | 2,9 | 2,8 |
| PG53100192 | 2,9 | 3,3 | 3,1 |
| PG53100202 | 5,2 | 3,2 | 4,1 |
| PG53100212 | 6,1 | 6,4 | 6,3 |
| PG53100222 | 3,6 | 3,4 | 3,5 |
| PG53116922 | 4,0 | 3,5 | 3,8 |
| PG53200102 | 4,6 | 2,8 | 3,7 |
| PG53200112 | 3,5 | 2,9 | 3,2 |
| PG53200132 | 5,0 | 5,1 | 5,1 |
| PG53200232 | 1,8 | 2,2 | 2,0 |

| Messstellen- bezeichnung | 2. Quartal 2009 | 4. Quartal 2009 | Mittelwert 2009 |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| PG54100152 | 3,3 | 3,5 | 3,4 |
| PG54100282 | 4,8 | 4,5 | 4,7 |
| PG54100382 | 33 | 31 | 32 |
| PG54100392 | 11 | 0,8 | 5,9 |
| PG54100642 | 2,5 | 2,2 | 2,4 |
| PG54100682 | 6,7 | 6,4 | 6,6 |
| PG54100712 | 8,0 | 7,0 | 7,5 |
| PG54100932 | | 2,0 | 2,0 |
| PG54100992 | 4,5 | 0,8 | 2,7 |
| PG54101152 | 0,3 | 0,8 | 0,6 |
| PG54101182 | 2,8 | 7,4 | 5,1 |
| PG54111962 | 10 | 3,0 | 6,6 |
| KK54100272 | 1,2 | 2,5 | 1,8 |
| KK53100422 | 2,3 | 2,8 | 2,6 |

Tabelle 16 zeigt die Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser bei den für das Projekt ausgewählten 25 GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Unteres Salzbachtal (H₂O FACHDATENBANK 2009). Die ausgewählten Messstellen weisen im Zeitraum 2009 im Mittel Nitrat-Konzentrationen zwischen 0,6 und 32 mg/l auf. Die Lage der Messstellen mit den jeweiligen mittleren Nitrat-Konzentrationen des Jahres 2009 ist in Abbildung 33 dargestellt.

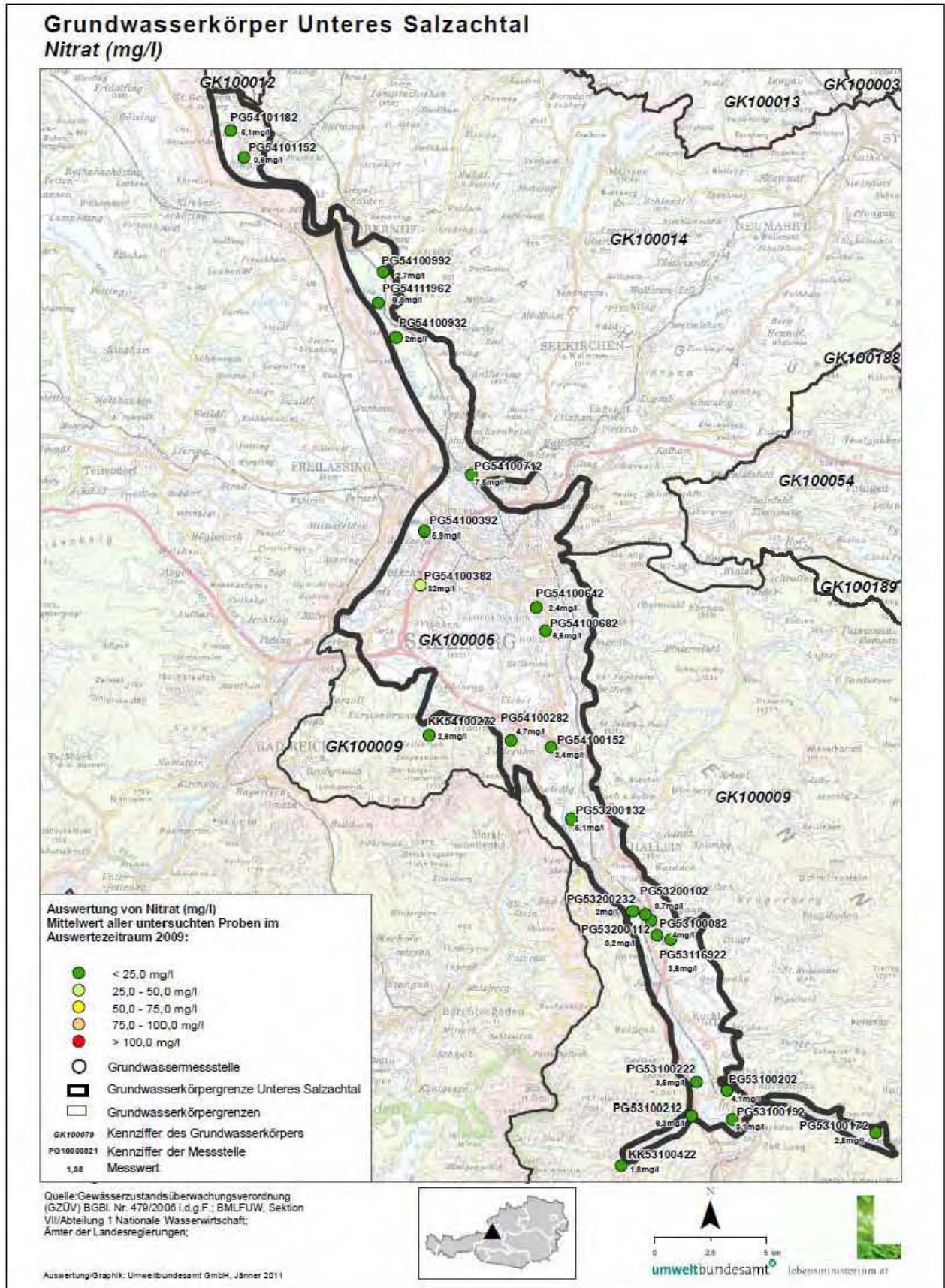


Abbildung 33: Nitrat-Konzentrationen des Grundwassers bei den ausgewählten Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal (Mittelwert im Jahr 2009).

2.5.7 Anthropogene Einflüsse

Anthropogene Beeinflussungen sind hauptsächlich durch Kraftwerke (Hallein, Urstein), Grundwasserentnahmen (Hallein), Landwirtschaft, Siedlungsräume, Deponien, ungesicherte Altlasten und Verkehrswege (A10 und Salzachtal-Bundesstraße, Bahn) gegeben.

Basierend auf Auswertungen von Corine Landcover 2000-Daten (CORINE 2000) ergibt sich über dem Grundwasserkörper Unteres Salzachtal die in Tabelle 17 dargestellte anteilmäßige Verteilung der Landnutzung.

Tabelle 17: Landnutzung im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal (nach CORINE 2000).

| | |
|---|--------|
| CORINE: 1. BEBAUTE FLÄCHE | 36,1 % |
| CORINE: 2. LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN | 46,4 % |
| CORINE: 3. WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN | 15,9 % |
| CORINE: 5. WASSERFLÄCHEN | 1,6 % |

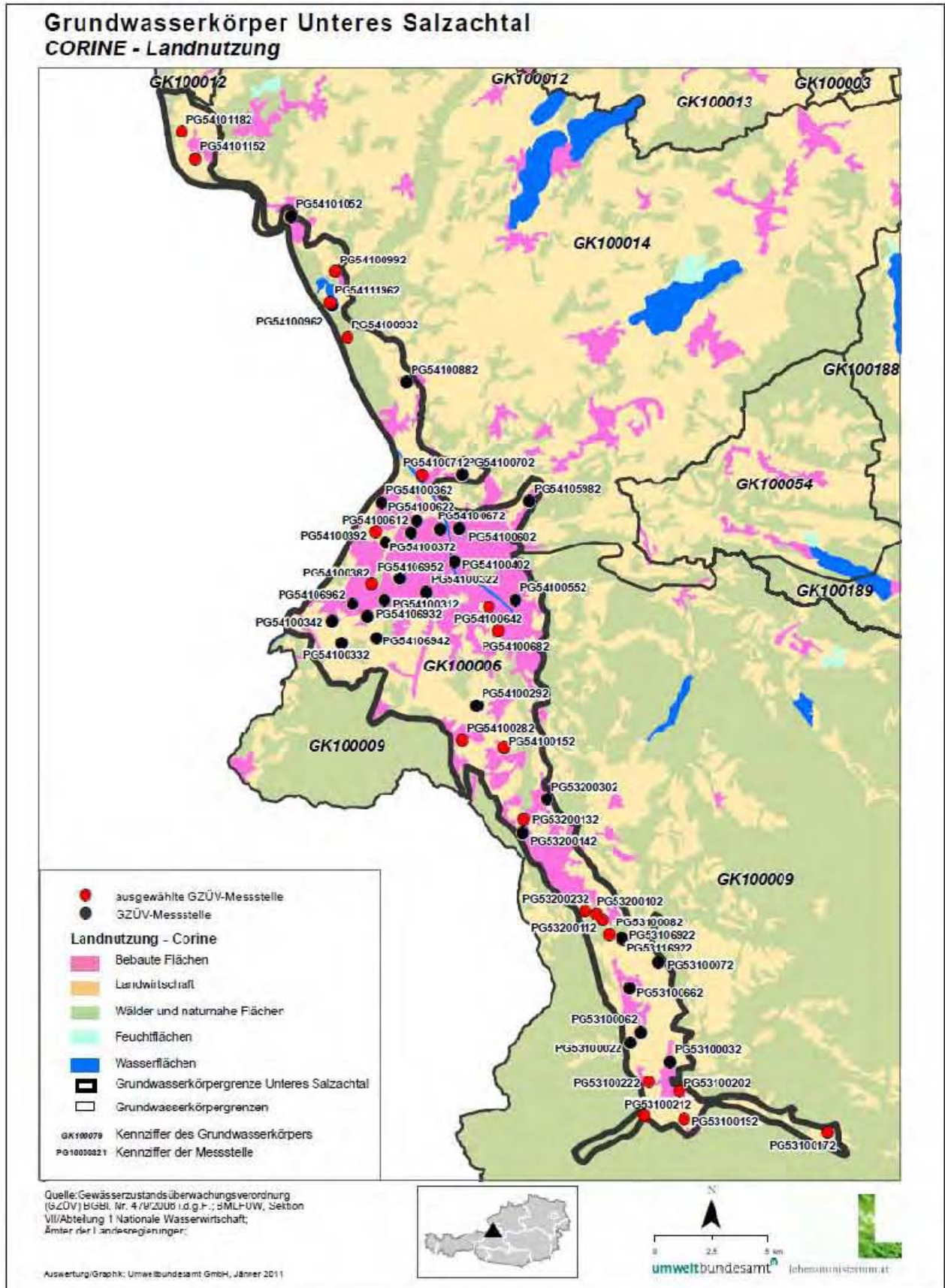


Abbildung 34: Landnutzung im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal (nach CORINE 2000).

2.6 Wulkatal

2.6.1 Allgemeines

Die Grundwasserkörper-Gruppe Wulkatal befindet sich im Burgenland, südwestlich des Neusiedler Sees.

Mit einer West-Ost-Erstreckung von 28 km und einer Nord-Süd-Distanz von 10–20 km weist diese Gruppe von Grundwasserkörpern eine Fläche von 386 km² auf. Die mittlere Seehöhe beträgt 213 m.ü.A. mit einer Bandbreite von 107–605 m.ü.A. (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.6.2 Grundwasserkörpergrenzen

Die Grundwasserkörper-Gruppe Wulkatal umfasst geologisch das Eisenstädter Becken und wird im Norden durch die Randausläufer des Leithagebirges begrenzt. Im Süden ist die Einschnürung des Landes Burgenland am Siegrabener Berg eine schmale, aber gute hydrogeologische Grenze. Im Südwesten bildet das Kristallin des Rosaliengebirges, im Nordwesten die Wasserscheide zu Niederösterreich die Grenze (H₂O FACHDATENBANK 2009).

2.6.3 Überlagernde Schichten

2.6.3.1 Bodentypen

Es kommen im Wesentlichen fünf Bodentypen nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung vor.

Tabelle 18: Bodentypen im Grundwasserkörper Wulkatal nach FAO-Soil Type Units-Klassifizierung (H₂O FACHDATENBANK 2009).

| Boden – FAO-Soil Type Units | Anteil in % |
|-----------------------------|-------------|
| Bd – Dystric Cambisol | 2,2 |
| Be – Eutric Cambisol | 22,9 |
| Ck – Calcic Chernozem | 63 |
| Ec – Cambic Rendzina | 7,4 |
| Oe – Eutric Histosol | 4 |
| Rest | 0,5 |

2.6.3.2 Deckschicht und Flurabstand

Zwischen 50 und 75 % der Grundwasserkörperfläche besitzt eine Deckschicht, welche überwiegend aus Lehm und Verwitterungslehm besteht. Die mittlere Mächtigkeit der Deckschicht beträgt 3 m mit einer Bandbreite von 0–12 m (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Der Grundwasserspiegel schwankt in diesem Gebiet zwischen 154 m.ü.A. im Südwesten und 124 m.ü.A. im Nordosten. Der Grundwassergradient beträgt 0,35 % (ZESSNER et al. 2004).

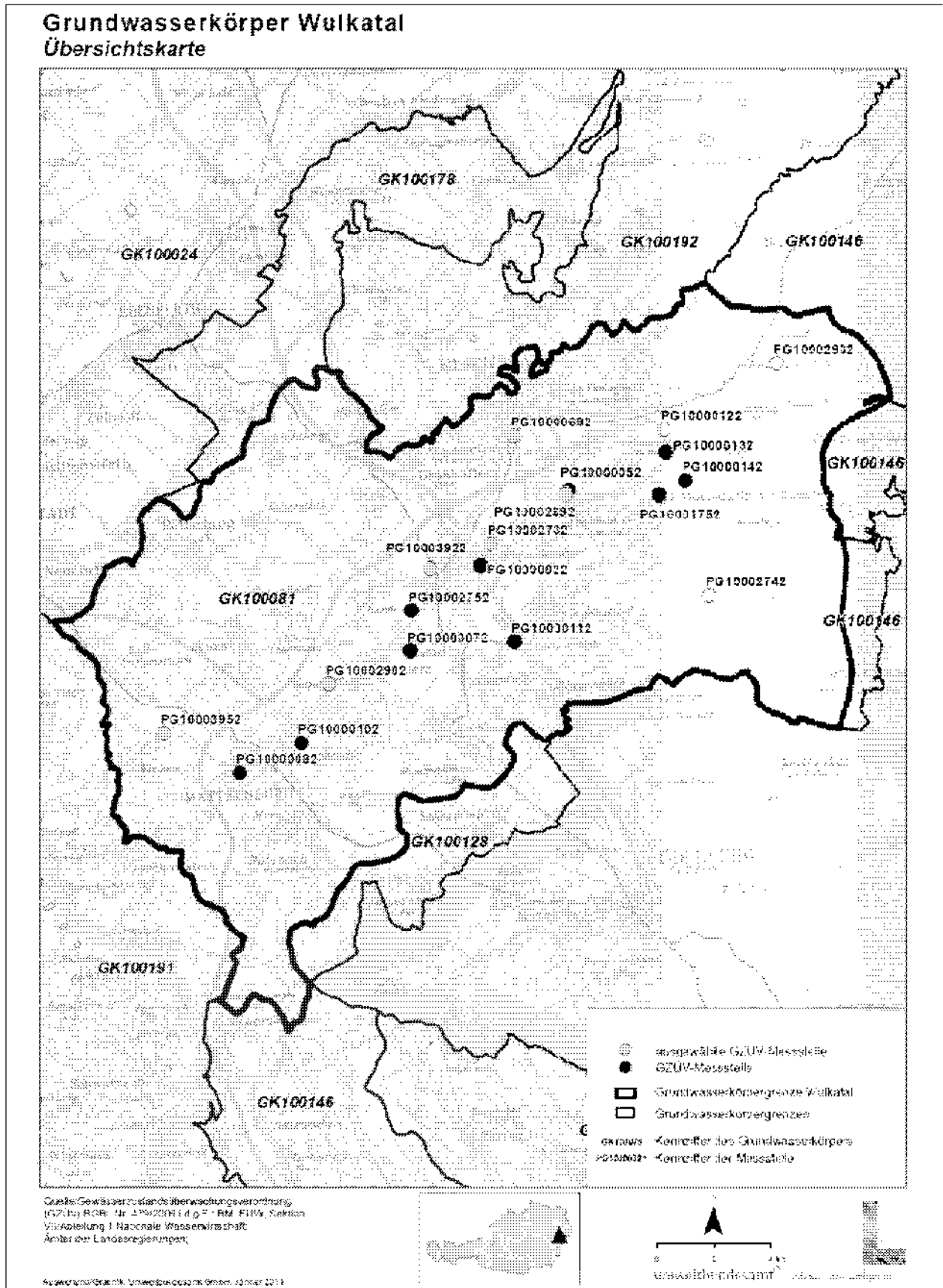


Abbildung 35: Übersichtskarte Grundwasserkörper-Gruppe Wulkatal mit GZÜV-Messstellen.

Das Nitratrückhaltevermögen der ungesättigten Zone wird überwiegend mit „mittel bis hoch“ beurteilt. In der Osthälfte der Grundwasserkörper-Gruppe ist der Flächenanteil mit geringem und sehr geringem Nitratrückhaltevermögen relativ groß (aus der Karte: Nitratrückhaltevermögen des Institutes für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 2006).

2.6.4 Grundwasserleiter

2.6.4.1 Druckverhältnisse

In der Grundwasserkörper-Gruppe herrschen freie Druckverhältnisse. Die tieferen Grundwasserkörper im Pannon sind gespannt.

2.6.4.2 Aquifermächtigkeit

Im Gebiet um Schützen am Gebirge schwankt die Aquifermächtigkeit zwischen 2 und 3 m und wird im Norden von Schützen geringer.

2.6.4.3 Grundwasserstauer

Die oberflächennahen grundwasserleitenden Schichten werden von pannonen Schichten unterlagert. Innerhalb des Pannons gibt es mehrere gespannte geringmächtige Grundwasserkörper, die untereinander teilweise verzahnen können, aber mit den oberflächennahen Stockwerken nicht in Verbindung stehen (H. Häusler, mündliche Mitteilung 2010).

2.6.4.4 Mächtigkeiten des Grundwasserkörpers

Die mittlere Mächtigkeit des Grundwasserkörpers ist meist gering. Die Wulka-Ablagerungen erreichen meist Mächtigkeiten um die 1–2 m, die Schotter der Paläowulka um die 3 m (H. Häusler, mündliche Mitteilung 2010).

2.6.4.5 Petrographie des Grundwasserleiters

Hauptbestandteil ist quartärer Kies, weitere Hauptbestandteile sind Sand, Schluff und Ton.

Im Eisenstädter Becken können zwei Terrassenniveaus – die höhere und tiefere Flur – unterschieden werden (H₂O FACHDATENBANK 2009).

Der erste Aquifer wird aus eher feinkörnigen Wulka-Ablagerungen mit einer Mächtigkeit von 1–2 m aufgebaut. Es folgen Schotter der Paläowulka, welche von pannonen Schichten – die als Stauer fungieren – unterlagert werden. Im Pannon ist eine Wechsellagerung von schlecht durchlässigen und schmalen durchlässigen Schichten ausgebildet. Die lokalen sandigen Aquifere im Pannon stehen teilweise untereinander im Kontakt, jedoch nicht mit den Aquiferen der Wulka-Ablagerungen.

2.6.4.6 Grundwasserabflussrichtungen

Die Grundwasserhauptabflussrichtung im Gebiet Wulka-Schützen verläuft von S/SW nach N/NE (siehe Abbildung 36). Die in Schützen sowie nordöstlich davon festgestellten oberflächennahen Grundwässer sind unbedeutende Stau- bzw. Hangwässer. Das Grundwasserdargebot im Raum Schützen ist sehr gering, im engeren Talabschnitt strömt kaum Grundwasser unterirdisch dem Neusiedler See zu (HAAS 1987).

2.6.4.7 Hydraulische Leitfähigkeit und Abstandsgeschwindigkeiten

Die mittels Pumpversuchen ermittelte mittlere hydraulische Durchlässigkeit beträgt $2 \cdot 10^{-4}$ m/s. Die kf-Werte des langsamen Teils liegen im Bereich von $1 \cdot 10^{-8}$ m/s die des raschen Teils bei $1,4 \cdot 10^{-3}$ m/s (H₂O FACHDATENBANK 2009). Die hydraulische Leitfähigkeit im Gebiet um Schützen am Gebirge schwankt zwischen $1 \cdot 10^{-4}$ und $1 \cdot 10^{-5}$ m/s (HAAS 1987).

2.6.5 Grundwasserbilanz

2.6.5.1 Niederschlag und Evaporation

Die mittlere Jahresniederschlagssumme liegt bei 605 mm mit einer Bandbreite von 544–782 mm: 77 % des Niederschlags verdunsten. Die Niederschlagssummen nehmen von Nordost nach Südwest tendenziell zu. Im Bereich des Rosaliengebirges beträgt der mittlere Jahresniederschlag über 900 mm (ZESSNER et al. 2004).

2.6.5.2 Interaktionen Oberflächengewässer und Grundwasser

Die Grundwasser-Strömungsverhältnisse werden durch die im Beckengebiet festgestellten unterirdischen Zuflüssen zu den Oberflächengewässern gut charakterisiert. Vielfach liegen diese Zuflüsse nur in einer Größenordnung von unter 10 l/s pro Flusskilometer (HAAS 1987). Eine Rate von 71 % des Gesamtabflusses des Wulka-Einzugsgebietes ist Grundwasser (ZESSNER et al. 2004). Zusammen mit dem Basisabfluss beträgt der Grundwasserabfluss (baseflow und lateral flow) in Walbersdorf 94 %, in Wulkaprodersdorf 89 % und in der Region Schützen 54 %.

Im „Oberen Wulkagebiet“ werden 8 % des Jahresniederschlags über längere Zeit im Untergrund gespeichert und je nach Größe und Verteilung der Winterniederschläge mehr oder minder gleichmäßig über das Jahr verteilt über die Wulka an den Neusiedler See abgegeben (HAAS 1987).

Bei niedrigen Grundwasserständen ist eine Alimentation der Oberflächengewässer im Raum Schützen am Gebirge–Eisenstadt nicht nachweisbar. In solchen Zeitabschnitten verlaufen die Grundwasserschichtenlinien näherungsweise senkrecht zu den Gewässern (GRÜNSTÄUB 2008).

Zu beachten ist, dass die Ableitung von Kläranlagen eine Jahresfracht von etwa $9 \cdot 10^6$ m³ beträgt und diese Wässer überwiegend aus anderen Einzugsgebieten stammen (HAAS 1987).

2.6.5.3 Grundwasserneubildung

Oberflächengewässer stellen den Hauptanteil an der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung dar, eine untergeordnete Rolle kommt der Niederschlagsversickerung zu (H₂O FACHDATENBANK 2009). Die Grundwasseranreicherung durch Niederschläge erfolgt primär im Winter, im Sommer verdunstet der überwiegende Teil (bis zu 80 % des Niederschlags im Wulka-Einzugsgebiet).

Das Wulka-Einzugsgebiet kann generell in zwei Großgebiete unterteilt werden: in das „Beckengebiet“ und das etwas höher gelegene „Obere Wulkagebiet“. Beiden Gebieten gemeinsam ist, dass praktisch ihr gesamter Grundwasserdurchfluss spätestens bis Schützen in die Wulka ausgetreten ist und nur ein unwesentlicher Anteil unterirdisch in den Neusiedler See fließt.

Der Mechanismus des unterirdischen Wassers ist in beiden Gebieten deutlich unterschiedlich:

- Der Anteil der Winterniederschläge, der im Beckengebiet zur Neubildung beiträgt, wird recht rasch, teils noch in den Wintermonaten, teils im Frühjahr, an die Wulka abgegeben. In den übrigen Jahreszeiten ist fast kein Grundwasserdurchfluss vorhanden.
- Im „Oberen Wulkagebiet“ führen die Winterniederschläge ebenfalls nicht zu einer großen Grundwasserneubildung, das Wasser wird aber längere Zeit (Jahre) im Untergrund gespeichert und nicht so ungleichmäßig an die Vorfluter abgegeben wie im Beckengebiet (HAAS 1987).

Grundwasserkörper Wulkatal Hydrologie

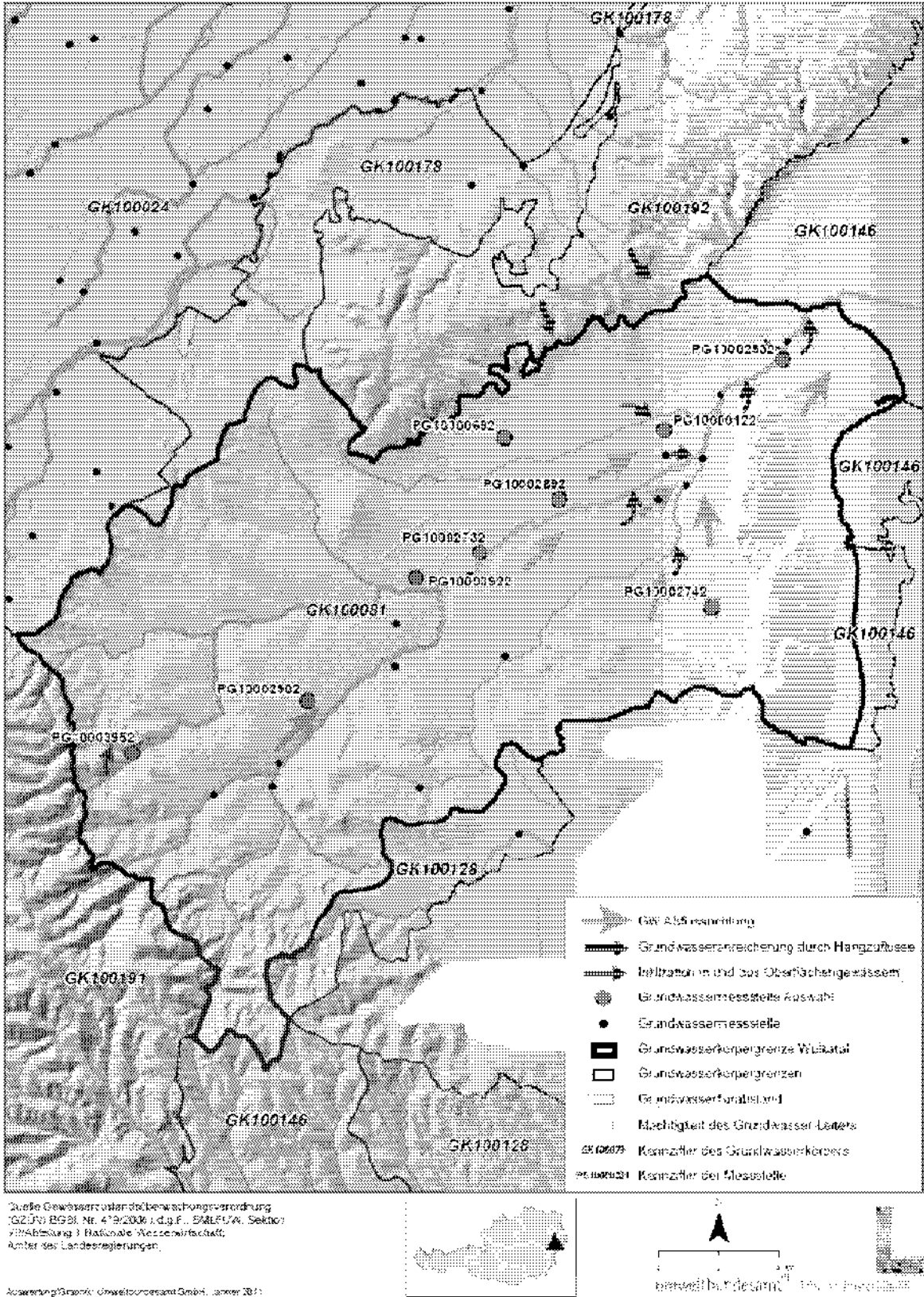


Abbildung 36: Schematisch dargestellte Hydrogeologie in der Grundwasserkörper-Gruppe Wulkatal.

2.6.6 Hydrochemie

Die Geochemie in der Grundwasserkörper-Gruppe Wulkatal ist primär silikatisch/karbonatisch (H₂O FACHDATENBANK 2009).

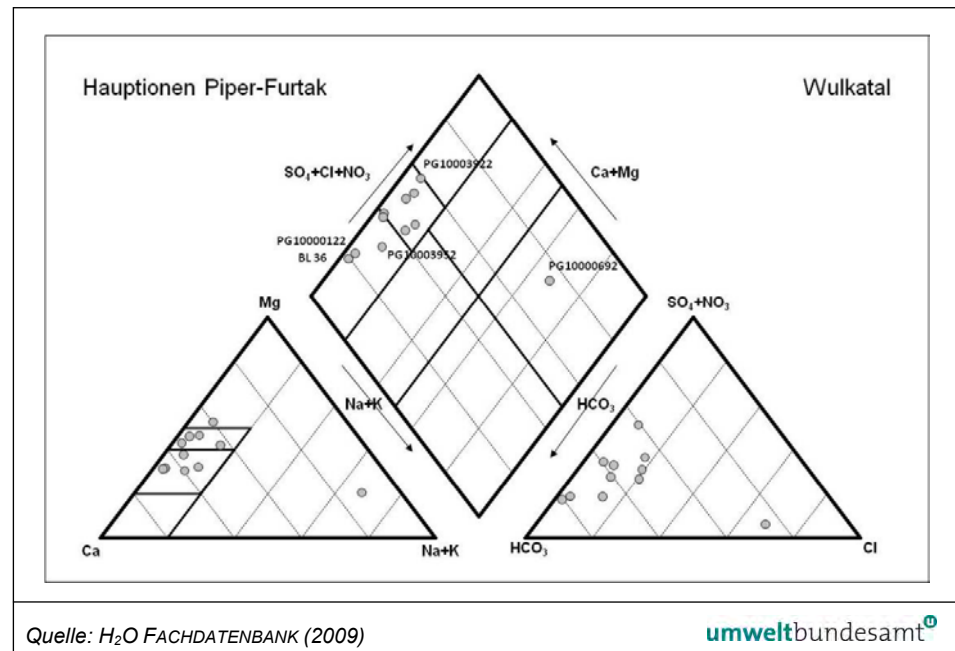


Abbildung 37: Hauptionen des Grundwassers der GZÜV-Messstellen im Wulkatal, dargestellt in einem Piper-Furtak-Diagramm.

Die Nitrat-Konzentrationen bei den ausgewählten Grundwassermessstellen unterscheiden sich – mit einer Bandbreite des Mittelwertes im Jahr 2009 von 2,9 bis 167 mg/l – voneinander stark.

Tabelle 19: Nitrat-Konzentrationen [mg/l] bei den ausgewählten Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Wulkatal.

| Messstellen-bezeichnung | 1. Quartal 2009 | 2. Quartal 2009 | 3. Quartal 2009 | 4. Quartal 2009 | Mittelwert 2009 |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PG10000122 | 12 | 14 | 29 | 31 | 22 |
| PG10000692 | 31 | 28 | 8,5 | 47 | 29 |
| PG10002732 | 170 | 146 | 140 | 151 | 152 |
| PG10002742 | 1,5 | 0,3 | 3,5 | 6,3 | 2,9 |
| PG10002892 | 21 | 3,4 | 1,2 | 2,7 | 7,0 |
| PG10002902 | 86 | 92 | 111 | 137 | 107 |
| PG10002932 | 51 | 32 | 25 | 22 | 32 |
| PG10003922 | 168 | 160 | 171 | 168 | 167 |
| PG10003952 | 32 | 33 | 34 | 26 | 31 |

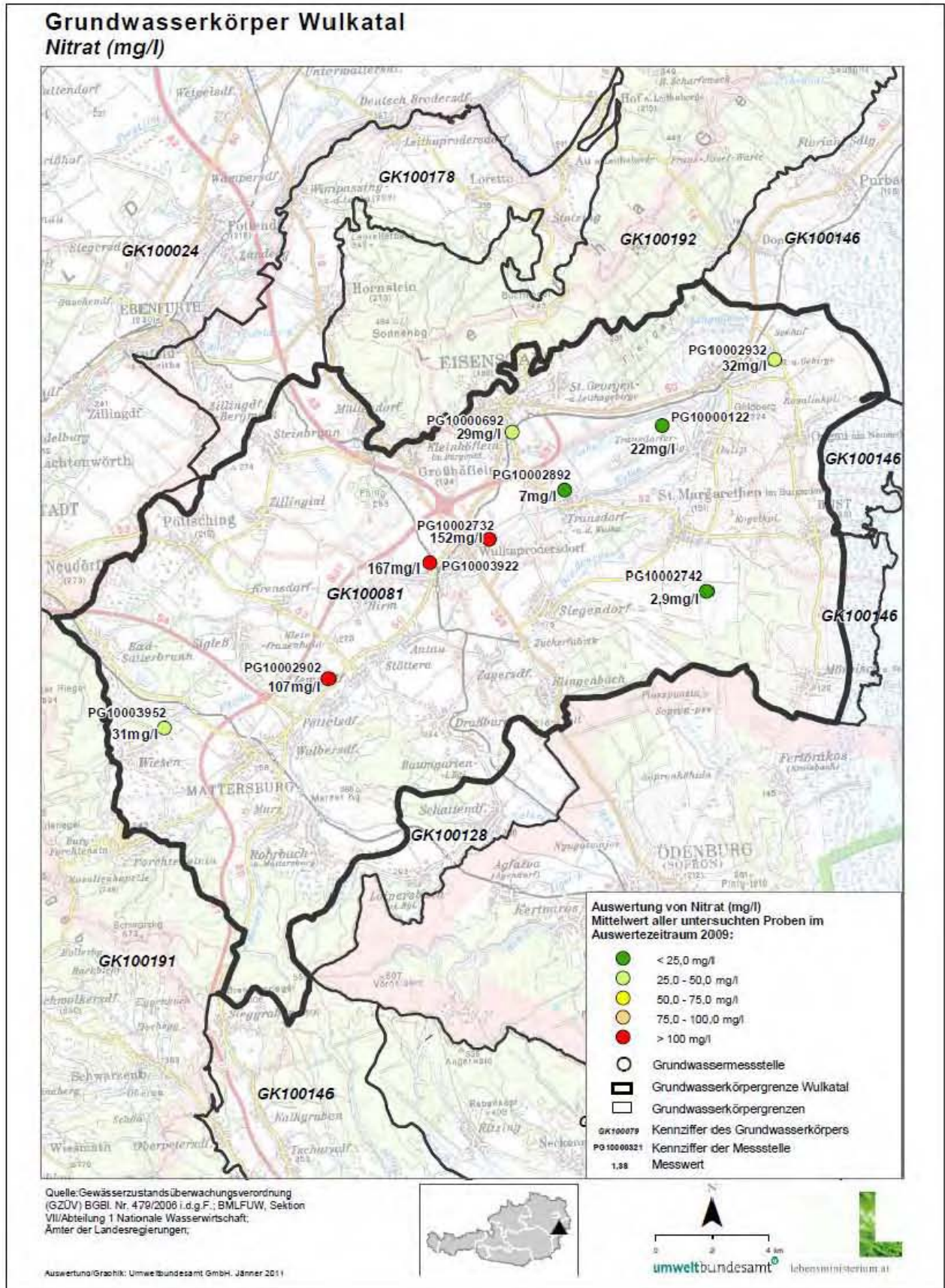


Abbildung 38: Nitrat-Konzentrationen des Grundwassers bei den ausgewählten Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Wulkatal (Mittelwert im Jahr 2009).

2.6.7 Anthropogene Einflüsse

Eine potenzielle Gefährdung des Grundwassers ist durch Wasserentnahmen, Industrieanlagen, ausgewiesene Altlasten und Deponien sowie durch Landwirtschaft und Tourismus gegeben. Ausgehend von Corine 2000 ergibt sich über dem Grundwasserkörper Wulkatal die in Tabelle 20 dargestellte anteilmäßige Verteilung der Landnutzung.

Tabelle 20: Landnutzung im Wulkatal (nach CORINE 2000).

| | |
|---|--------|
| CORINE: 1. BEBAUTE FLÄCHE | 10,6 % |
| CORINE: 2. LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN | 71,1 % |
| CORINE: 3. WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN | 17,2 % |
| CORINE: 4. FEUCHTFLÄCHEN | 1,1 % |

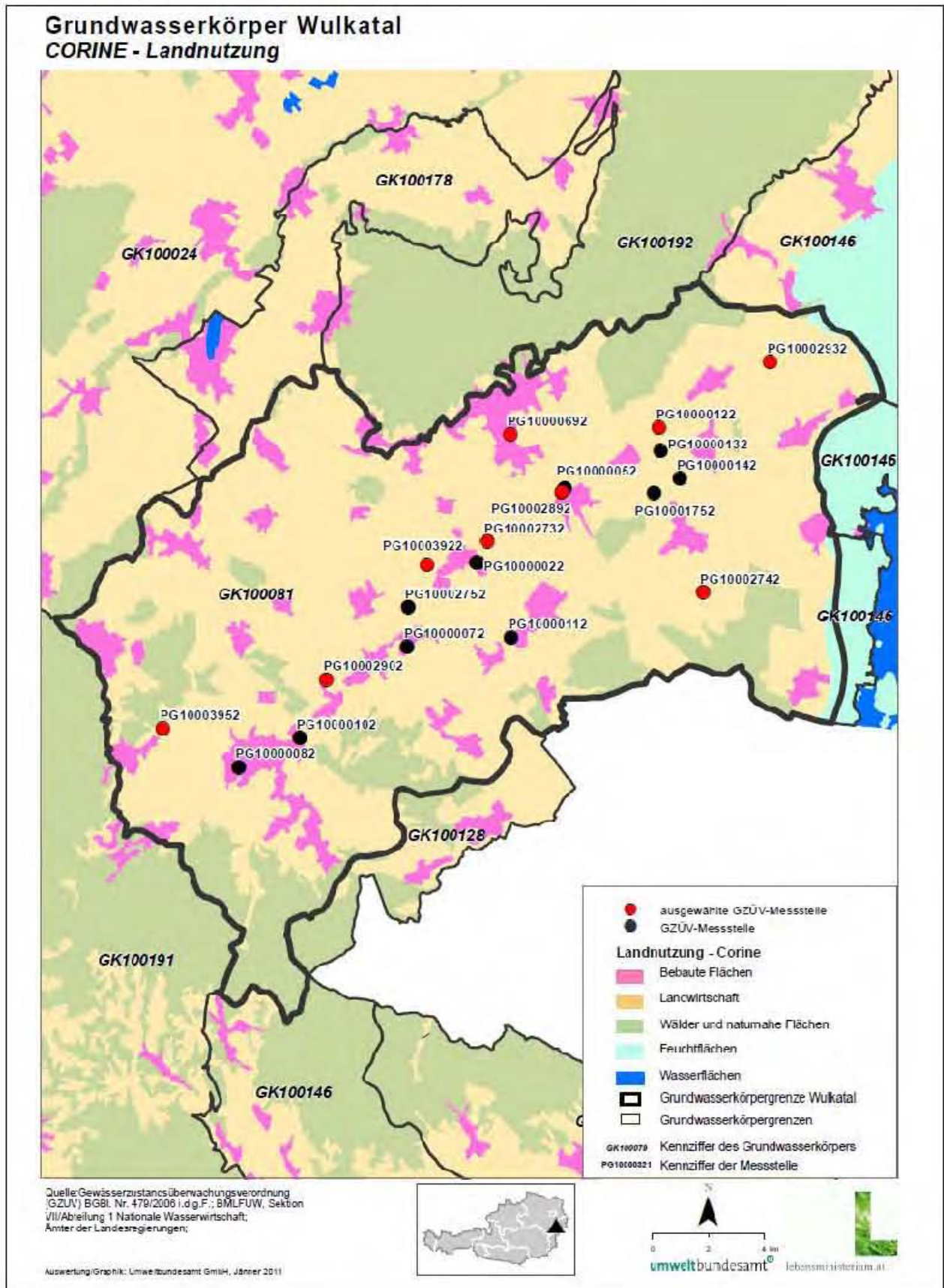


Abbildung 39: Landnutzung im Grundwasserkörper Wulkatal (nach CORINE 2000).

3 ERGEBNISSE

3.1 Grazer Feld

3.1.1 Sauerstoff-18 und Deuterium

Sauerstoff-18-Werte

In Abbildung 40 sind die Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld als Mittelwerte für das Jahr 2009 dargestellt. Die 73 Sauerstoff-18-Einzelwerte im Grundwasserkörper Grazer Feld variieren zwischen $-10,51$ und $-6,81$ ‰. Der überwiegende Anteil der Messstellen zeigt Werte um -10 bis -8 ‰ (Abbildung 41). Nur eine Messstelle im zentralen Südteil des Grundwasserkörpers zeigt eine mittlere Anreicherung von -7 ‰. Die Sauerstoff-18-Mittelwerte im Jahr 2009 der ausgewählten GZÜV-Messstellen sind aus Abbildung 40 zu entnehmen, sie haben eine Bandbreite von $-10,09$ bis $-7,03$ ‰. Die Mur zeigt bei der einmaligen Beprobung im Sommer 2009 einen Sauerstoff-18-Wert von $-10,7$ ‰. Das fünfjährige (2005–2009) gewogene Mittel des Niederschlags weist einen Sauerstoff-18-Wert von $-8,8$ ‰ auf (ANIP 2010). Der Mittelwert über alle Grundwassermessstellen liegt bei $-8,6$ ‰.

Deuteriumwerte

Das Mittel der Deuterium-Konzentrationen bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grazer Feld liegt bei $-61,81$ ‰, bei einem Minimum von $-73,1$ ‰ und einem Maximum von $-54,9$ ‰. Im Vergleich dazu beträgt der Mittelwert des Niederschlags in Graz aus den letzten fünf Jahren $-67,0$ ‰.

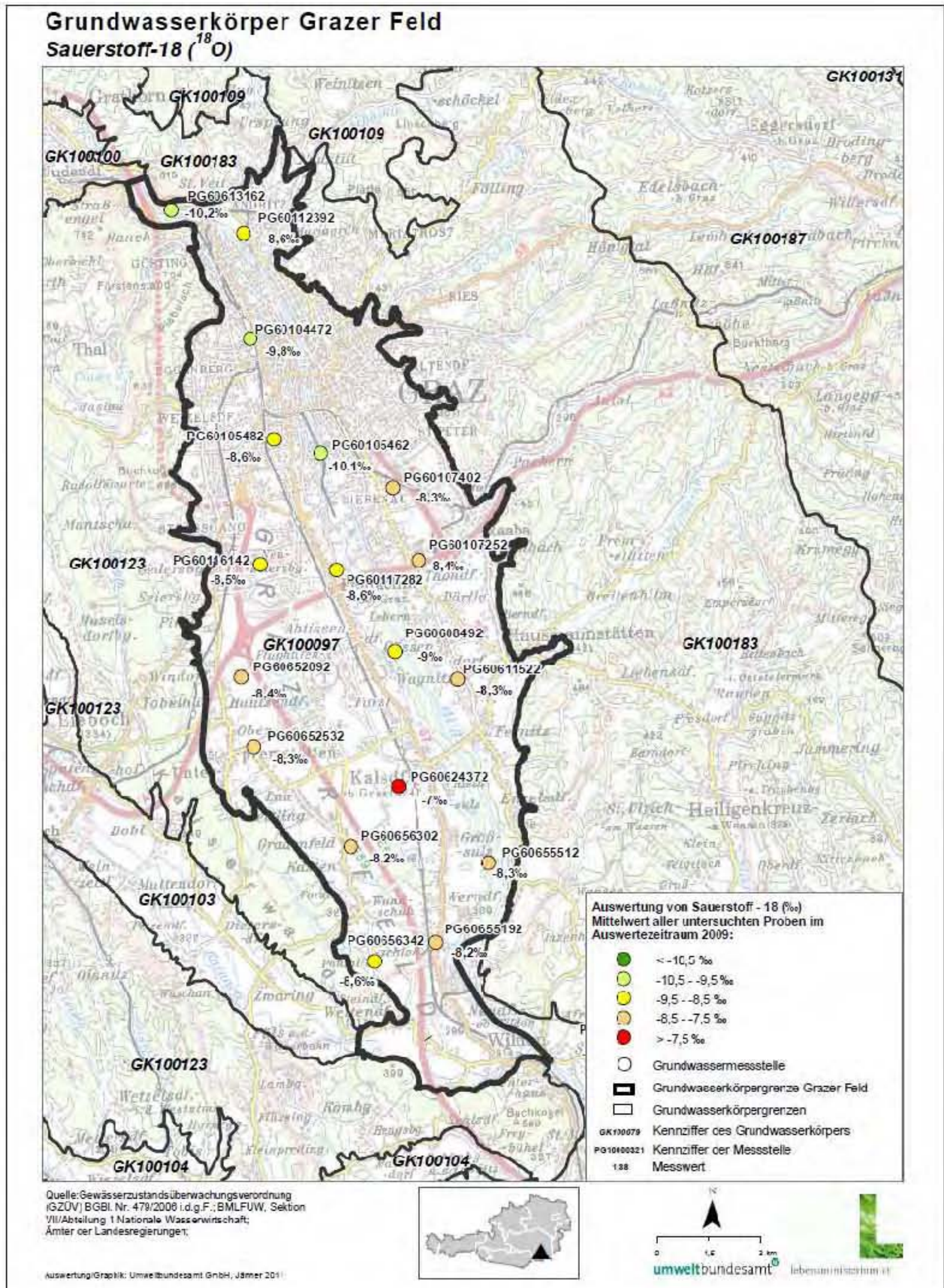
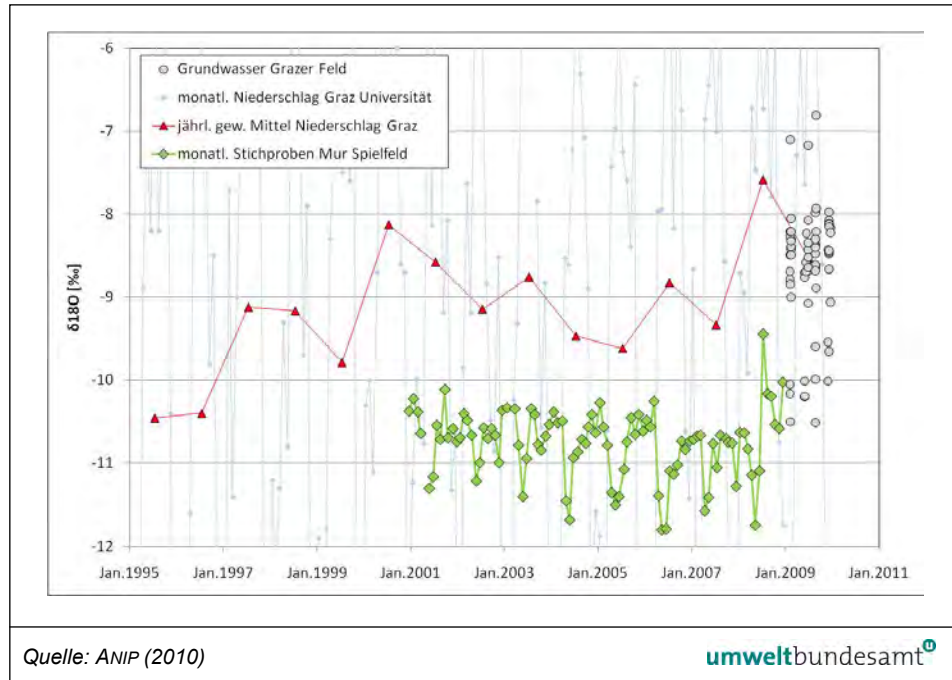


Abbildung 40: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld (Mittelwert im Jahr 2009).



Quelle: ANIP (2010)

umweltbundesamt[®]

Abbildung 41: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld im Vergleich zur Mur und dem Niederschlag in Graz (1995–2010).

3.1.2 Tritium

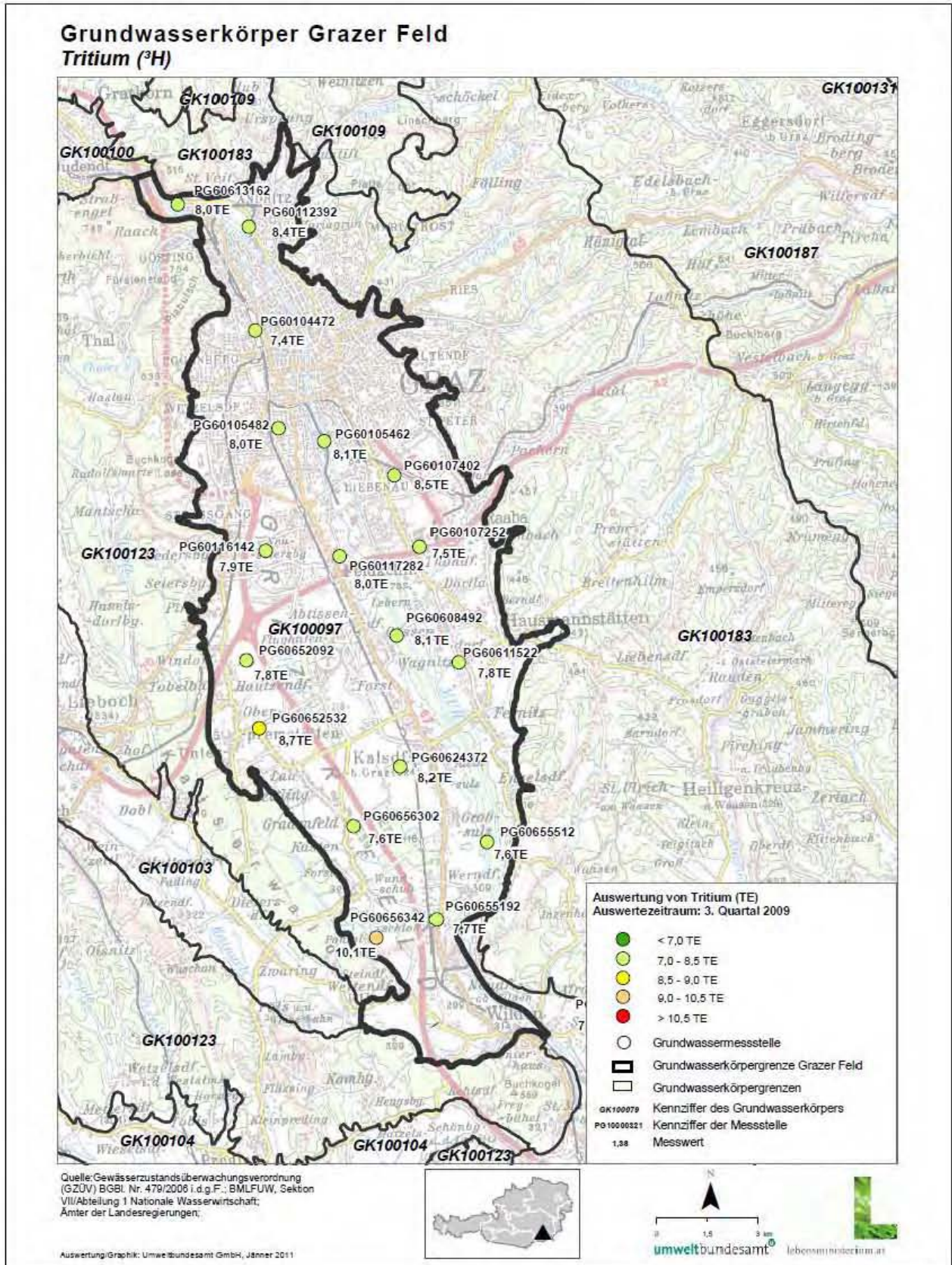


Abbildung 42: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld (3. Quartal 2009).

Tritiumwerte

In Abbildung 42 sind die ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld mit den gemessenen Tritium-Einheiten [TE] der Probenkampagne des 3. Quartals 2009 dargestellt. Die Tritium-Einheiten der entnommenen Proben liegen im Bereich von 7,4–10,1 TE. Zwei der 18 Messstellen zeigen Tritium-Einheiten > 8,5 TE, alle anderen liegen im Bereich von 7–8,5 TE. Das Mittel der ermittelten Tritiumgehalte im Grazer Feld liegt bei 8,1 TE. Im Vergleich dazu beträgt das fünfjährige (2005–2009) gewogene Mittel des Niederschlags 9,3 TE.

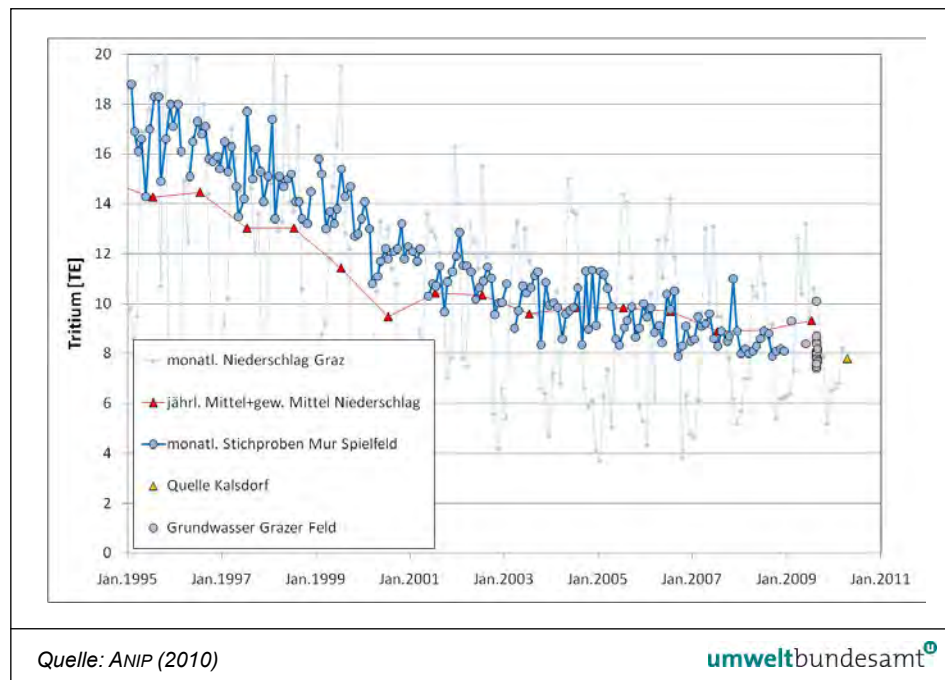


Abbildung 43: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld im Vergleich zur Mur und dem Niederschlag in Graz (1995–2010).

3.1.3 Tritium/Helium-3

Tritogene Helium-3-Werte

In Abbildung 44 sind alle tritiogenen Helium-3-Werte im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld, die im 3. Quartal 2009 beprobt wurden, ersichtlich. Mit Ausnahme einer Messstelle liegen alle gemessenen tritiogenen Helium-3-Werte im Bereich zwischen 0,0 und 0,6 TE. Die Messstelle PG60656342 hebt sich mit 21,9 TE deutlich von den übrigen 17 analysierten GZÜV-Messstellen ab.

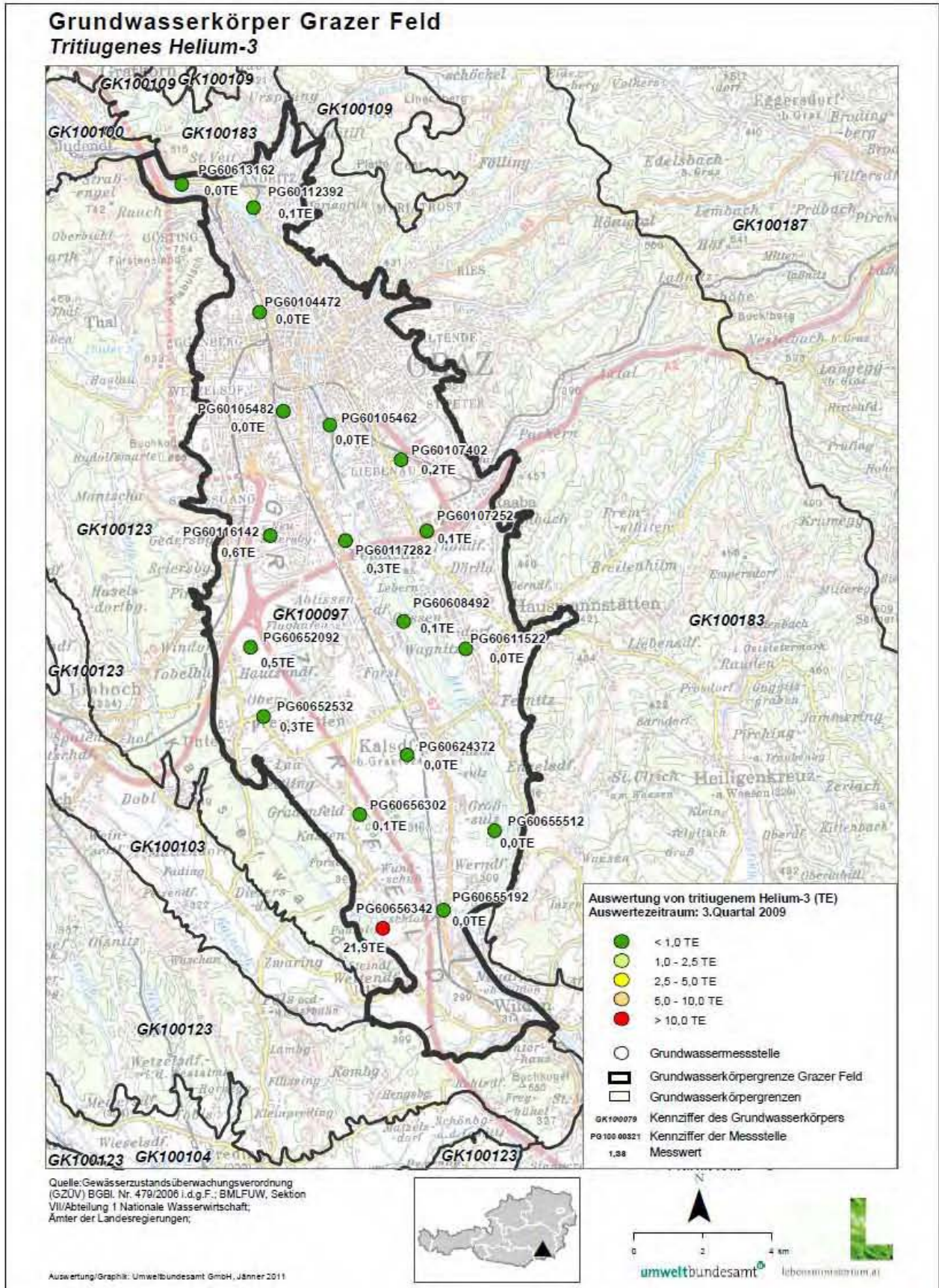


Abbildung 44: Tritiuogene Helium-3-Werte im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld (3. Quartal 2009).

3.1.4 CFC und SF₆

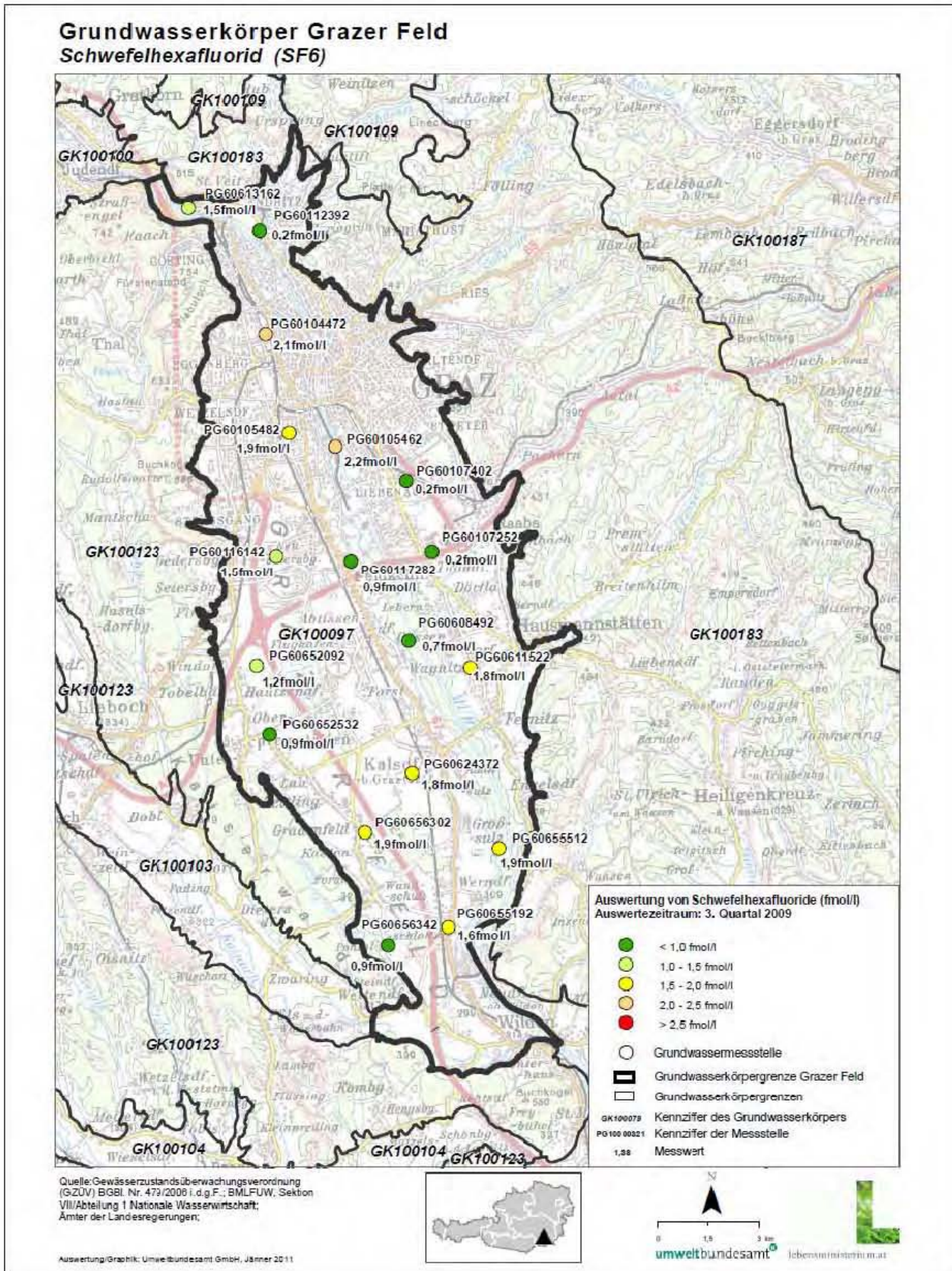


Abbildung 45: SF₆-Werte im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld (3. Quartal 2009).

In Abbildung 45 sind die ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld mit den Ergebnissen der SF₆-Analysen abgebildet. Bei den SF₆-Werten liegt die Schwankungsbreite der gemessenen Konzentrationen bei 0,2–2,2 fmol/l.

SF₆-Werte

Die gemessenen CFC-11-Werte bewegen sich im Konzentrationsbereich zwischen 0,9 und 131,9 pmol/l, die CFC-12-Werte zwischen 1,3 und 214,4 pmol/l.

CFC-Werte

3.1.5 Tiefenproben

Für die Erfassung des tieferen Bereiches des Grundwasserkörpers Grazer Feld wurde die Grundwassermessstelle KB01/09 im Stadtzentrum von Graz (siehe Abbildung 46 und Anhang) ausgewählt. Im April 2010 erfolgte mittels eines Packers die tiefengestufte Probenahme in 13 bzw. 27 m.

Die Deuteriumwerte sind ident, die Sauerstoff-18-Werte unterscheiden sich lediglich um 0,1 ‰ (siehe Abbildung 47). Der Tritiumwert der tiefer entnommenen Probe ist um 1,8 TE geringer (siehe Abbildung 48).

**Ergebnisse der
Tiefenbeprobung**

Ausgehend von diesen Isotopenuntersuchungen kann die Mittlere Verweilzeit bei der seichteren Probe KB01/09 13m mit < 5 Jahren angegeben werden. Bei der tiefer entnommenen Probe KB01/09 27m kann hingegen von einer Mittleren Verweilzeit des Grundwassers von 11–25 Jahren ausgegangen werden.

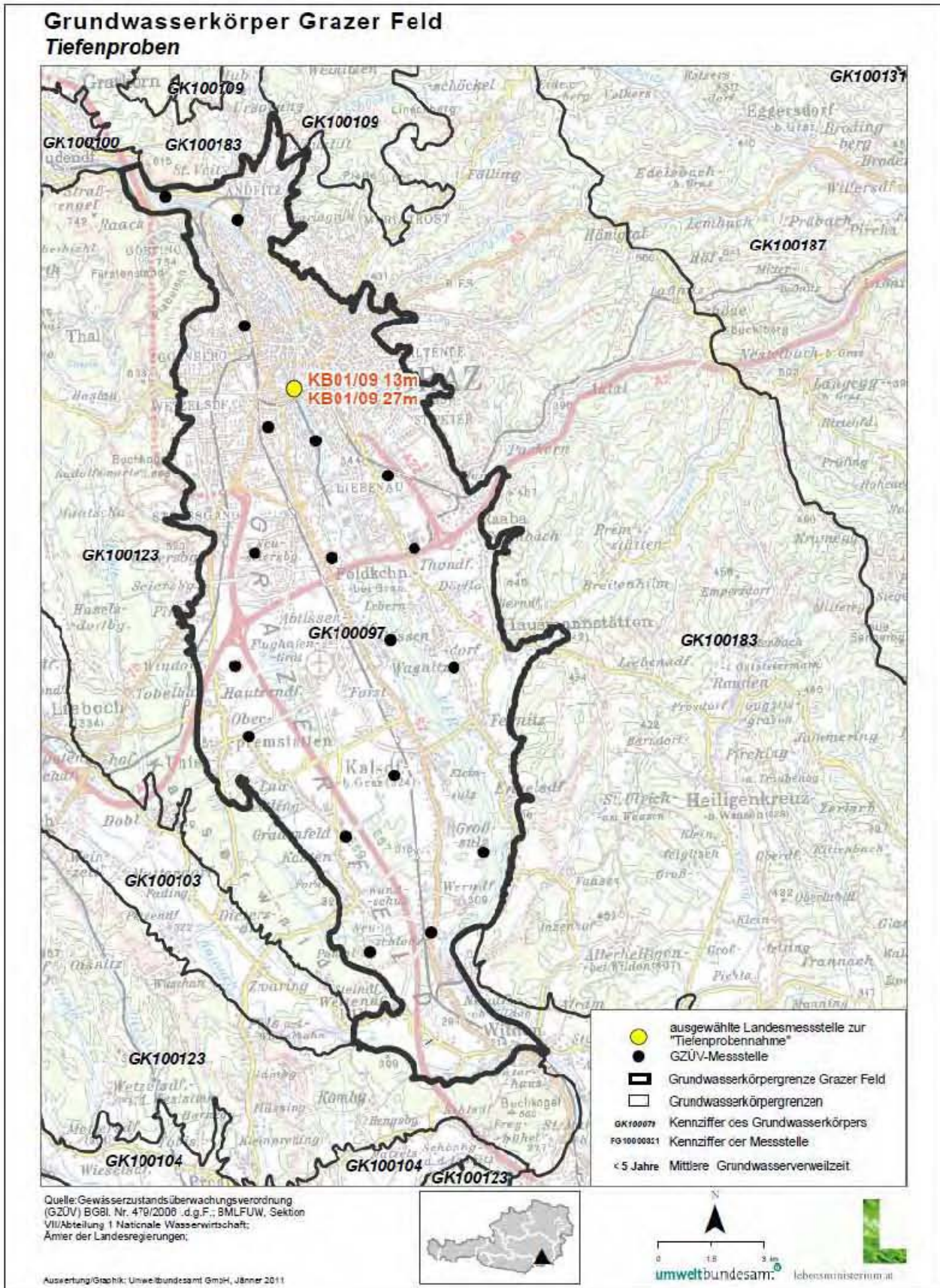


Abbildung 46: Ausgewählte Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld, die den tieferen Bereich des Grundwasserkörpers erfassen.

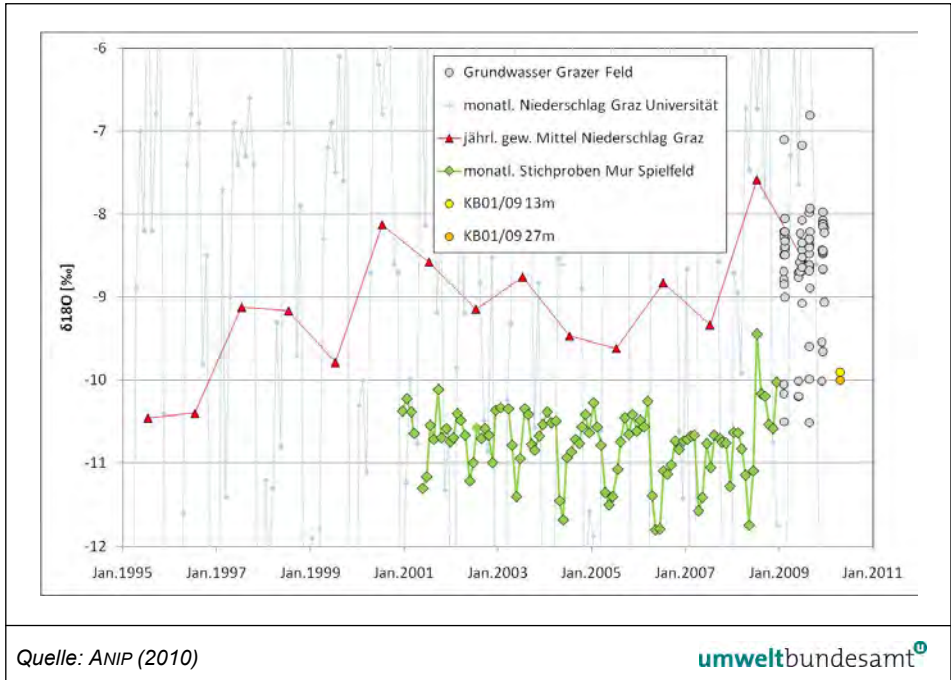


Abbildung 47: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen und der Messstelle mit tiefengestufter Probenahme im Grundwasserkörper Grazer Feld im Vergleich zur Mur und dem Niederschlag in Graz (1995–2010).

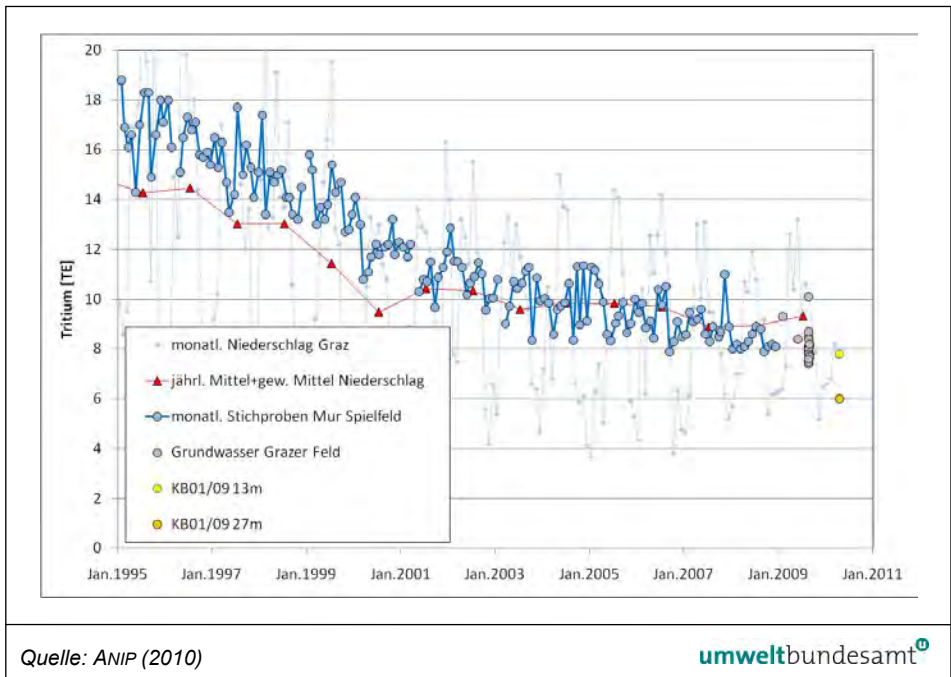


Abbildung 48: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen und der Messstelle mit tiefengestufter Probenahme im Grundwasserkörper Grazer Feld im 3. Quartal 2009 im Vergleich zur Mur und dem Niederschlag in Graz (1995–2010).

3.1.6 Mittlere Verweilzeiten

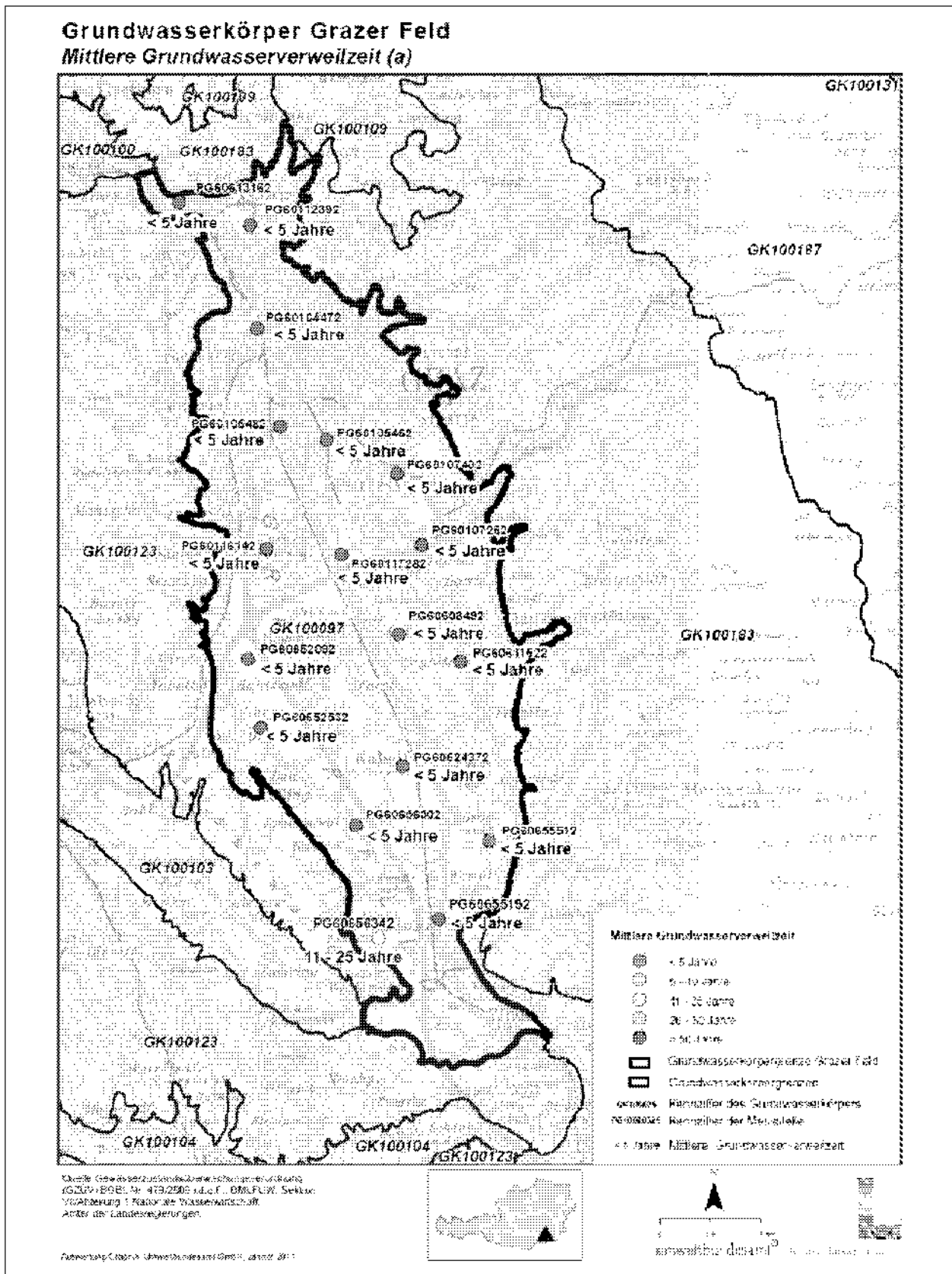


Abbildung 49: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Grazer Feld.

Im Süden des Grazer Feldes wurden, bis auf eine Messstelle, Grundwasser-
verweilzeiten von bis 5 Jahren ermittelt. Die am südlichsten gelegene Messstel-
le weist mit Mittleren Altern zwischen 11 und 25 Jahren die ältesten Wässer im
Grundwasserkörper auf. Alle im Norden und Mittelteil, westlich der Mur gelege-
nen Messstellen im Grundwasserkörper ergaben Mittlere Verweilzeiten bis fünf
Jahre. Um den Anteil des Grundwasserkörpers östlich der Mur zu erfassen,
wurden drei Messstellen im zentralen Ostteil ausgewählt. Für diesen Bereich
ergaben die Isotopenanalysen bzw. die Berechnungen Mittlere Verweilzeiten
von bis zu 5 Jahren. Die zwei ganz im Norden des Grazer Feldes ausgewählten
GZÜV-Messstellen ergaben ebenfalls MVZ unter fünf Jahren.

Für den Grundwasserkörper Grazer Feld ergibt sich somit hinsichtlich der mitt-
leren Grundwasseralter ein einheitliches Bild mit größtenteils Mittleren Verweil-
zeiten bis fünf Jahren.

**größtenteils MVZ bis
5 Jahren**

3.2 Jauntal

3.2.1 Sauerstoff-18 und Deuterium

Die Sauerstoff-18- bzw. Wasserstoff-2-Werte (Deuterium) im Grundwasser des
Grundwasserkörpers Jauntal schwanken zwischen – 10,05 bis – 9,35 ‰ bzw.
– 71,7 bis – 65,3 ‰ und liegen im Jahr 2009 bei einem Mittelwert von – 9,75
bzw. – 68,6 ‰ (siehe Abbildung 50, Abbildung 51 und Anhang). Bei der Mess-
stelle PG20803032 erreichen zwei Messwerte – 8,8 bis – 8,5 ‰ (bzw.
– 61,6 ‰) und zeigen in Kombination mit den Wasserstoff-2-Werten eine Ab-
weichung von der lokalen Niederschlagsgeraden. Die Standardabweichung der
vier Messungen pro Messstelle sind bei älteren Wässern zwischen 0 und
0,07 ‰ und reichen bei jungen Wässern bis 0,45 ‰ hinauf.

**Sauerstoff-18- und
Deuteriumwerte**

Die südlich gelegenen Quellen (KK20707102 und KK20807092; KRÁLIK &
SCHARTNER 2010) und die von den südlich gelegenen Karawanken herkom-
menden Sucha-, Feistritz- und Globasnitzbäche sind im Delta Sauerstoff-18
markant niedriger zwischen – 11,1 und – 10,2 ‰. Auf der anderen Seite zeigt
das langjährige gewogene Mittel (2000–2009) der Niederschläge einen Sauer-
stoff-18-Wert von – 9,3 ‰.

Gegenüber früheren Sauerstoff-18-Messungen im Grundwasserkörper Jauntal
im Jahr 1979 (ZOJER 1980) und 1993/94 (SPENDLINGWIMMER & HEIß 1996) zeigt
sich ein genereller Anstieg um ungefähr 1 bzw. 0,5 ‰.

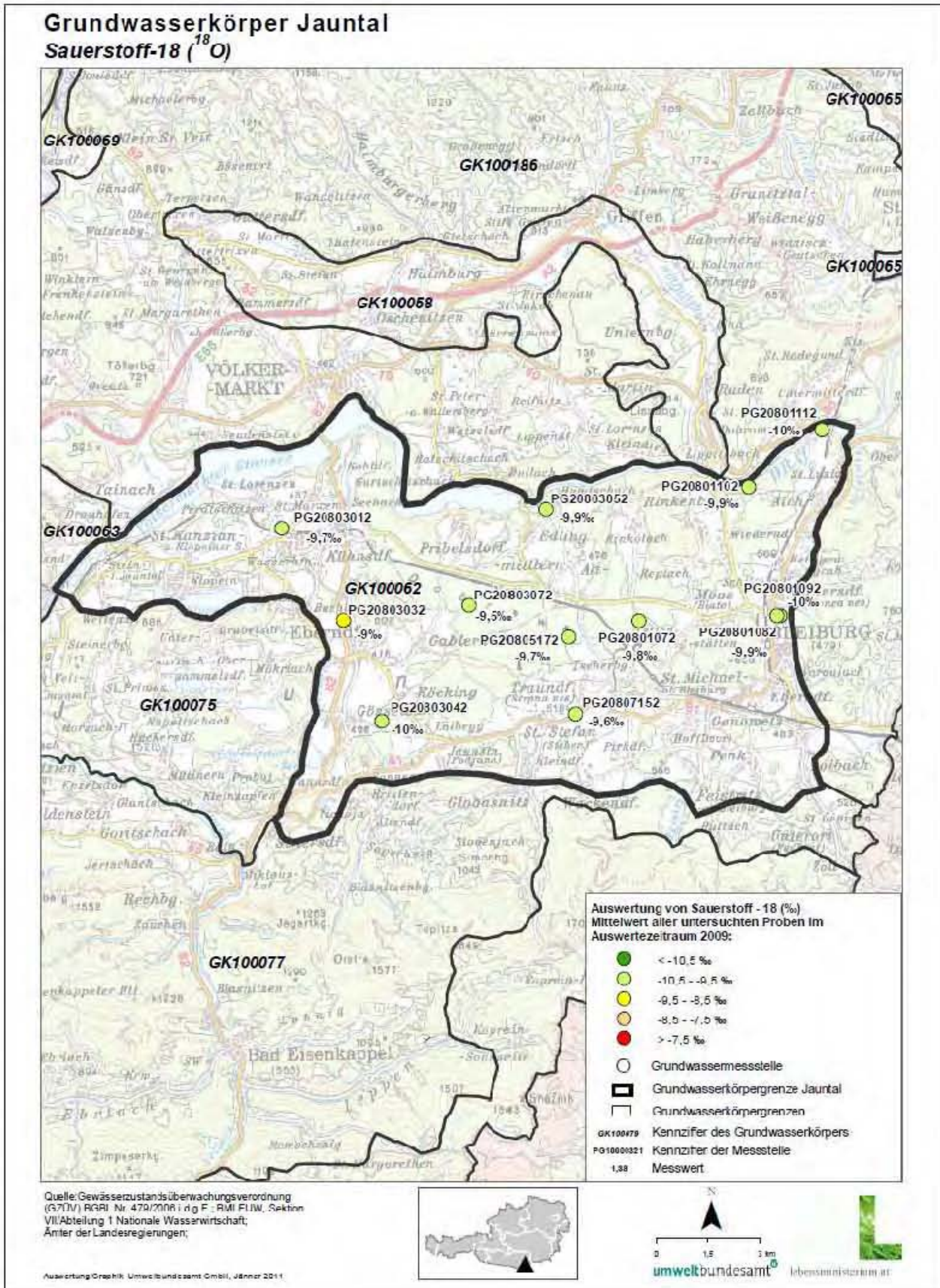


Abbildung 50: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Jauntal (Mittelwert im Jahr 2009).

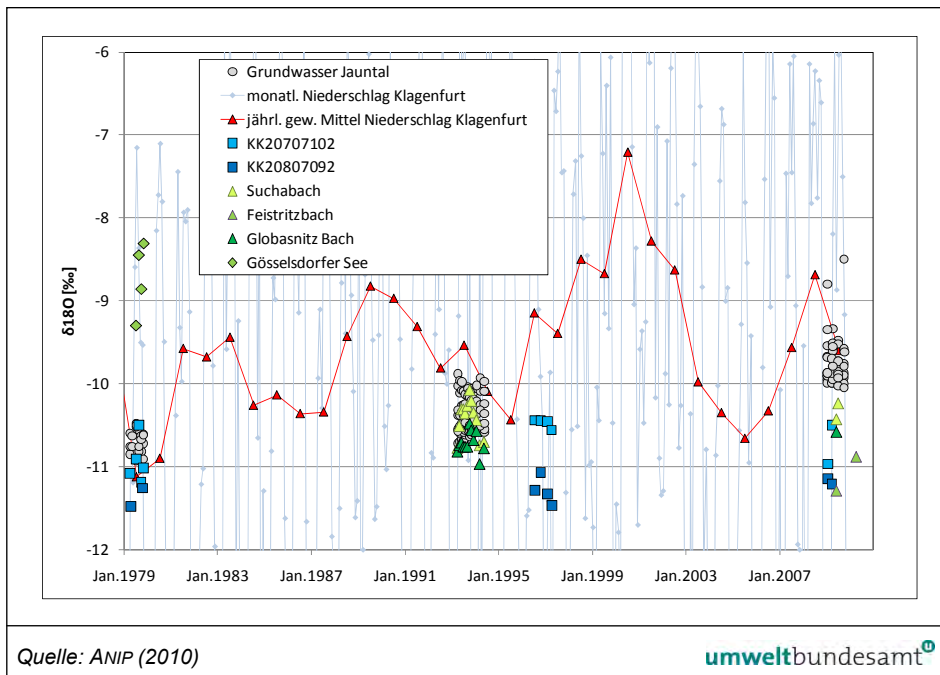


Abbildung 51: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Jauntal im Vergleich zum Niederschlag in Klagenfurt (1979–2010).

3.2.2 Tritium

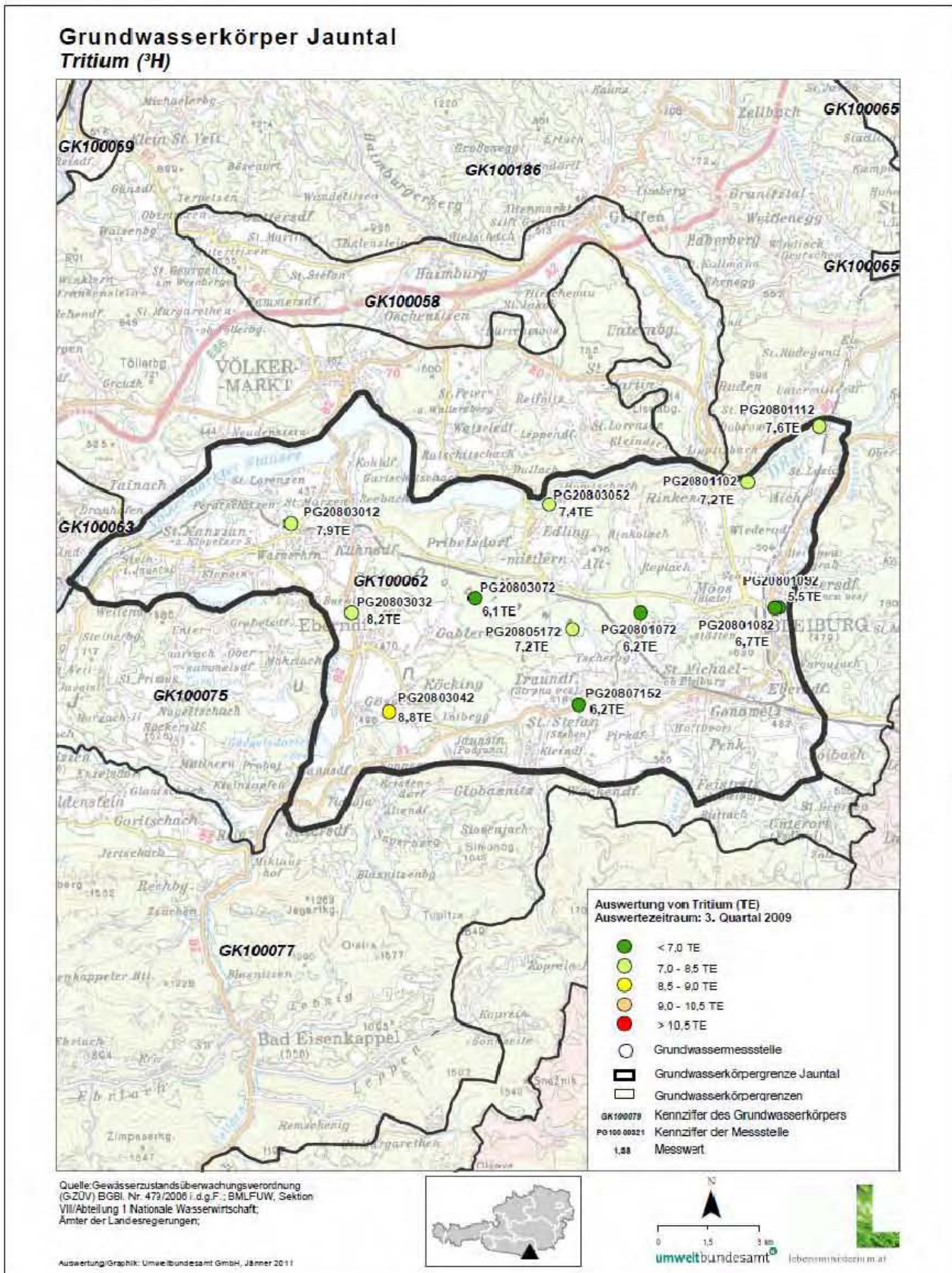


Abbildung 52: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Jauntal (3. Quartal 2009).

Tritiumwerte

Die Tritium-Konzentrationen im Grundwasser des Grundwasserkörpers Jauntal schwanken zwischen 5,5 und 8,8 TE (siehe Abbildung 52, Abbildung 53 und Anhang) im Jahr 2009/2010 und liegen im Mittel bei 7,0 TE. Das Mittel des Niederschlags bei Klagenfurt (ANIP 2010) der letzten 5 Jahre liegt bei 8,3 TE und das gewogene Mittel bei 9,1 TE.

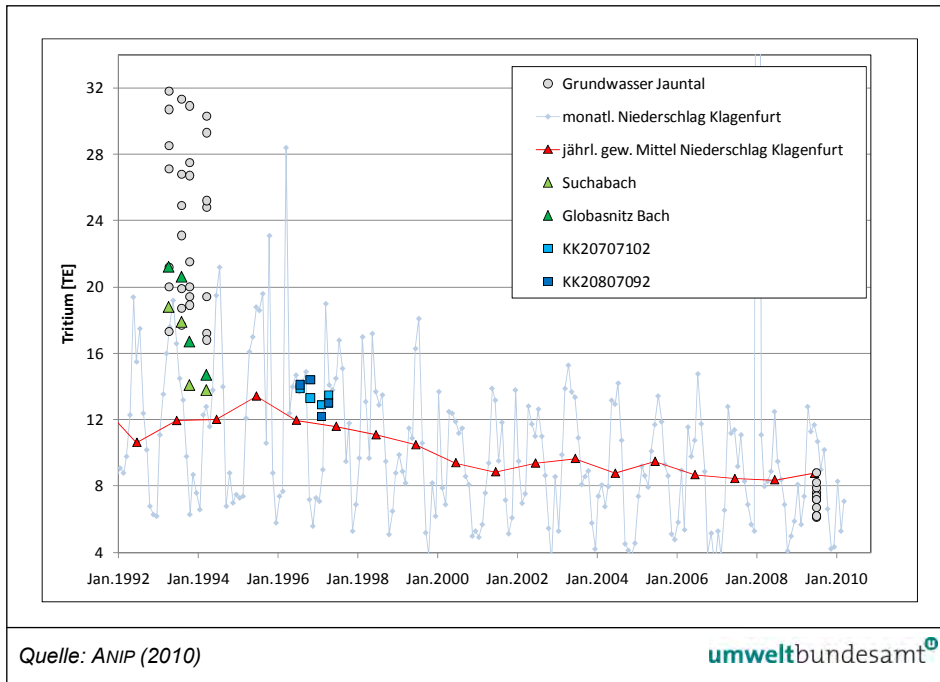


Abbildung 53: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Jauntal im 3. Quartal 2009 im Vergleich zum Niederschlag in Klagenfurt (1992–2010).

3.2.3 Tritium/Helium-3

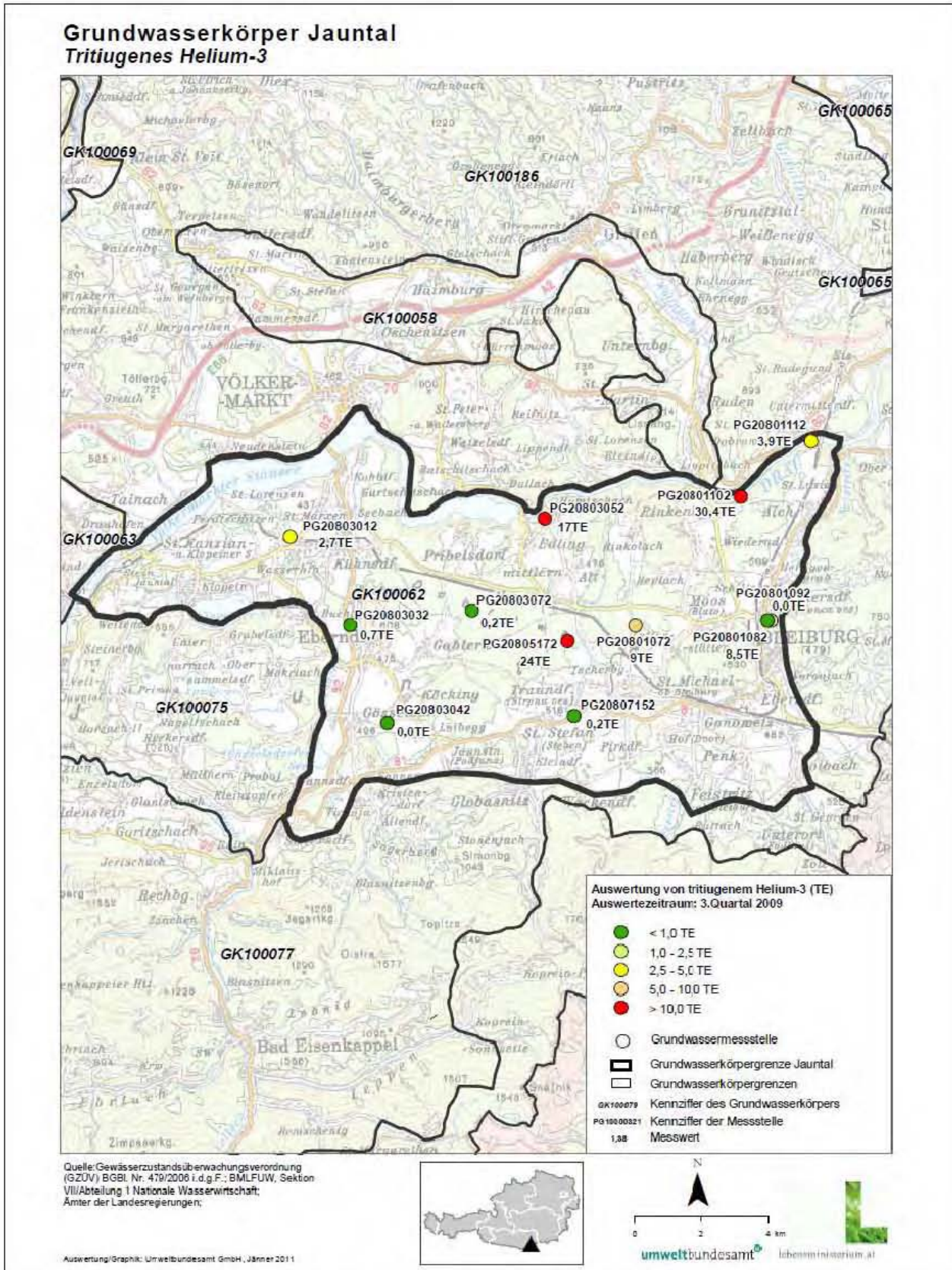


Abbildung 54: Tritogene Helium-3-Werte im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Jauntal (3. Quartal 2009).

Die durch den Tritiumzerfall im Grundwasser (tritiugen) entstandenen Helium-3-Werte schwanken im Jauntal zwischen 0 und 30 TE. Das ${}^4\text{He}_{\text{radio}}$ ist an den Quellen nahe der Drau (PG20801102, PG20803052) relativ stark, an einigen tiefen Messstellen (PG20801072, PG20801082) und an der Quelle (PG20801112) erhöht (siehe Abbildung 54 und Anhang).

***tritiugene
Helium-3-Werte***

3.2.4 CFC und SF₆

Die CFC-11- und CFC-12-Werte im Grundwasser der ausgewählten Messstellen des Grundwasserkörpers Jauntal schwanken zwischen 6,9–81,6 und 3,3–32,7 pmol/kg bzw. bei SF₆ zwischen 0,5 und 2,5 fmol/kg. Im Mittel enthalten die Grundwässer 36 und 12 pmol/kg bzw. 1,1 fmol/kg. Die CFC-12-Werte sind in allen Grundwassermessstellen gegenüber der gemessenen globalen Verteilung im Überschuss enthalten und CFC-11 zeigt in fast allen Messstellen einen Überschuss (Abbildung 6). Eine Interpretation der MVZ ist daher mit CFC-Gehalten nicht möglich.

CFC- und SF₆-Werte

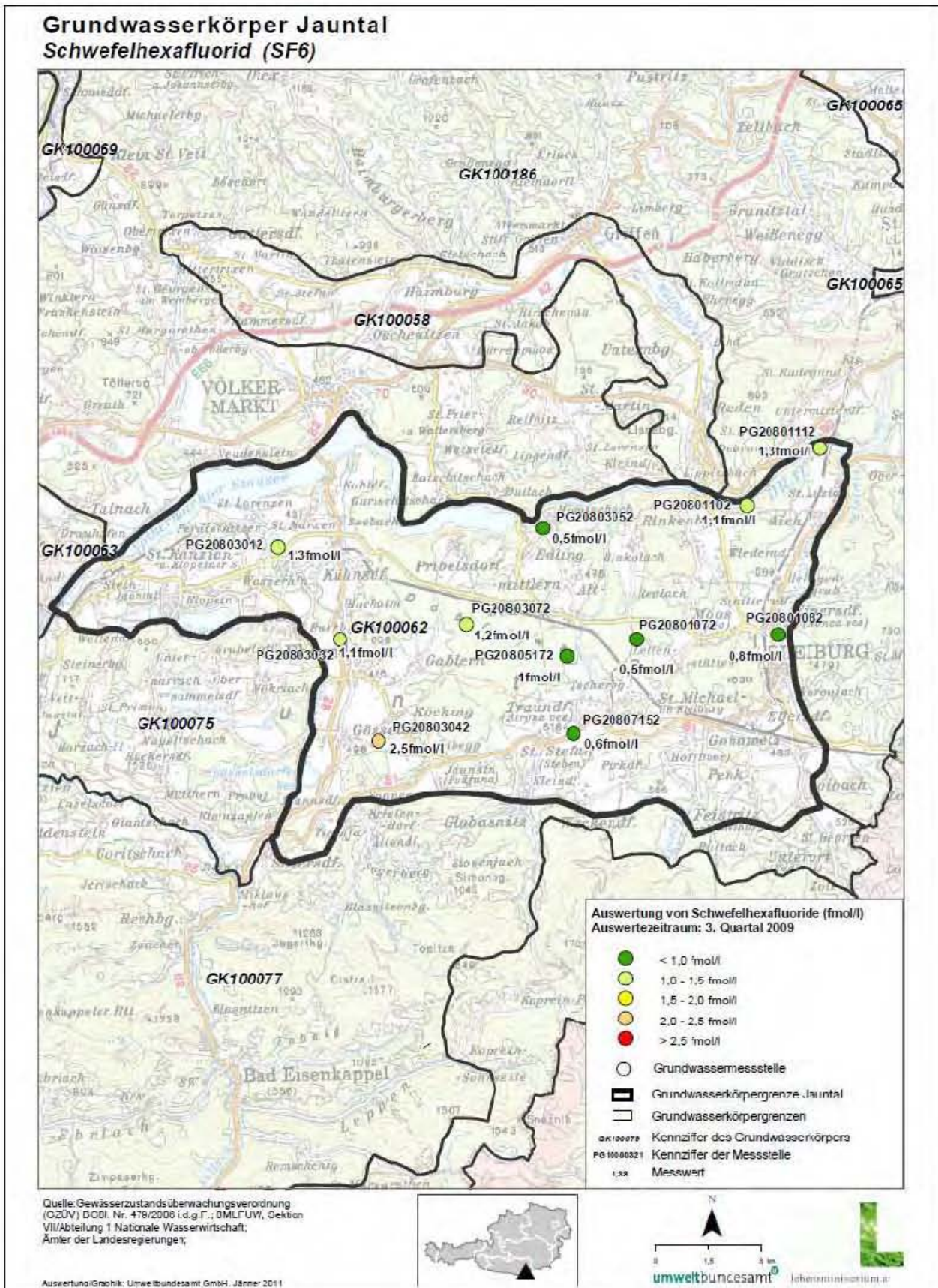


Abbildung 55: SF₆-Werte im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Jauntal (3. Quartal 2009).

3.2.5 Tiefenproben

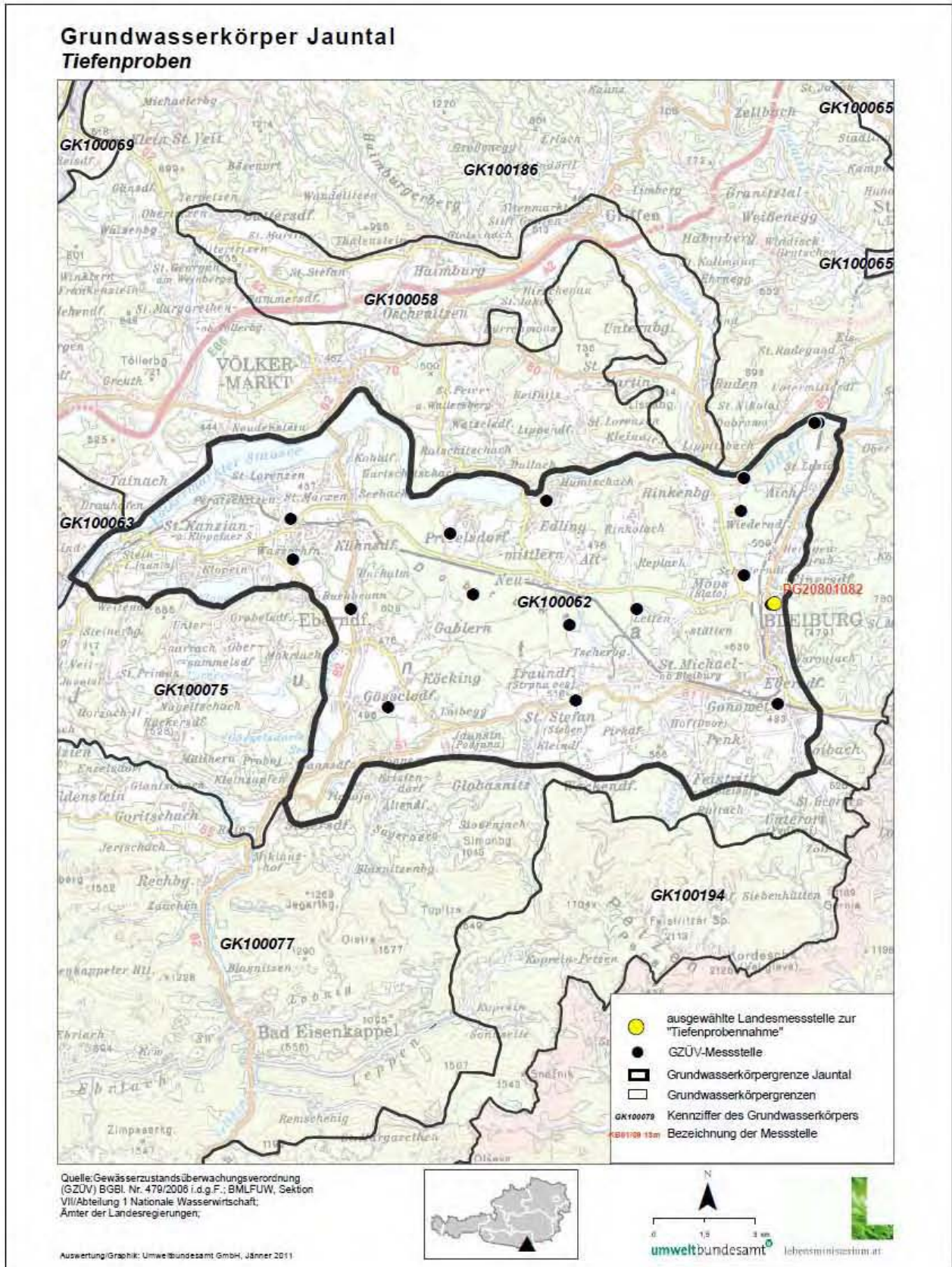


Abbildung 56: Ausgewählte GZÜV-Grundwassermessstelle im Grundwasserkörper Jauntal, die den tieferen Bereich des Grundwasserkörpers erfasst.

Ergebnisse der Tiefenbeprobung

Im Grundwassergebiet Jauntal zeigen die einzelnen Messstellen sehr variable Abstiche (6–77 m). Ebenso unterschiedlich sind die Endteufen (13–102 m) der einzelnen Messstellen. Vier Messstellen erfassen auch tiefere (25–47 m) Bereiche des recht unregelmäßigen Aquifers (PG20801072: 77–102 m, PG20801082: 30–77 m, PG20803072: 38–68 m, PG20805172: 70–90 m). Alle vier Messstellen liegen im zentralen und östlichen Bereich des Grundwasserkörpers, aber auch die drei Quellen nahe der Drau (PG2080203052, PG2080201102 und PG2080201112) enthalten Anteile aus dem tieferen Teil des Aquifers.

Die GZÜV-Messstellen PG20801082 und PG20801092 erfassen nördlich von Bleiburg oberflächennahe (29–35 m) und tiefere (57–77 m) Bereiche des rinnenförmigen Aquifers im östlichen Teil des Grundwasserkörpers Jauntal, der durch eine geringmächtige wasserstauende Schicht getrennt ist. Die $\delta^{18}\text{O}$ -, ^2H - und ^3H -Werte sind in höheren und tieferen Lagen ähnlich, aber das tritiugene Tritium ist mit 0 und 6,5–8,4 TE und die SF_6 -Werte sind mit 0,7 und 1,3 fmol/kg signifikant unterschiedlich. Auch das radiogene $^4\text{He}_{\text{radio}}$ ist im tieferen Bereich entscheidend höher. Ebenso sind die Leitfähigkeit und der Nitratgehalt im oberflächennaheren Bereich geringfügig (510 und 496 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bzw. 19 und 16 mg/l) höher. Die Unterschiede der Tracer rechtfertigen, die MVZ < 5 Jahre und den tieferen Bereich in die Altersgruppe von 11–25 Jahren einzustufen.

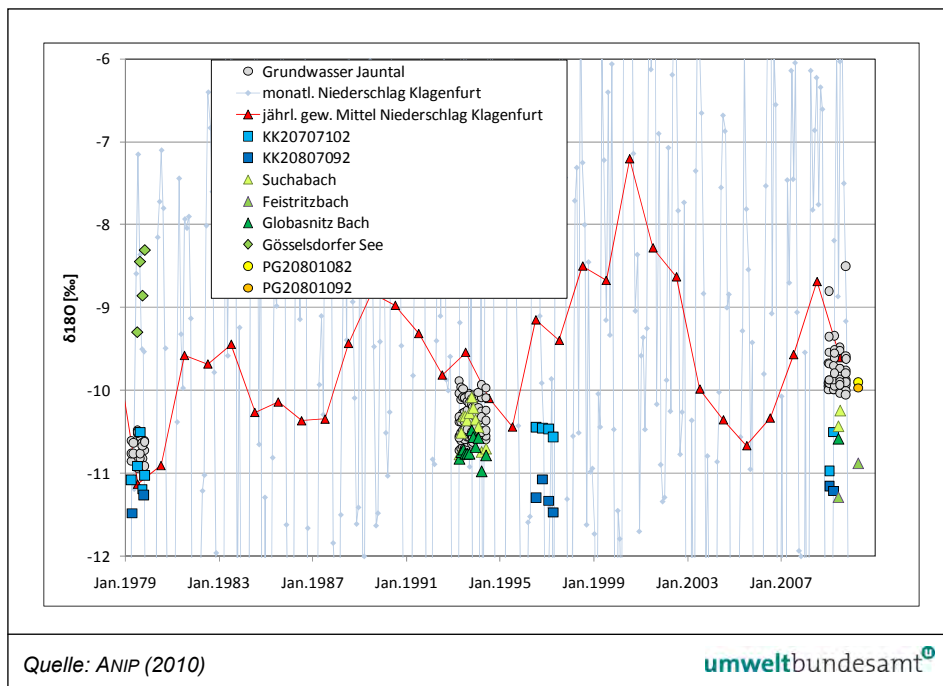


Abbildung 57: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen und den Messstellen mit tiefengestuffer Probenahme im Grundwasserkörper Jauntal im Vergleich zum Niederschlag in Klagenfurt (1979–2010).

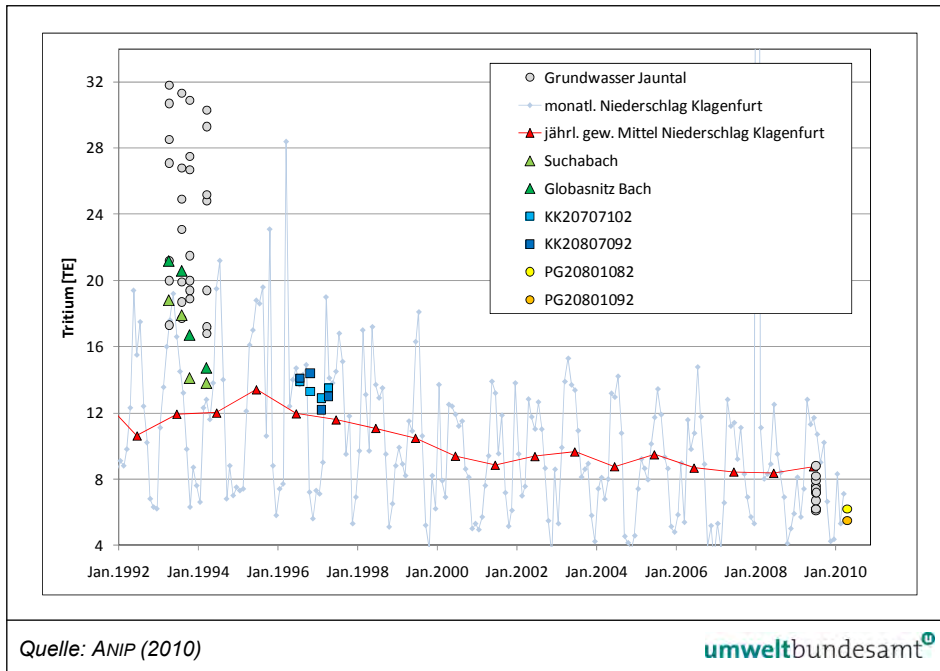


Abbildung 58: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen und den Messstellen mit tiefengestuffer Probenahme im Grundwasserkörper Jauntal im 3. Quartal 2009 im Vergleich zum Niederschlag in Klagenfurt (1992–2010).

3.2.6 Mittlere Verweilzeiten

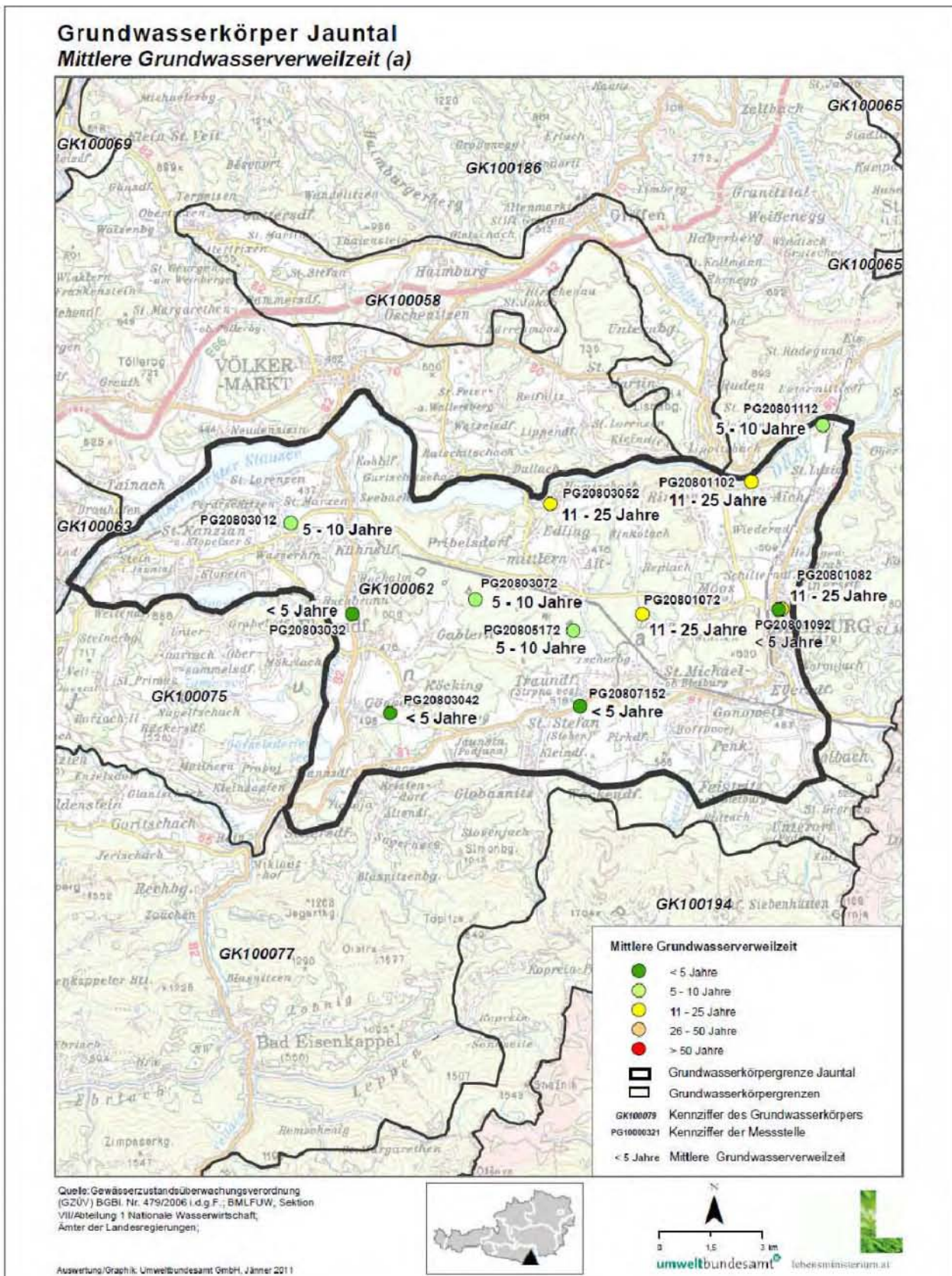


Abbildung 59: Mittlere Verweilzeiten bei den ausgewählten Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Jauntal.

Die Zuordnung der Mittleren Verweilzeiten (MVZ) der Wässer der recht unterschiedlich tief liegenden Grundwassermessstellen sind in Abbildung 59 dargestellt.

In die jüngste Altersgruppe von < 5 Jahren fallen die Messstellen mit für diesen Grundwasserkörper relativ geringen Abstichen von ungefähr 30 m ungesättigter Zone am Südrand (PG20803042 und PG20807152) nahe der Gebirgskette der Karawanken und im Osten (PG20801092) und besonders die Messstelle PG20803032 bei Eberndorf mit dem geringsten Abstich von 6,5 m. Sowohl die Messstellen mit mächtigen ungesättigten Zonen von 36–77 m im zentralen Bereich des Grundwasserkörpers (PG20803072, PG20805172, PG20801072 und PG20801082) als auch die tiefliegenden Quellen nahe der Drau (PG20803012, PG20803052, PG20801102 und PG20801112) fallen entweder in die Alterskategorie von 5–10 Jahren oder von 11–25 Jahren.

***höhere MVZ bei
tiefliegenden
Messstellen***

3.3 Leibnitzer Feld

3.3.1 Sauerstoff-18 und Deuterium

In Abbildung 60 sind die Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld als Mittelwerte für das Jahr 2009 dargestellt. Die Sauerstoff-18-Mittelwerte bewegen sich zwischen – 9,4 und – 5,5 ‰, die 54 Einzelmessungen zeigen eine Schwankungsbreite von – 9,5 bis – 5,2 ‰ (siehe Abbildung 61). Der Mittelwert aller Grundwassermessstellen liegt bei – 8,5 ‰. Zusätzlich wurden im Sommer 2009 noch drei Proben der Oberflächengewässer Laßnitz, Tillmitsch Baggersee und Sulm genommen. Die Sauerstoff-18-Werte der Oberflächengewässer liegen im Bereich der Kurve des jährlichen gewichteten Mittels des Niederschlags bzw. zeigen ähnliche Werte wie im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld (siehe Abbildung 61). Das langjährige gewogene Mittel (2005–2009) der Niederschläge in Graz weist einen Sauerstoff-18-Wert von – 8,8 ‰ auf (ANIP 2010).

Sauerstoff-18-Werte

Das Mittel der Deuteriumwerte liegt bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Leibnitzer Feld im Jahr 2009 bei – 60,9 ‰, wobei die Deuteriumwerte zwischen – 68,4 und – 45,5 ‰ variieren. Im Vergleich dazu beträgt der Mittelwert des Niederschlags in Graz aus den letzten fünf Jahren – 67,0 ‰.

Deuteriumwerte

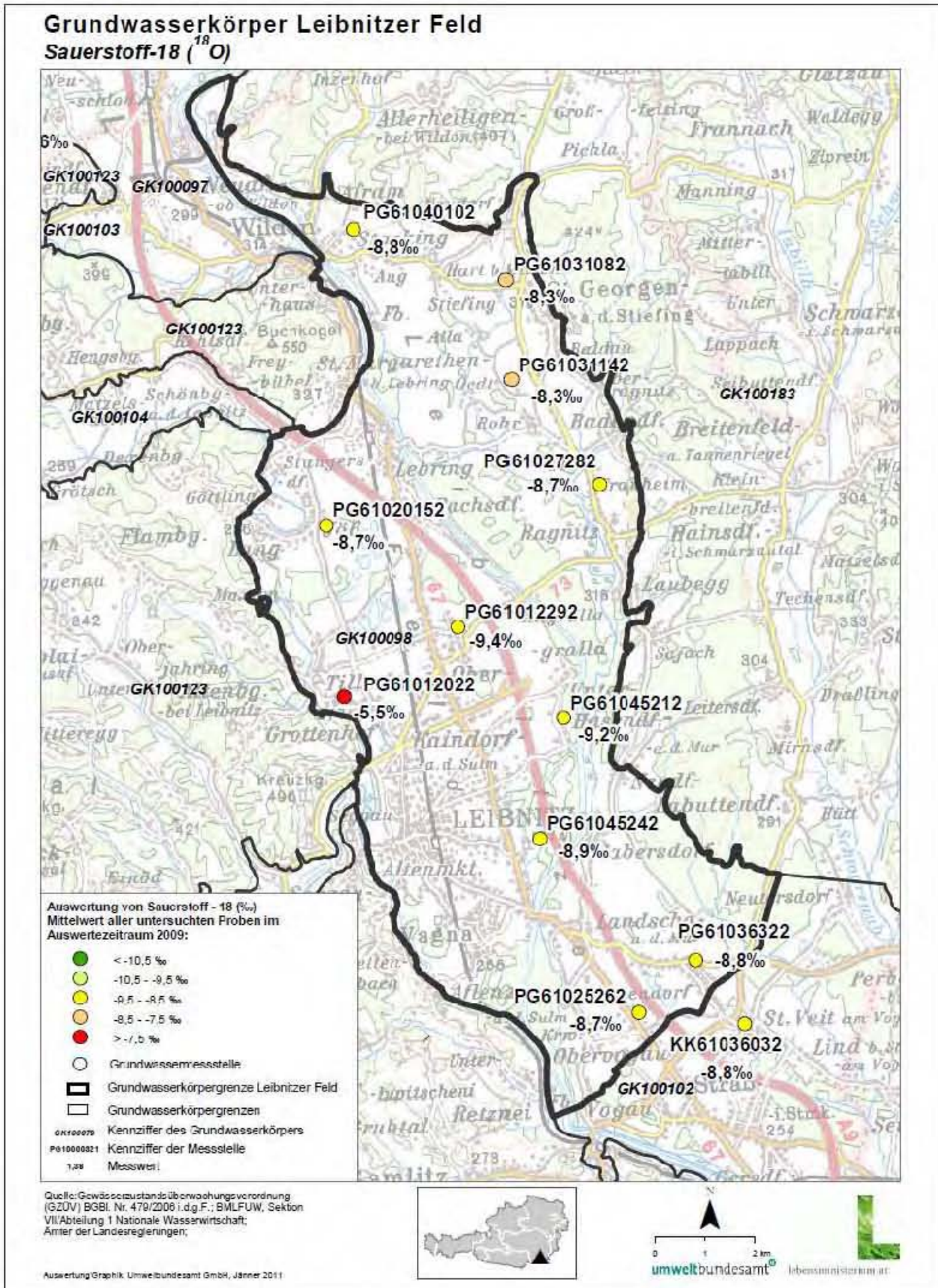


Abbildung 60: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld (Mittelwert im Jahr 2009).

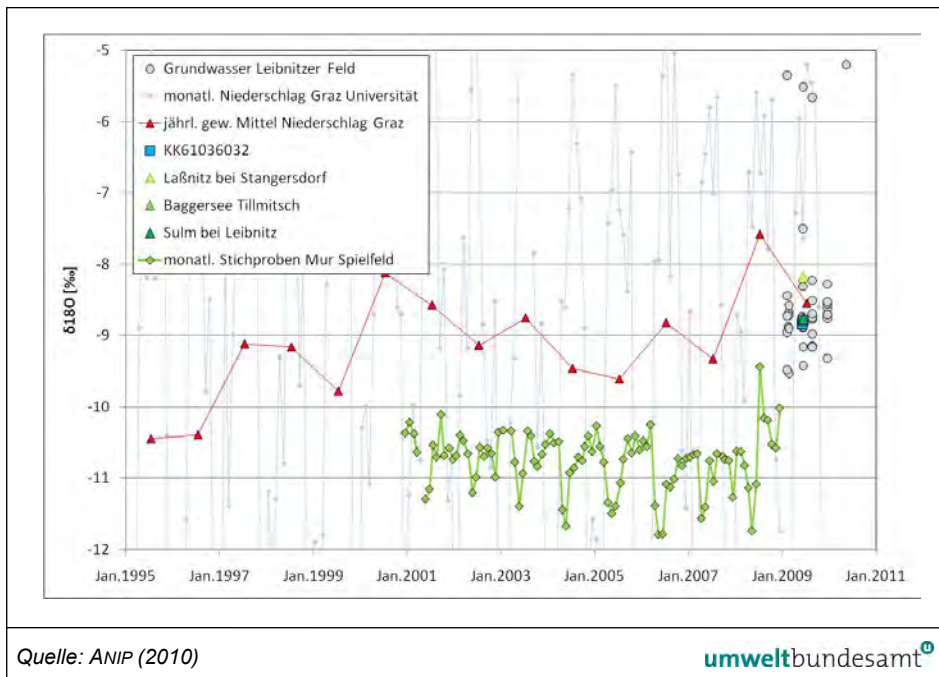


Abbildung 61: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld im Vergleich zum Niederschlag in Graz (1995–2010).

3.3.2 Tritium

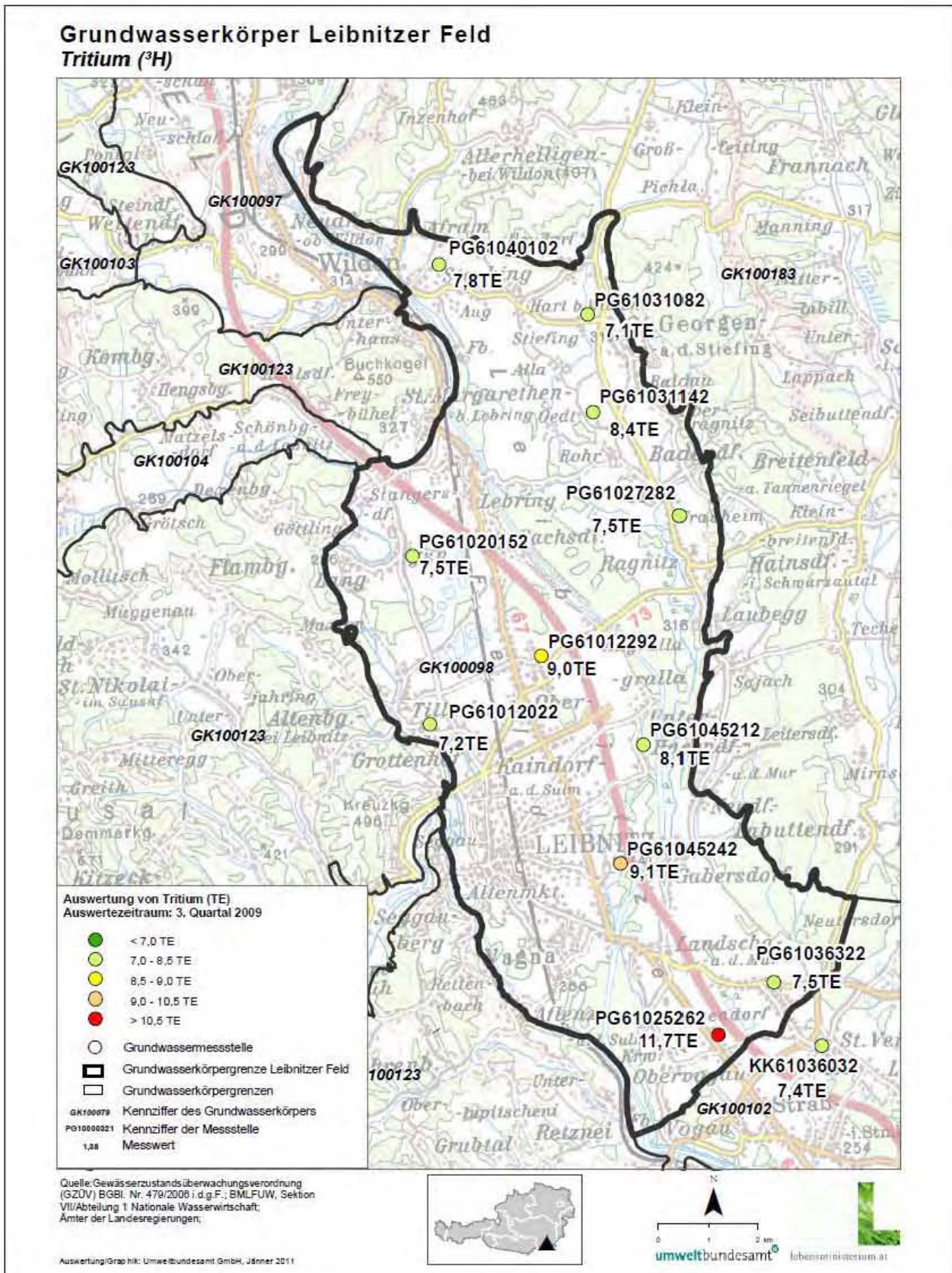


Abbildung 62: Tritium-Einheiten des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld (3. Quartal 2009).

Tritiumwerte

An 12 GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld wurden im 3. Quartal 2009 Proben für Tritiumanalysen genommen. Die Messwerte bewegen sich im Bereich von 7,1–11,7 TE und sind in Abbildung 62 dargestellt. Das jährlich gewichtete Mittel des Niederschlags in Graz (ANIP 2010) der letzten 5 Jahre liegt bei 9,3 TE, im Vergleich dazu liegt das Mittel der Tritiumanalysen der GZÜV-Messstellen bei 8,2 TE.

Die deutlichste Abweichung vom Mittelwert wurde bei der Messstelle PG61025262 mit 11,7 TE festgestellt. Sieben Messstellen liegen mit Tritiumwerten kleiner 8 TE etwas unterhalb des Mittelwertes von 8,2 TE.

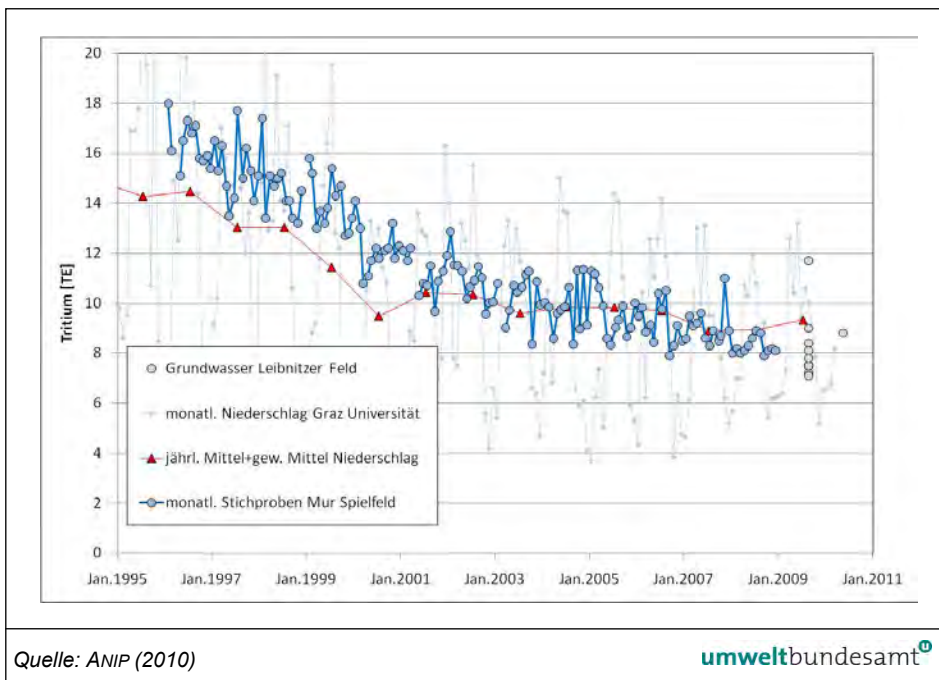


Abbildung 63: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld im Vergleich zur Mur und zum Niederschlag in Graz (1995–2010).

3.3.3 Tritium/Helium-3

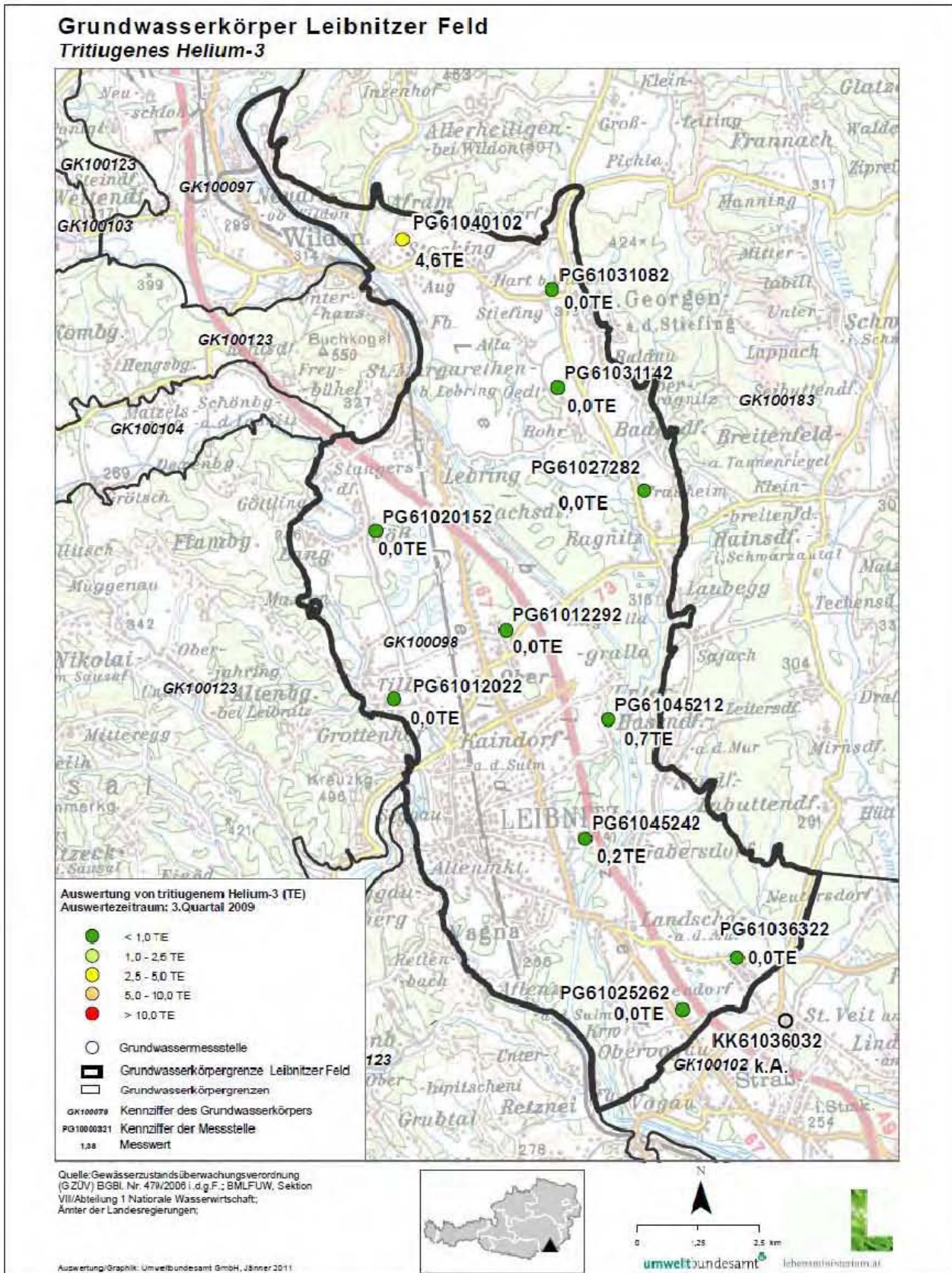


Abbildung 64: Tritogene Helium-3-Werte im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld (3. Quartal 2009).

In Abbildung 64 sind alle aus dem Zerfall des Tritiums gebildeten (tritiogenen) Helium-3-Werte im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld, die im 3. Quartal 2009 beprobt wurden, dargestellt. Mit Ausnahme einer Messstelle liegen alle Werte im Bereich zwischen 0,0 und 0,7 TE. Die Messstelle PG61040102 hebt sich mit 4,6 TE deutlich von den übrigen 10 analysierten GZÜV-Messstellen ab (siehe Tabelle im Anhang). Der Mittelwert der tritiogenen Helium-3-Werte im Grundwasserkörper liegt bei 0,5 TE.

tritiogene Helium-3-Werte

3.3.4 CFC und SF₆

In Abbildung 65 sind die ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld mit den Ergebnissen der SF₆-Analysen abgebildet. Bei den SF₆-Werten liegt die Schwankungsbreite der Analyseergebnisse bei < 0,1 bis 2,1 fmol/l. Der Mittelwert liegt bei 1,1 fmol/l.

SF₆-Werte

Die gemessenen CFC-11-Werte bewegen sich im Konzentrationsbereich zwischen 1,4 und 68,1 pmol/l, die CFC-12-Werte zwischen 0,1 und 36,1 pmol/l. Die Mittelwerte liegen bei 9,46 bzw. 13,5 pmol/l.

CFC-Werte

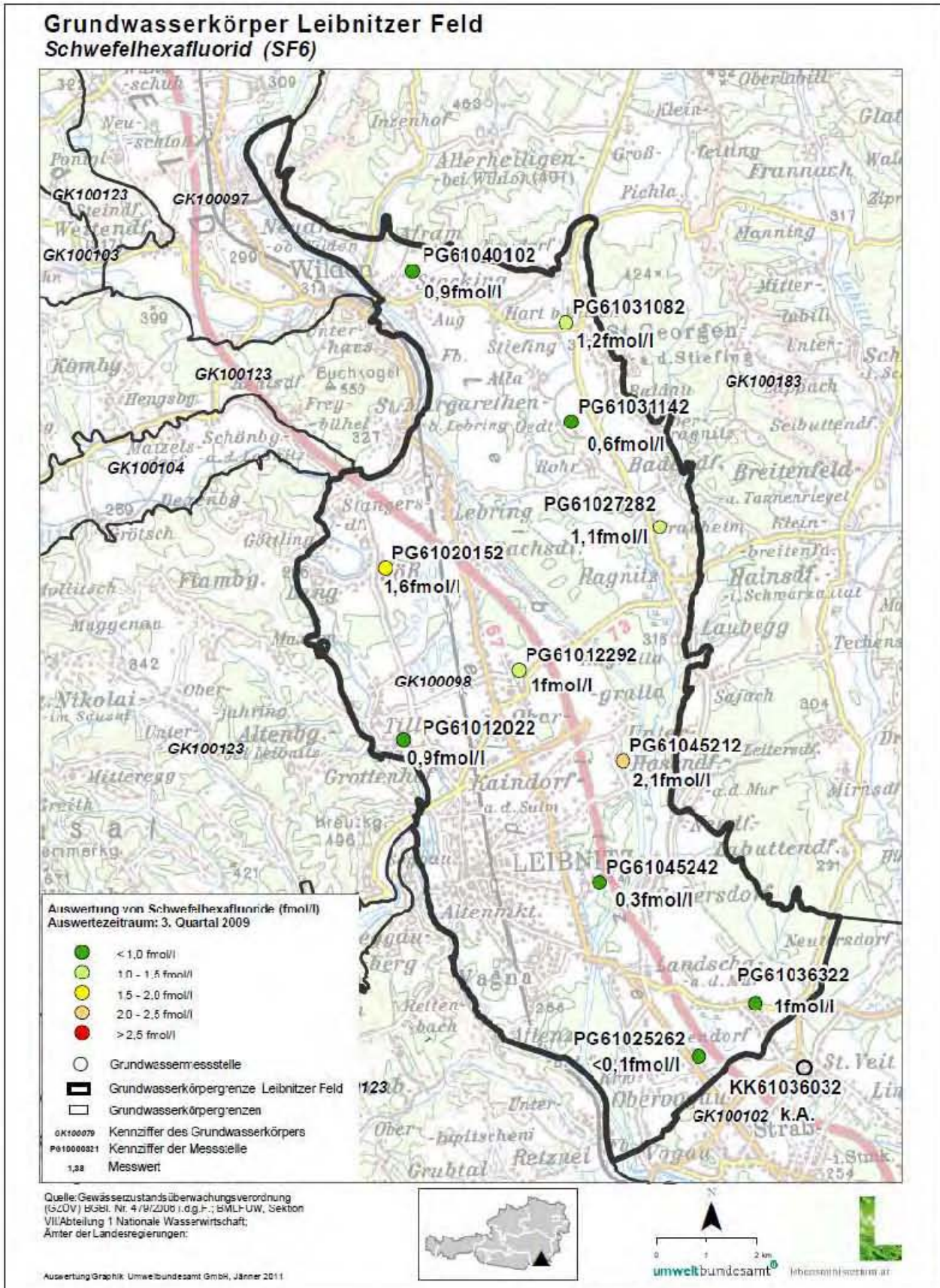


Abbildung 65: SF₆-Werte im Grundwasser bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld (3. Quartal 2009).

3.3.5 Tiefenproben

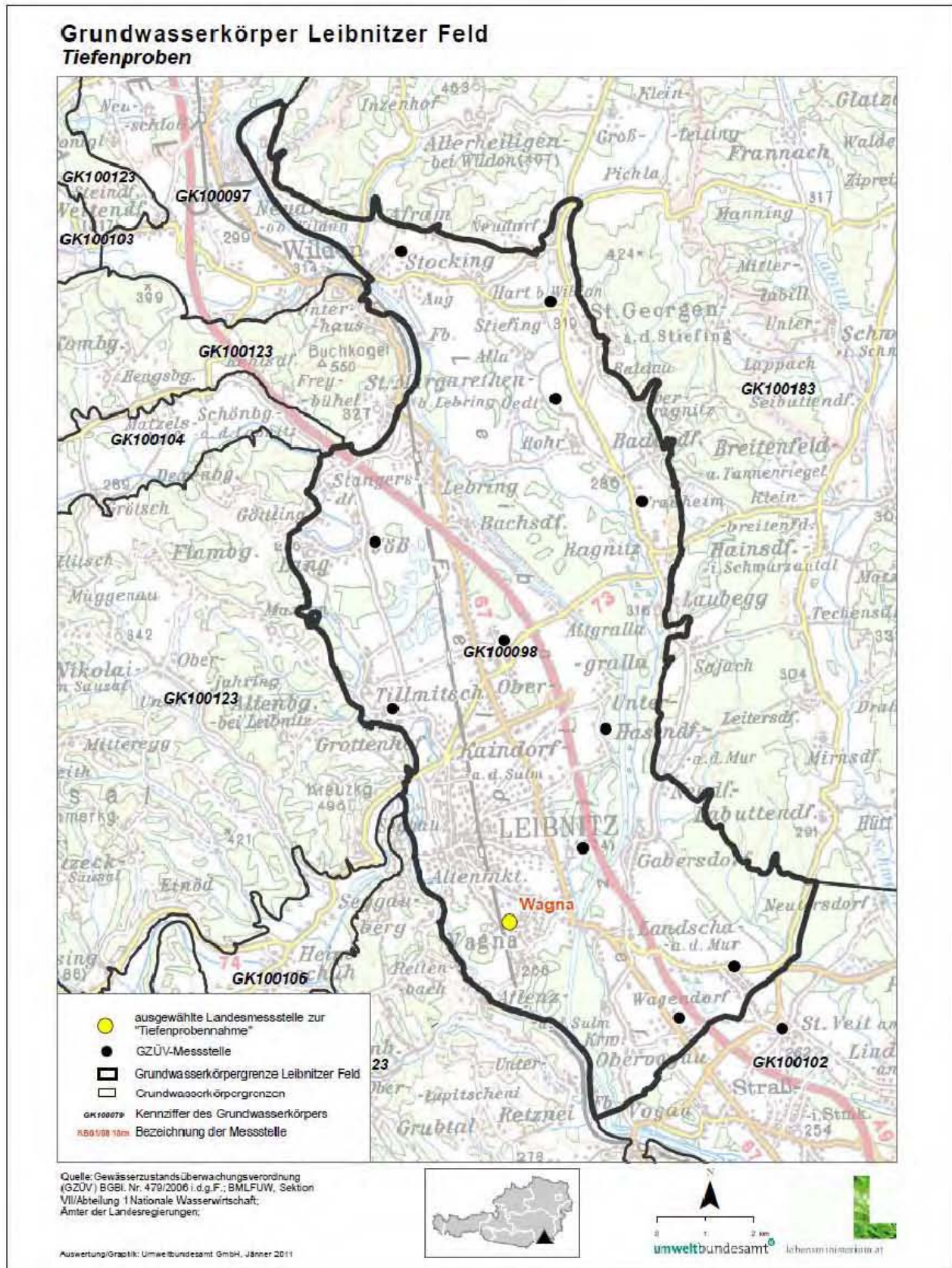


Abbildung 66: Ausgewählte Grundwassermessstelle im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld, die den tieferen Bereich des Grundwasserkörpers erfasst.

Um Informationen über die Verteilung der Mittleren Verweilzeiten über die Tiefe im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld zu bekommen, erfolgte eine tiefengestufte Probenahme im Lysimeter des Joanneums Graz (siehe Abbildung 66) südlich von Leibnitz. Es wurde jeweils eine Probe oberflächennah (3,35 m) und eine an der Lysimeterbasis (4,97 m) entnommen. Die Ergebnisse der Sauerstoff-18- und der Tritiumwerte sind in Abbildung 67 und Abbildung 68 zusammen mit den jeweiligen Isotopenwerten der ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper dargestellt.

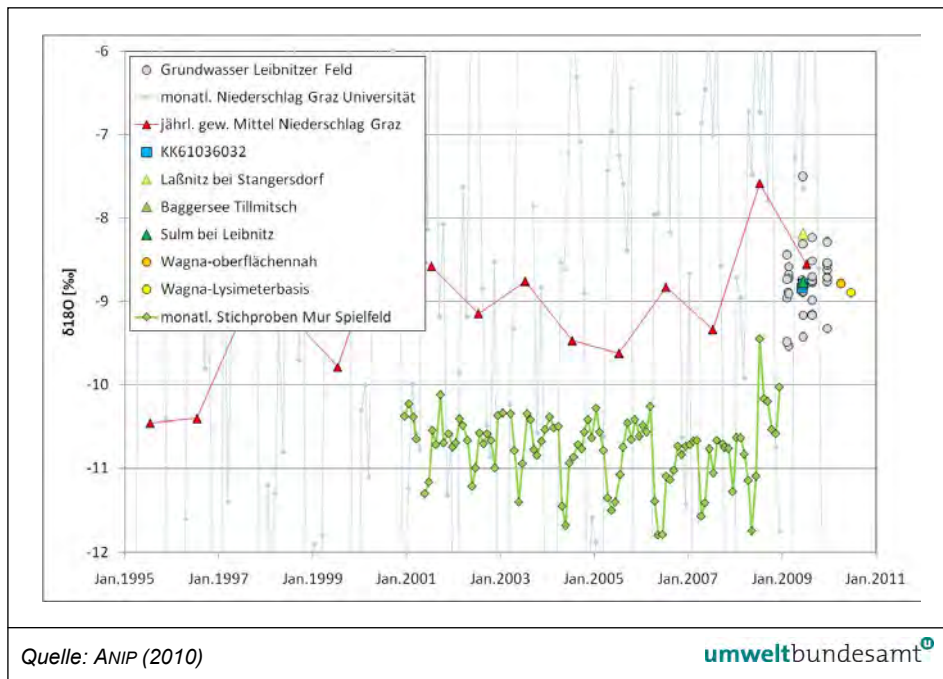


Abbildung 67: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen und der Tiefenmessstelle Wagner mit zwei Beprobungshorizonten im Vergleich zum Niederschlag in Graz (1995–2010).

Ergebnisse der Tiefenbeprobung

Die Sauerstoff-18-Werte im Lysimeter „Wagner“ liegen mit – 8,8 bzw. – 8,9 ‰ im Bereich des jährlichen gewichteten Mittels des Niederschlags der letzten fünf Jahre und befinden sich somit auch im Bereich der oberflächennahen Messstellen.

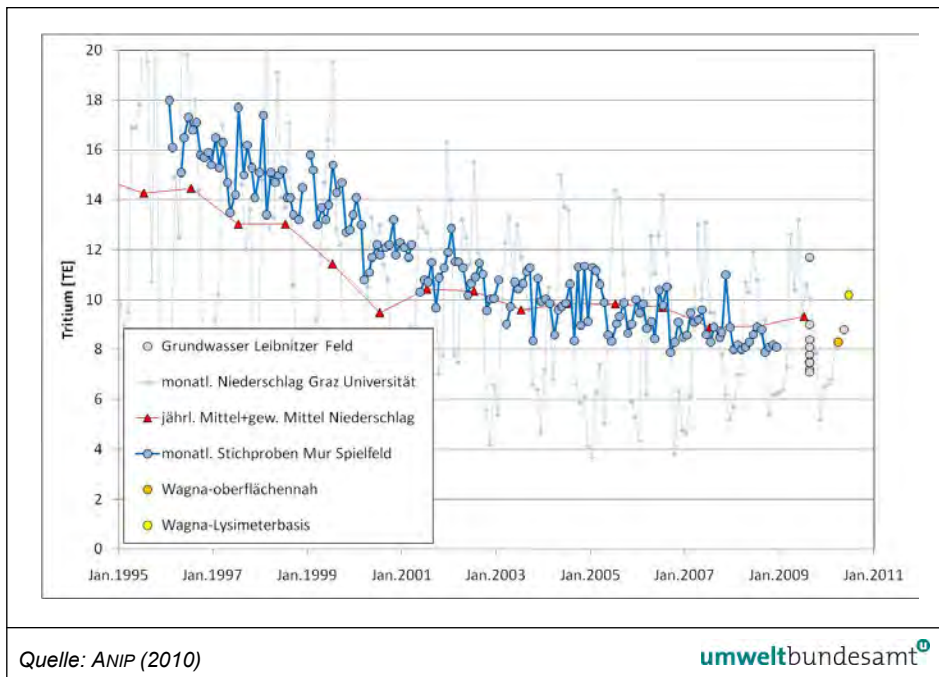


Abbildung 68: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen und der Tiefenmessstelle Wagna mit zwei Beprobungshorizonten im Vergleich zur Mur und zum Niederschlag in Graz (1995–2010).

Der Tritiumwert der oberflächennahen Probe im Lysimeter unterscheidet sich mit 8,3 TE doch deutlich von der an der Basis des Lysimeters entnommenen Probe (10,2 TE).

Der Deuteriumwert der oberflächennahen Probe beträgt – 60,3 ‰, der der tiefer entnommenen Probe – 62,3 ‰.

Ausgehend von diesen Isotopenuntersuchungen kann die Mittlere Verweilzeit des Grundwassers bei beiden Proben mit < 5 Jahren angegeben werden. Die unterschiedlichen Tritiumgehalte können auf die Niederschlagsdynamik im Tritium zurückgeführt werden.

3.3.6 Mittlere Verweilzeiten

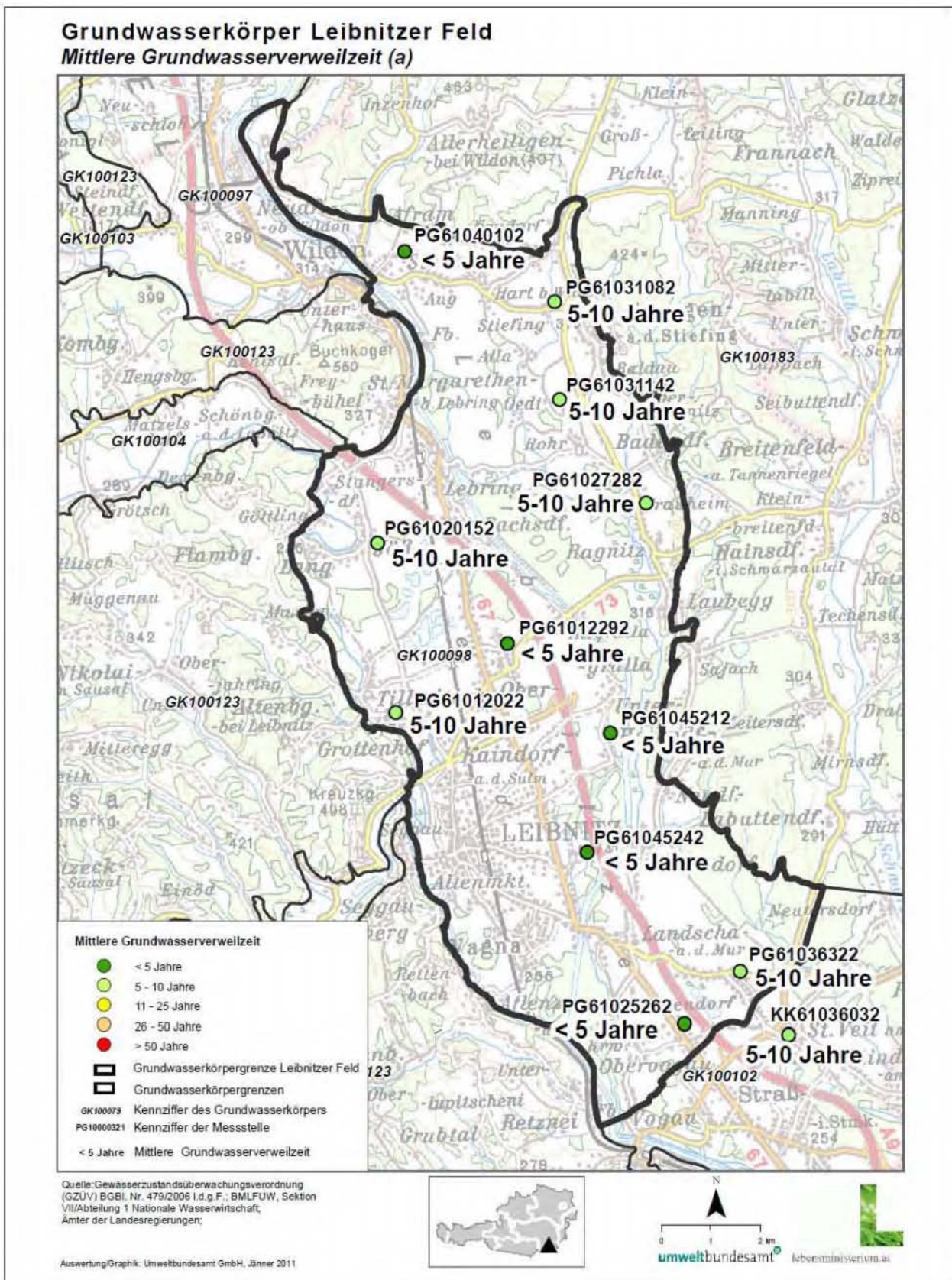


Abbildung 69: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld.

Für die am nördlichsten gelegene GZÜV-Messstelle im Leibnitzer Feld wurde eine Mittlere Verweilzeit von unter 5 Jahren berechnet. Im Nordosten des Grundwasserkörpers, östlich der Mur, wurden drei Messstellen analysiert. Die ermittelten Mittleren Verweilzeiten liegen bei allen drei Messstellen im Bereich zwischen 5–10 Jahren. Im zentralen Bereich des Grundwasserkörpers Leibnitzer Feld, westlich der Mur, treten primär junge Grundwässer mit Mittleren Verweilzeiten unter 5 Jahren auf. Bei den zwei Messstellen, die den zentralen Westteil des Leibnitzer Feldes repräsentieren, wurden Verweilzeiten in der Größenordnung von 5–10 Jahren errechnet. Ebenfalls in diesem Bereich bewegen sich die Verweilzeiten im äußersten Südosten. Eine Verweilzeit von kleiner 5 Jahren wurden in der Messstelle PG61025262 im zentralen Süden ermittelt.

Somit liegen die Mittleren Verweilzeiten aller 12 analysierten Messstellen im Bereich von maximal 10 Jahren.

MVZ von maximal 10 Jahren

3.4 Rheintal

3.4.1 Sauerstoff-18 und Deuterium

Die Sauerstoff-18- und Wasserstoff-2-Werte (Deuterium) im Grundwasser des Grundwasserkörpers Rheintal schwanken zwischen – 12,1 bis – 9,22 bzw. – 86,7 bis – 63,3 ‰ und liegen im Jahr 2009 bei einem Mittelwert von – 10,23 bzw. – 74,46 ‰ (siehe Abbildung 70, Abbildung 71 und Anhang). Die Standardabweichung der vier Messungen pro Messstelle beträgt bei älteren Wässern zwischen 0,03 und 0,11 ‰ und steigert sich bei jungen Wässern nahe einem Bach auf bis zu 1,1 ‰.

Sauerstoff-18- und Deuteriumwerte

Die vom Westen zufließenden Flüsse Bregenzer- und Dornbirner Ache sowie der Frutzbach zeigen bei einmaliger Beprobung im Sommer 2009 ähnliche Sauerstoff-18-Werte (von – 10,23 bis – 9,7 ‰) wie im Grundwasserkörper Rheintal. Das langjährige gewogene Mittel (2000–2009) der Niederschläge in Bregenz weist einen Sauerstoff-18- bzw. Wasserstoff-2-Wert von – 9,7 bzw. – 54,2 ‰ auf (ANIP 2010).

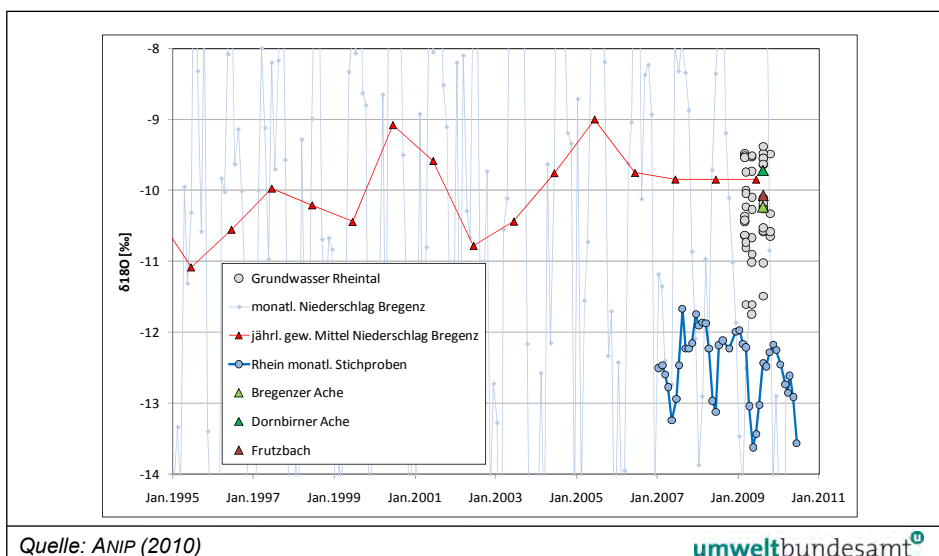


Abbildung 70: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Rheintal im Vergleich zum Rhein und zum Niederschlag in Bregenz (1995–2010).

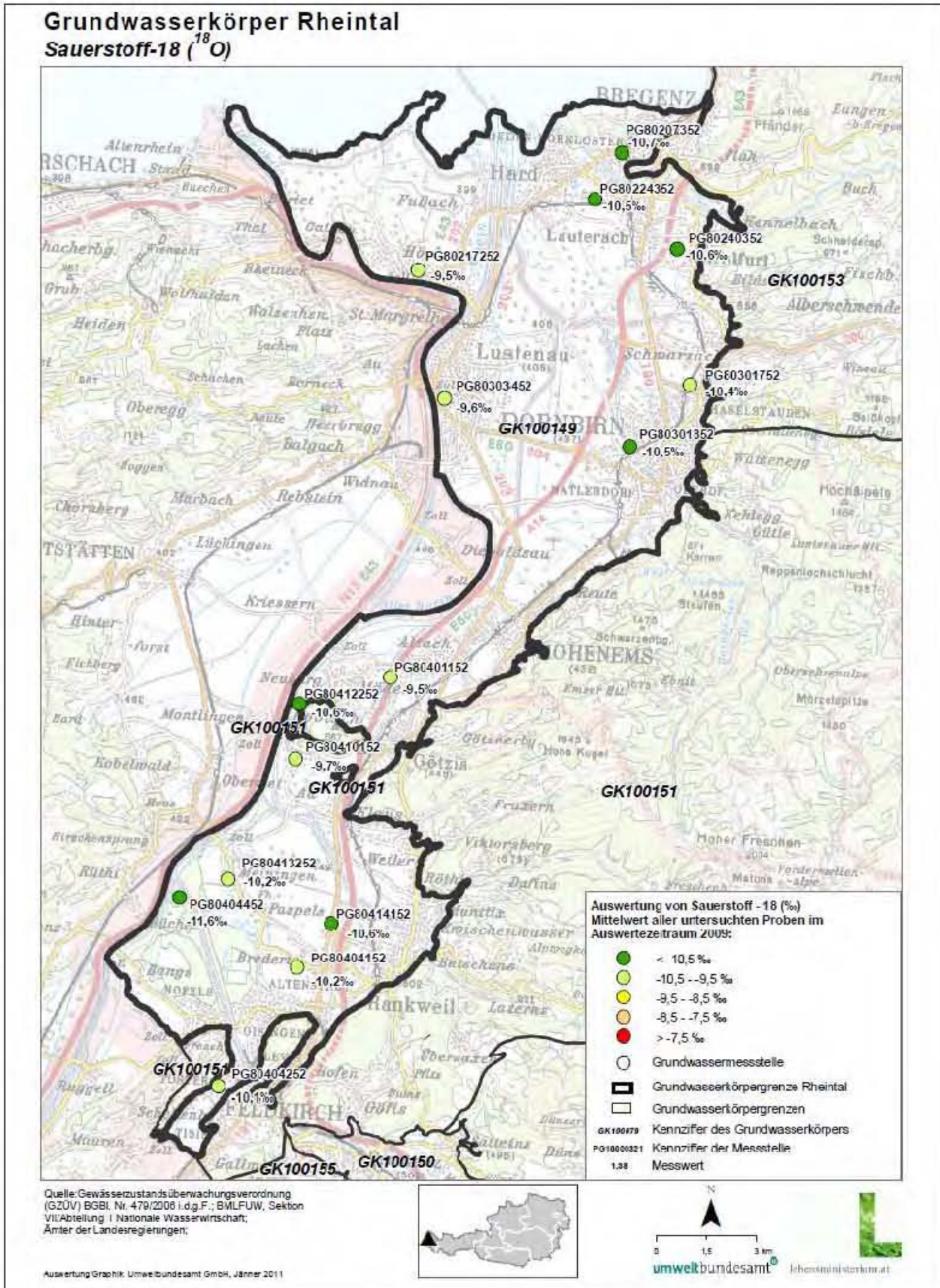


Abbildung 71: Sauerstoff-18-Werte bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Rheintal (Mittelwert im Jahr 2009).

3.4.2 Tritium

Die Tritium-Konzentrationen im Grundwasser des Grundwasserkörpers Rheintal schwanken zwischen 7,6 und 10,6 TE (siehe Abbildung 72, Abbildung 73 und Anhang) im Jahr 2009 und liegen im Mittel bei 9,1 TE. Das Mittel des Niederschlags in Bregenz (ANIP 2010) der letzten 6 Jahre liegt bei 9,9 TE und das gewogene Mittel bei 10,3 TE.

Tritiumwerte

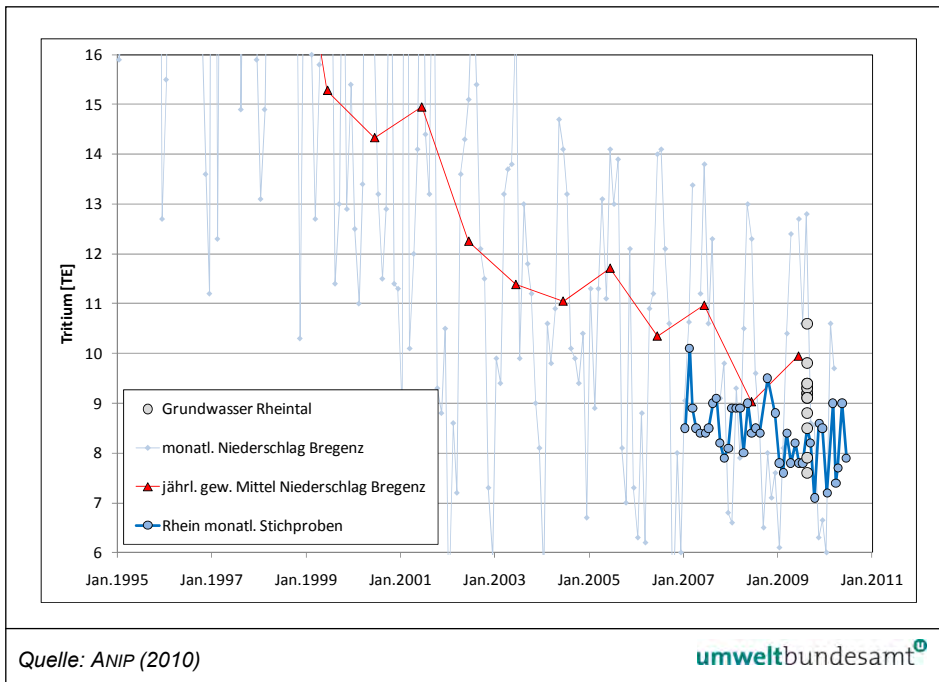


Abbildung 72: Tritium-Einheiten des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Rheintal (3. Quartal 2009) im Vergleich zum Rhein (bei Lustenau) und zum Niederschlag in Bregenz (1995–2010).

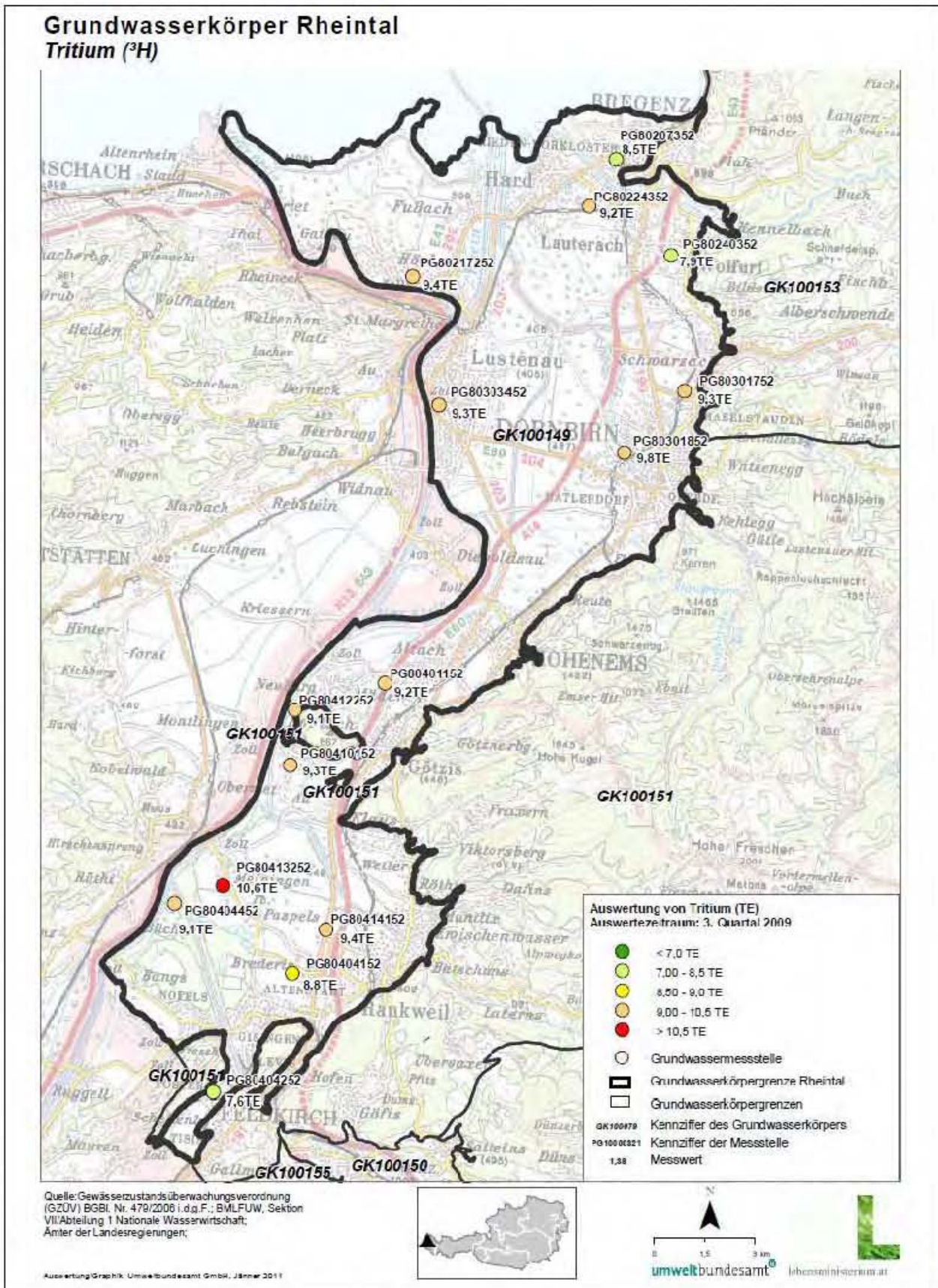


Abbildung 73: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Rheintal (3. Quartal 2009).

3.4.3 Tritium/Helium-3

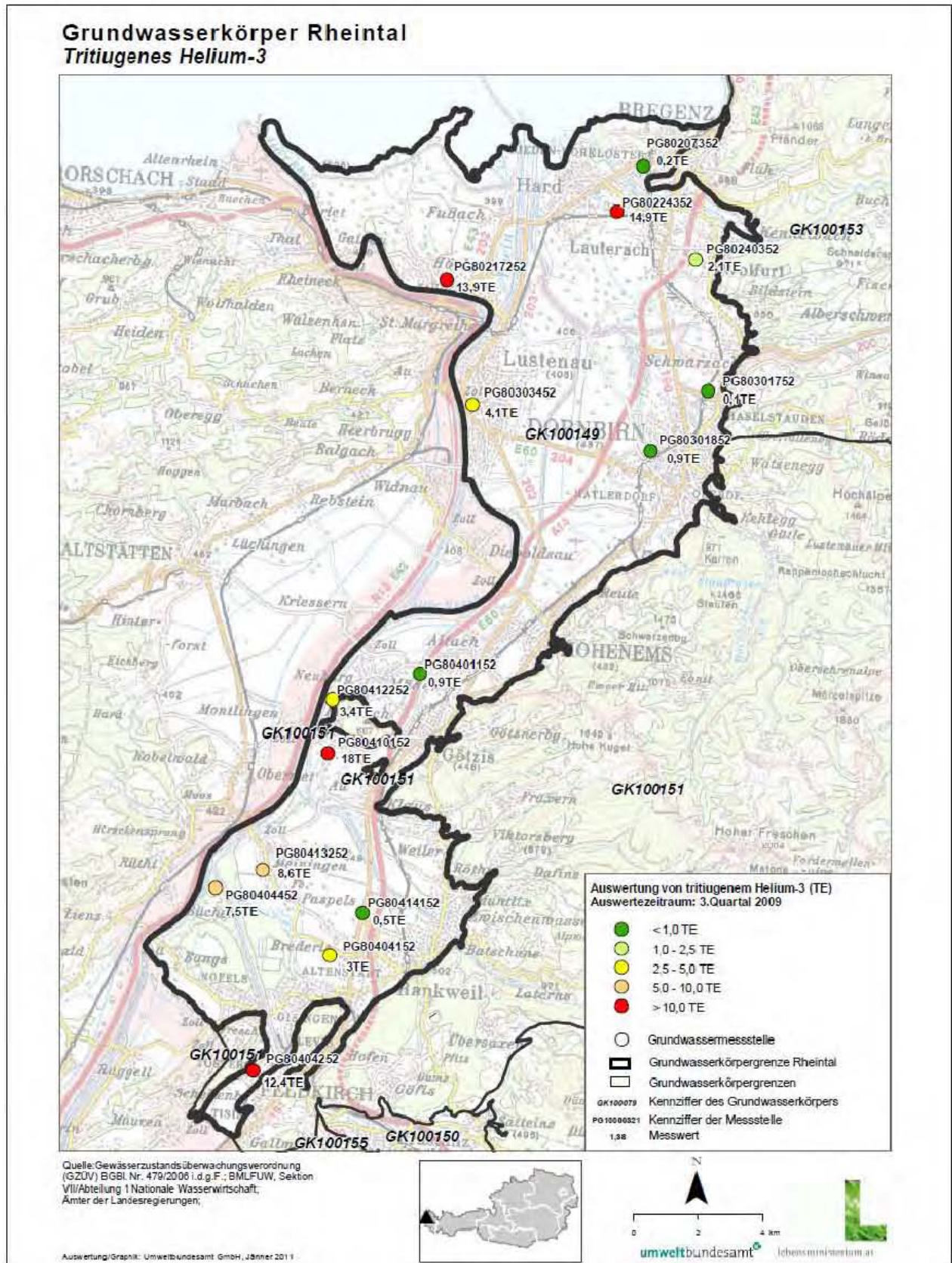


Abbildung 74: Tritogene Helium-3-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Rheintal (3. Quartal 2009).

tritiogene Helium-3-Werte Die durch den Tritiumzerfall im Grundwasser (tritiogen) entstandenen Helium-3-Werte schwanken im Rheintal zwischen 0,1 und 18 TE und liegen im Mittel bei 5,6 TE. Das $^4\text{He}_{\text{radio}}$ ist im Süden des Rheintals relativ stark (PG80404252, PG80404452) und an einer Messstelle (PG80413252) mäßig erhöht (siehe Anhang).

3.4.4 CFC und SF₆

CFC-Werte Die CFC-11- und CFC-12-Werte schwanken in den Wässern des Grundwasserkörpers Rheintal zwischen 0,3–236 bzw. 0,1–121 pmol/l. Sie zeigen mit Ausnahme der Messstelle PG80217252 meist einen Überschuss in beiden Fluor-Chlor-Wasserstoffen (CFC-11 und CFC-12) oder sind zumindest bei einem erhöht. Auffällig ist, dass die Verhältnisse von CFC-11 zu CFC-12 in den meisten Proben im Gegensatz zu globalen Verhältnissen entweder signifikant kleiner (< 0,5) oder größer (> 3,3) sind. Alle Messstellen mit den niedrigen Verhältnissen zeigen im Grundwasser reduzierende Verhältnisse mit Sauerstoffgehalten von < 1 mg/l.

SF₆-Werte Die SF₆-Werte schwanken zwischen < 0,4–3,4 fmol/l. Zwei Proben (PG80401152, PG804044522) zeigen Werte von 3,3–3,4 fmol/l, was höher ist als die globale Konzentration von 2,7 fmol/l für 2009 (USGS 2010).

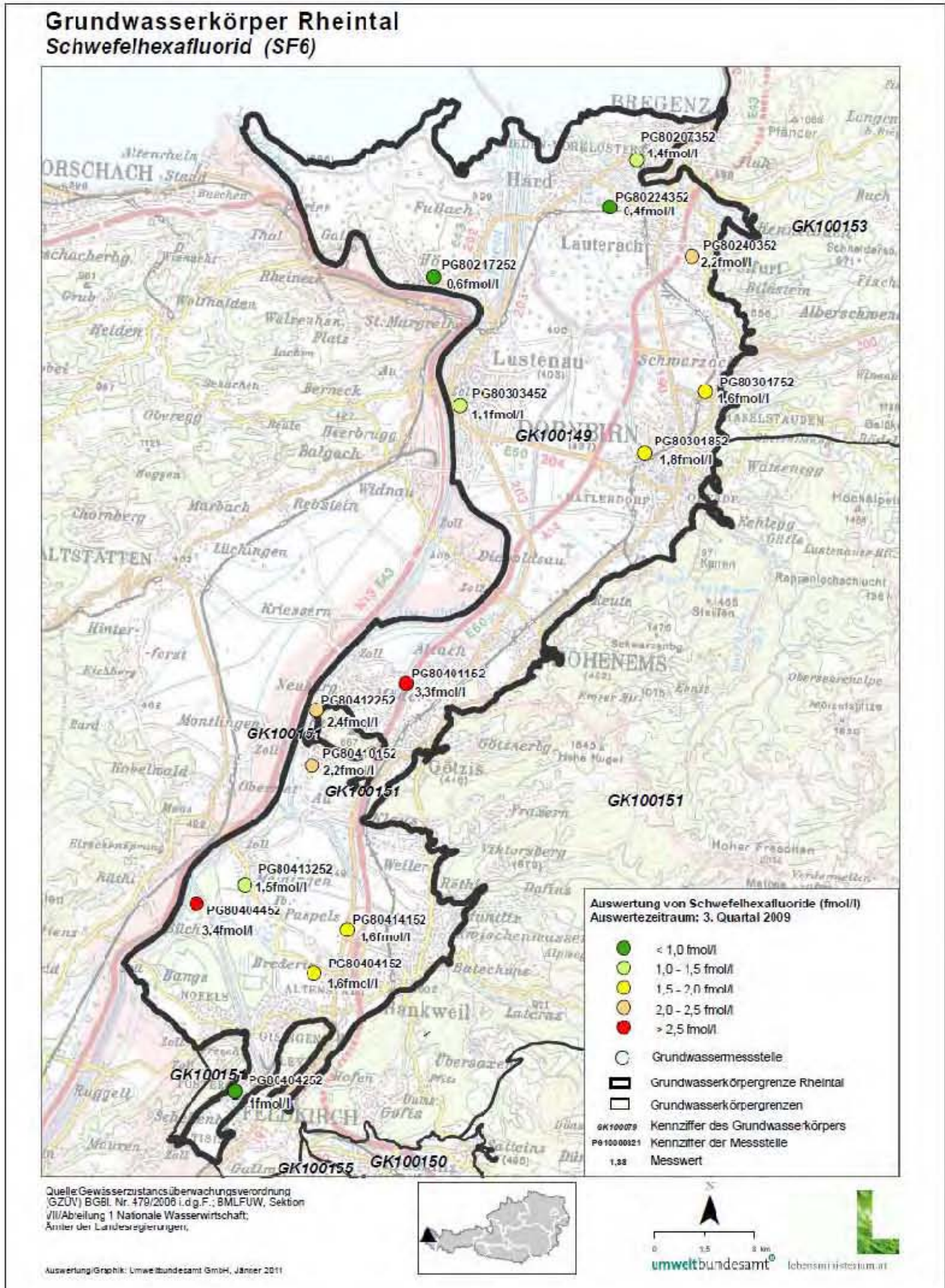


Abbildung 75: SF₆-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Rheintal (3. Quartal 2009).

3.4.5 Tiefenproben

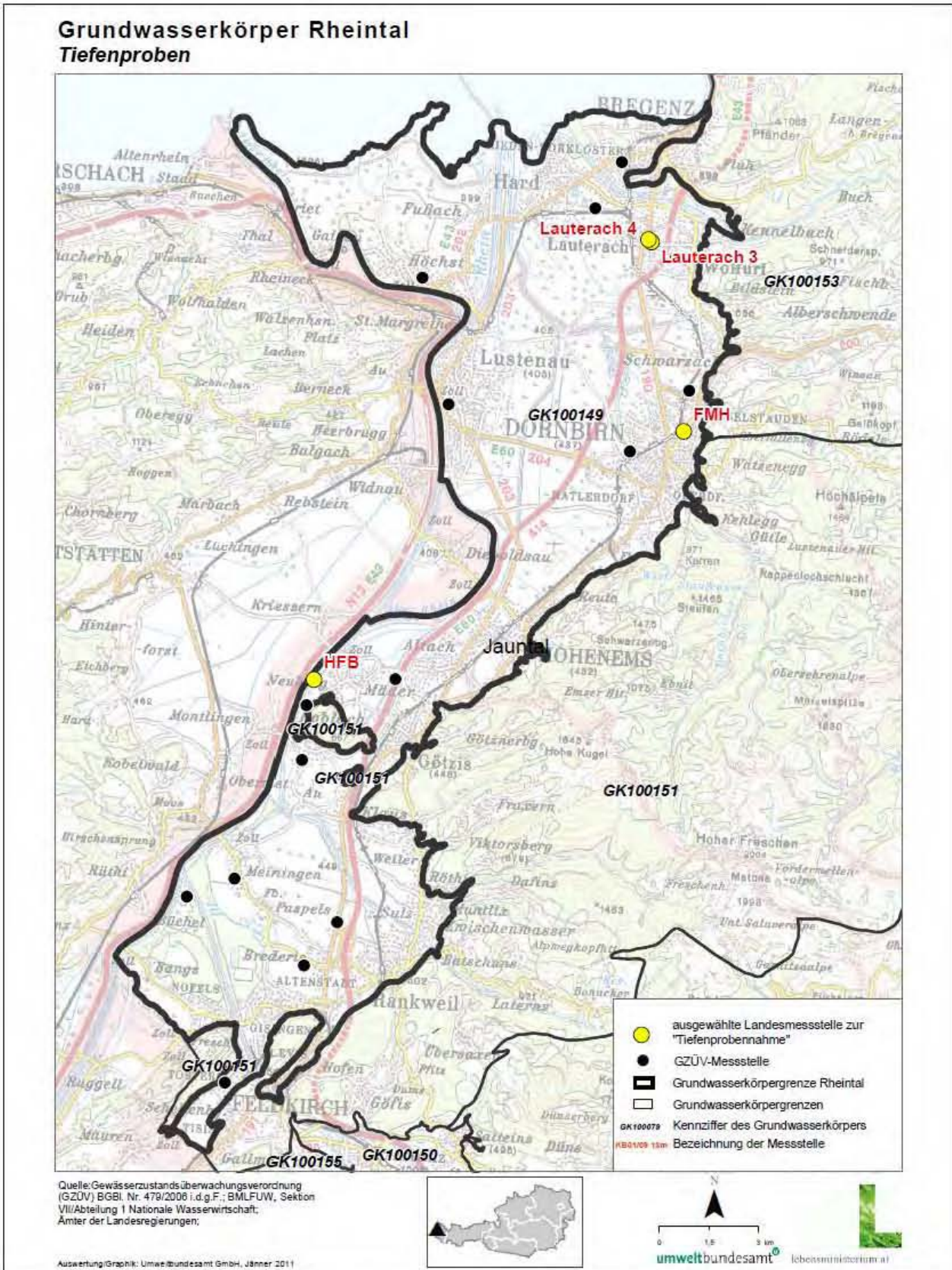


Abbildung 76: Ausgewählte Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Rheintal, die den tieferen Bereich des Grundwasserkörpers erfassen.

Die vier tieferen Brunnen (HFB in Mäder, FMH in Dornbirn und zwei in Lauterach) hatten bei ihrer Beprobung Abstiche zwischen 7,5 und 8,5 m Tiefe. Die maximale Tiefe reichte in Mäder ungefähr 23 m, in Dornbirn 40 m und in Lauterach-3 und Lauterach-4 60 bzw. 248 m. Die Tiefenbrunnen sind entweder in ständiger Verwendung oder wurden über Nacht bepumpt. Der Chemismus der Tiefenwässer ist ähnlich den oberflächennahen Wässern mit einer Tendenz zu etwas geringeren Calcium-, Hydrogenkarbonat- und Nitratgehalten. Die Sauerstoff-18-, Wasserstoff-2- und Tritiumwerte sind ähnlich wie an den oberflächennahen Messstellen. Nur der Brunnen Mäder zeigt die tiefsten Sauerstoff-18- und Wasserstoff-2-Werte von $\delta - 12,1$ bzw. $- 86,7$ ‰.

Ergebnisse der Tiefenbeprobung

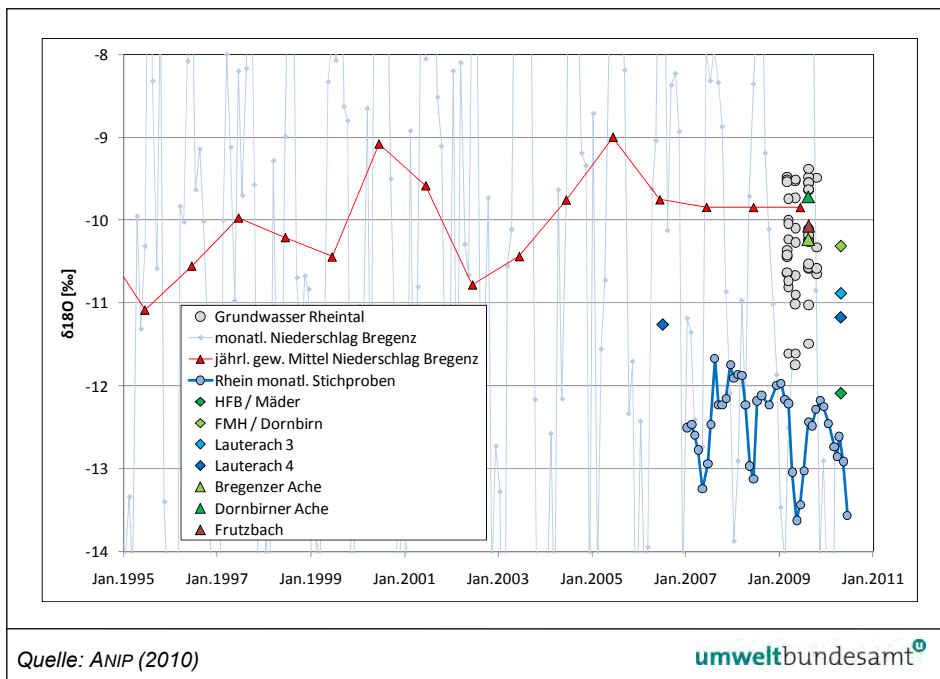


Abbildung 77: Sauerstoff-18-Gehalte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen und den Tiefenmessstellen im Grundwasserkörper Rheintal (3. Quartal 2009) im Vergleich zum Rhein (bei Lustenau) und zum Niederschlag in Bregenz (1995–2010).

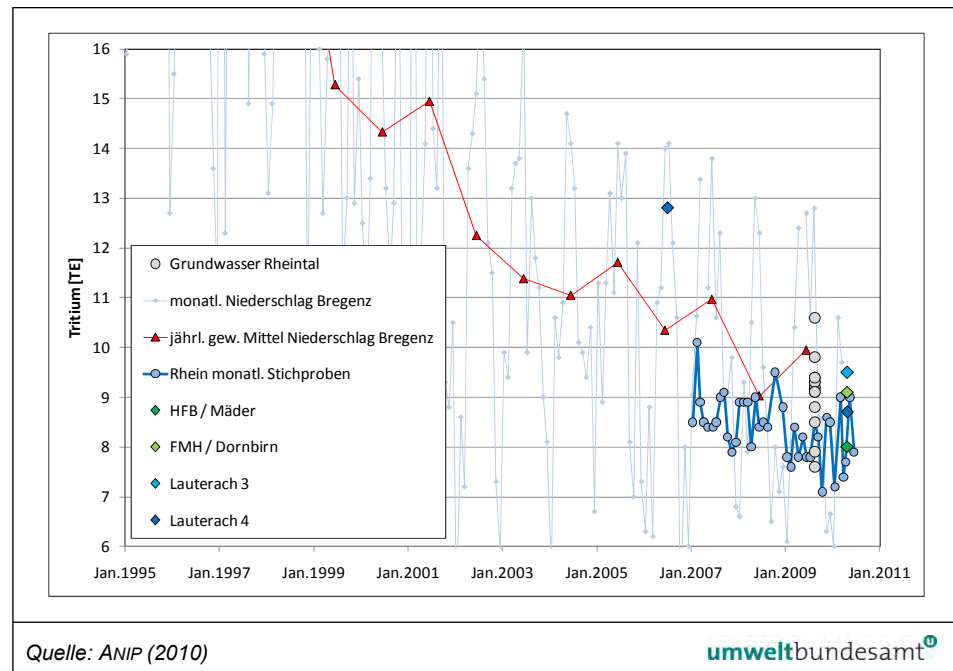


Abbildung 78: Tritium-Einheiten des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen und den Tiefenmessstellen im Grundwasserkörper Rheintal (3. Quartal 2009) im Vergleich zum Rhein (bei Lustenau) und zum Niederschlag in Bregenz (1995–2010).

Die erfolgreich durchgeführten tritiogenen ^3H -Messungen in FMH/Dornbirn und Lauterach-4 mit 16,7 und 30,9 TE sind überdurchschnittlich hoch, obgleich die Messung letzterer wegen sehr hohen Luftüberschusses unsicher ist.

Die Werte für CFC-11 und CFC-12 schwanken in den Tiefenproben zwischen 0,6–6,1 bzw. 0,1–14,7 pmol/l und bei SF_6 zwischen < 0,1 und 3,1 fmol/l. Auffällig sind die geringsten Gehalte in Lauterach-4 (max. 248 m Tiefe) und die höchsten Werte in HFB/Mäder (23 m Tiefe).

3.4.6 Mittlere Verweilzeiten

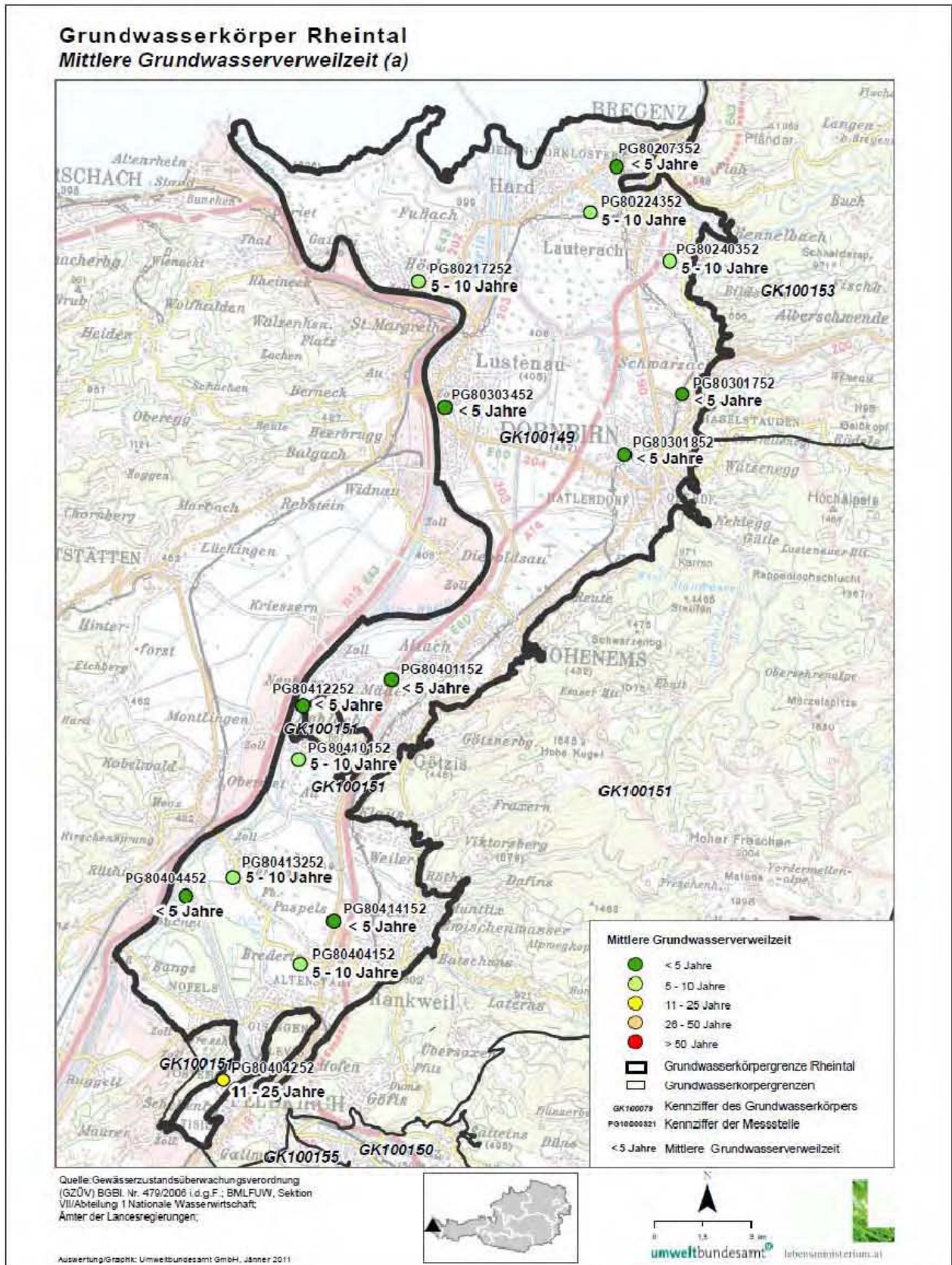


Abbildung 79: Mittlere Verweilzeiten der Grundwässer bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Rheintal.

Die Altersinterpretation erfolgt an den oberflächennahen Grundwassermessstellen (Abstich 2,1–14,6 m, max. Teufen 5,5–19,0 m) und an den tieferen Grundwassermessstellen (Abstiche 7,4–8,5 m; max. Teufen 23–248 m). Die Messstelle PG80240352 bildet als ursprünglich oberflächennahe Messstelle mit ihrer maximalen Teufe von ungefähr 40 m eher eine Ausnahme.

Die Zuordnung der Grundwässer der einzelnen Messstellen zu den Altersgruppen der Mittleren Verweilzeiten sind in Abbildung 79 und im Anhang dargestellt.

***MVZ vorwiegend
< 5 Jahre***

Die im Rheintal mehr östlich nahe den alpinen Gebirgszügen gelegenen Messstellen wie PG80207352, PG80301752, PG80301852 oder PG80414152 fallen in die jüngste Gruppe der Mittleren Verweilzeiten von < 5 Jahren. Auch die Messstellen, die nahe des Rheins bzw. der Ill liegen und überwiegend durch Uferfiltrat beeinflusst sind (PG80303452, PG80404452, PG80412252) sowie die Tiefenprobe HFB/Mäder fallen in die jüngste Gruppe der MVZ < 5 Jahre.

In die etwas ältere Gruppe von MVZ (5–10 Jahre) fallen die Messstellen PG80217252, PG80404152, PG80410152, PG80413252, die vorwiegend von lokalen Niederschlägen und Grundwasserzuströmen von den Beckenrändern mit etwas längeren Fließwegen gebildet werden. Unerwartet fällt in diese Altersgruppe auch die Messstelle PG80224352, obgleich sie nicht weit entfernt vom östlichen Beckenrand ist und eine geringe Tiefe (3–8 m) aufweist. In die gleiche Gruppe fällt die schon oben erwähnte Messstelle PG80240352, die nahe dem Beckenrand liegt und vermutlich vorwiegend von alpinen Wässern alimentiert wird. Durch die größere Tiefe bis zu 40 m bedingt fallen diese Grundwässer auch in die Gruppe mit etwas längeren Verweilzeiten (5–10 Jahre).

***längere MVZ bei
Tiefenmessstellen***

In die Gruppe mit langen Verweilzeiten (11–25 Jahre) fällt die Messstelle PG80404252 mit einer ungesättigten Zone von über 10 m und längeren Zustromdistanzen aus dem Süden. Ebenso zeigen die tieferen Messstellen FMH/Dornbirn und Lauterach-3 diese langen MVZ.

Die längsten MVZ von 26–50 Jahren zeigt das Grundwasser der Tiefenmessstelle Lauterach-4, in der durch seine Tiefe (max. 248 m) bedingt, alte Wässer mit kleinen Anteilen von jungen Wässern gemischt sind.

3.5 Unteres Salzachtal

3.5.1 Sauerstoff-18 und Deuterium

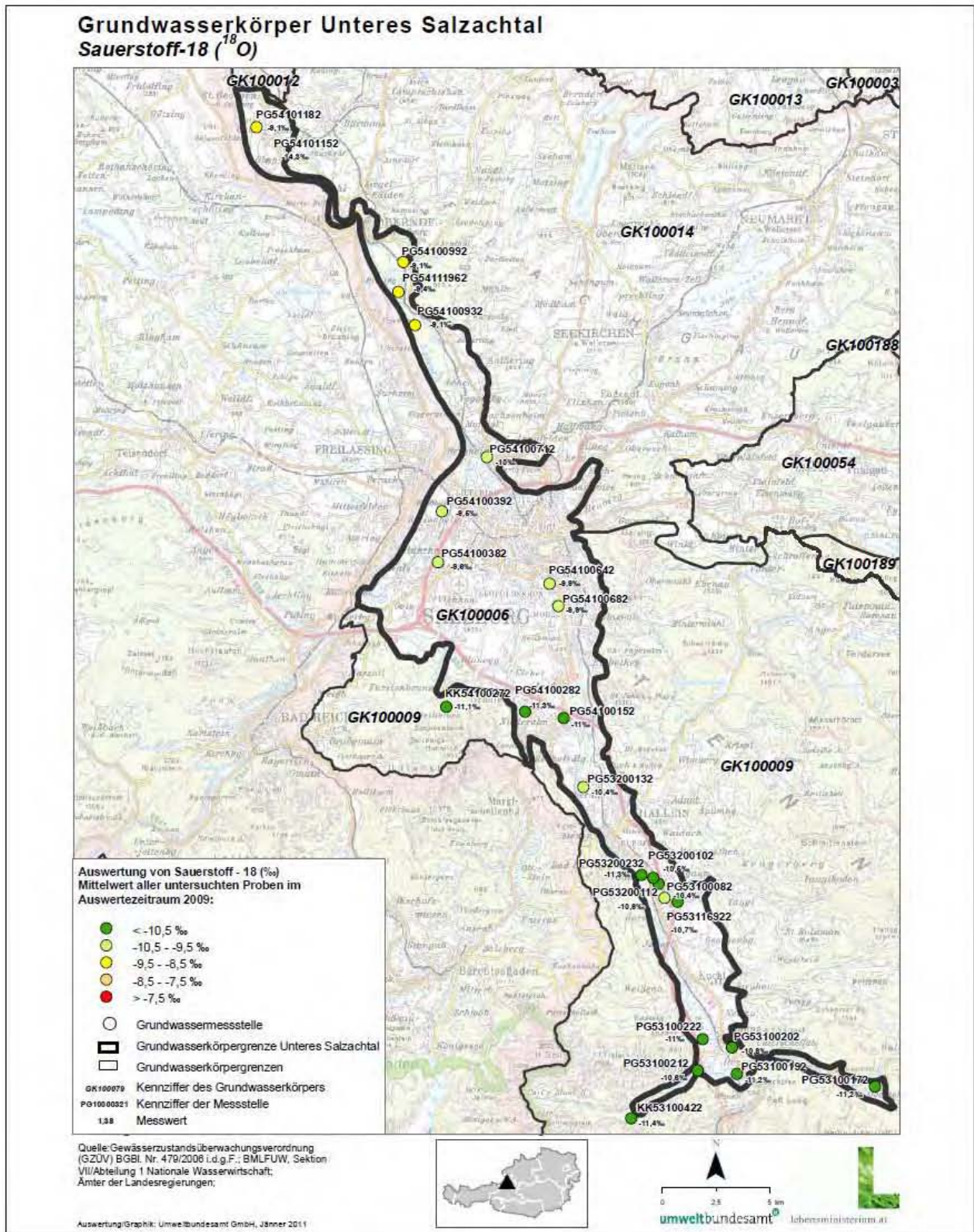


Abbildung 80: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal (Mittelwert im Jahr 2009).

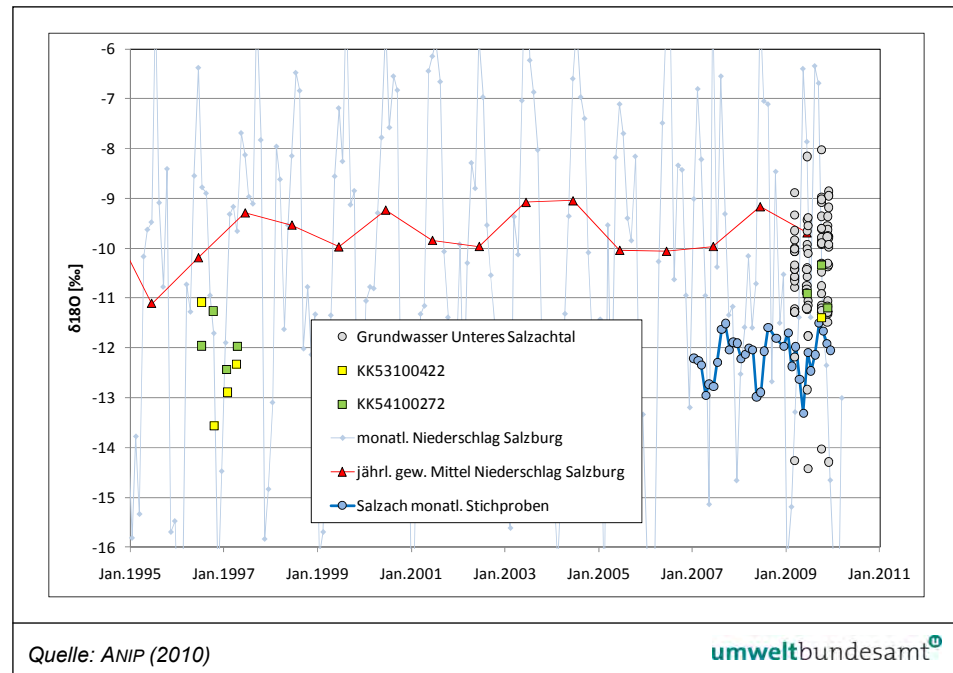


Abbildung 81: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Unteren Salzachtal im Vergleich zur Salzach und dem Niederschlag in Salzburg (1995–2010).

Sauerstoff-18-Werte

Die Sauerstoff-18-Werte der ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen liegen zwischen $-14,4\text{‰}$ und $-8,0\text{‰}$ (Abbildung 80, Abbildung 81), befinden sich somit größtenteils zwischen den Messwerten des gewichteten Mittels des Niederschlags und der monatlichen Stichproben der Salzach. Der Mittelwert über alle Grundwassermessstellen liegt bei $-10,6\text{‰}$. Das gewichtete Mittel des Niederschlags in Salzburg der letzten fünf Jahre liegt bei $-9,8\text{‰}$.

Deuteriumwerte

Das Mittel der Deuterium-Konzentrationen bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Unteren Salzachtal lag 2009 bei -75‰ , bei einem Minimum von -106‰ und einem Maximum von $-54,7\text{‰}$. Im Vergleich dazu beträgt der Mittelwert des Niederschlags in Salzburg aus den letzten fünf Jahren $-53,2\text{‰}$.

Lediglich zwei der ausgewählten 25 GZÜV-Messstellen unterscheiden sich hinsichtlich der Sauerstoff-18-Werte signifikant von den übrigen Messstellen. Während bei der Messstelle PG54101152 die Werte zwischen $-14,0$ und $-14,4\text{‰}$ deutlich niedriger als bei allen anderen GZÜV-Messstellen sind, weisen die Sauerstoff-18-Messwerte bei der Messstelle PG54100992 mit Werten bis $-8,0\text{‰}$ im Vergleich deutlich höhere Werte auf.

Bei den beiden Karst- und Kluftgrundwassermessstellen KK53100422 und KK54100272 konnte auf Messdaten aus den Jahren 1996 bzw. 1997 zurückgegriffen werden. Die im Rahmen dieses Projektes ermittelten Werte liegen im Mittel etwas höher als jene aus den Jahren 1996 und 1997. Dies deckt sich im weitesten mit der Entwicklung der Niederschlagswerte. Ausgehend von den vorliegenden Untersuchungsergebnissen zeigen beide Messstellen einen deutlichen Einfluss von höher gelegenen Einzugsgebieten.

3.5.2 Tritium

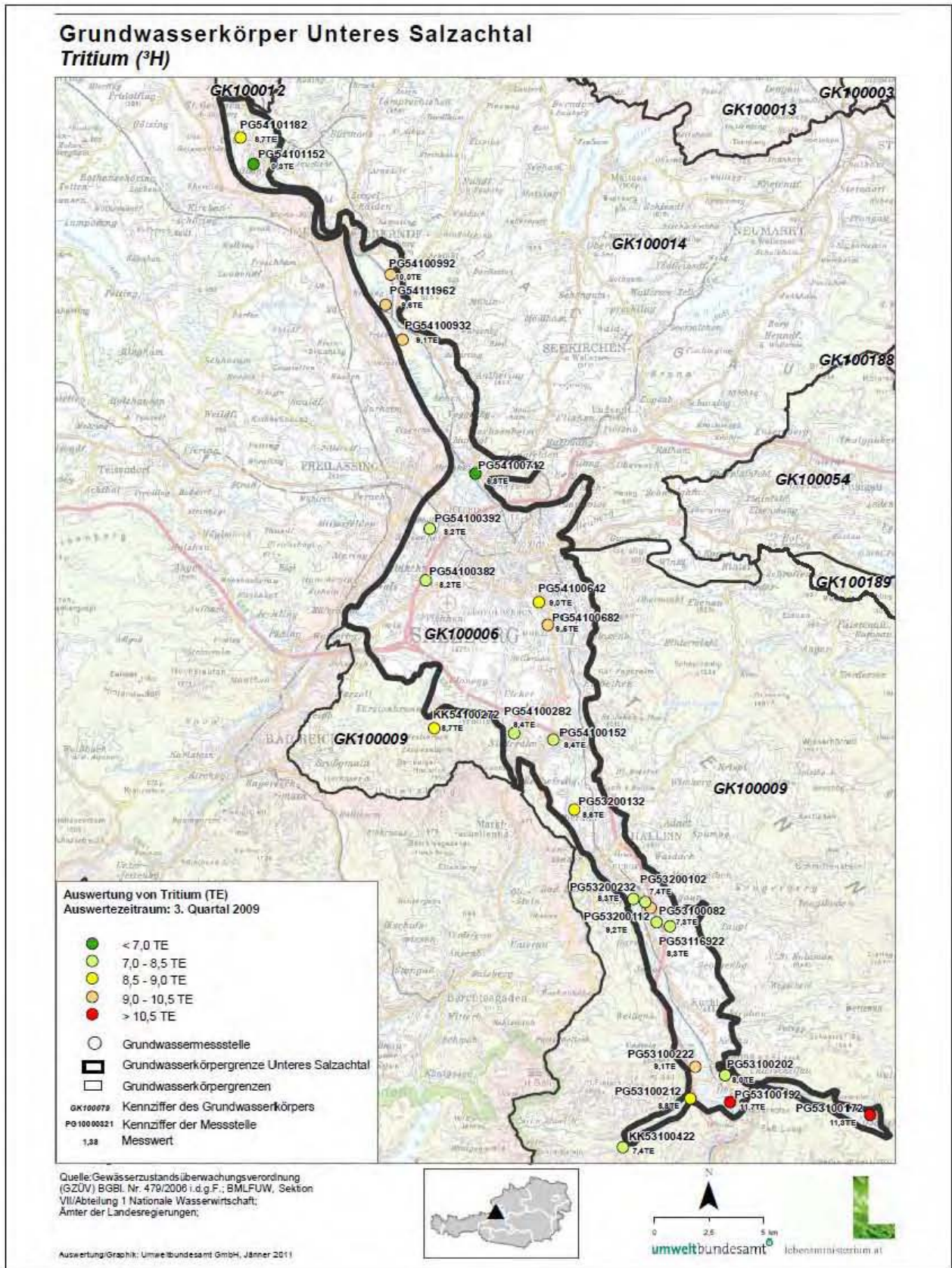


Abbildung 82: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal (3. Quartal 2009).

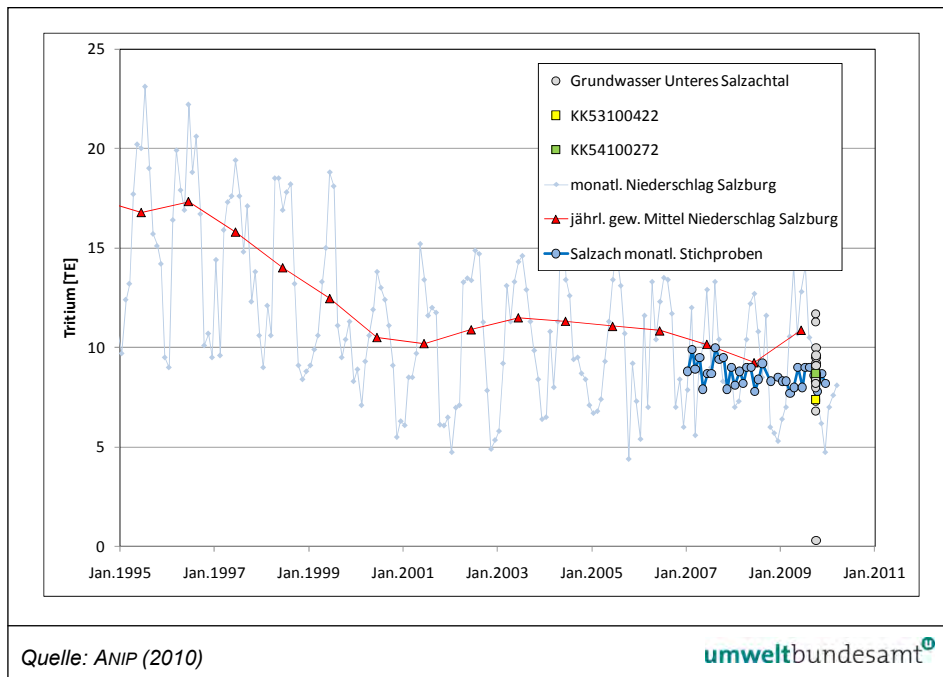


Abbildung 83: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Unteren Salztal im Vergleich zur Salzach und dem Niederschlag in Salzburg (1995–2010).

Tritiumwerte

Die bei der Probenahme im Jahr 2009 ermittelten Tritiumgehalte bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im unteren Salztal liegen im Mittel bei 8,4 TE. Im Vergleich dazu beträgt das gewogene Mittel des Niederschlags in Salzburg aus den letzten fünf Jahren 10,4 TE. Die Tritiumgehalte reichen von 0,3–11,7 TE (Abbildung 82, Abbildung 83).

Die deutlichste Abweichung vom Mittelwert wurde, wie auch bei den Sauerstoff-18-Werten, bei der GZÜV-Messstelle PG54101152 mit einem extrem geringen Tritiumgehalt von < 0,3 TE festgestellt.

Auch die signifikant höheren Tritiumgehalte bei den beiden Messstellen PG53100172 und PG53100192 mit 11,3 bzw. 11,7 TE deuten darauf hin, dass die Mittleren Verweilzeiten der Grundwässer in diesem Bereich nicht durch rasch versickernden Niederschlag geprägt werden.

3.5.3 Tritium/Helium-3

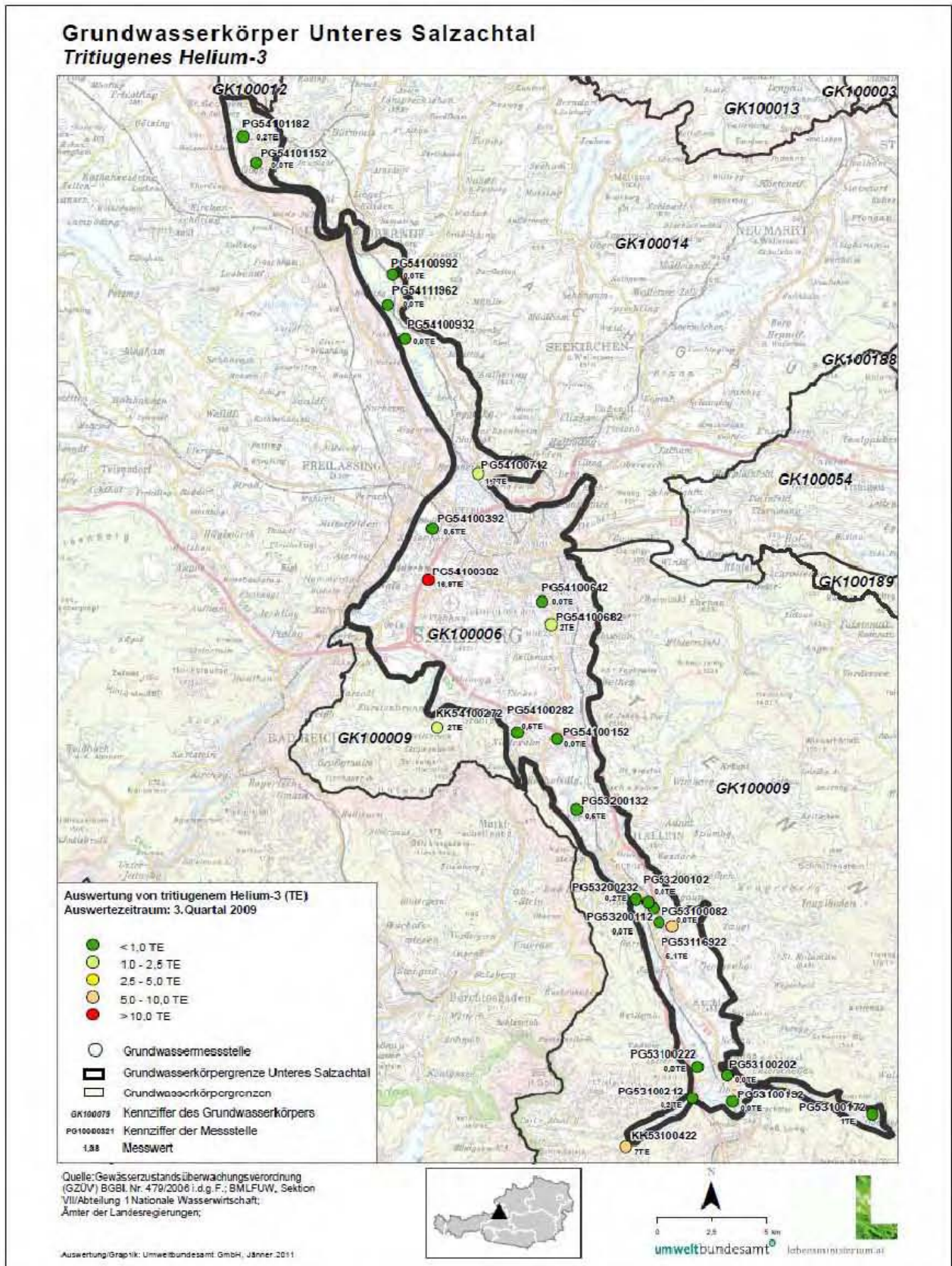


Abbildung 84: Tritium/Helium-3-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal (3. Quartal 2009).

tritiogene Helium-3-Werte Die Werte für das aus dem Zerfall des Tritiums gebildete Helium (tritiogenes Helium-3) bewegen sich im Unteren Salzachtal, ausgehend von der Probenahme im Jahr 2009 zwischen 0 und 16,9 TE, bei einem Mittel von 1,5 TE (Abbildung 84).

3.5.4 CFC und SF₆

CFC-Werte Die im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal ermittelten Werte schwanken bei CFC-11 zwischen 0,7 und 68,7 pmol/l bzw. zwischen 1,4 und 52,6 pmol/l bei CFC-12. Die Mittelwerte liegen bei 8,5 bzw. 9,4 pmol/l. Fast alle Messstellen zeigen einen Überschuss sowohl bei CFC-11 als auch bei CFC-12. Nur die Quelle KK54100272, die ihr Einzugsgebiet ausschließlich im Hagengebirge hat liegt nahe der blauen Gleichgewichtlinie (Abbildung 6). Die aus diesen CFC-Werten errechneten Mittleren Verweilzeiten bzw. Infiltrationszeitpunkte können daher im Rahmen dieser Studie nicht herangezogen werden.

SF₆-Werte Die SF₆-Konzentrationen der ausgewählten Grundwassermessstellen liegen zwischen 0,1 und 3,1 fmol/l. Der Mittelwert liegt bei 1,6 fmol/l. Bei den Messstellen PG53200232 und PG54100992 liegen die gemessenen Werte mit 3,0 bzw. 2,8 fmol/l geringfügig über der möglichen Gleichgewichts-Input-Funktion (10 °C, blaue Linie) für 2009 (USGS 2010) von 2,7 fmol/l (Abbildung 85). In diesen beiden Messstellen zeigen sich aktuelle Messwerte für das Jahr 2009.

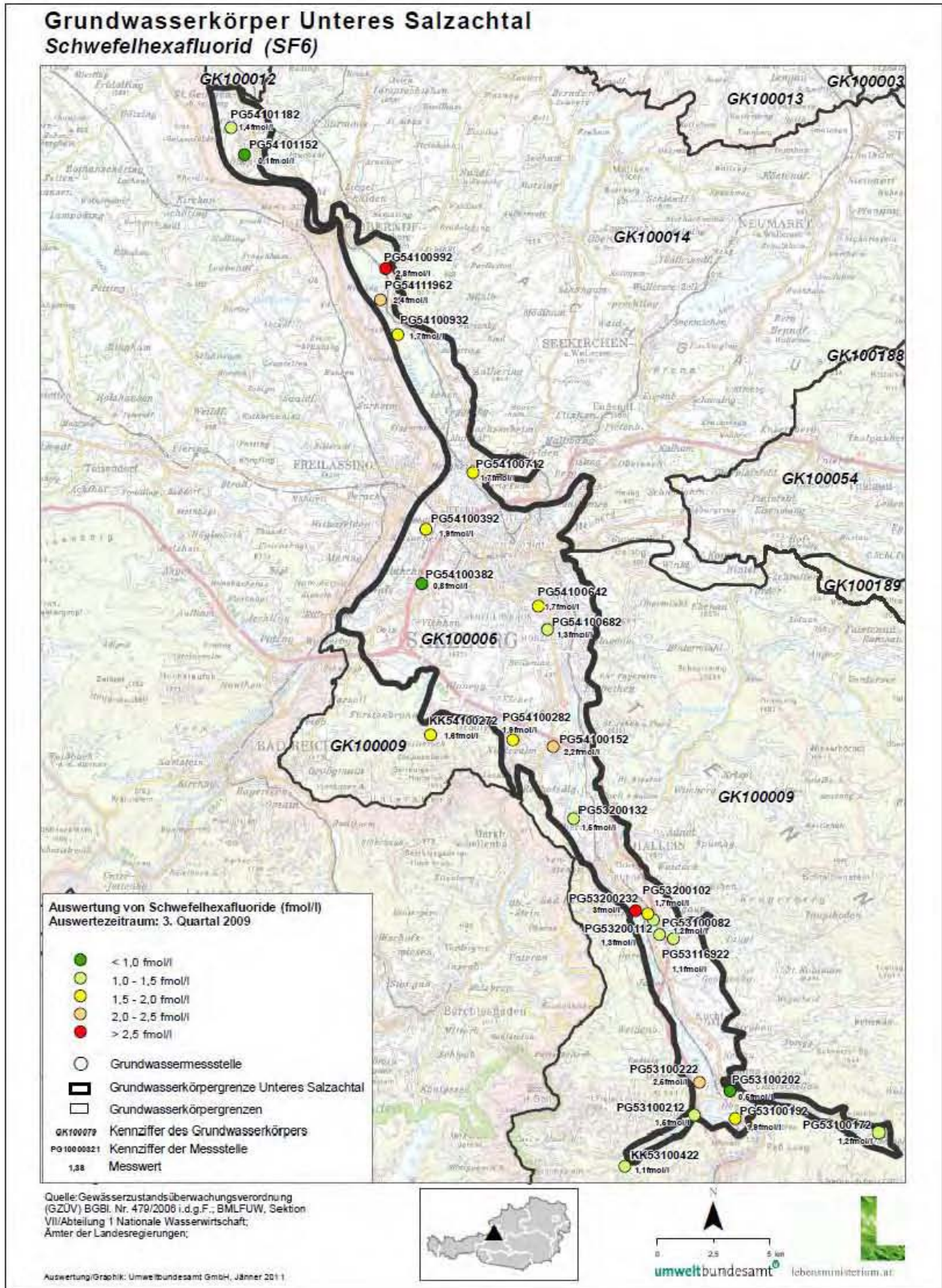


Abbildung 85: SF₆-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal (3. Quartal 2009).

3.5.5 Tiefenproben

Für die Fragestellung der Erfassung des tieferen Bereiches des Grundwasserkörperkörpers Unteres Salzbachtal wurden rund 100 m nördlich der A 10 Tauernautobahn im Bereich des Waldbades Anif die ca. 10 m voneinander entfernt liegenden Grundwassersonden BI 1/92 und BI 1/94 näher untersucht.

Während die Sonde BI 1/92 eine Endteufe von 8,9 m aufweist und somit lediglich den oberen Bereich des Aquifers erfasst, erreicht die Sonde BI 1/94 eine Endteufe von 24,4 m. Die Lage der Filterstrecken war bei beiden Sonden nicht bekannt. Im Zuge der Probenahme im Rahmen der vorliegenden Studie wurde bei beiden Sonden eine Kamerabefahrung durchgeführt, um zumindest die Oberkanten der Filterstrecken zu eruieren. Ausgehend von den Kamerabefahrungen beginnen die Filterstrecken bei beiden Sonden bereits in einer Tiefe von ca. 1,2 bzw. 2,4 m ab Gelände, die Filter sind durch eindringendes Wurzelwerk stark beschädigt.

Die Sonde BI 1/92 erfasst demnach den Bereich zwischen 1,2 und maximal 8,9 m ab Gelände, die Sonde BI 1/94 den Bereich zwischen 2,4 und maximal 24,4 m. Um dennoch hauptsächlich den unteren Bereich der Messstelle zu erfassen, wurde im unteren Bereich der Sonde eine Pumpe eingebaut, die nach oben hin mit einem Einfach-Packer abgedichtet wurde. Oberhalb des Packers wurde eine zusätzliche Pumpe eingebaut, die zeitgleich mit der unteren Pumpe in Betrieb genommen wurde. Es wurde davon ausgegangen, dass mit dieser Vorrichtung ein Kurzschluss über den stärker durchlässigen Ringraumbereich hintangehalten werden kann.

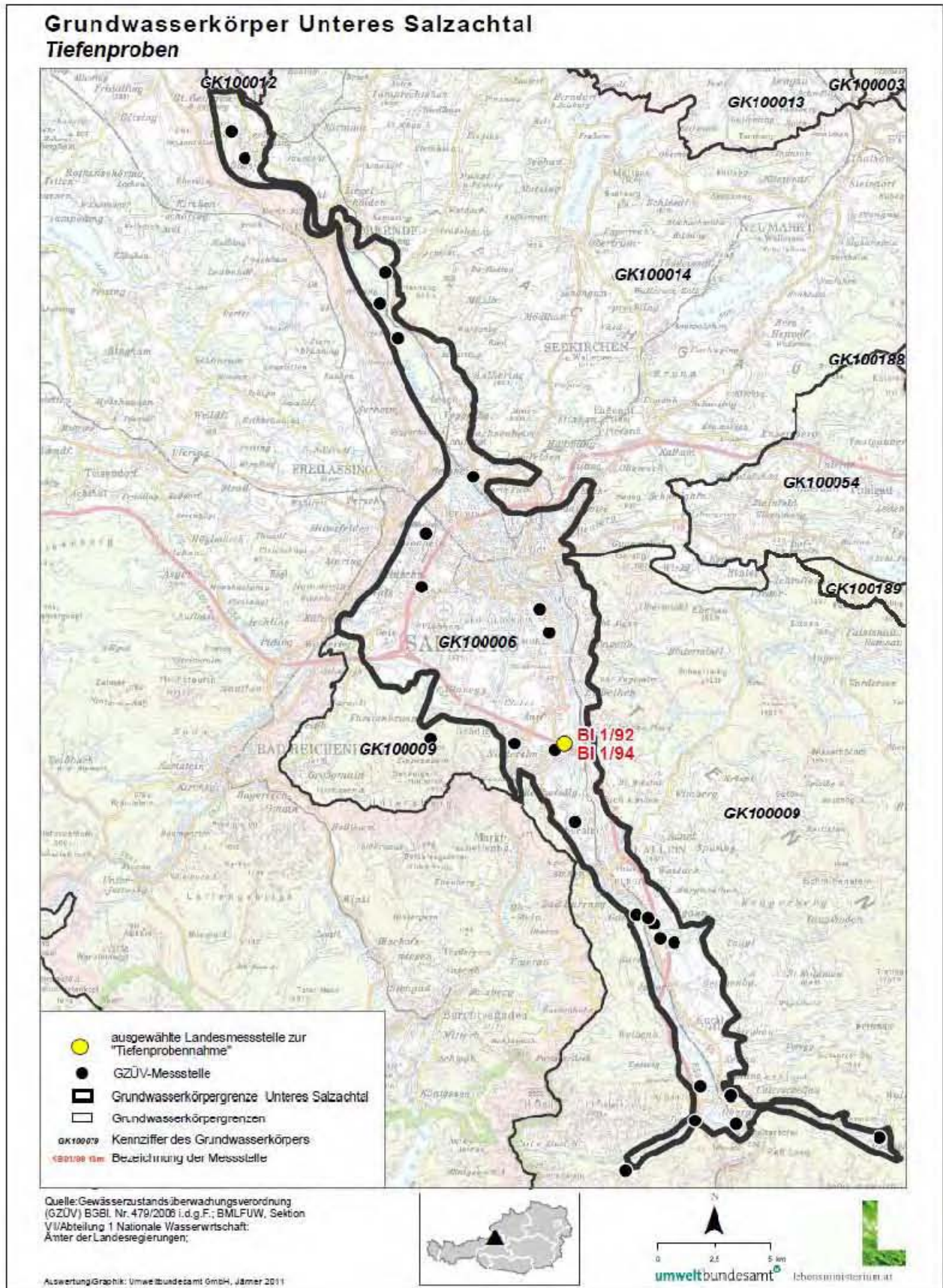


Abbildung 86: Ausgewählte Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal, die den oberen (Bl. 1/92: ~ 5–9 m) bzw. den tieferen Bereich (Bl. 1/94: ~ 15–24 m) des Grundwasserkörpers erfassen.

Ergebnisse der Tiefenbeprobung

Die bei der Probenahme ermittelten Vor-Ort-Parameter, aber auch die hydro- und isotochemischen Analysenergebnisse bestätigen diese Annahme (siehe Anhang: Tiefenprobenahme). Die Gehalte an Hydrogenkarbonat (BI 1/92: 256 mg/l, BI 1/94: 192 mg/l), Sulfat (13,9 mg/l bzw. 22,4 mg/l), Chlorid (19,7 mg/l bzw. 8,7 mg/l) und Natrium (13,2 mg/l bzw. 6,9 mg/l) zeigen deutliche Unterschiede.

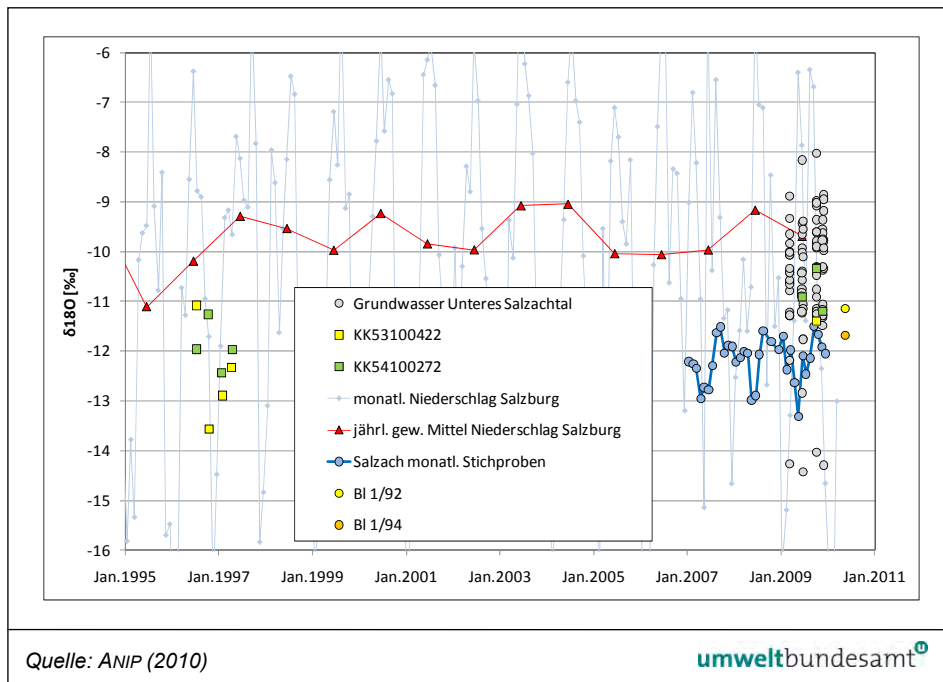


Abbildung 87: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen sowie den beiden Grundwassermessstellen BI1/92 und BI1/94 im Unteren Salzkamtal im Vergleich zur Salzach und dem lokalen Niederschlag in Salzburg Flughafen (1995–2010).

Die Sauerstoff-18- bzw. Deuteriumwerte liegen bei der Sonde BI 1/92 bei – 11,15 ‰ bzw. – 77,3 ‰, bei der Sonde BI 1/94 bei – 11,68 ‰ bzw. – 81,1 ‰ (Abbildung 87).

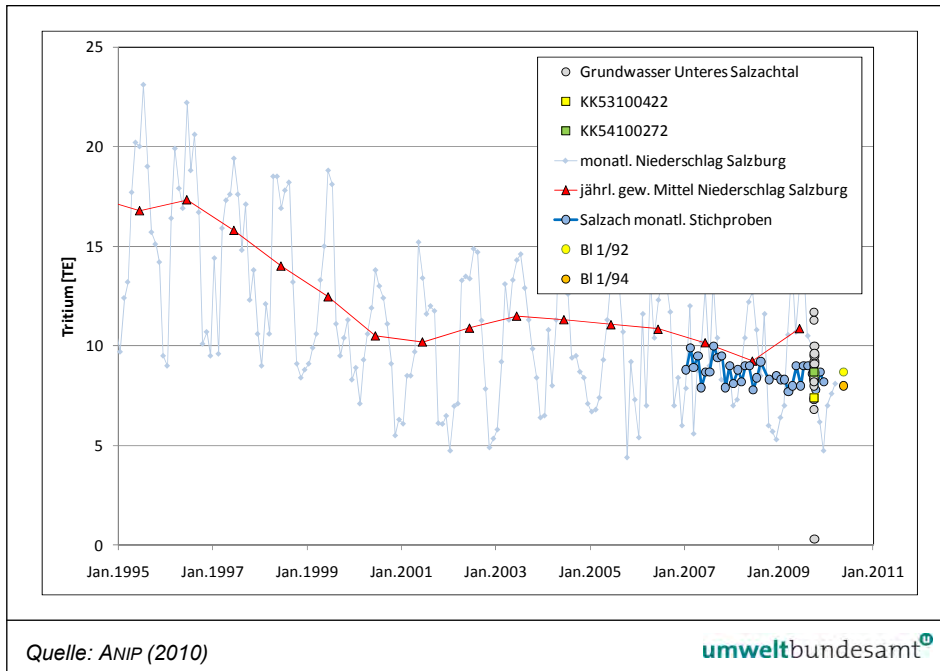


Abbildung 88: Tritiumgehalte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen sowie den beiden Grundwassermessstellen BI 1/92 und BI 1/94 im Unteren Salzachtal im Vergleich zur Salzach und dem lokalen Niederschlag in Salzburg Flughafen (1995–2010).

Die Tritiumwerte liegen bei 8,7 bzw. 8,0 TE (Abbildung 88). Die tritiogenen Helium-3-Konzentrationen ergeben bei der Sonde BI 1/92 einen Wert von 0,0 TE (also rezentes Wasser), bei der Sonde BI 1/94 von 6,6 TE.

Die CFC-11- und CFC-12-Konzentrationen liegen bei der Sonde BI 1/92 bei 15,0 und 22,1 pmol/l bzw. bei 3,9 und 4,9 pmol/l bei der Sonde BI 1/94. Die gemessenen SF₆-Gehalte bewegen sich bei 1,47 und 1,07 fmol/l.

Ausgehend von diesen Isotopenuntersuchungen kann die Mittlere Verweilzeit bei der seichteren Sonde BI 1/92 mit < 5 Jahren angegeben werden, bei der tieferen Sonde BI 1/94 ist hingegen mit einer etwas höheren Mittleren Verweilzeit des Grundwassers von 5–10 Jahren zu rechnen.

3.5.6 Mittlere Verweilzeiten

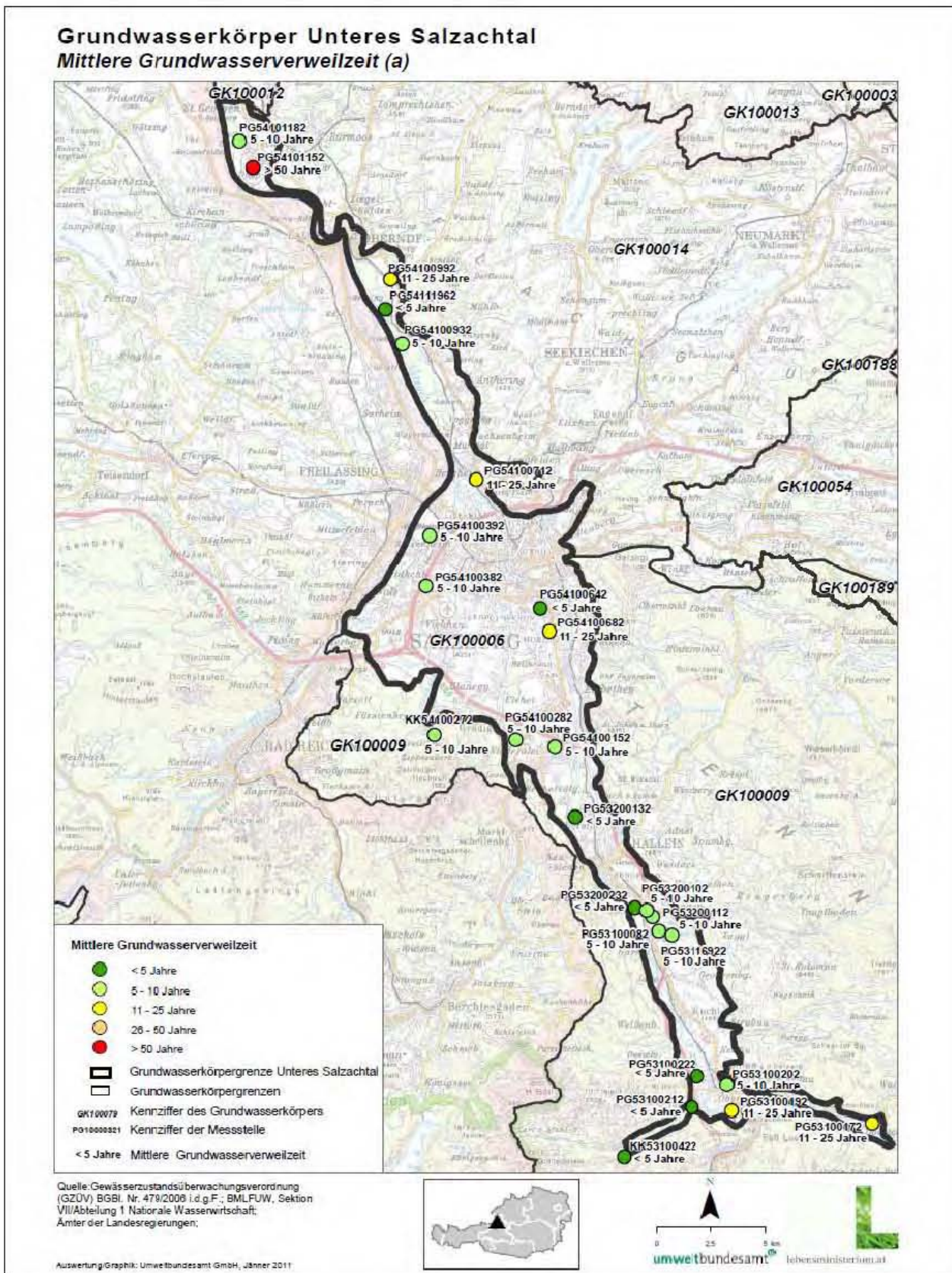


Abbildung 89: Mittlere Verweilzeiten bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal.

Die Messstellen KK53100422, PG53100212 und PG53100222 weisen sehr geringe Grundwasserverweilzeiten (< 5 Jahre) auf. Die ebenfalls im Süden gelegenen Messstellen PG53100172 und PG53100192 zeigen deutlich höhere Verweilzeiten (11–25 Jahre). Beide Messstellen weisen mit 58 m bzw. 70 m relativ hohe Endteufen auf.

Die Mittlere Verweilzeit des Grundwassers im Bereich der Messstelle PG53100202 beträgt 5–10 Jahre.

Die vier im Bereich Taugl-Vigaun befindlichen Messstellen PG53116922, PG53100082, PG53200112 und PG53200102 weisen allesamt Verweilzeiten zwischen 5 und 10 Jahren auf. Lediglich die nördlichste Messstelle in diesem Bereich (PG53200232) zeigt Grundwasserverweilzeiten von < 5 Jahren. Keine dieser Messstellen zeigt eine signifikante Beeinflussung durch die Salzach. Lokale Niederschläge hingegen scheinen hier einen größeren Einfluss zu haben.

Die nördlich von Hallein gelegene Messstelle PG53200132 weist eine GW-Verweilzeit von < 5 Jahren auf. In diesem Bereich sind auch keine Deckschichten ausgebildet. Die Grundwässer sind hier deutlich niederschlagsdominiert.

Die beiden Messstellen PG54100152 und PG54100282 südlich von Salzburg weisen Mittlere Grundwasserverweilzeiten von 5–10 Jahren auf.

Die bei der Messstelle KK54100272 ermittelte Verweilzeit des Grundwassers beträgt 5–10 Jahre und stellt eigentlich keine Quelle dar, sondern das Grundwasser aus dem darunterliegenden Glaneggbrunnen, der Mischwässer von der Königsseeache und vom Untersberg repräsentiert.

**MVZ von
durchschnittlich
5–10 Jahren**

Obwohl für die Messstelle PG54100682 aus hydrogeologischer Sicht junge, niederschlagsbeeinflusste Wässer vermutet werden, wurden hier Verweilzeiten zwischen 11 und 25 Jahren ermittelt. Die nördlich davon gelegene PG54100642 zeigt mit einer Verweilzeit von < 5 Jahren diesen erwarteten lokalen Niederschlagseinfluss.

Die Grundwasserverweilzeiten der beiden im westlichen bzw. nordwestlichen Teil von Salzburg gelegenen GZÜV-Messstellen PG54100382 und PG54100392 weisen Grundwasserverweilzeiten zwischen 5 und 10 Jahren auf.

Die bei der nördlich von Salzburg gelegenen Messstelle PG54100712 ermittelten Verweilzeiten sind mit 11–25 Jahren deutlich höher.

Bei der Messstelle PG54100932 in Anthering konnte der vermutete Verdunstungseinfluss anhand der Isotopenuntersuchungen nicht nachvollzogen werden. Die Mittlere Verweilzeit des Grundwassers beträgt hier 5–10 Jahre.

Die nördlich davon gelegene PG54111962 zeigt eine deutliche Beeinflussung von Niederschlagswässern, das lokale Grundwasser ist hier somit als sehr jung (< 5 Jahre) zu bezeichnen.

Die Messstelle PG54100992 weist relativ hohe Verweilzeiten von 11–25 Jahren auf. Die Grundwässer in diesem Bereich werden hier weniger durch infiltrierenden Niederschlag, sondern durch einen lateralen Grundwasserstrom geprägt.

Die hinsichtlich der Grundwasseraufenthaltszeiten auffälligste Messstelle im Unteren Salzachtal ist die GZÜV-Messstelle PG54101152, bei der ausgehend von den ermittelten Isotopendaten Grundwasser gefördert wird, das nur durch einen Anteil sehr alter Wässer erklärt werden kann. Die Verweilzeiten betragen demnach im Mittel deutlich > 50 Jahre.

Das Grundwasser der nördlich davon gelegenen GZÜV-Messstelle PG54101182 ist hingegen durch lokalen Niederschlag beeinflusst und weist Mittlere Verweilzeiten von 5–10 Jahren auf (Abbildung 89).

3.6 Wulkatal

3.6.1 Sauerstoff-18 und Deuterium

Sauerstoff-18-Werte Die an den ausgewählten Messstellen je vier Mal gemessenen Sauerstoff-18-Werte im Grundwasserkörper Wulkatal schwanken zwischen – 11,52 und – 7,11 ‰ und betragen im Mittel – 9,4 ‰. Die Mittelwerte der Sauerstoff-18-Werte der jeweiligen Messstellen im Jahr 2009 liegen zwischen – 10,05 und – 8,66 ‰ (siehe Abbildung 90 und Abbildung 91). Das gewichtete Mittel des Niederschlags in Podersdorf der letzten fünf Jahre liegt bei – 8,4 ‰.

Deuteriumwerte Die je Messstelle 3-mal gemessenen Wasserstoff-2-Werte (Deuterium) liegen zwischen – 88 und – 51,7 ‰. Die Deuterium-Mittelwerte der GZÜV-Messstellen im Jahr 2009 liegen zwischen – 77,1 und – 63,4 ‰.

Grundwasserkörper Wulkatal Sauerstoff-18 (^{18}O)

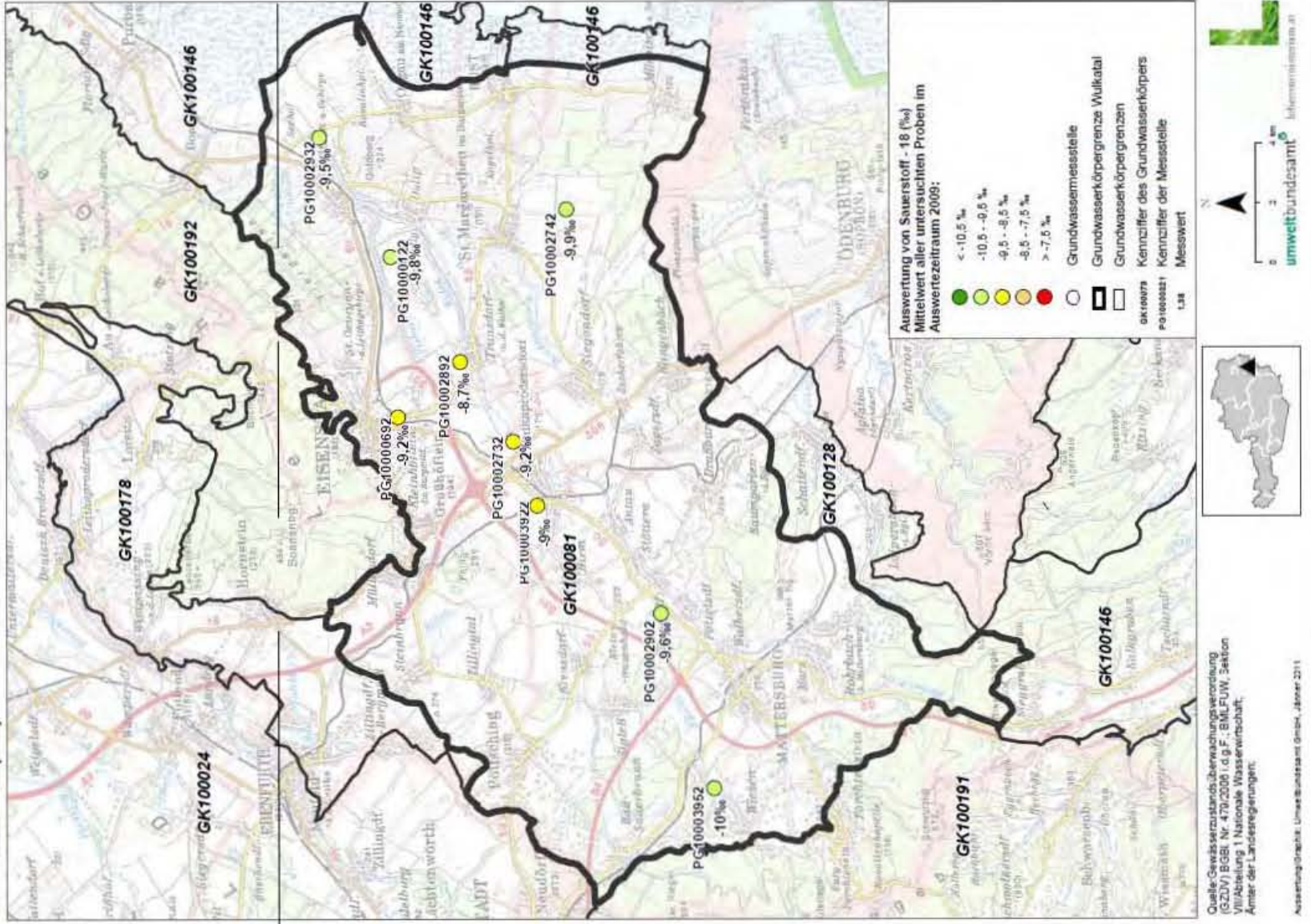


Abbildung 90: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Wulkatal (Mittelwert im Jahr 2009).

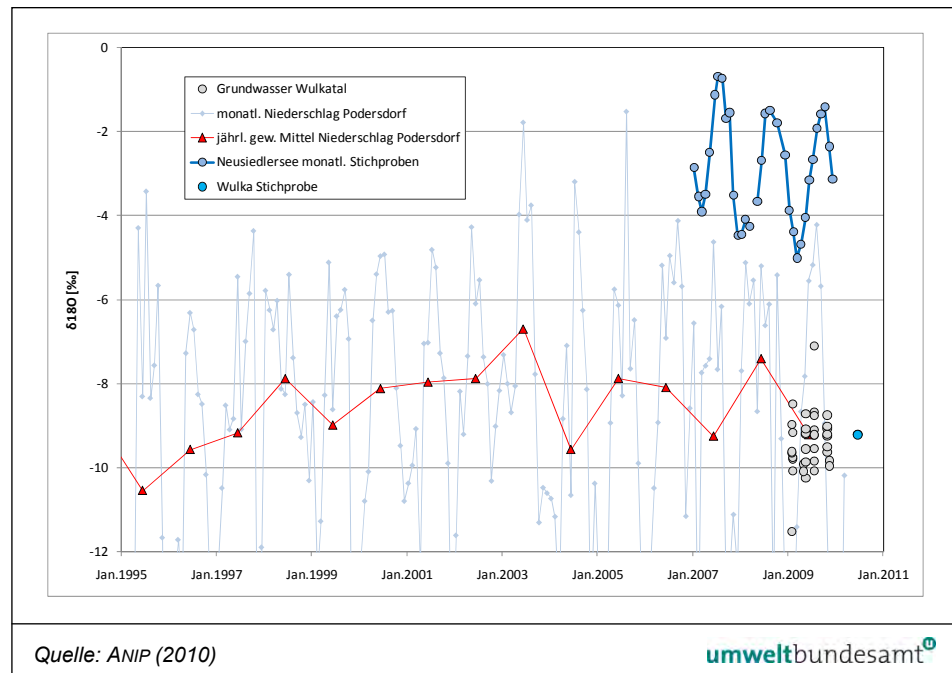


Abbildung 91: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Wulkatal im Vergleich zum Neusiedlersee und dem Niederschlag bei Podersdorf (1995–2010).

Im Sommer 2009 wurde zusätzlich zu den Grundwasserproben eine Probe der Wulka entnommen. Der gemessene Sauerstoff-18-Wert beträgt – 9,22 ‰ und liegt somit im Bereich der im Sommer gemessenen Sauerstoff-18-Werte der Grundwassermessstellen sowie des jährlich gewichteten Mittels des Niederschlags. Der in der Wulka gemessene Deuteriumwert beträgt – 67,15 ‰.

3.6.2 Tritium

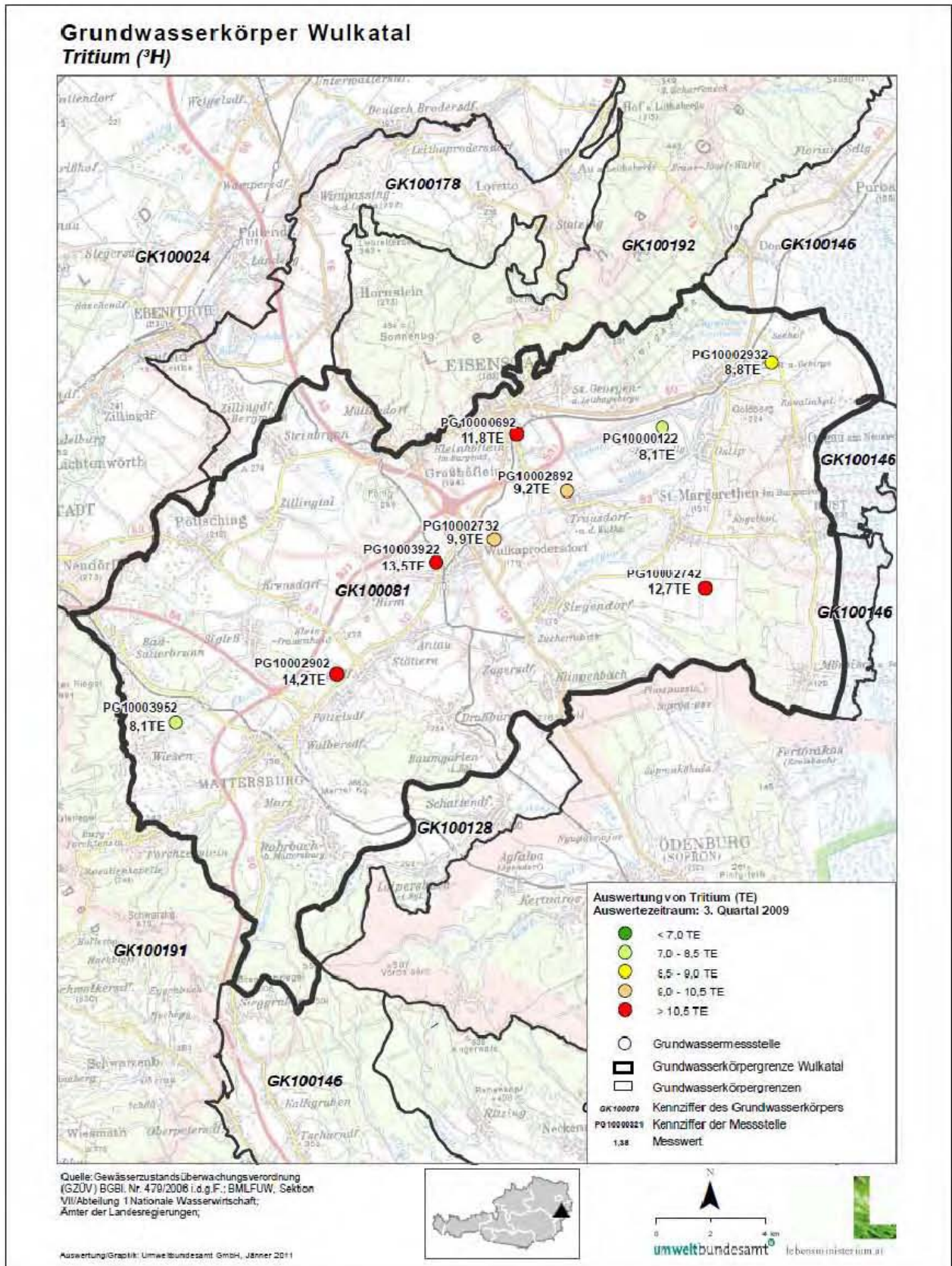


Abbildung 92: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Wulkatal (3. Quartal 2009).

Tritiumwerte Die bei der Probenahme im Jahr 2009 ermittelten Tritiumgehalte bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Wulkatal liegen im Mittel bei 10,7 TE. Im Vergleich dazu beträgt das gewogene Mittel des Niederschlags in Podersdorf aus den letzten fünf Jahren 9,9 TE. Die Tritiumgehalte reichen von 8,1 bis 14,2 TE (siehe Abbildung 92 und Abbildung 93).

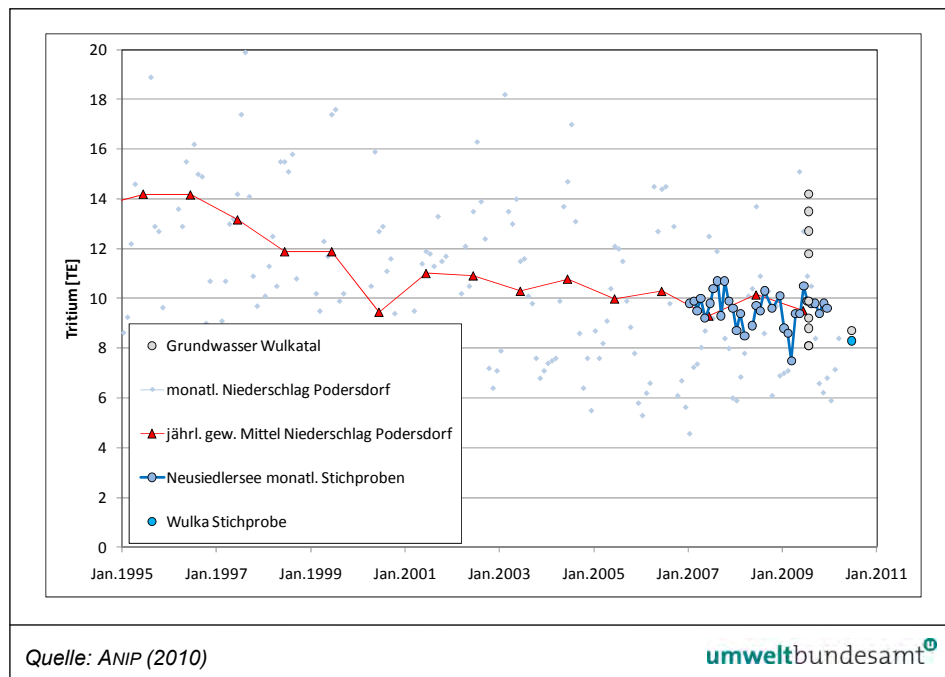


Abbildung 93: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Wulkatal im Vergleich zum Neusiedlersee und zum Niederschlag bei Podersdorf (1995–2010).

3.6.3 Tritium/Helium-3

tritiogene Helium-3-Werte

Die Werte für das aus dem Zerfall des Tritiums gebildete Helium (tritiogenes Helium-3) bewegen sich im Wulkatal, ausgehend von der Probenahme im Jahr 2009, zwischen 0,25 und 70 TE, bei einem Mittel von 12,9 TE (Abbildung 94).

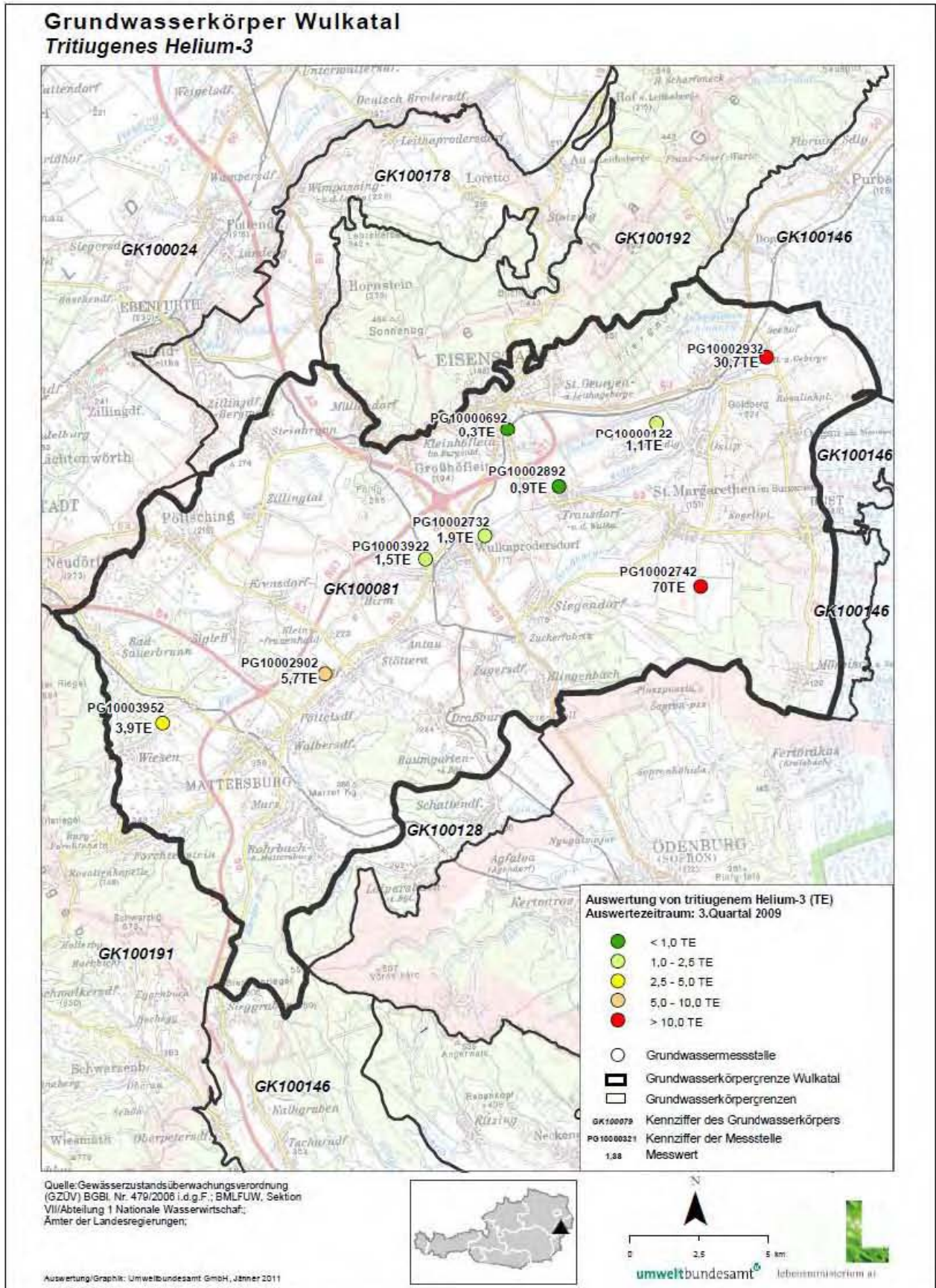


Abbildung 94: Tritiugene Helium-3-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Wulkatal (3. Quartal 2009).

3.6.4 CFC und SF₆

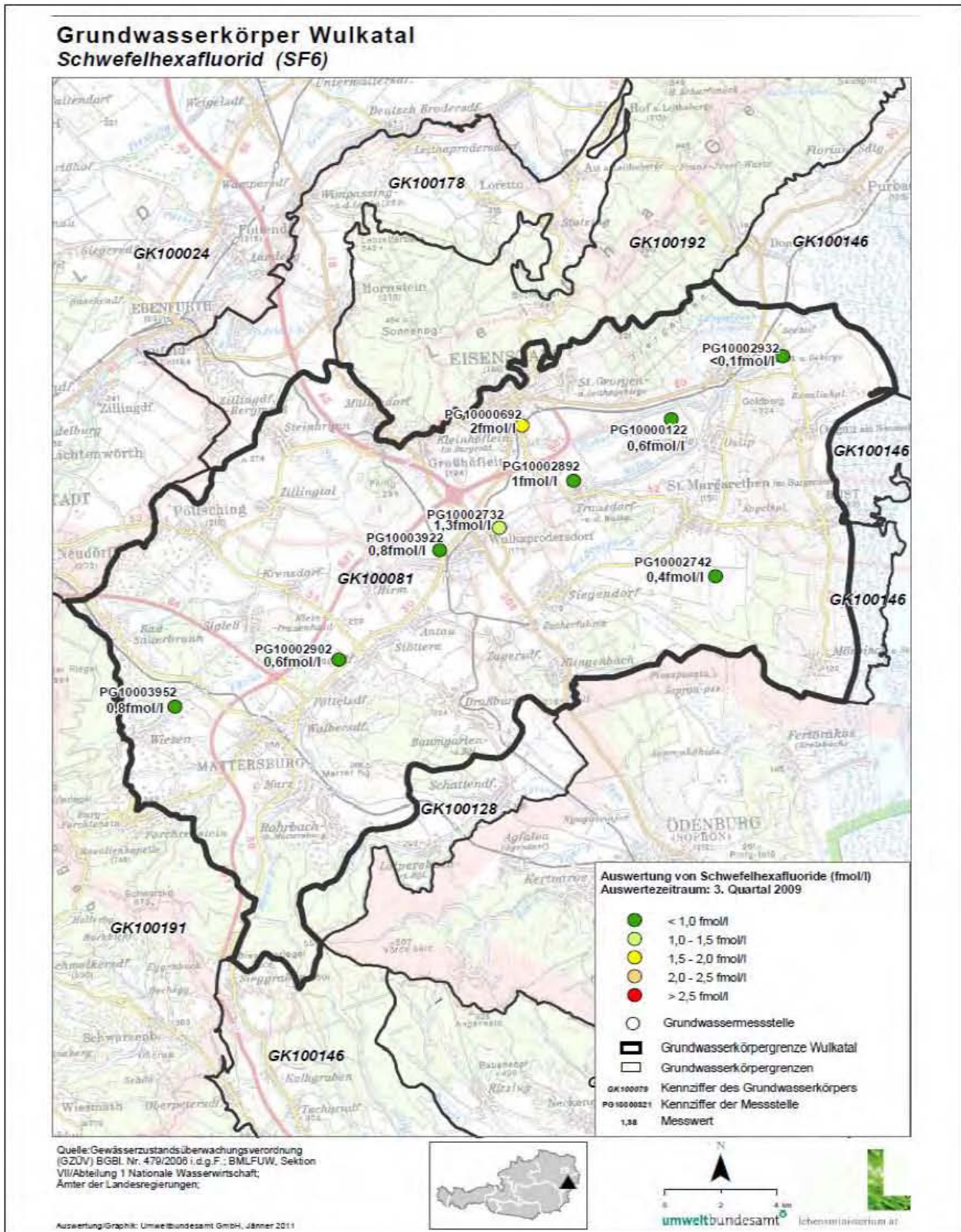


Abbildung 95: SF₆-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Wulkatal (3. Quartal 2009).

Die im Grundwasserkörper Wulkatal ermittelten Werte schwanken bei CFC-11 zwischen 1,5 und 82,0 pmol/l bzw. zwischen 0,9 und 23,3 pmol/l bei CFC-12. Die Mittelwerte liegen bei 20,5 bzw. 6,3 pmol/l. Fast alle Messstellen zeigen einen Überschuss sowohl bei CFC-11 als auch bei CFC-12 (Abbildung 6). Die aus diesen CFC-Werten errechneten Mittleren Verweilzeiten können daher im Rahmen dieser Studie nicht herangezogen werden. **CFC-Werte**

Die SF₆-Werte schwanken zwischen < 0,1 und 2,0 fmol/l (Abbildung 95). Der Mittelwert liegt bei 0,9 fmol/l. **SF₆-Werte**

3.6.5 Tiefenproben

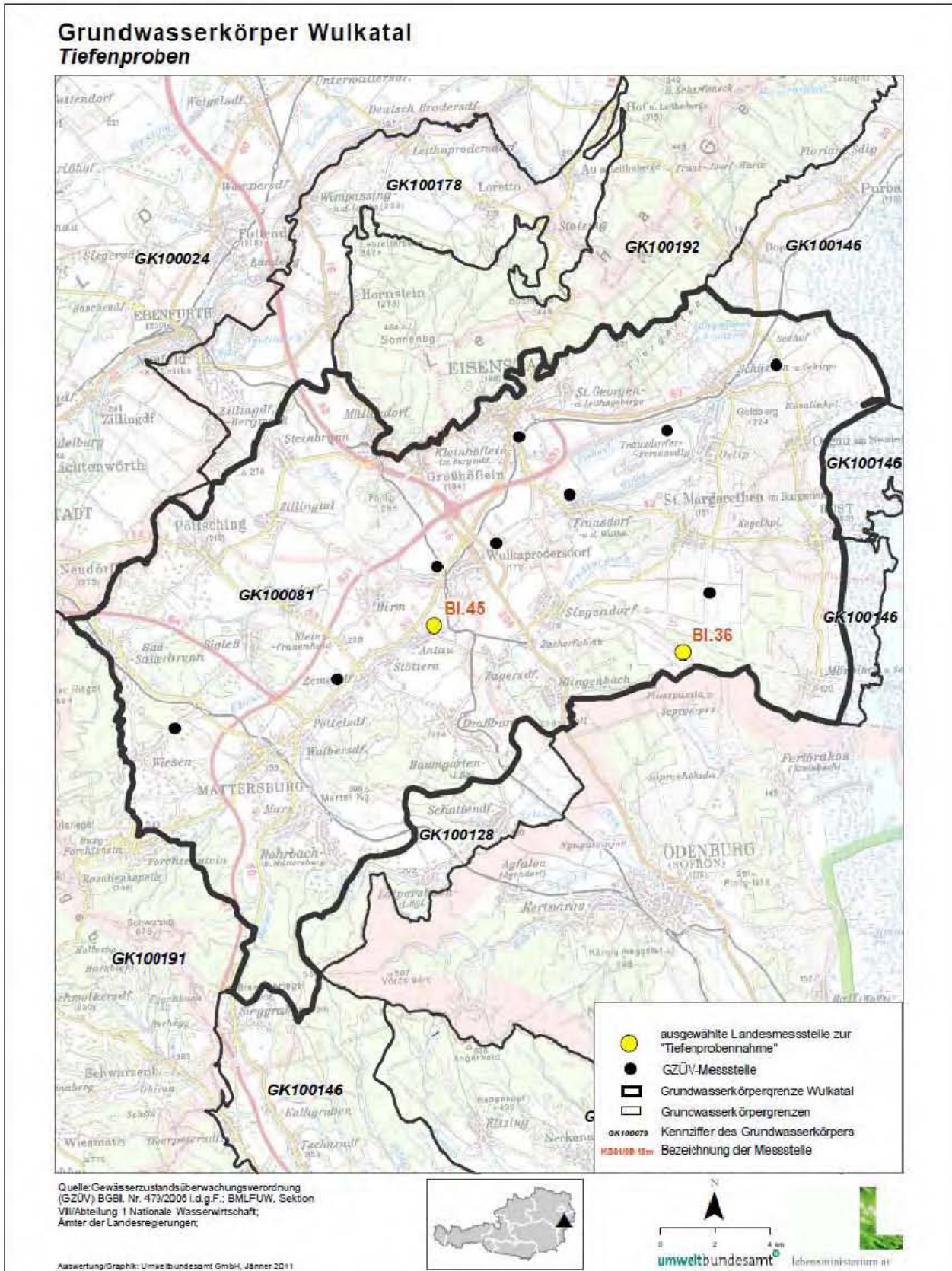


Abbildung 96: Ausgewählte Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Wulkatal, die den tieferen Bereich des Grundwasserkörpers erfassen.

Im Mai 2010 wurden zwei bis zur Grundwasserkörperbasis abgeteufte Messstellen beprobt, um auch den tieferen Bereich des Aquifers zu erfassen.

Die Messstelle Bl.45 liegt im Zentralbereich des Grundwasserkörpers Wulkatal, nahe der Ortschaft Antau. Die Messstelle Bl.36 befindet sich im Südosten des Grundwasserkörpers (Abbildung 96). Der Abstich der Messstelle Bl.36 lag zur Zeit der Probenahme bei 29,9 m bei einer Messstellentiefe von 48,5 m. Der Abstich der Messstelle Bl.45 lag bei 5,5 m bei einer Messstellentiefe von 10,3 m. Die Sauerstoff-18-Werte der beiden Messstellen sind mit $-9,8\text{‰}$ ident (Abbildung 97). Die Deuteriumwerte liegen bei Messstelle Bl.36 bei $-71,85$ und bei Bl.45 bei $-68,3\text{‰}$. Der Tritiumwert der seichteren Messstelle Bl.45 liegt mit 11,1 TE im Bereich der bisher analysierten Messstellen. Bl.36 mit einer Endtiefe von 48,5 m liegt mit 4,7 TE deutlich unter den Tritium-Konzentrationen der ausgewählten GZÜV-Messstellen (siehe Abbildung 98).

Ergebnisse der Tiefenbeprobung

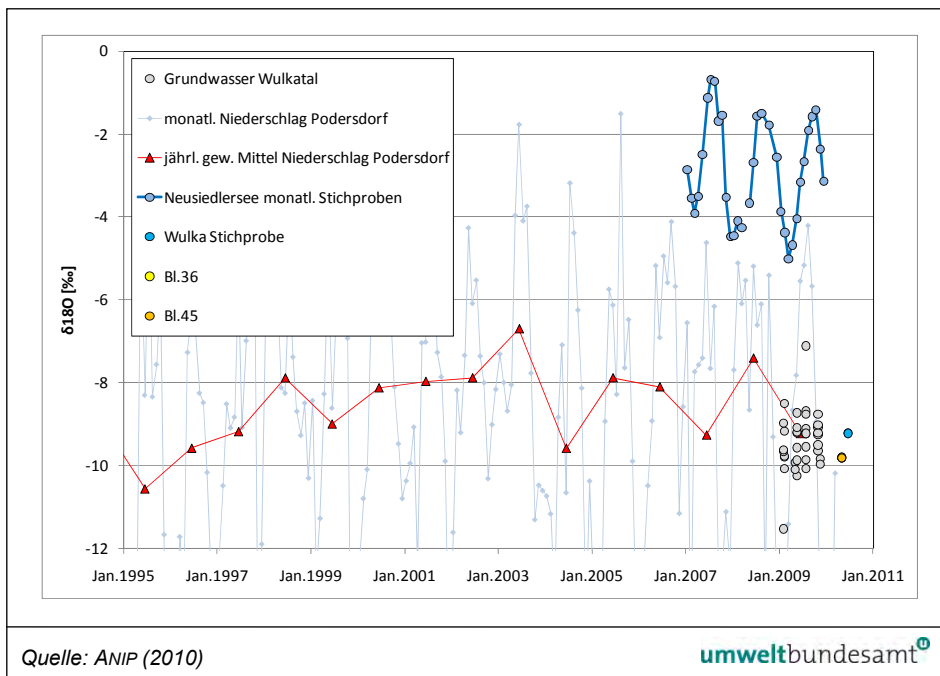


Abbildung 97: Sauerstoff-18-Werte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen sowie den beiden Messstellen Bl.36 und Bl.45, die den tieferen Bereich des Aquifers erfassen, im Grundwasserkörper Wulkatal im Vergleich zum Neusiedlersee und zum Niederschlag bei Podersdorf (1995–2010).

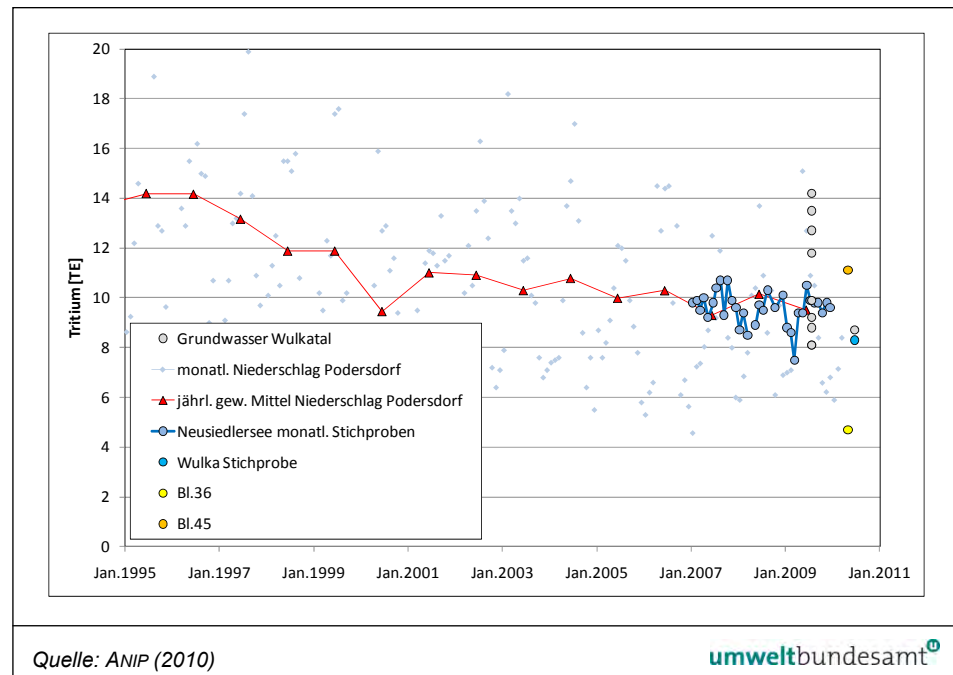


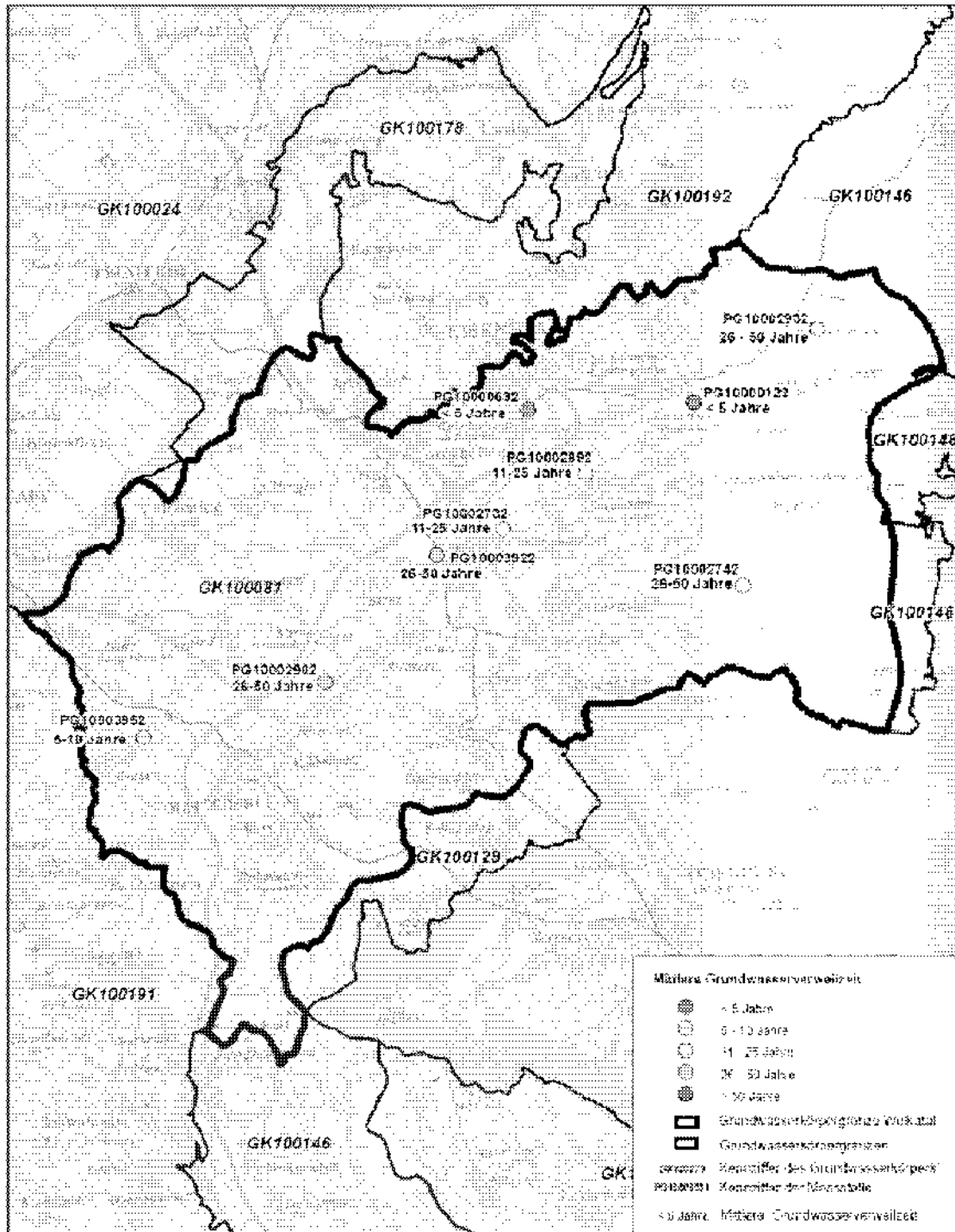
Abbildung 98: Tritiumwerte des Grundwassers bei den ausgewählten GZÜV-Messstellen sowie den beiden Messstellen Bl.36 und Bl.45, die den tieferen Bereich des Aquifers erfassen, im Grundwasserkörper Wulkatal im Vergleich zum Neusiedlersee und zum Niederschlag bei Podersdorf (1995–2010).

Die Werte für CFC-11, CFC-12 und SF₆ schwanken in den Tiefenproben zwischen 2,5–4,3 bzw. 0,9–1,2 pmol/l und 0,2–0,9 fmol/l (siehe Anhang).

Ausgehend von den Isotopenuntersuchungen beträgt die Mittlere Grundwasser- verweilzeit bei der Messstelle Bl.36 26–50 Jahre. Auch bei der Messstelle Bl. 45 deuten die Isotopenuntersuchungen auf Grundwässer hin, die im Mittel 11– 25 Jahre alt sind.

3.6.6 Mittlere Verweilzeiten

Grundwasserkörper Wulkatal
Mittlere Grundwasserverweilzeit (a)



Quelle: Gewässerzonenabgrenzungsverordnung
 GZÜV: GZÜV Nr. 4/2005 (S. 8 f.), EMS-ÖWK, JEFERS
 Maßstab: 1:50000 (ausgewählte Messstellen)
 Anker der Landesvermessung

Abgeändert nach: Umweltbundesamt, 2011

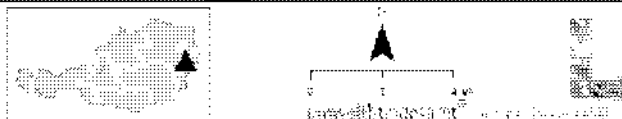


Abbildung 99: Mittlere Verweilzeiten bei den ausgewählten GZÜV-Grundwassermessstellen im Grundwasserkörper Wulkatal.

**heterogene MVZ im
GWK Wulkatal**

Für die Messstelle PG10002902 nördlich von Pöttelsdorf sowie die westlich von Wulkaprodersdorf befindliche PG10003922 konnten Grundwasserverweilzeiten von 26–50 Jahren ermittelt werden. Auch für die oben erwähnte Bl.45, die sich ebenfalls in diesem zentralen Bereich des Wulkatales befindet, konnte eine ähnliche Grundwasserverweilzeit berechnet werden.

Die Messstelle PG10002732 östlich von Wulkaprodersdorf sowie die Messstelle PG10002892 nördlich von Trausdorf weisen etwas geringere Grundwasserverweilzeiten von 11–25 Jahren auf. Womöglich dürften hier infiltrierende Oberflächengewässer eine kleine Rolle spielen. Es ist bei der Messstelle PG10002892 zusätzlich darauf hinzuweisen, dass sie sehr gering ergebnis ist und womöglich gegen äußere anthropogene Einflüsse nicht hinreichend gesichert ist.

Die westlich von Oslip zwischen Eisbach und Wulka befindliche PG10000122 ist mit einer Mittleren Verweilzeit von < 5 Jahren jedenfalls deutlich durch Oberflächengewässer beeinflusst.

Bei der Messstelle PG10000692 wurde eine sehr kurze Verweilzeit (< 5 Jahre) errechnet. Die Messstelle scheint überdies durch lokale anthropogene Aktivitäten überprägt zu sein.

Die bei der südlich von St. Margarethen gelegenen GZÜV-Messstelle PG10002742 ermittelten Grundwasserverweilzeiten von 26–50 Jahren sind ebenfalls mit Vorsicht zu betrachten, da die Messstelle sehr gering ergebnis ist und hier sehr trübe Wässer gefördert werden.

Die Isotopenuntersuchungen bei der Messstelle PG10002932 im Bereich Schützen am Gebirge deuten wiederum auf relativ hohe Grundwasserverweilzeiten von 26–50 Jahren hin (Abbildung 99).

4 DISKUSSION

In der vorliegenden Studie „Grundwasseralter 2009/2010“ wurde versucht, die Erkenntnisse des vorangegangenen Pilot-Projektes Grundwasseralter (KRALIK et al. 2009) bestmöglich zu implementieren. So wurde bereits bei der Messstellenauswahl darauf Wert gelegt, möglichst Sonden mit definierten Filterstrecken bzw. vorhandenem Ausbauplan und Bohrprofil in die Auswahl aufzunehmen. Dies sind für die Auswahl der Berechnungsmodelle und die Berechnung an sich elementare Informationen. Bei einem erheblichen Anteil der GZÜV-Messstellen waren diese Informationen leider nicht oder nur teilweise verfügbar. Somit musste teilweise – auch um eine räumliche und hydrogeologisch sinnvolle Verteilung zu gewährleisten – auf für die Ermittlung Mittlerer Verweilzeiten weniger geeignete GZÜV-Messstellen ausgewichen werden.

4.1 Grazer Feld

Die Isotopenanalysen bzw. die Berechnung der Mittleren Verweilzeiten ergab im Grundwasserkörper Grazer Feld an 17 von 18 Messstellen mittlere Grundwasseralter von < 5 Jahren. Die am südlichsten gelegene Messstelle weist mit Mittleren Altern zwischen 11 und 25 Jahren die ältesten Wässer im Grundwasserkörper auf. Dies ist wahrscheinlich auf einen Anteil an Wässern mit längeren Verweilzeiten aus dem Bereich der Kaiserwaldterrasse zurückzuführen.

Grundwasseralter

Die Messstelle PG60105462 zeigt im 1. Halbjahr 2009 Sauerstoff-18-Werte von – 10,5 und – 10,2 ‰ was auf einen starken Einfluss der Mur schließen lässt. Die gemessenen Sauerstoff-18-Werte im Jahr 2009 der Messstelle PG60613162 bewegen sich im Bereich zwischen – 10,5 und – 10,01 ‰ und liegen damit deutlich unter der Kurve des jährlichen gewichteten Mittel des Niederschlags (siehe Abbildung 41). Dies bestätigt die Annahme, dass die Messstelle fast ausschließlich Murinfiltrat erschließt. Die Sauerstoff-18-Werte der Messstelle PG60624372 kommen oberhalb der Kurve des jährlichen gewichteten Mittels des Niederschlags zu liegen. Ursache dafür sind die großflächigen Baggerseen im Einzugsgebiet der Messstelle und der damit verbundene Verdunstungseffekt.

Sauerstoff-18-Werte

Für den Grundwasserkörper Grazer Feld ergibt sich somit hinsichtlich der Mittleren Grundwasseralter ein relativ einheitliches Bild mit größtenteils jungen Mittleren Verweilzeiten bis zu fünf Jahren. Bedingt durch diese meist kurzen Verweilzeiten wirken sich unterschiedlich hohe Nitratreinträge bereits mit einer Reaktionszeit von einigen Jahren auf die Nitrat-Konzentrationen im Grundwasserkörper aus. Die GZÜV-Messstelle mit einem Grundwasseralter von > 5 Jahren weist noch Nitrat-Konzentrationen deutlich unterhalb des Schwellenwertes der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser von 45 mg/l auf.

Für die Erfassung des tieferen Bereiches des Grundwasserkörpers Grazer Feld bzw. um Grundwässer aus unterschiedlichen Tiefen vergleichen zu können wurde die Grundwassermessstelle KB01/09 im Stadtzentrum von Graz (siehe Abbildung 46 und Anhang) beprobt. Mit Hilfe eines Packers konnte eine tiefen gestufte Probenahme in 13 bzw. 27 m erfolgen.

Der Chemismus der 14 m tiefer entnommenen Probe ist ähnlich der oberflächennahen, mit einer Tendenz zu etwas geringeren Konzentrationen bei den Hauptionen – einzig Hydrogenkarbonat ist geringfügig höher.

Die Isotopenuntersuchungen ergaben für die seichtere Probe KB01/09 13m eine Mittlere Verweilzeit von < 5 Jahren. Bei der tiefer entnommenen Probe KB01/09 27m kann hingegen von einer Mittleren Verweilzeit des Grundwassers von 11–25 Jahren ausgegangen werden.

4.2 Jauntal

Grundwasseralter Die MVZ an den untersuchten Messstellen im Grundwasserkörper Jauntal sind für einen Porengrundwasserkörper aufgrund der vorwiegend mächtigeren ungesättigten Zonen von 30–80 m und der tiefliegenden Quellen nahe der Drau am Nordrand des Grundwasserkörpers relativ lang.

Nur 3 (27 %) der 11 (ohne die Tiefenmessstelle) untersuchten Grundwassermessstellen fallen in die jüngste Kategorie der MVZ von < 5 Jahren. Am Südrand gelegen, werden sie durch unterirdische Zuflüsse aus der bis zu 2.200 m mächtigen Gebirgskette der Petzen – Topitza gespeist. Das wird unterstrichen durch die niedrigen ^{18}O -Werte von -10‰ . Die untersuchten Quellen (KK20707102 und KK20807092) und die aus der Petzen zufließenden Sucha-, Feitritz- und Pototschnik-Bäche zeigen Werte zwischen -11 und $-10,5\text{‰}$ (KRALIK & SCHATNER 2010), während der durchschnittliche Niederschlag bei $-9,35\text{‰}$ liegt (Abbildung 51). Das bedeutet, dass – abhängig vom $\delta^{18}\text{O}$ -Wert – ungefähr 35–55 % des Grundwassers von den Karstwässern der Petzen und der Rest aus dem lokal versickernden Niederschlag stammen. Eine MVZ von weniger als 5 Jahren bei den beiden südlichsten Messstellen (PG20803042, PG20807152) bedeutet, dass besonders versickerndes Bachwasser die 30 m ungesättigte Zone schneller als mit 6 m/Jahr durchläuft.

hohe Nitrat- und Chloridbelastung Die Messstelle PG20807152 ist zusätzlich stark mit Nitrat ($> 50\text{ mg/l}$) durch darüber liegende landwirtschaftliche Flächen bzw. außerordentlich stark durch Natrium und Chlorid ($> 100\text{ mg/l}$) belastet, was wahrscheinlich durch den Winterdienst der neben der Messstelle verlaufenden Gemeindestraße bedingt ist (Abbildung 15, Tabelle 7). Diese signifikante Beeinflussung durch das Streusalz einer eher kleinen Straße spricht auch für eine rasche vertikale Versickerung.

Wie bereits oben erwähnt scheinen bei der Messstelle PG20803032 zwei $\delta^{18}\text{O}$ -Werte auf, die höher als der durchschnittliche Niederschlagwert von $-9,35\text{‰}$ sind, was darauf hinweist, dass diese in Oberflächengewässern angereichert wurden (Abbildung 51). Die Herkunft eines erheblichen Anteils des Grundwassers von ursprünglichem Oberflächenwasser aus dem Gösselsee und dem Seebach wird durch die geringe Leitfähigkeit ($< 450\text{ }\mu\text{S/cm}$) und den geringen Nitratgehalt ($< 4\text{ mg/l}$) unterstrichen. Das Grundwasser kann auch wegen des geringen Flurabstandes hier rasch (MVZ < 5 Jahre) versickern. Diese hydrochemischen Eigenschaften sind auch an der Messstelle PG20803072, 4 km nordöstlich davon, erkennbar. Dies untermauert, dass auch diese Messstelle vorwiegend von ursprünglich versickerndem Oberflächenwasser angeströmt wird, aber aufgrund des weiteren Fließweges wird hier die MVZ in die Kategorie 5–10 Jahre eingestuft.

Die längsten Verweilzeiten von 5–10 und 11–25 Jahren weisen die tiefen Messstellen im Mittelbereich des Grundwasserkörpers (30–77 m ungesättigte Zone) und die Quellen nahe der Drau auf. Die MVZ der Quelle PG20801112 ganz im Nordosten ist mit 5–10 Jahren etwas geringer, da sie zu erheblichen Anteilen auch von versickerndem Oberflächenwasser des Feistritzbaches alimentiert wird. Das drückt sich auch in einem niedrigeren Nitratgehalt um 20 mg/l und niedrigen $\delta^{18}\text{O}$ -Werten um -10‰ aus, da der Feistritzbach auch seinen Ursprung im südlichen Petzenstock hat.

Die tiefe Messstelle PG20801082 (57–77 m), die vom oberen Stockwerk des Aquifers in der direkt daneben liegenden PG20801092 Messstelle (29–35 m) durch eine 16 m mächtige Schlufflage getrennt ist, zeichnet sich durch ein Grundwasser aus, das eine etwas geringere Leitfähigkeit und einen geringeren Nitratgehalt aufweist, aber bereits in die Kategorie der MVZ von 11–25 Jahren fällt (Abbildung 59).

Abbildung 51 zeigt, dass gegenüber den Untersuchungen von ZOJER (1980) und SPENDLINGWIMMER & HEIß (1996) die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Grundwasser – ähnlich wie der Niederschlag in Klagenfurt (ANIP 2010) – über diesen Zeitraum um ein Promille angestiegen ist. Die generelle Alterseinschätzung der Grundwässer von SPENDLINGWIMMER & HEIß (1996) mit 5–10 Jahren und in Randlagen bis zu 16 Jahren konnte mit einer größeren Anzahl von Untersuchungsstellen besser differenziert werden.

Eine generelle Grundwasserneubildung überwiegend im Winter kann durch die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte nicht bestätigt werden. Vielmehr besteht die Grundwasserneubildung aus einer komplexen Mischung von lokalen Winter- und Sommerniederschlägen und aus dem unterirdischen Zustrom bzw. der Versickerung aus Bächen von im Süden gelegenen bis über 2.200 m hohen Karbonat-Karstgebirgen (Karawanken).

**MVZ Grundwasser
der Tiefenmessstelle
11–25 Jahre**

**Sauerstoff-18-
Trends über
Jahrzehnte**

4.3 Leibnitzer Feld

Für fünf (42 %) der 12 GZÜV-Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld wurde eine Mittlere Verweilzeit von unter 5 Jahren ermittelt, für sieben (58 %) Messstellen ein Grundwasseralter zwischen 5 und 10 Jahren.

Alle vier Proben der Messstelle PG61012022 weisen Sauerstoff-18-Werte deutlich über dem jährlichen gewichteten Mittel des Niederschlags auf. Verantwortlich dafür ist der starke Einfluss von Teichen im Einzugsgebiet der Messstelle (Abbildung 60). Alle anderen analysierten Messstellen im Grundwasserkörper Leibnitzer Feld liegen mit ihren Sauerstoff-18-Werten im Bereich der Kurve des jährlichen gewichteten Mittels des Niederschlags (Abbildung 61). Daraus kann geschlossen werden, dass die Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der ausgewählten Messstellen primär durch lokal versickernden Niederschlag erfolgt. Die nördlichste der beprobten GZÜV-Messstellen repräsentiert einen äußerst lokalen Bereich des Grundwasserkörpers Leibnitzer Feld. Bei den zur Messstelle fließenden Grundwässern handelt es sich hauptsächlich um von Norden zufließende Karstwässer mit geringem Einzugsgebiet, zudem liegt im Einzugsgebiet eine Grundwasserversickerungsanlage. Der Begleitgrundwasserstrom der Mur wird in der Messstelle nicht erfasst. Die Verweilzeiten aller

Grundwasseralter

12 analysierten Messstellen und somit auch der flächenhaft überwiegende Anteil des Grundwasserkörpers liegen im Bereich Mittlerer Grundwasserverweilzeiten von maximal 10 Jahren. Für die im Leibnitzer Feld flächig hohen Nitrat-Konzentrationen bedeutet dies, dass sich ändernde Stoffeinträge wahrscheinlich schon nach einigen Jahren in den Grundwasserkonzentrationen messbar werden.

Um zumindest einen punktuellen Einblick über die Tiefe zu erhalten erfolgte im Lysimeter „Wagna“ zusätzlich eine tiefengestufte Probenahme. Der Tritiumwert der oberflächennahen Probe im Lysimeter unterscheidet sich mit 8,3 TE doch deutlich von der an der Basis des Lysimeters entnommenen Probe (10,2 TE). Diese unterschiedlichen Gehalte können auf die Niederschlagsdynamik im Tritium zurückgeführt werden. Ausgehend von diesen Isotopenuntersuchungen kann die Mittlere Verweilzeit des Grundwassers bei beiden Proben mit < 5 Jahren angegeben werden.

4.4 Rheintal

Sauerstoff-18-Werte

Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Grundwasserkörper Rheintal sind sowohl eine Mischung lokaler Winter- und Sommerniederschläge bzw. der unterirdischen und oberirdischen Zuflüsse aus den östlichen Gebirgsketten als auch aus Uferfiltratwässern nahe der Flüsse Rhein und Ill. Die Messstellen nahe dem östlichen Rand des Rheintales enthalten Wasser mit relativ niedrigen Sauerstoff-18-Werten (– 10,9 bis – 10,1 ‰) während die Grundwässer mit überwiegend lokalen Niederschlägen signifikant höher (– 9,7 bis – 9,5 ‰), also nahe dem gewogenen Mittel der Jahresniederschläge von Bregenz (– 9,7 ‰), liegen. Die Messstellen nahe des Rheins und der Ill zeigen – mit Ausnahme von PG80303452 in Lustenau – wieder von deren Flusswässern aus hohen Einzugsgebieten beeinflusste tiefe Sauerstoff-18-Werte von – 12,1 bis – 10,7 ‰.

Grundwasseralter

Ebenso wie die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte die Grundwasserneubildung charakterisieren, reflektieren sie auch die Verweilzeiten. Unterirdische randliche Zuflüsse aus den alpinen Gebirgen und die Versickerung der von dort zuströmenden Flüsse und Bäche erzeugen kurze MVZ, während die Grundwasserneubildung über die lokalen Niederschläge und die Bodenpassage ein länger andauernder Prozess ist. Wie zu erwarten, sind tiefere Teile des Kiesaquifers teils durch weniger durchlässige Zonen geschützt, teils laufen die Strömungsprozesse im obersten Bereich des Aquifers rascher ab. Daraus resultieren die längeren Verweilzeiten der Tiefenmessstellen. Eine Ausnahme bildet das Grundwasser der Messstelle HFB/Mäder, die mit maximal 23 m nicht so tief ist und bei welcher durch die Dynamik des Rheins und die ständige intensive Nutzung als Uferfiltrat kurze Verweilzeiten von < 5 Jahren vorliegen.

Die Verdünnung durch die randlichen Zuflüsse und der Austausch mit den Flusswässern sind auch verantwortlich für die niedrigen Nitratgehalte, trotz einer erheblichen landwirtschaftlichen Nutzung im Rheintal. Zu bemerken ist aber auch, dass die Wässer in den dichter besiedelten Zentren (8 Messstellen) zumindest zeitweise reduzierende Verhältnisse aufweisen und der Stickstoff daher in anderer Form vorliegen muss.

Die Messstelle PG80401152 ist durch extrem hohe Natrium- und Chloridwerte (> 110 mg/l) gekennzeichnet, was einerseits durch die Lage unmittelbar neben der Autobahn und deren Salzstreuung, andererseits aber auch durch die kurze MVZ von < 5 Jahren gut erklärt werden kann.

hohe Natrium- und Chloridwerte

4.5 Unteres Salzachtal

Im Grundwasserkörper Unteres Salzachtal wurden bei 25 der 51 im Jahr 2009 aktiven GZÜV-Messstellen vertiefende Isotopenuntersuchungen durchgeführt. Sieben Messstellen (28 %) weisen Verweilzeiten von < 5 Jahren auf, bei 12 Messstellen (48 %) betragen die Verweilzeiten 5–10 Jahre (Abbildung 89).

Grundwasseralter

Die größten Grundwassermächtigkeiten um 50 m werden südlich von Golling im südöstlichsten Teil des Unteren Salzachtals erreicht. Die beiden Messstellen PG53100172 und PG53100192, bei denen Mittlere Verweilzeiten von 11–25 Jahren ermittelt wurden, erfassen aufgrund ihres durchgehenden Ausbaus den gesamten Aquifer in diesem Bereich.

Demgegenüber werden die Messstellen im südwestlichsten Teil des Salzachtals (PG53100422, PG53100212 und 53100222) aus den randlichen Bereichen (Göll, Bluntautal) beeinflusst, was sich in niedrigen Verweilzeiten des Grundwassers von < 5 Jahren äußert.

Südlich von Hallein bzw. nördlich von Kuchl im Bereich Taugl werden ebenfalls größere Grundwassermächtigkeiten erreicht. Hier wird das Grundwasser durch einen lateralen Grundwasserstrom geprägt. Der lokale Niederschlagseinfluss ist aufgrund des größeren Flurabstandes (> 10 m) nicht sehr groß.

Unmittelbar nördlich davon im Bereich um Vigaun fehlen Deckschichten, der lokale Niederschlagseinfluss nimmt in diesem Bereich wieder zu. Die Grundwasserverweilzeiten wurden hier mit 5–10 Jahren errechnet. Lediglich die nördlichste Messstelle in diesem Bereich – die westlich der Salzach gelegene PG5320232 – wird deutlich durch Oberflächengewässer beeinflusst und weist Verweilzeiten des Grundwassers von < 5 Jahren auf.

Die Wässer nördlich von Hallein stellen wiederum Mischwässer aus lokal versickernden Niederschlägen und randlichen alpinen Bereichen (Almbach aus dem östlichen Randbereich, Königsseeache von Westen) dar. Dementsprechend sind die MVZ hier relativ gering (max. 5–10 Jahre).

Der östliche Teil des Stadtgebietes von Salzburg ist durch eine Grundwasserbarriere gekennzeichnet. Östlich des Friedhofes wird von einem neuen Grundwasserstrom ausgegangen, der dementsprechend niederschlagsbetont ist. Dies kann bei der Messstelle PG54100642 mit < 5 Jahren Verweilzeit nachvollzogen werden. Bei der südlich davon gelegenen Messstelle PG54100682 deuten die Isotopenuntersuchungen darauf hin, dass der lokale Niederschlagseinfluss geringer sein dürfte (Verweilzeiten 5–10 Jahre).

Das Grundwasser im städtischen Bereich westlich des Flughafens ist als Begleitstrom der Saalach zu interpretieren. Die Verweilzeiten in diesem durchaus mächtigen Schotterkörper betragen, ausgehend von den Isotopenuntersuchungen, 5–10 Jahre (PG54100382, PG54100392).

Der nördliche, wiederum sehr schmal ausgebildete, Bereich des Unteren Salzachtales ist durch gering ergebige Wässer geprägt. Die Verweilzeiten variieren dementsprechend lokal sehr stark.

Eine Messstelle im nördlichsten Teil des Unteren Salzachtales (PG54101152) weist einen extrem geringen Tritumgehalt von $<0,3$ TE auf. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass die Mittlere Verweilzeit des Grundwassers hier deutlich größer als 50 Jahre ist. In Zusammenschau mit den ermittelten Sauerstoff-18-Konzentrationen zwischen $-14,4$ und $-14,0$ ‰ kann davon ausgegangen werden, dass bei dieser Messstelle sogar wesentlich ältere (also pleistozäne) Wässer eine Rolle spielen, da diese Sauerstoff-18 Messwerte nur durch sehr kühle klimatische Bedingungen erklärt werden können.

Für die Fragestellung der Erfassung des tieferen Bereiches des Grundwasserkörperkörpers Unteres Salzachtal wurde die Sonde BI 1/92 mit einer Endteufe von 8,9 m (die somit lediglich den oberen Bereich des Aquifers erfasst) und die 10 m entfernte Sonde BI 1/94 mit einer Endteufe von 24,4 m ausgewählt. Die Sonde BI 1/94 erfasst den Bereich zwischen 2,4 und maximal 24,4 m. Um dennoch hauptsächlich den unteren Bereich der Messstelle zu erfassen, wurde im unteren Bereich der Sonde eine Pumpe eingebaut, die nach oben hin mit einem Einfach-Packer abgedichtet wurde. Oberhalb des Packers wurde eine zusätzliche Pumpe eingebaut, die zeitgleich mit der unteren Pumpe in Betrieb genommen wurde. Es wurde davon ausgegangen, dass mit dieser Vorrichtung ein Kurzschluss über den stärker durchlässigen Ringraumbereich hintangehalten werden kann. Die bei der Probenahme ermittelten signifikanten Unterschiede der Vor-Ort-Parameter, aber auch die der hydro- und isotochenchemischen Analyseergebnisse bestätigen diese Annahme. Ausgehend von den Isotopenuntersuchungen kann die Mittlere Verweilzeit bei der seichteren Sonde BI 1/92 mit < 5 Jahren angegeben werden, bei der tieferen Sonde BI 1/94 ist hingegen mit einer etwas höheren Mittleren Verweilzeit des Grundwassers von 5–10 Jahren zu rechnen.

4.6 Wulkatal

Das Wulkatal ist aus hydrogeologischer Sicht grundsätzlich sehr inhomogen aufgebaut, was sich in der Verteilung der Ergebnisse der ermittelten Mittleren Verweilzeiten insofern widerspiegelt, dass die einzelnen Messstellen lokale Einzugsgebiete repräsentieren, die nicht auf den gesamten Grundwasserkörper umgelegt werden können (Abbildung 99).

Aufgrund der relativ dürftigen hydrogeologischen Informationslage im Gebiet konnten jedoch für einige der beprobten Messstellen die Einzugsgebiete nur annähernd abgeschätzt werden, was die Interpretation der Isotopendaten zusätzlich erschwerte.

Grundwasseralter Das Grundwasser im westlichen Teil zeigt deutlich die Beeinflussung von den randlichen Erhebungen bzw. den von dort austretenden Oberflächengerinnen (PG10003952, 5–10 Jahre Verweilzeit).

Der zentrale Bereich des Wulkatales ist durch relativ hohe Verweilzeiten (11–25 bzw. 26–50 Jahre) gekennzeichnet.

Knapp 44 % der GZÜV-Messstellen der Grundwasserkörpergruppe Wulkatal weisen Mittlere Verweilzeiten des Grundwassers von 26–50 Jahren auf. Ausgehend von der geringen Niederschlagsmenge im Wulkatal bei gleichzeitig geringer Grundwasserneubildungsrate und teilweise sehr geringen Fließgeschwindigkeiten sind derart hohe Grundwasserverweilzeiten durchaus plausibel.

Im Bereich südlich von St. Margarethen (PG10002742) sind die hohen Verweilzeiten auf schlechte Ergiebigkeit der Messstelle bei gleichzeitig geringer Grundwasserneubildung durch lokalen Niederschlag zurückzuführen.

Zwischen Eisbach und Wulka nimmt der Einfluss von versickernden Oberflächengewässern deutlich zu. Die in diesem Bereich gelegene PG10000122 weist hier auch eine MVZ von < 5 Jahren auf.

Im Süden von Eisenstadt wurden sehr junge Grundwasserverweilzeiten ermittelt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die dafür verantwortliche Messstelle PG10000692 nur lokale, anthropogen stark überprägte Wässer erfasst.

Im Bereich von Schützen werden die Grundwässer aus dem gesamten Wulkatal erfasst (PG10002932), womit die relativ hohen Verweilzeiten von 26–50 Jahren erklärbar wären.

Zusätzlich wurden zwei bis zur Grundwasserkörperbasis abgeteufte Messstellen beprobt. Der Tritiumwert der seichteren Messstelle Bl.45 liegt mit 11,1 TE im Bereich der bisher analysierten Messstellen. Bl.36 mit einer Endteufe von 48,5 m liegt mit 4,7 TE deutlich unter den Tritium-Konzentrationen der ausgewählten GZÜV-Messstellen. Ausgehend von den Isotopenuntersuchungen beträgt die Mittlere Grundwasserverweilzeit bei der Messstelle Bl.36 26–50 Jahre. Auch bei der Messstelle Bl. 45 deuten die Isotopenuntersuchungen auf Grundwässer hin, die im Mittel 11–25 Jahre alt sind. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass es sich hier um eine einmalige Isotopenuntersuchung aus dem Jahr 2010 handelt. Mit Bestimmtheit kann jedoch behauptet werden, dass die Beeinflussung durch die Versickerung lokaler Niederschläge im Bereich der Messstellen Bl.36 und Bl.45 nicht den entscheidenden Faktor für das Alter des Grundwassers darstellt.

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus den im Rahmen dieser Untersuchungen gewonnenen Erkenntnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

fundierte Aussagen durch Isotopen- untersuchungen

Die Anwendung unterschiedlicher Isotopenmethoden zur Bestimmung der Mittleren Verweilzeit (MVZ) des Grundwassers gewährleistet fundierte Aussagen hinsichtlich der Anströmgeschwindigkeit und Mischungsverhältnisse an einzelnen Messstellen.

Es muss in diesem Zusammenhang aber unbedingt die hydrogeologische Situation mitberücksichtigt werden. Eine Interpretation der Mittleren Verweilzeiten des Grundwassers ist ohne Kenntnis der lokalen hydrogeologischen Gegebenheiten nur mit sehr großen Unsicherheiten möglich.

Außerdem kann die Unkenntnis über den jeweiligen Messstellenausbau durchaus erhebliche Schwierigkeiten in der Interpretation von Isotopendaten nach sich ziehen. Die Untersuchungen vor allem bei den Tiefenproben zeigen jedoch, dass die Verweilzeiten und auch die hydrochemischen Parameter in unterschiedlichen Tiefenbereichen oftmals deutlich voneinander abweichen. Hydrochemische Messdaten müssen daher auch innerhalb eines Grundwasserkörpers nicht zwangsläufig miteinander vergleichbar sein. Dies ist für die gegenständliche Studie deshalb von Relevanz, da diese Information zum Messstellenausbau und zum hydrogeologischen Ausbau im Messnetz der GZÜV oftmals nicht vorhanden ist.

Tritium-Input- Methode ist unverzichtbar

Die Anwendung der Tritium-Input-Methode wird zwar oftmals bereits als nicht mehr anwendbar bezeichnet, da die Tritiumwerte des regionalen Niederschlags in den letzten 10 Jahren nur noch sehr wenig variieren. Die Untersuchungen im Rahmen dieser Studie konnten jedoch zweifelsfrei feststellen, dass gerade bei der Beimischung älterer Wässer (> 15 Jahre) und der Erfassung der Verweilzeiten der ungesättigten Zone nicht auf diese Methode verzichtet werden kann.

Da Österreich mit dem Isotopen-Messnetz des Niederschlags (ANIP) über eine international herausragende Datenquelle verfügt, scheint eine zweimalige Untersuchung auf Tritium innerhalb eines Jahres eine notwendige Ergänzung darzustellen, um jahreszeitliche Einflüsse besser abbilden zu können.

CFC-Methode ist ungeeignet

Während die Verwendung der Isotopen des Wassers durchaus brauchbare Ergebnisse liefert, zeigt sich – ausgehend von den bisher durchgeführten Untersuchungen – dass die Anwendung der FCKW-(CFC-)Methode aufgrund der oben beschriebenen Überschüsse (Kontaminationen) für Altersinterpretationen in den Porengrundwasserkörpern nicht geeignet ist und daher in Zukunft dort nicht mehr durchgeführt werden sollte.

weiterer Forschungsbedarf

Die in Rahmen dieser Studie festgestellten Unstimmigkeiten bei der Interpretation aus den Daten des Gases Schwefelhexafluorid (SF_6) und des tritiogenen Heliums im Grundwasser sind momentan Gegenstand weiterer Untersuchungen. Diese sollen klären, ob die Gehalte an SF_6 im Grundwasser in Österreich aufgrund der besonderen geografischen Lage oder spezifischer Grundwasserneubildungsmechanismen zu Fehlinterpretationen führt oder ob auf den Einsatz dieser Methode zukünftig verzichtet werden sollte.

6 LITERATURVERZEICHNIS

6.1 Allgemein

- ANIP – Austrian Network of Isotopes in Precipitation (2010): Österreichisches Netzwerk für Isotopen (^{18}O , ^2H , ^3H) in Niederschlägen und Oberflächengewässern. Lebensministerium, Ämter d. Landesregierungen, ARC und Umweltbundesamt, Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at>.
- BROERS, H.P. & VAN DER GRIFT, B. (2004): Regional monitoring of temporal changes in groundwater quality. *Journal of Hydrology* 296: 192–220.
- BULLISTER, J.L. & WEISS, R. F. (1988): Determination of CCl_3F and CCl_2F_2 in seawater and air. *Deep sea research*, 35: 839–53.
- COOK, P. & HEREZEG, A. L. (2000): *Environmental tracers in subsurface hydrology*. Kluwer Academic Publishers, London. 529 p.
- CORINE – Coordinated Information on the European Environment (2000): BMLFUW, Sektion VII/Abteilung 1 Nationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen CORINE2006: Umweltbundesamt GmbH.
<http://www.umweltbundesamt.at/umwelt/raumordnung/flaechennutzung/corine/>.
- CRAIG, H. (1961): Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133: 1702–1703.
- DARLING, W.G. & GOODY, D.C. (2007): Assessing the applicability of global CFC and SF_6 input functions to groundwater dating in the UK. *Science of the Total Environment*, 387: 353–362.
- EPSTEIN, S. & MAYEDA, T. (1953): Variation of ^{18}O content of waters from natural sources. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 4: 213–224.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (1998): *World Soil Resources Reports*, 84, Rome.
- GNS – (2008): <http://www.gns.cri.nz/services/waterdating/images/intro2.jpg>;
 15.04.2008
- H_2O FACHDATENBANK 2009 (2010): Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV) BGBl. Nr. 479/2006 i.d.g.F.; BMLFUW, Sektion VII/Abteilung 1 Nationale Wasserwirtschaft; Ämter der Landesregierungen
<http://www5.umweltbundesamt.at/h2ogispub/>.
- HÖLTING, B. (1996): *Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie*. Enke Verl., Stuttgart. 441 S.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (2006): *Use of chlorofluorocarbons in hydrology: a guidebook*. Vienna. 277 S.
- KAISER, A.; SCHEIFINGER, H.; KRALIK, M.; PAPESCH, W.; RANK & STICHLER, W. (2002): Links between meteorological conditions and spatial/temporal variations in long – term isotopic records from the Austrian precipitation network. Intern. Conf. „Study of Environmental Change Using Isotope Techniques”, 23–27 Apr. 2001, C&S PaperSeries 13/P, 67–77, IAEA, Vienna.

- KINNIBURGH, D. G.; CHILTON, P. J. & COOPER D. M. (2004): Identification and reversal of trends in groundwater pollution: Part 1 – implications for the implementation of the Water Framework Directive and proposed groundwater directive. British Geological Survey Commissioned Report, CR/04/072C. Keyworth, Nottingham. 46 pp.
- KRALIK, M.; PAGESCH, W.; STICHLER, W.; RANK, D. & SCHEIFINGER, H. (2003): Austrian Network of Isotopes in Precipitation (ANIP): Quality assurance and climatological phenomenon in one of the oldest and densest networks in the world. Intern. Sympos. On Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management, 19–23 May 2003, C&SPaperSeries, IAEA, Vienna.
- KRALIK, M.; ZIERITZ, I.; GRATH, J.; VINCZE, G.; PHILIPPITSCH, R. & PAVLIK, H. (2005): Hydrochemische Karte Österreichs Oberflächennaher Grundwasserkörper und Fließgewässer: Mittelwerte von Wassergüteerhebungsdaten (WGEV-Daten) 1991–2001. Berichte, Bd. BE-269. Umweltbundesamt Wien. 2. überarb. Aufl. 19 S.
- KRALIK, M.; HUMER, F.; LOISHANDL-WEISZ, H. & GRATH, J. (2009): Pilotprojekt Grundwasseralters: Endbericht 2008. Reports, Bd. REP0220. Umweltbundesamt, Wien. 174 S.
http://www.umweltbundesamt.at/publikationen/publikationsliste/?&pub_category_id=12.
- KREUZER, A. (2007): Paläotemperaturstudie mit Edelgasen im Grundwasser der Nordchinesischen Tiefebene. Dissertation Univ. Heidelberg. 127 S.
- LUCAS, L.L. & UNTERWEGER, M.P. (2000): Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of Tritium, J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 105: 541.
- LUDIN, A.; WEPERNIG, R.; BÖNISCH, G. & SCHLOSSER, P. (2007): Mass spectrometric measurement of helium isotopes and tritium in water samples. (27.11.2007).
http://www.ideo.columbia.edu/~etg/ms_ms/Ludin_et_al_MS_Paper.html.
- 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.
- MAZEIKA, J.; GUOBYTE, R.; KIBIRKSTIS, G.; PETROSIUS, R.; SKURATOVIC, Z. & TAMINSKAS, J. (2009): The use of carbon-14 and tritium for peat and water dynamics characterization: Case of Čepkeliai Peatland, Southeastern Lithuania. Geochronometria 34 (2009): 41–48. [versita.metapress.com](http://www.versita.metapress.com) and www.geochronometria.pl.
- MÜLLER, T. (1999): Wörterbuch und Lexikon der Hydrogeologie. Springer, Berlin. 367 S.
- NESTROY, O.; DANNEBERG, O.H.; ENGLISCH, M.; GESSL, A.; HAGER, H.; HERZBERGER, E.; KILIAN, W.; NELHIEBEL, P.; PECINA, E.; PEHAMBERGER, A.; SCHNEIDER, W. & WAGNER, J. (2000): Österreichische Bodensystematik: Systematische Gliederung der Böden Österreichs. Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, Wien, Heft 60, 123 S.
- OHSUMI, T. & FUJINO, H. (1986): Isotope Exchange Technique for Preparation of Hydrogen Gas in Mass Spectrometric D/H Analysis of Natural Waters. Analytical Sciences, 2, Oct.
- OSTER, H. (1994): Datierung von Grundwässern mittels FCKW: Voraussetzungen, Möglichkeiten und Grenzen. Dissertation, Institut für Umweltphysik, Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg. 121 S.
- PLUMMER, L.N. & BUSENBERG, E. (1999): Chlorofluorocarbons. In: Cook, P. & Herczeg, A. (Hg.): Environmental Tracers in Subsurface Hydrology, Kluwer Academic Press Chapter 15: 441–478.

- PLUMMER, L.N.; BUSENBERG, E.; DRENKARD, S.; SCHLOSSER, P.; EKWURZEL, B.; WEPPERINIG, R.; MCCONNELL, J.B. & MICHEL, R.L. (1998): Flow of river water into a karstic limestone aquifer – 2. Dating the young fraction in groundwater mixtures in the Upper Floridan aquifer near Valdosa, Georgia. *Applied geochemistry* 13: 1017–1043.
- QUEVAUVILLER, PH. (2003): Implementation of the Water framework directive in Europe and its links to geological issues. In: Kralik, M.; Häusler, H. & Kolesar, C.: Abstracts of the 1st conference of Applied Environmental Geology in Central and Eastern Europe. 7–10th Oct. 2003. Reports, Bd. REP-228. Umweltbundesamt, Wien. pp. 190–191.
- RANK, D. & PAPESCH, W. (1992): GWW Seewinkel: Isotopenuntersuchung. Arsenal/Seibersdorf Research, Seibersdorf (unpubl. Bericht, 4 246/91.21). 14 S.
- RANK, D. & PAPESCH, W. (2003): Determination of groundwater flow velocity in the Southern Vienna Basin from long-term environmental isotope record. In: Kralik, M.; Häusler, H. & Kolesar, C.: Abstracts of the 1st conference of Applied Environmental Geology in Central and Eastern Europe. 7–10th Oct. 2003. Reports, Bd. REP-228. Umweltbundesamt, Wien. pp. 206–207.
- 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.
- SÜLTENFUß, J. & MASSMANN, G. (2004): Datierung mit der ³He-Tritium-Methode am Beispiel der Uferfiltration im Oderbruch. *Grundwasser*, 4, 221-234.
- UNTERWEGER, M.P.; COUSEY, B.M.; SCHIMA, F.J. & MANN, W.B. (1980): Preparation and calibration of the 1978 National Bureau of Standard tritiated water standards. *Internat. J. Appl. Rad. Isotope*, 31: 611–614.
- USGS – U.S. Geological Survey Chlorofluorocarbon Laboratory (2010): Atmospheric mixing ratios (AMR) of CFC-11, CFC-12, CFC-13, CFC-113, SF₆ and SF₅CF₃ in Northern Hemisphere (NH). (01.12.2010)
http://water.usgs.gov/lab/software/air_curve/.
- WASSERWIRTSCHAFTSKATASTER & UMWELTBUNDESAMT (Hg.) (1999): Kralik, M.: B/4.3 Niederschlags-Isotopenmessnetz. *Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 1998*: 96–103. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- WASSERWIRTSCHAFTSKATASTER & UMWELTBUNDESAMT (Hg.) (2006): Kralik, M.: A/2.2 Karst und Kluftgrundwasser. *Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 2006*: 53–57. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien. 184 S.
- WAUGH, D (2007): Transport Timescales in Geophysical Flows.
http://www.jhu.edu/~eps/faculty/waugh/ttd_intro.html.

Rechtsnormen und Leitlinien

- Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern.
- Grundwasserschwellenwertverordnung (GSwV; BGBl. Nr. 502/1991 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft betreffend Schwellenwerte für Grundwasserinhaltsstoffe.
- ÖNORM B 2400 (2003): Hydrologie – Hydrographische Fachausdrücke und Zeichen – Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN ISO 772. 37 S., (Jän. 2003).
- ÖNORM B 2400/A1 (2004): Hydrologie – Hydrographische Fachausdrücke und Zeichen – Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN ISO 772 und ÖNORM EN ISO 772/A1 (Änderung). 8 S., (Jun. 2004).
- ÖNORM EN ISO 772 (2000): Hydrometrische Festlegungen – Begriffe und Zeichen. 55 S., (Jul. 2000).
- ÖNORM EN ISO 772/A1 (2004): Hydrometrische Festlegungen – Begriffe und Zeichen (ISO 772: 1996/Amd.1: 2002) (Änderung). 27 S., (Jun. 2004).
- Trinkwasserverordnung (TWV; BGBl. II Nr. 304/2001 i.d.g.F.): Verordnung der Bundesminister für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.
- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; RL 2000/60/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABI. Nr. L 327. Geändert durch die Entscheidung des Europäischen Parlaments und des Rates 2455/2001/EC. ABI. L 331, 15/12/2001.
- Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG; BGBl. Nr. 215/1959 i.d.g.F.): 215. Kundmachung der Bundesregierung vom 8.9.1959, mit der das Bundesgesetz, betreffend das Wasserrecht, wiederverlautbart wird.

6.2 Grazer Feld

- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1988): Die nutzbaren Wasservorkommen der Steiermark. Steiermark-Information 8. Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung & Institut f. Umweltgeologie und Angewandte Geographie, Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2002): „Wasserversorgungsplan Steiermark“ – Ein Leitfaden für die öffentliche Wasserversorgung, Graz. 231 S.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2007): INTERREG II – Lebensraum Unteres Murtal, Umwelt-Naturraum-Energie, Synthese. Graz. 96 S.
- BERNHART L., FABIANI E., KAUDERER E, ZETINIGG H. & ZÖTL J. (1974): Generalplan der Wasserversorgung Steiermarks (Entwurfsstand 1973). Berichte der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 29, Graz. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion, Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung. 202 S.

- BIZEK, P. (1974): Vergleich der verschiedenen Berechnungsmethoden der Verdunstung mit dem Ziel Verdunstungskarten für Österreich zu erstellen. Diss. Uni. Wien, Inst. f. Met. u. Geoph.
- EDELMANN, E. (2007): Hydrochemische Auswertung von Quellwasserdaten des österreichischen Wassergüternetzes (GZÜV) – Überlagerung von geogenen und anthropogenen Einflüssen: Unter besonderer Berücksichtigung von vier ausgewählten oststeirischen Quellen. Universität Wien (unpubl. Dipl. Arb.). 114 S.
- FANK, J. & FUCHS, K. (1999): Anwendung der Extremwertstatistik in der Hydrogeologie von Porengrundwasservorkommen, Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, 31–45, Wien. 78 S.
- FANK, J. & ROCK, G. (2000): Grundwasserströmungs- und -transportmodell „Unteres Murtal“ zur Erfassung der regionalen Strömungsverhältnisse und der Interaktion von Oberflächengewässern mit dem Grundwasser in einem rezenten Auegebiet. Proj. STA 28C/96. Endbericht 3. Projektjahr, Teil 1. Unveröff. Bericht, Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie Joanneum Research, Graz. 110 S.
- FANK, J.; FUCHS, K.; DALLA-VIA, A. & KUPFERSBERGER, H. (2001): Nitratverteilungskarten für das Murtal südlich von Graz, Unveröff. Bericht Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie und Inst. f. Angewandte Statistik und Systemanalyse, Joanneum Research, Graz.
- GATTINGER, T. (1969): Hydrogeologische Karte der Republik Österreich. 1:1.000.000. Geolog. Bundesanstalt Wien.
- GBA – Geologische Bundesanstalt (2005a): Blatt 190 Geofast – Provisorische Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 – 190 Leibnitz Stand 1999, Ausgabe 2005/Kompilation: Joanneum Research, GIS-STMK erstellt im Rahmen des GBA-Projektes Geofast 1 Bl., Farbplot, 2005-10. www.geologie.ac.at.
- GBA – Geologische Bundesanstalt (2005b): Blatt 165 Geofast – Provisorische Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 – 165 Weiz Stand 1999, Ausgabe 2005/Kompilation: Joanneum Research, GIS-STMK erstellt im Rahmen des GBA-Projektes Geofast 1 Bl., Farbplot, 2005-10. www.geologie.ac.at.
- GBA – Geologische Bundesanstalt (2005c): Blatt 191 Geofast – Provisorische Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 – 191 Kirchbach in der Steiermark Stand 1999, Ausgabe 2005/Kompilation: Joanneum Research, GIS-STMK erstellt im Rahmen des GBA-Projektes Geofast 1 Bl., Farbplot, 2005-10. www.geologie.ac.at.
- HARUM, T. (1996): Kraftwerk Puntigam Machbarkeits-, Standortstudie, Gutachten Geologie und Grundwasser.- Unveröff. Bericht, Joanneum Research, Institut für Hydrogeologie und Geothermie.
- HARUM, T. & GOLDBRUNNER, J. (2007): UVE Wasserkraftwerke Gössendorf und Kalsdorf – Fachgutachten Grundwasser.
- HAUDE, W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitt. d. Deutschen Wetterdienstes Nr.11, Offenbach.
- OTT & SCHICKOR (1990): Quantifizierung der Ausbreitung von leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen (CKW) im Grundwasser mit Hilfe eines numerischen Modells, erläutert am Beispiel des Grazer Feldes. Inst. f. Hydrogeologie und Geothermie Joanneum Research, Graz.

- PRETTENTHALER, F. & DALLA-VIA, A. (2007): Wasser & Wirtschaft im Klimawandel – Konkrete Ergebnisse am Beispiel der sensiblen Oststeiermark, Joanneum Research, Graz. 189 S.
- SUETTE, G. (1998): Landschaftsgliederung der Steiermark. Unveröff. Ber., Amt der Stmk. LR, FA 3a, Graz (cum lit.).
- WAKONIGG, H. (1970): Witterungsklimatologie der Steiermark. Dissertation der Universität Graz 3, Verlag Notring, Wien.
- WAKONIGG, H. (1978): Witterung und Klima in der Steiermark. Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz, H. 23, Graz. 473 S.
- WUNDT, W. (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. In: Grahmann: Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung. Forsch. Dtsch. Landeskunde, 104: 47–54, Remagen.
- ZETINIGG, H. (1982): Die artesischen Brunnen im steirischen Becken. Mitt. Abt. Geol., Paläont. und Bergbau, Landesmuseum Joanneum, 45, Graz. 211 S.
- ZETINIGG H. (1988): Grundwasserschutz und -nutzung in der Steiermark. Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung Sonderband 1. 29 S.
- ZETINIGG, H. (1999): Die Bedeutung artesischen Wassers für die Wasserversorgung in Österreich. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, 51, 11/12: 320–332, Wien.
- ZETINIGG H., AICHELSEDER W., DUSCHEK H., EDER-PAIER M., FIGALA G., FRISCHHERZ H., GORTAN P., HEMMERS E., HOHENSINN F., KANATSCHNIG M., KRAINER H., MILOTA C., PHILIPPITSCH R., SCHMID C., SCHURL P., ÜBERWIMMER F., VOLLHOFER O., WEIHS T., ZODERER A. & ZOJER H. (2000): Nutzung artesischer und gespannter Grundwässer. ÖWAV-Regelblatt 211, Wien. 60 S.
- ZÖTL, J. (1971): Wässer und Gewässer der Steiermark. In: Die Steiermark; Land, Leute, Leistung, Graz. S. 96–141.
- ZÖTL, J. (1974): Die meteorologischen Verhältnisse der Steiermark. In: Generalplan der Wasserversorgung Steiermarks (Entwurfsstand 1973). Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Band 29, Graz.

6.3 Jauntal

- SPENDLINGWIMMER, R. & HEIß, G. (1996): Endbericht zum Projekt: Schongebiet Petzen/Jaunfeld: Sondermeßprogramm 1993/94 und Meßnetzverdichtung. Bundesversuchs- und Prüfzentrum Arsenal, für das Amt d. Kärntner Landesregierung u. Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft (unpubl.). 85 S..
- KRALIK, M. & SCHATNER, C. (2010): Alp Water Scarce: Temperature and Isotope – Trends in Carinthian and Styrian Springs, Final Report 2010. Ber. d. Umweltbundesamt im Rahmen des Europäischen E.T.C.-Projektes „Alp Water Scarce“ für die Ämter der Kärntner und Steiermärkischen Landesregierung. (unpubl.) 142 S.
- ZOJER, H. (1980): Erforschung des Naturraumpotentials ausgewählter Tallandschaften: Jaunfeld (Endbericht). Inst. f. Geothermie und Hydrogeologie, Joanneum Research, Graz (unpubl.). 33 S.

6.4 Leibnitzer Feld

- FANK, J. (1999): Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). Beiträge zur Hydrogeologie, 49/50: 101-388, Graz.
- FANK, J.; JAWECKI, A.; NACHTNEBEL, H.P.; ZOJER, H. (1993): Hydrogeologie und Grundwassermodell des Leibnitzer Feldes – Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion Fachabteilung IIIa – Wasserwirtschaft und Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft/Wasserwirtschaftskataster.
- PAPESCH, W. (1992): Isotopenuntersuchung zur Erfassung der Wasserbewegung in der ungesättigten und gesättigten Zone (Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen, Ü 34/90; 2. Projektjahr 1991/92). Bundesversuchs- u. Forschungsanstalt Arsenal, Wien (unpubl.). 23 S.
- RANK, D.; PAPESCH, W. & PAVLIK, H. (1991): Isotopenuntersuchung zur Erfassung der Wasserbewegung in der ungesättigten und gesättigten Zone (Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen, Ü 34/90; 1. Projektjahr 1990/91). Bundesversuchs- u. Forschungsanst. Arsenal, Wien (unpubl.). 17. S

6.5 Rheintal

- CATHOMEN, N. (2002): Wärmetransport im Grundwasser: Auswirkung von Wärmepumpenanlagen auf die Grundwassertemperatur am Beispiel der Gemeinde Altach im Vorarlberger Rheintal. 61 S., Unpubl. Diplomarbeit, ETH Zürich.
- HANTKE, R. (1992): Die Entstehungsgeschichte des Alpenrheinstals. 20-30 In: Internationale Rheinregulierung 1892-1992: Der Alpenrhein und seine Regulierung, BuchsDruck, Buchs.
- KOBEL, M. (1992): See- und Flussablagerungen im Rheinstal. 34-35 In: Internationale Rheinregulierung 1892-1992: Der Alpenrhein und seine Regulierung, BuchsDruck, Buchs.
- OBERHAUSER, R. (1991): Zur Hydrogeologie des Rheintals zwischen Illfächer und Diepoldsauer Rheinschlinge, der Talränder und des Freschengebietes, Arch. f. Lagerst. forsch. Geologische Bundesanstalt – Band 13, Seite 101-110.
- OBERHAUSER, R. (1992): Der Untergrund des Rheinstales zwischen Illmündung und Bodensee. 31-33 In: Internationale Rheinregulierung 1892-1992: Der Alpenrhein und seine Regulierung, BuchsDruck, Buchs.
- STARCK, P. (1970): Über die Grundwasserverhältnisse im Vorarlberger Bodenseerheintal, unter besonderer Berücksichtigung der Flusswasserinfiltration. 80 S. Unpubl. Dissertation, Universität Innsbruck.
- STARCK, P. (1992): Restseen, Schwemmkegel und Torf im Vorarlberger Rheinstal. 31-33 In: Internationale Rheinregulierung 1892-1992: Der Alpenrhein und seine Regulierung, BuchsDruck, Buchs.

6.6 Unteres Salzachtal

BRANDECKER, H. (1994): Gesamtuntersuchung Salzach (GUS) Schlussbericht, Österreichisches Institut für Raumplanung. 166 S.

HYDROGRAFISCHER LANDESDIENST SALZBURG (2007): Stationäres GW-Modell der Geoconsult ZT GmbH.

6.7 Wulkatal

BOROVICZÉNY F., DEÁK J., LIEBE P., MAHLER H., NEPPEL F., PAPESCH W., PINCZÉS J., RAJNER V., RANK D., REITINGER J., SCHMALBUß R. & TAKÁTS T. (1992): Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geophysik und Geochemie 1980-1990. TU Wien, Forschungsbericht 16, Wien

GRÜNSTÄUB (2008): S 31 Burgenland Schnellstraße Schützen am Gebirge – Eisenstadt, UVE Fachbericht Grund- und Oberflächengewässer, Geoconsult Wien ZT GmbH.

HAAS, P. (1987): Grundwasserhaushalt Wulkaeinzugsgebiet – Technische Universität Wien Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft.

RANK, D. & RAJNER V. (1984): isotonhydrologische Voruntersuchungen am Westufer des Neusiedlersees. BFB-bericht, 51, 123-128. Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien

ZESSNER, M., SCHILLING CH., GABRIEL O., DIMOVA G. & LAMPERT CH. (2004): daNUbs: Nutrient Balances for Case Study Regions Austria and Hungary. Deliverable 1.3., TU Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Wien.

7 GLOSSAR DER FACHBEGRIFFE

Zu allgemeinen Begriffen der Hydrologie und Hydrogeologie sei auf die Ausführungen in den Normenwerken verwiesen (ÖNORM EN ISO 772, ÖNORM B 2400, ÖNORM B 2400/A1).

Aquifer: Grundwasserleiter (ÖNORM B 2400 und B 2400/A1).

Abstandsgeschwindigkeit: ist die Geschwindigkeit, mit der Wasser oder eine in diesem gelöste Verunreinigung die Verbindungsstrecke zwischen zwei Punkten in der Zeit t durchfließt.

Deckschicht: ein sehr gering durchlässiger Teil der Grundwasserüberdeckung (ÖNORM B 2400), *siehe Grundwasserüberdeckung*.

Dispersion: jeder mechanische Vermischungsprozess während des Tracertransports und damit verbundener räumlicher und zeitlicher Konzentrationsänderung. Da es sich um einen räumlich variabel ablaufenden Prozess handelt, wird zwischen longitudinaler (in Fließrichtung), transversaler (quer zu Fließrichtung) und vertikaler (senkrecht zu longitudinaler und transversaler D.) Dispersion unterschieden.

Deuterium: [griechisch] das, schwerer Wasserstoff, chemisches Symbol D oder ^2H , 1931 von H. C. Urey und Mitarbeitern entdecktes natürliches stabiles Isotop des Wasserstoffs der Massenzahl 2. Es besteht im Gegensatz zum ^1H -Wasserstoff, bei dem der Atomkern aus einem einzigen Proton besteht, besteht der Deuteriumkern aus einem Proton und einem Neutron. Der Anteil an Deuterium in natürlich vorkommendem Wasserstoff beträgt 0,015 %. In natürlichen Wässern befinden sich unter einer Million Wassermolekülen mit der "normalen" Isotopenzusammensetzung $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ etwa 160 Moleküle $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$, bei denen eines der beiden Wasserstoffatome ^1H durch das schwere Wasserstoffisotop ^2H (Deuterium) ersetzt ist. Die Abweichung des Isotopenhäufigkeitsverhältnisses der Probe gegenüber dem des Standards wird als δ -Wert in Promille (‰) angegeben. $\delta^{2\text{H}}$ - und $\delta^{18\text{O}}$ -Werte beziehen sich auf den internationalen Standard V-SMOW (Vienna-Standard-Mean-Ocean-Water). Prinzipiell ist bei Niederschlägen eine lineare Korrelation zwischen dem ^2H und dem ^{18}O -Gehalt zu verzeichnen. Spielen Verdunstungsprozesse bei der Grundwasserneubildung eine Rolle (z. B. Infiltration von Seewasser) oder ist ein Sauerstoffisotopenaustausch mit dem Gestein zu verzeichnen (z. B. bei hochtemperierten Thermalwässern), so drückt sich dies in einer charakteristischen, abweichenden Lage des Messwertpaares von der mittleren Niederschlagsgeraden aus (www.hydroisotp.de/080415).

Einzugsgebiet: die in der Horizontalprojektion gemessene Fläche eines Gebiets, das von Wasserscheiden begrenzt wird.

orographisches E.: wird von oberirdischen Wasserscheiden begrenzt.

hydrographisches E.: Ihm entstammt dem der Abfluss an einer bestimmten Stelle eines Gewässers (z. B. *Quellen* oder Brunnen) aufgrund natürlicher Verhältnisse tatsächlich. Die *Einzugsgebiete* von Quellen sind hydrographische Einzugsgebiete (ÖNORM B 2400). In der Hydrogeologie werden diese auch als „unterirdische“ oder „hydrogeologische Einzugsgebiete“ bezeichnet.

Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW): Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) oder Freone, insbesondere F-12 (CCl_2F_2) und F-11 (CCl_3F), sind anthropogene Spurengase, die sich in der Umwelt nahezu konservativ verhalten. Analog zur SF_6 -Methode ermöglicht der Anstieg des atmosphärischen Gehaltes an FCKWs von ca. 1950 bis in die 1990er Jahre die Datierung jüngerer Wässer (z. B. Busenberg und Plummer, 1992). Da jedoch der Anstieg der FCKWs infolge des Produktionsstopps (Montreal-Abkommen) in den letzten ca. 10 Jahren nur noch sehr gering oder gar negativ war, ist diese Methode für rezente Wässer, wie sie z. B. in der näheren Umgebung von Oberflächengewässern erwartet werden können, wenig geeignet. Für Wässer mit Altern zwischen ca. 10 und 40 Jahren bieten die FCKWs jedoch nach wie vor eine gute, relativ einfache und günstige Datierungsmethode. Allerdings können lokale Kontaminationen oder der Abbau von FCKWs unter anoxischen Bedingungen die Interpretation erschweren. Dafür sind Luftüberschuss-Korrekturen von untergeordneter Bedeutung (http://www.iup.uni-heidelberg.de/institut/forschung/groups/aquasys/gp/methods/Datierung.htm_080430).

Flurabstand, Grundwasserflurabstand: ist der Höhenunterschied zwischen Grundwasseroberfläche des 1. Grundwasserstockwerkes und der Geländeoberfläche (ÖNORM B2400, 2003).

gesättigte Zone: Boden- oder Gesteinsbereiche, in denen die Hohlräume vollständig mit Wasser ausgefüllt sind (ÖNORM B 2400 und B 2400/A1).

Grundwasser: Wasser innerhalb der gesättigten Zone. Neben Grundwasser kann sich auch Wasser des geschlossenen Kapillarsaums in der gesättigten Zone befinden (ÖNORM B 2400) oder auch alles unterirdische Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund steht (Richtlinie 2000/60/EG).

Grundwasseralter: siehe Mittlere Verweilzeit (MVZ).

Grundwassergebiet ist ein hydrogeologisch oder geographisch abgrenzbares Gebiet mit einem Grundwasservorkommen (Wassergüte-Erhebungsverordnung {WGEV} BGBl. 1991 Ver. 338).

Grundwasserkörper: ein separates Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter (Richtlinie 2000/60/EG).

Grundwasserleiter (Aquifer): ein gut durchlässiger Boden- oder Gesteinskörper, in dessen Hohlräumen *Grundwasser* fließen oder stehen kann (ÖNORM B 2400), oder eine unter der Oberfläche liegende Schicht oder Schichten von Felsen oder anderen geologischen Formationen mit hinreichender Porosität und Permeabilität, sodass entweder ein nennenswerter Grundwasserstrom oder die Entnahme erheblicher Grundwassermengen möglich ist (Richtlinie 2000/60/EG).

Grundwasser-Modelle veranschaulichen vereinfacht, als konzeptionell angelegte Modelle, Grundwasserströmungen, bzw. die Dynamik von "Wasserpaketen". Man versteht darunter eine homogene Wassermasse im Bezug auf einen gewissen Parameter, wie z. B. Alter, Salinität oder Temperatur. Die "Transit-Time-Distribution" (TTD) spielt in diesem Zusammenhang eine sehr wichtige Rolle. Sie gibt an wie die Altersverteilung der Wasserprobe aussieht. Dies wird nun an den wichtigsten Beispielen näher erläutert (KREUZER 2007).

Piston-Flow-Modell (PFM): Das Piston-Flow-Modell beschreibt einen Grundwasserfluss, welcher innerhalb eines Aquifers vergleichbar mit einer Röhre ist. Wasser infiltriert an einer Stelle in den Aquifer und kommt nach einer gewissen Zeit, die abhängt von der Fließgeschwindigkeit und der zurückgelegten Wegstrecke, an dem Brunnen an, an dem es beprobt wird. Dazwischen hat sich das Wasser nicht verändert, insbesondere gab es keine Mischung mit Wässern anderer Alter. Die Transit-Time Distribution ist in diesem Fall ein Delta-Peak (KREUZER 2007).

Dispersions-Modell (DM): Das Dispersionsmodell beschreibt ebenfalls annähernd den Fluss durch eine Röhre, mit dem Unterschied, dass es durch Dispersion Mischung zwischen benachbarten Wasserpaketen gibt. Wie weit diese Mischung reicht und wie stark sie die einzelnen Parameter verändert, hängt von der Fließgeschwindigkeit, der zurückgelegten Wegstrecke und zusätzlich von der Dispersion ab. Die TTD ist in diesem Fall eine Art Glockenkurve, deren Breite die Stärke der Dispersion wiedergibt (KREUZER 2007).

Exponential-Model (EM): Bei diesem Modell handelt es sich um die Beschreibung eines vollständig gemischten Systems, anschaulich am besten mit einem See zu vergleichen. Ein zufließendes Wasserpaket verdrängt ein bereits vollständig gemischtes Wasserpaket und wird selbst innerhalb kurzer Zeit vollständig mit dem verbleibenden Rest gemischt, ein aus diesem System austretendes Wasserpaket enthält somit Wasseranteile jeglicher Alter. Die TTD ist in diesem Fall durch eine abfallende Exponentialfunktion repräsentiert (KREUZER 2007).

Grundwasserstockwerk: Grundwasserleiter, der durch vergleichsweise gering durchlässige Boden- oder Gesteinsschichten von darüber- und/oder darunterliegenden Grundwasserleitern getrennt ist (ÖNORM B 2400).

Grundwasserüberdeckung: der Boden- oder Gesteinskörper oberhalb der Grundwasseroberfläche (ÖNORM B 2400), *siehe Deckschicht*.

GZÜV: Staatliches Qualitätsmesssystem österreichischen Gewässer auf Basis der **Gewässerzustandsüberwachungsverordnung** BGBl Nr. 479/2006.

Infiltration, Versickerung: das Eindringen von Wasser in den Untergrund durch die Grundwasserüberdeckung oder direkt in den Grundwasserkörper (z. B. Schluckbrunnen) (ÖNORM B 2400).

Isotope: Atomkerne mit gleicher Protonenzahl (Kernladungszahl, Ordnungszahl), aber unterschiedlicher Neutronenzahl und damit unterschiedlicher Massenzahl.

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

Niederschlag: Sammelbezeichnung für flüssige oder feste Kondensationsprodukte aus der Atmosphäre, welche auf die Erdoberfläche gelangen, z. B. Regen, Schnee, Hagel, Graupel, Tau, Reif, Raureif, nässender Nebel (ÖNORM B 2400).

Porengrundwasser: Grundwasser in Lockermassen oder Festgesteinen, deren durchflusswirksame Hohlräume überwiegend aus Poren gebildet werden (ÖNORM B 2400).

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

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

Schwefelhexafluorid (SF₆): Das Gas Schwefelhexafluorid (SF₆) ist in den letzten 30 Jahren zu einem bedeutenden Umwelttracer geworden. Das Gas ist ungiftig, nicht brennbar, farblos, chemisch inert und besitzt ein Molgewicht von 146 g/mol. Nur Temperaturen über 500 °C sowie extrem harte UV-Strahlung sind in der Lage das Molekül zu spalten. Es ist in der heutigen Atmosphärenkonzentration ein weitgehend anthropogenes Gas und wurde erstmals in den 50er Jahren produziert. Hauptverwendungen des Gases waren und sind die Isolierung von elektrischen Hochspannungsschaltern, als Schutzgas bei Metallschmelzen und als Füllgas für Schallschutzscheiben und Autoreifen. Seit dem Beginn der industriellen Verwendung ist die SF₆-Konzentration in der Atmosphäre vom geschätzten vorindustriellen Wert von 0,054 (\pm 0,009) ppt auf einen Wert von etwa 6 ppt im Jahre 2005 angestiegen (KREUZER 2007).

Tiefengrundwasser: Grundwasser in den tieferen Schichten der Erdkruste, das eine weiträumige Überlagerung durch Deckschichten, eine lange Aufenthaltsdauer und meist besondere physikalisch-chemische Eigenschaften aufweist (ÖNORM B 2400).

Tracer (Markierungsstoff): eine Verbindung, die in ein Strömungssystem eingeleitet wird, um das Verhalten bestimmter Komponenten (z. B. Wasser, Sedimentpartikel etc.) dieses Systems zu verfolgen. Es ist notwendig, dass sich der Tracer, der beobachtet werden kann, ebenso verhält wie die zu verfolgende Komponente, deren Verhalten nicht leicht beobachtet werden kann (ÖNORM EN ISO 772). Die bekanntesten Umwelttracer sind die stabilen Isotope des Wassers, Sauerstoff-18 (¹⁸O) und Deuterium (²He), sowie das häufig zur Datierung benutzte Tritium (³H) und Radiokohlenstoff (¹⁴C). Des Weiteren werden auch häufig Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW, CFC-11, CFC-12, CFC-113) und Schwefelhexafluorid (SF₆) als anthropogener Tracer verwendet.

Transportgeschwindigkeit: *siehe Abstandsgeschwindigkeit.*

Trinkwasser: Wasser, das geeignet ist, ohne Gefährdung der menschlichen Gesundheit getrunken oder verwendet zu werden. Das ist gegeben, wenn es Mikroorganismen, Parasiten und Stoffe jedweder Art nicht in einer Anzahl oder Konzentration enthält, die eine potenzielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellen und den in Anhang I Teil A und B festgelegten Mindestanforderungen sowie den in Anhang I Teil C (TWV, BGBl. II Nr. 304/2001) definierten Anforderungen entspricht.

Tritium (³H): ist das radioaktive Isotop des Wasserstoffs. Es entsteht in geringer Menge in der Atmosphäre durch die Wechselwirkung von Neutronen aus kosmischer Strahlung mit dem normalen schweren Wasserstoffisotop Deuterium ²H. Bedeutung als Umwelttracer erlangte das Tritium durch den Eintrag während der oberirdischen thermonuklearen Wasserstoffbombentests in den 50er

und 60er Jahren des letzten Jahrhunderts. Die Konzentration von Tritium wird gewöhnlicherweise in der Einheit Tritium Units (TU) angegeben, wobei ein TU einem Tritiumatom in 10^{18} gewöhnlichen Wasserstoffatomen entspricht. Die aus 1 TU resultierende Radioaktivität ist gleich 0,118 Bq/l. Das Tritium zerfällt über einen β^- Zerfall zu ^3He mit einer Halbwertszeit von 12,32 Jahren (LUCAS & UNTERWEGER, 2000).

ungesättigte Zone: Boden- oder Gesteinsbereiche, in denen die Hohlräume nicht vollständig mit Wasser gefüllt sind (ÖNORM B 2400 und B 2400/A1).

Verweildauer in der gesättigten Zone: Zeitspanne vom Eintritt eines Wassers in den Grundwasserleiter (Aquifer) und seinem Austritt aus diesem (MÜLLER 2000).

Verwundbarkeit eines Grundwassersystems, *siehe Vulnerabilität*.

Vulnerabilität: Empfindlichkeit (Verwundbarkeit) eines Grundwassersystems gegenüber Verunreinigungen.

intrinsische V. des Grundwassers: berücksichtigt die geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften eines Gebiets, ist jedoch unabhängig von der Art und des Umstands der Verunreinigung.

spezifische V.: berücksichtigt zusätzlich zur *intrinsischen Vulnerabilität eines Gebiets* die Eigenschaften eines bestimmten Schadstoffs oder einer Gruppe von Schadstoffen (ZWAHLEN, 2004).

Wassergefährdende Stoffe: Stoffe, die geeignet sind, die Trinkwasserqualität in genutzten und ungenutzten Wasservorkommen zu beeinträchtigen (ÖVGW-Richtlinie W 72).

Wasserscheide: Grenze zwischen *Einzugsgebieten*, von der aus Wasser verschiedenen Orten zufließt, wobei zwischen ober- und unterirdischen Wasserscheiden zu unterscheiden ist (ÖNORM B 2400).

Zwischenabfluss: erreicht nach einer Fließstrecke in geringer Tiefe unter der Geländeoberfläche (das kurzzeitig in das Erdreich oder Sedimente infiltrierte Wasser) den Vorfluter. Der **Z.** ist gegenüber dem Oberflächenabfluss nur geringfügig zeitlich verzögert. Oberflächenabfluss und Zwischenabfluss bilden zusammen den Direktabfluss.

8 ANHANG

Grazer Feld: Isotopenanalysen ausgewählter GZÜV-Messstellen

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probenahmeort | Probenahme- datum | Ab- stich (m) | Teufe (m) | $\delta^{18}\text{O}$ VSMOW (‰) | $\delta^2\text{H}$ VSMOW (‰) | ^3H (TE) | ^3H MU | CFC11 (pMol/kg) | CFC12 (pMol/kg) | SF ₆ (fMol/kg) |
|-----------------------------|---------------|----------------------|---------------------|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| PG60104472 | Lend/Graz | 9.2.09 | 22,29 | 44,0 | -10,05 | -72,10 | | | | | |
| PG60104472 | Lend/Graz | 3.6.09 | 12,68 | 44,0 | -10,01 | -72,70 | | | | | |
| PG60104472 | Lend/Graz | 25.8.09 | 12,80 | 44,0 | -9,59 | | 7,4 | 0,3 | 6,3 | 64,0 | 2,1 |
| PG60104472 | Lend/Graz | 3.12.09 | 20,96 | 44,0 | -9,54 | -67,00 | | | | | |
| PG60105462 | Gries/Graz | 10.2.09 | 7,93 | 23,90 | -10,50 | -73,1 | | | | | |
| PG60105462 | Gries/Graz | 3.6.09 | 6,96 | 23,90 | -10,20 | -72,7 | | | | | |
| PG60105462 | Gries/Graz | 25.8.09 | 6,94 | 23,90 | -9,99 | | 8,1 | 0,4 | 23,0 | 214 | 2,2 |
| PG60105462 | Gries/Graz | 10.12.09 | 7,47 | 23,90 | -9,65 | -70,5 | | | | | |
| PG60105482 | Gries/Graz | 9.2.09 | 16,95 | 36,00 | -8,78 | -62,7 | | | | | |
| PG60105482 | Gries/Graz | 3.6.09 | 15,92 | 36,00 | -8,70 | -63,5 | | | | | |
| PG60105482 | Gries/Graz | 25.8.09 | 15,30 | 36,00 | -8,64 | | 8,0 | 0,4 | 12,4 | 53,2 | 1,9 |
| PG60105482 | Gries/Graz | 10.12.09 | 15,52 | 36,00 | -8,45 | -58,1 | | | | | |
| PG60107252 | Liebenau/Graz | 16.2.09 | 3,64 | 19,70 | -8,42 | -60,4 | | | | | |
| PG60107252 | Liebenau/Graz | 1.7.09 | 9,71 | 19,70 | -8,61 | -64,3 | | | | | |
| PG60107252 | Liebenau/Graz | 26.8.09 | 8,87 | 19,70 | -8,30 | | 7,5 | 0,3 | 6,9 | 37,1 | 0,2 |
| PG60107252 | Liebenau/Graz | 10.12.09 | 10,78 | 19,70 | -8,07 | -54,9 | | | | | |
| PG60107402 | Graz | 16.2.09 | | 11,80 | -8,30 | -61,2 | | | | | |
| PG60107402 | Graz | 15.6.09 | | 11,80 | -8,58 | -63,0 | | | | | |
| PG60107402 | Graz | 26.8.09 | 8,95 | 11,80 | -8,36 | | 8,5 | 0,4 | 26,6 | 170 | 0,2 |
| PG60107402 | Graz | 9.12.09 | | 11,80 | -8,11 | -57,2 | | | | | |
| PG60112392 | Andritz/Graz | 9.2.09 | 9,83 | 8,85 | -8,69 | -61,90 | | | | | |
| PG60112392 | Andritz/Graz | 3.6.09 | 8,82 | 8,85 | -8,76 | -62,80 | | | | | |
| PG60112392 | Andritz/Graz | 25.8.09 | 8,74 | 8,85 | -8,38 | | 8,4 | 0,4 | 9,7 | 42,1 | 0,2 |
| PG60112392 | Andritz/Graz | 3.12.09 | 9,76 | 8,85 | -8,43 | -58,1 | | | | | |
| PG60116142 | Viertel | 12.2.09 | 12,7 | 12,40 | -8,49 | -59,3 | | | | | |
| PG60116142 | Viertel | 30.6.09 | 11,75 | 12,40 | -8,68 | -64,3 | | | | | |
| PG60116142 | Viertel | 26.8.09 | 10,35 | 12,40 | -8,47 | | 7,9 | 0,4 | 131 | 120 | 1,5 |
| PG60116142 | Viertel | 10.12.09 | 10,15 | 12,40 | -8,47 | -58 | | | | | |
| PG60117282 | Puntigam/Graz | 12.2.09 | 7,33 | 8,85 | -8,84 | -63,6 | | | | | |
| PG60117282 | Puntigam/Graz | 15.6.09 | 6,61 | 8,85 | -8,69 | -64,0 | | | | | |
| PG60117282 | Puntigam/Graz | 25.8.09 | 6,01 | 8,85 | -8,38 | | 8,0 | 0,4 | 17,7 | 78,2 | 0,9 |
| PG60117282 | Puntigam/Graz | 9.12.09 | | 8,85 | -8,46 | -56,9 | | | | | |
| PG60608492 | Wagnitz | 16.2.09 | 2,79 | 16,20 | -9,00 | -65,2 | | | | | |
| PG60608492 | Wagnitz | 1.7.09 | 1,75 | 16,20 | -9,07 | -66,0 | | | | | |
| PG60608492 | Wagnitz | 1.9.09 | 2,10 | 16,20 | -8,89 | | 8,1 | 0,4 | 15,6 | 66,8 | 0,7 |
| PG60608492 | Wagnitz | 22.12.09 | 2,73 | 16,20 | -9,06 | -62,8 | | | | | |
| PG60611522 | Gössendorf | 17.2.09 | 2,92 | 11,70 | -8,39 | -59,5 | | | | | |
| PG60611522 | Gössendorf | 1.7.09 | 2,05 | 11,70 | -8,43 | -62,1 | | | | | |
| PG60611522 | Gössendorf | 1.9.09 | 1,92 | 11,70 | -8,21 | | 7,8 | 0,3 | 45,7 | 83,2 | 1,8 |
| PG60611522 | Gössendorf | 21.12.09 | 2,38 | 11,70 | -8,16 | -55,2 | | | | | |

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probenahmeort | Probe- nahme- datum | Ab- stich | Teufe | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ | ^3H | ^3H | CFC11 | CFC12 | SF ₆ |
|-----------------------------|----------------------|---------------------------|--------------|-------|-----------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|
| | | | (m) | (m) | (‰) | (‰) | (TE) | (TE) | (pMol/kg) | (pMol/kg) | (fMol/kg) |
| PG60613162 | Andritz | 9.2.09 | 3,65 | 6,4 | -10,16 | -72,3 | 9,3 | 0,5 | | | |
| PG60613162 | Andritz | 3.6.09 | 3,20 | 6,4 | -10,19 | -72,55 | 8,4 | 0,4 | | | |
| PG60613162 | Andritz | 25.8.09 | 3,18 | 6,4 | -10,51 | | 8,0 | 0,4 | 0,9 | 1,3 | 1,5 |
| PG60613162 | Andritz | 3.12.09 | | 6,4 | -10,01 | | | | | | |
| PG60624372 | Sonde Kals | 12.2.09 | 4,62 | 14,50 | -7,10 | -55,8 | | | | | |
| PG60624372 | Sonde Kals | 30.6.09 | 3,71 | 14,50 | -7,17 | -56,4 | | | | | |
| PG60624372 | Sonde Kals | 1.9.09 | 3,30 | 14,50 | -6,81 | | 8,2 | 0,4 | 4,6 | 73,6 | 1,8 |
| PG60624372 | Sonde Kals | | | 14,50 | | | | | | | |
| PG60652092 | Unterpremstätten | 12.2.09 | 7,69 | 10,30 | -8,26 | -58,7 | | | | | |
| PG60652092 | Unterpremstätten | 1.7.09 | | 10,30 | -8,52 | -61,4 | | | | | |
| PG60652092 | Unterpremstätten | 26.8.09 | 6,39 | 10,30 | -8,61 | | 7,8 | 0,3 | 7,1 | 23,5 | 1,2 |
| PG60652092 | Unterpremstätten | 9.12.09 | 6,58 | 10,30 | -8,12 | | | | | | |
| PG60652532 | Oberpremstätten | 12.2.09 | 5,17 | 8,70 | -8,21 | -58,1 | | | | | |
| PG60652532 | Oberpremstätten | 30.6.09 | 4,62 | 8,70 | -8,64 | -62,1 | | | | | |
| PG60652532 | Oberpremstätten | 25.8.09 | 3,61 | 8,70 | -7,98 | -56,1 | 8,7 | 0,4 | 23,2 | 36,2 | 0,9 |
| PG60652532 | Oberpremstätten | 10.12.09 | 3,9 | 8,70 | -7,97 | | | | | | |
| PG60655192 | Werndorf | 16.2.09 | 5,38 | | -8,32 | -58,8 | | | | | |
| PG60655192 | Werndorf | 17.6.09 | 5,21 | | -8,23 | -59,9 | | | | | |
| PG60655192 | Werndorf | 1.9.09 | 3,96 | 6,50 | -7,93 | -55,2 | 7,7 | 0,3 | 3,7 | 27,4 | 1,6 |
| PG60655192 | Werndorf | 10.12.09 | 4,62 | | -8,15 | | | | | | |
| PG60655512 | Werndorf | 16.2.09 | 2,43 | 9,50 | -8,21 | -58,9 | | | | | |
| PG60655512 | Werndorf | 1.7.09 | 2,18 | 9,50 | -8,34 | -62,3 | | | | | |
| PG60655512 | Werndorf | 26.8.09 | 4,73 | 9,50 | -8,30 | -58,6 | 7,6 | 0,3 | 11,9 | 72,5 | 1,9 |
| PG60655512 | Werndorf | 21.12.09 | 2,41 | 9,50 | -8,22 | -60,5 | | | | | |
| PG60656302 | Gradenfeld | 17.2.09 | 1,65 | 6,1 | -8,05 | -57,5 | | | | | |
| PG60656302 | Gradenfeld | 30.6.09 | 3,23 | 6,1 | -8,07 | -58,8 | | | | | |
| PG60656302 | Gradenfeld | 26.8.09 | 2,35 | 6,1 | -8,40 | -58,6 | 7,6 | 0,4 | 5,3 | 12,2 | 1,9 |
| PG60656302 | Gradenfeld | 9.12.09 | 3,32 | 6,1 | -8,44 | -60,8 | | | | | |
| PG60656342 | Wundschuh | 16.2.09 | 14,60 | 16,10 | -8,49 | -59,0 | | | | | |
| PG60656342 | Wundschuh | 26.8.09 | 13,53 | 16,10 | -8,68 | -59,9 | 10,1 | 0,5 | 1,5 | 5,8 | 0,9 |
| PG60656342 | Wundschuh | 9.12.09 | 13,64 | 16,10 | -8,66 | -60,6 | | | | | |
| Quelle | Kalsdorf | 22.04.10 | | | -8,72 | -61,9 | 7,8 | 0,6 | 93,0 | 14,6 | 1,0 |
| Mur | Mur Ecke Grieskai | 22.04.10 | | | -11,10 | -77,7 | | | | | |

| GZÜV Nr. | Probenahmedatum | ³ He/ ⁴ He | ³ He | ⁴ He | Ne | Delta 3He | Delta He | Delta Ne | ⁴ He _{radio} | tritiogenes Helium | MVZ |
|------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|----------|----------|----------------------------------|--------------------|---------|
| | | | (cm ³ STP/kg) | (cm ³ STP/kg) | (cm ³ STP/kg) | (%) | (%) | (%) | (cm ³ STP/kg) | (TE) | (Jahre) |
| PG60104472 | 9.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60104472 | 3.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60104472 | 25.8.09 | 1,36E-06 | 6,79E-11 | 5,01E-05 | 2,15E-04 | -2,1 | 13,1 | 12,3 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 |
| PG60104472 | 3.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60105462 | 10.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60105462 | 3.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60105462 | 25.8.09 | 1,35E-06 | 6,76E-11 | 5,00E-05 | 2,16E-04 | -2,0 | 12,5 | 12,3 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 |
| PG60105462 | 10.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60105482 | 9.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60105482 | 3.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60105482 | 25.8.09 | 1,37E-06 | 7,20E-11 | 5,25E-05 | 2,21E-04 | -1,0 | 18,0 | 14,5 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 |
| PG60105482 | 10.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60107252 | 16.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60107252 | 1.7.09 | | | | | | | | | | |
| PG60107252 | 26.8.09 | 1,37E-06 | 7,30E-11 | 5,32E-05 | 2,25E-04 | -0,8 | 19,5 | 16,5 | 0,00E+00 | 0,1 | < 5 |
| PG60107252 | 10.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60107402 | 16.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60107402 | 15.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60107402 | 26.8.09 | 1,38E-06 | 8,01E-11 | 5,81E-05 | 2,46E-04 | -0,4 | 30,6 | 27,7 | 0,00E+00 | 0,2 | < 5 |
| PG60107402 | 9.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60112392 | 9.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60112392 | 3.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60112392 | 25.8.09 | 1,37E-06 | 7,34E-11 | 5,35E-05 | 2,26E-04 | -0,8 | 20,1 | 17,2 | 0,00E+00 | 0,1 | < 5 |
| PG60112392 | 3.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60116142 | 12.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60116142 | 30.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60116142 | 26.8.09 | 1,40E-06 | 8,08E-11 | 5,77E-05 | 2,44E-04 | 0,8 | 29,5 | 26,7 | 0,00E+00 | 0,6 | < 5 |
| PG60116142 | 10.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60117282 | 12.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60117282 | 15.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60117282 | 25.8.09 | 1,38E-06 | 7,33E-11 | 5,31E-05 | 2,26E-04 | -0,2 | 20,0 | 18,0 | 0,00E+00 | 0,3 | < 5 |
| PG60117282 | 9.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60608492 | 16.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60608492 | 1.7.09 | | | | | | | | | | |
| PG60608492 | 1.9.09 | 1,37E-06 | 7,28E-11 | 5,30E-05 | 2,24E-04 | -0,7 | 19,5 | 16,8 | 0,00E+00 | 0,1 | <5 |
| PG60608492 | 22.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60611522 | 17.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60611522 | 1.7.09 | | | | | | | | | | |
| PG60611522 | 1.9.09 | 1,37E-06 | 6,82E-11 | 4,98E-05 | 2,13E-04 | -1,2 | 12,0 | 10,0 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 |
| PG60611522 | 21.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60613162 | 9.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60613162 | 3.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60613162 | 25.8.09 | 1,36E-06 | 7,06E-11 | 5,20E-05 | 2,24E-04 | -1,9 | 17,3 | 16,9 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 |
| PG60613162 | 3.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60624372 | 12.2.09 | | | | | | | | | | |

| GZÜV Nr. | Probenahmedatum | ³ He/ ⁴ He | ³ He | ⁴ He | Ne | Delta 3He | Delta He | Delta Ne | ⁴ He _{radio} | tritiogenes Helium | MVZ |
|--------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|----------|----------|----------------------------------|--------------------|---------|
| | | | (cm ³ STP/kg) | (cm ³ STP/kg) | (cm ³ STP/kg) | (%) | (%) | (%) | (cm ³ STP/kg) | (TE) | (Jahre) |
| PG60624372 | 30.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60624372 | 1.9.09 | 1,37E-06 | 7,65E-11 | 5,57E-05 | 2,40E-04 | -0,8 | 25,5 | 25,0 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 |
| PG60624372 | | | | | | | | | | | |
| PG60652092 | 12.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60652092 | 1.7.09 | | | | | | | | | | |
| PG60652092 | 26.8.09 | 1,39E-06 | 8,24E-11 | 5,92E-05 | 2,56E-04 | 0,5 | 33,0 | 32,8 | 0,00E+00 | 0,5 | < 5 |
| PG60652092 | 9.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60652532 | 12.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60652532 | 30.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60652532 | 25.8.09 | 1,38E-06 | 7,88E-11 | 5,69E-05 | 2,40E-04 | 0,0 | 29,0 | 25,0 | 0,00E+00 | 0,3 | < 5 |
| PG60652532 | 10.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60655192 | 16.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60655192 | 17.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60655192 | 1.9.09 | 1,37E-06 | 8,30E-11 | 6,05E-05 | 2,50E-04 | -0,8 | 35,0 | 29,7 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 |
| PG60655192 | 10.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60655512 | 16.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60655512 | 1.7.09 | | | | | | | | | | |
| PG60655512 | 26.8.09 | 1,33E-06 | 6,75E-11 | 5,07E-05 | 2,10E-04 | -3,8 | 13,7 | 8,6 | 1,29E-06 | 0,0 | < 5 |
| PG60655512 | 21.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60656302 | 17.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60656302 | 30.6.09 | | | | | | | | | | |
| PG60656302 | 26.8.09 | 1,37E-06 | 6,25E-11 | 4,57E-05 | 1,97E-04 | -1,4 | 2,5 | 1,7 | 0,00E+00 | 0,1 | < 5 |
| PG60656302 | 9.12.09 | | | | | | | | | | |
| PG60656342 | 16.2.09 | | | | | | | | | | |
| PG60656342 | 26.8.09 | 2,43E-06 | 1,24E-10 | 5,11E-05 | 2,24E-04 | 75,9 | 14,5 | 15,9 | 0,00E+00 | 21,9 | 11–25 |
| PG60656342 | 9.12.09 | | | | | | | | | | |
| Qu. Kalsdorf | 22.04.10 | 1,38E-06 | 6,58E-11 | 4,77E-05 | 2,08E-04 | -0,4 | 7,3 | 8,1 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 |
| Mur | 22.04.10 | | | | | | | | | | |

Jauntal: Isotopenanalysen ausgewählter GZÜV-Messstellen

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probenahmeort | Probenahme- datum | Ab- stich | Teufe (m) | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^{2}\text{H}$ | ^3H | ^3H | CFC11 (pMol/kg) | CFC12 (pMol/kg) | SF ₆ (fMol/kg) |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| | | | | | VSMOW (‰) | VSMOW (‰) | (TE) | (TE) | | | |
| PG20801072 | Feistritz o. Bleiburg | 15.01.2009 | | 102,0 | -9,67 | -65,3 | | | | | |
| PG20801072 | Feistritz o. Bleiburg | 15.04.2009 | 77,20 | 102,0 | -9,61 | -68,8 | | | | | |
| PG20801072 | Feistritz o. Bleiburg | 06.07.2009 | | 102,0 | -9,73 | | 6,2 | 0,3 | 69,6 | 28,8 | 0,5 |
| PG20801072 | Feistritz o. Bleiburg | 08.10.2009 | 76,60 | 102,0 | -9,76 | | | | | | |
| PG20801082 | Bleiburg | 15.01.2009 | | 77,00 | -9,95 | -68,3 | | | | | |
| PG20801082 | Bleiburg | 15.04.2009 | 30,4 | 77,00 | -9,92 | -69,3 | | | | | |
| PG20801082 | Bleiburg | 06.07.2009 | 29,7 | 77,00 | -9,95 | | 6,7 | 0,3 | 37,7 | 12,1 | 0,8 |
| PG20801082 | Bleiburg | 08.10.2009 | 29,4 | 77,00 | -9,93 | | | | | | |
| PG20801082 | Bleiburg | 20.04.2010 | 30,9 | 76,60 | -9,90 | -68,5 | 6,2 | 0,5 | 32,5 | 13,2 | 0,7 |
| PG20801092 | Bleiburg | 20.04.2010 | 29,5 | 36,00 | -9,97 | -67,8 | 5,5 | 0,5 | 35,1 | 8,9 | 1,6 |
| PG20801092 | Bleiburg | 20.04.2010 | 29,5 | 36,00 | | | | | 28,2 | 6,9 | 1,0 |
| PG20801102 | Quelle/Bleiburg | 15.01.2009 | | | -9,91 | -69,6 | | | | | |
| PG20801102 | Quelle/Bleiburg | 02.04.2009 | | | -9,99 | -70,7 | | | | | |
| PG20801102 | Quelle/Bleiburg | 07.07.2009 | | | -9,94 | | 7,2 | 0,3 | 28,9 | 8,0 | 1,1 |
| PG20801102 | Quelle/Bleiburg | 07.10.2009 | | | -9,87 | | | | | | |
| PG20801112 | Quelle/Bleiburg | 15.01.2009 | | | -9,99 | -70,0 | | | | | |
| PG20801112 | Quelle/Bleiburg | 02.04.2009 | | | -9,99 | -70,0 | | | | | |
| PG20801112 | Quelle/Bleiburg | 07.07.2009 | | | -9,99 | | 7,6 | 0,4 | 46,6 | 7,9 | 1,3 |
| PG20801112 | Quelle/Bleiburg | 07.10.2009 | | | -10,00 | | | | | | |
| PG20803012 | Quelle/Peratschitzen | 19.01.2009 | | | -9,68 | -68,7 | | | | | |
| PG20803012 | Quelle/Peratschitzen | 02.04.2009 | | | -9,70 | -69,8 | | | | | |
| PG20803012 | Quelle/Peratschitzen | 06.07.2009 | | | -9,73 | | 7,9 | 0,4 | 42,7 | 5,2 | 1,3 |
| PG20803012 | Quelle/Peratschitzen | 08.10.2009 | | | -9,61 | | | | | | |
| PG20803032 | Eberndorf | 19.01.2009 | | 13,00 | -8,80 | -61,6 | | | | | |
| PG20803032 | Eberndorf | 15.04.2009 | 6,68 | 13,00 | -9,34 | -68,8 | | | | | |
| PG20803032 | Eberndorf | 06.07.2009 | 6,68 | 13,00 | -9,48 | | 8,20 | 0,40 | 10,2 | 4,5 | 1,1 |
| PG20803032 | Eberndorf | 08.10.2009 | 6,14 | 13,00 | -8,50 | | | | | | |
| PG20803042 | Gösselsdorf | 19.01.2009 | | 53,00 | -9,91 | -69,5 | | | | | |
| PG20803042 | Gösselsdorf | 15.04.2009 | 32,8 | 53,00 | -9,95 | -71,0 | | | | | |
| PG20803042 | Gösselsdorf | 06.07.2009 | 31,7 | 53,00 | -10,03 | | 8,8 | 0,4 | 13,0 | 3,9 | 2,5 |
| PG20803042 | Gösselsdorf | 08.10.2009 | 31,1 | 53,00 | -10,05 | | | | | | |
| PG20803052 | Quelle/Edling | 19.01.2009 | | | -9,87 | -69,0 | | | | | |
| PG20803052 | Quelle/Edling | 02.04.2009 | | | -9,87 | -70,0 | | | | | |
| PG20803052 | Quelle/Edling | 06.07.2009 | | | -9,86 | | 7,4 | 0,3 | 15,6 | 6,7 | 0,5 |
| PG20803052 | Quelle/Edling | 07.10.2009 | | | -9,90 | | | | | | |
| PG20803072 | Gablern/Eberndorf | 20.01.2009 | | | -9,54 | | | | | | |
| PG20803072 | Gablern/Eberndorf | 15.04.2009 | 39,2 | | -9,51 | -67,5 | | | | | |
| PG20803072 | Gablern/Eberndorf | 07.07.2009 | 37,8 | | -9,52 | | 6,1 | 0,5 | 7,8 | 4,1 | 1,2 |
| PG20803072 | Gablern/Eberndorf | 08.10.2009 | 35,9 | | -9,58 | | | | | | |
| PG20805172 | Traundorf | 20.01.2009 | | | -9,87 | -68,8 | | | | | |
| PG20805172 | Traundorf | 15.04.2009 | 70,2 | | -9,79 | -69,7 | | | | | |
| PG20805172 | Traundorf | 08.07.2009 | 69,6 | | -9,89 | | 7,2 | 0,3 | 81,6 | 30,6 | 1,0 |
| PG20805172 | Traundorf | 08.07.2009 | 69,6 | | -9,89 | | 7,2 | 0,3 | 80,9 | 32,7 | 1,1 |
| PG20805172 | Traundorf | 08.10.2009 | 69,0 | | -9,79 | | | | | | |

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probenahmeort | Probenahme- datum | Ab- stich | Teufe | $\delta^{18}\text{O}$ VSMOW | $\delta^2\text{H}$ VSMOW | ^3H | ^3H MU | CFC11 | CFC12 | SF ₆ |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------------|--------------|-------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|-----------|-----------|-----------------|
| | | | (m) | (m) | (‰) | (‰) | (TE) | (TE) | (pMol/kg) | (pMol/kg) | (fMol/kg) |
| PG20807152 | St. Stefan | 19.01.2009 | | 42,50 | -9,35 | -66,5 | | | | | |
| PG20807152 | St. Stefan | 15.04.2009 | 27,3 | 42,50 | -9,55 | -69,6 | | | | | |
| PG20807152 | St. Stefan | 07.07.2009 | 27,1 | 42,50 | -9,93 | | 6,2 | 0,3 | 6,9 | 3,3 | 0,6 |
| PG20807152 | St. Stefan | 12.10.2009 | 27,3 | 42,50 | -9,62 | | | | | | |
| KK20707102 | Quelle/Feistritz o. B. | 28.01.2009 | | | -10,97 | -76,3 | | | | | |
| KK20707102 | Quelle/Feistritz o. B. | 02.04.2009 | | | -10,50 | -71,6 | | | | | |
| KK20807092 | Quelle/Globasnitz | 28.01.2009 | | | -11,15 | -79,0 | | | | | |
| KK20807092 | Quelle/Globasnitz | 02.04.2009 | | | -11,21 | -78,1 | | | | | |
| SUCHA01 | Suchabach/Altendorf | 10.06.2009 | | | -10,43 | | | | | | |
| JT01 | Suchabach/Sittersdorf | 08.07.2009 | | | -10,24 | | | | | | |
| FEIST01 | Feistritzbach/ Feistritz o. B. | 10.06.2009 | | | -11,29 | | | | | | |
| Feistritz01 | Feistritzbach/ St. Michael o.B. | 20.04.2010 | | | -10,88 | -74,1 | | | | | |
| GLOBAS01 | Globasnitzbach/ Podrain | 10.06.2009 | | | -10,58 | | | | | | |

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probe- nahme- datum | ³ He/ ⁴ He | ³ He | ⁴ He | Ne | Delta 3He | Delta He | Delta Ne | ⁴ He _{radio} | tritiogenes Helium | MVZ |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|---------|
| | | | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (%) | (%) | (%) | (cm ³ STP/ kg) | (TE) | (Jahre) |
| PG20801072 | 15.01.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801072 | 15.04.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801072 | 06.07.2009 | 9,46E-07 | 9,41E-11 | 9,95E-05 | 2,19E-04 | -32,0 | 126,1 | 14,0 | 4,80E-05 | 9,0 | 11–25 |
| PG20801072 | 08.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801082 | 15.01.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801082 | 15.04.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801082 | 06.07.2009 | 1,14E-06 | 1,11E-10 | 9,68E-05 | 2,64E-04 | -18,0 | 120,0 | 37,5 | 3,22E-05 | 8,5 | 11–25 |
| PG20801082 | 08.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801082 | 20.04.2010 | 1,18E-06 | 1,14E-10 | 9,58E-05 | 2,82E-04 | -14,4 | 117,8 | 47,5 | 2,56E-05 | 6,4 | |
| PG20801092 | 20.04.2010 | 1,34E-06 | 7,22E-11 | 5,38E-05 | 2,24E-04 | -3,1 | 22,4 | 17,1 | 4,06E-07 | 0,0 | < 5 |
| PG20801092 | 20.04.2010 | 1,34E-06 | 7,30E-11 | 5,44E-05 | 2,25E-04 | -3,0 | 23,7 | 17,7 | 6,67E-07 | 0,0 | |
| PG20801102 | 15.01.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801102 | 02.04.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801102 | 07.07.2009 | 5,26E-07 | 1,54E-10 | 2,92E-04 | 2,25E-04 | -62,0 | 563,6 | 17,5 | 2,38E-04 | 30,4 | 11–25 |
| PG20801102 | 07.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801112 | 15.01.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801112 | 02.04.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20801112 | 07.07.2009 | 9,67E-07 | 7,64E-11 | 7,91E-05 | 2,07E-04 | -30,1 | 79,7 | 8,3 | 3,05E-05 | 3,9 | 5–10 |
| PG20801112 | 07.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803012 | 19.01.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803012 | 02.04.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803012 | 06.07.2009 | 1,50E-06 | 7,28E-11 | 4,85E-05 | 2,09E-04 | 8,6 | 10,2 | 9,4 | 0,00E+00 | 2,7 | 5–10 |
| PG20803012 | 08.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803032 | 19.01.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803032 | 15.04.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803032 | 06.07.2009 | 1,40E-06 | 8,27E-11 | 5,92E-05 | 2,52E-04 | 0,8 | 34,5 | 31,8 | 0,00E+00 | 0,7 | < 5 |
| PG20803032 | 08.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803042 | 19.01.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803042 | 15.04.2009 | | | | | | | | | | < 5 |
| PG20803042 | 06.07.2009 | 1,35E-06 | 7,76E-11 | 5,74E-05 | 2,38E-04 | -2,4 | 30,5 | 24,3 | 0,00E+00 | 0,0 | |
| PG20803042 | 08.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803052 | 19.01.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803052 | 02.04.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803052 | 06.07.2009 | 5,84E-07 | 1,10E-10 | 1,88E-04 | 2,04E-04 | -57,0 | 328,0 | 6,3 | 1,41E-04 | 17,0 | 11–25 |
| PG20803052 | 07.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803072 | 20.01.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803072 | 15.04.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20803072 | 07.07.2009 | 1,37E-06 | 6,77E-11 | 4,94E-05 | 2,15E-04 | -0,9 | 12,3 | 12,4 | 0,00E+00 | 0,2 | 5–10 |
| PG20803072 | 08.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20805172 | 20.01.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20805172 | 15.04.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20805172 | 08.07.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20805172 | 08.07.2009 | 2,44E-06 | 1,36E-10 | 5,55E-05 | 2,37E-04 | 76,0 | 27,5 | 24,0 | 0,00E+00 | 24,0 | 5–10 |
| PG20805172 | 08.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20807152 | 19.01.2009 | | | | | | | | | | |

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probe- nahme- datum | ³ He/ ⁴ He | ³ He | ⁴ He | Ne | Delta 3He | Delta He | Delta Ne | ⁴ He _{radio} | tritiogenes Helium | MVZ |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|---------|
| | | | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (%) | (%) | (%) | (cm ³ STP/ kg) | (TE) | (Jahre) |
| PG20807152 | 15.04.2009 | | | | | | | | | | |
| PG20807152 | 07.07.2009 | 1,37E-06 | 6,46E-11 | 4,71E-05 | 2,04E-04 | -0,9 | 7,1 | 6,5 | 0,00E+00 | 0,2 | < 5 |
| PG20807152 | 12.10.2009 | | | | | | | | | | |
| KK20707102 | 28.01.2009 | | | | | | | | | | |
| KK20707102 | 02.04.2009 | | | | | | | | | | |
| KK20807092 | 28.01.2009 | | | | | | | | | | |
| KK20807092 | 02.04.2009 | | | | | | | | | | |
| SUCHA01 | 10.06.2009 | | | | | | | | | | |
| JT01 | 08.07.2009 | | | | | | | | | | |
| FEIST01 | 10.06.2009 | | | | | | | | | | |
| Feistritz01 | 20.04.2010 | | | | | | | | | | |
| GLOBAS01 | 10.06.2009 | | | | | | | | | | |

Leibnitzer Feld: Isotopenanalysen ausgewählter GZÜV-Messstellen

| GZÜVNr. WGEVNr. No. | Probenahme- ort | Probe- nahme- datum | Ab- stich | Teufe | $\delta^{18}\text{O}$ VSMOW | $\delta^2\text{H}$ VSMOW | 3H | 3H MU | CFC11 | CFC12 | SF ₆ |
|---------------------------|------------------------|---------------------------|--------------|-------|--------------------------------|-----------------------------|------|----------|-----------|-----------|-----------------|
| | | | (m) | (m) | (‰) | (‰) | (TE) | (TE) | (pMol/kg) | (pMol/kg) | (fMol/kg) |
| PG61012022 | Tillmitsch | 11.02.2009 | 1,74 | 4,0 | -5,35 | -46,9 | | | | | |
| PG61012022 | Tillmitsch | 17.06.2009 | 2,07 | 4,0 | -5,51 | -49,1 | | | | | |
| PG61012022 | Tillmitsch | 27.08.2009 | 1,63 | 4,0 | -5,66 | -47,5 | 7,2 | 0,5 | 68,1 | 36,1 | 0,9 |
| PG61012022 | Tillmitsch | 22.12.2009 | 1,97 | 4,0 | | | | | | | |
| PG61012022 | Tillmitsch | 19.05.2010 | 1,97 | 4,0 | -5,2 | -45,5 | 8,8 | 0,6 | | | |
| PG61012292 | Gralla | 25.02.2009 | | 7,5 | -9,53 | -68,4 | | | | | |
| PG61012292 | Gralla | 17.06.2009 | 5,14 | 7,5 | -9,42 | -66,7 | | | | | |
| PG61012292 | Gralla | 27.08.2009 | 4,67 | 7,5 | -9,15 | -65,7 | 9,0 | 0,4 | 2,4 | 5,8 | 1,0 |
| PG61012292 | Gralla | 21.12.2009 | | 7,5 | -9,32 | -64,8 | | | | | |
| PG61020152 | Lang | 25.02.2009 | 10,72 | 12,3 | -8,67 | -62,3 | | | | | |
| PG61020152 | Lang | 09.06.2009 | 10,98 | 12,3 | -8,87 | -65,2 | | | | | |
| PG61020152 | Lang | 27.08.2009 | 10,52 | 12,3 | -8,77 | -62,0 | 7,5 | 0,3 | 2,6 | 23,1 | 1,6 |
| PG61020152 | Lang | 21.12.2009 | 10,96 | 12,3 | -8,62 | -59,5 | | | | | |
| PG61025262 | St.Veit a.Vogau | 25.02.2009 | 5,06 | 5,6 | -8,58 | -62,1 | | | | | |
| PG61025262 | St.Veit a.Vogau | 09.06.2009 | 5,24 | 5,6 | -8,74 | -61,9 | | | | | |
| PG61025262 | St.Veit a.Vogau | 27.08.2009 | 4,82 | 5,6 | -8,74 | -62,3 | 11,7 | 0,5 | 1,4 | 7,5 | -0,1 |
| PG61025262 | St.Veit a.Vogau | 22.12.2009 | 5,36 | 5,6 | -8,76 | -61,1 | | | | | |
| PG61027282 | Ragnitz | 26.02.2009 | 4,53 | 7,0 | -8,72 | -62,7 | | | | | |
| PG61027282 | Ragnitz | 16.06.2009 | 5,01 | 7,0 | -8,84 | -62,6 | | | | | |
| PG61027282 | Ragnitz | 26.08.2009 | 4,85 | 7,0 | -8,77 | -62,0 | 7,5 | 0,4 | 2,3 | 7,9 | 1,1 |
| PG61027282 | Ragnitz | 21.12.2009 | 5,09 | 7,0 | -8,55 | -59,6 | | | | | |
| PG61031082 | St.Georgen a.Stief. | 11.02.2009 | 8,81 | 10,0 | -8,73 | -62,4 | | | | | |
| PG61031082 | St.Georgen a.Stief. | 16.06.2009 | | 10,0 | -7,50 | -55,5 | | | | | |
| PG61031082 | St.Georgen a.Stief. | 26.08.2009 | 5,53 | 10,0 | -8,51 | -58,6 | 7,1 | 0,3 | 2,4 | 6,4 | 1,2 |
| PG61031082 | St.Georgen a.Stief. | 21.12.2009 | 7,04 | 10,0 | -8,56 | -61 | | | | | |
| PG61031142 | St.Georgen a.Stief. | 11.02.2009 | 5,29 | 8,0 | -8,44 | -60,2 | | | | | |
| PG61031142 | St.Georgen a.Stief. | 16.06.2009 | 5,47 | 8,0 | -8,31 | -61,4 | | | | | |
| PG61031142 | St.Georgen a.Stief. | 26.08.2009 | 4,70 | 8,0 | -8,23 | -57,4 | 8,4 | 0,4 | 3,3 | 10,5 | 0,6 |
| PG61031142 | St.Georgen a.Stief. | 21.12.2009 | 5,40 | 8,0 | -8,28 | -58,7 | | | | | |
| PG61036322 | St.Veit a.Vogau | 19.02.2009 | 13,81 | 18,90 | -8,88 | -61,6 | | | | | |
| PG61036322 | St.Veit a.Vogau | 17.06.2009 | 13,40 | 18,90 | -8,82 | -62,1 | | | | | |
| PG61036322 | St.Veit a.Vogau | 27.08.2009 | 12,53 | 18,90 | -8,75 | -59,2 | 7,5 | 0,4 | 2,4 | 8,8 | 1,0 |
| PG61036322 | St.Veit a.Vogau | 22.12.2009 | 13,43 | 18,90 | -8,71 | -61,6 | | | | | |
| PG61040102 | Wildon | 11.02.2009 | 8,31 | 9,60 | -8,96 | -62,7 | | | | | |
| PG61040102 | Wildon | 16.06.2009 | 8,19 | 9,60 | -8,89 | -64,4 | | | | | |
| PG61040102 | Wildon | 27.08.2009 | 7,32 | 9,60 | -8,70 | -62,7 | 7,8 | 0,4 | 3,1 | 9,5 | 0,9 |
| PG61040102 | Wildon | 21.12.2009 | 8,10 | 9,60 | -8,53 | -60,4 | | | | | |
| PG61045212 | Wagna | 11.02.2009 | 3,38 | 4,15 | -9,48 | -66,6 | | | | | |
| PG61045212 | Wagna | 17.06.2009 | 3,34 | 4,15 | -8,88 | -63,7 | | | | | |

| GZÜVNr. WGEVNr. No. | Probenahme- ort | Probe- nahme- datum | Ab- stich (m) | Teufe (m) | δ18O VSMOW (‰) | δ2H VSMOW (‰) | 3H (TE) | 3H MU (TE) | CFC11 (pMol/kg) | CFC12 (pMol/kg) | SF ₆ (fMol/kg) |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|--------------|----------------------|---------------------|------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| PG61045212 | Wagna | 27.08.2009 | 3,09 | 4,15 | -9,16 | -65,2 | 8,1 | 0,4 | 7,2 | 32,4 | 2,1 |
| PG61045212 | Wagna | 22.12.2009 | 3,41 | 4,15 | -8,71 | -60,6 | | | | | |
| PG61045242 | Wagna | 25.02.2009 | 2,58 | 3,80 | -8,90 | -63,5 | | | | | |
| PG61045242 | Wagna | 17.06.2009 | 2,76 | 3,80 | -9,16 | -65,8 | | | | | |
| PG61045242 | Wagna | 27.08.2009 | 2,65 | 3,80 | -8,98 | -63,1 | 9,1 | 0,4 | 2,2 | 0,1 | 0,3 |
| PG61045242 | Wagna | 22.12.2009 | 2,85 | 3,80 | -8,71 | -60,6 | | | | | |
| KK61036032 | St.Veit a.Vogau | 09.06.2009 | 1,5 ¹⁾ | | -8,84 | -62,7 | | | | | |
| KK61036032 | St.Veit a.Vogau | 17.06.2009 | | | -8,79 | -60,8 | | | | | |
| KK61036032 | St.Veit a.Vogau | 25.03.2010 | | | -8,72 | -60,3 | 7,4 | 0,5 | | | |
| | Laßnitz bei Stangersdorf | 17.06.2009 | | | -8,18 | | | | | | |
| | Tillmitsch Bag- gersee | 17.06.2009 | | | -4,24 | | | | | | |
| | Pegel Sulm bei Leibnitz | 17.06.2009 | | | -8,76 | | | | | | |

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | ³ He/ ⁴ He | ³ He | ⁴ He | Ne | Delta 3He | Delta He | Delta Ne | ⁴ He _{radio} | tritiogenes Helium | MVZ | Bemerkungen zu Messwerten |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|---------|------------------------------|
| | | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (%) | (%) | (%) | (cm ³ STP/ kg) | (TE) | (Jahre) | |
| PG61012022 | | | | | | | | | | | |
| PG61012022 | | | | | | | | | | | |
| PG61012022 | 1,35E-06 | 7,33E-11 | 5,43E-05 | 2,26E-04 | -2,7 | 21,0 | 16,0 | 0,00E+00 | 0,0 | 5–10 | |
| PG61012022 | | | | | | | | | | | |
| PG61012022 | | | | | | | | | | | |
| PG61012292 | | | | | | | | | | | |
| PG61012292 | | | | | | | | | | | |
| PG61012292 | 1,36E-06 | 6,20E-11 | 4,55E-05 | 1,98E-04 | -1,5 | 2,0 | 2,0 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 | |
| PG61012292 | | | | | | | | | | | |
| PG61020152 | | | | | | | | | | | |
| PG61020152 | | | | | | | | | | | |
| PG61020152 | 1,34E-06 | 6,58E-11 | 4,92E-05 | 2,08E-04 | -3,2 | 10,0 | 7,2 | 0,00E+00 | 0,0 | 5–10 | |
| PG61020152 | | | | | | | | | | | |
| PG61025262 | | | | | | | | | | | |
| PG61025262 | | | | | | | | | | | |
| PG61025262 | 1,34E-06 | 6,55E-11 | 4,87E-05 | 2,08E-04 | -3,0 | 8,5 | 7,4 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 | |
| PG61025262 | | | | | | | | | | | |
| PG61027282 | | | | | | | | | | | |
| PG61027282 | | | | | | | | | | | |
| PG61027282 | 1,31E-06 | 7,92E-11 | 6,06E-05 | 2,45E-04 | -5,7 | 35,0 | 26,3 | 1,05E-06 | 0,0 | 5–10 | |
| PG61027282 | | | | | | | | | | | |
| PG61031082 | | | | | | | | | | | |
| PG61031082 | | | | | | | | | | | |
| PG61031082 | 1,26E-06 | 8,75E-11 | 6,96E-05 | 2,76E-04 | -9,2 | 55,5 | 42,1 | 1,34E-06 | 0,0 | 5–10 | |
| PG61031082 | | | | | | | | | | | |
| PG61031142 | | | | | | | | | | | |
| PG61031142 | | | | | | | | | | | |
| PG61031142 | 1,31E-06 | 7,92E-11 | 6,05E-05 | 2,44E-04 | -5,6 | 36,0 | 26,5 | 1,21E-06 | 0,0 | 5–10 | |
| PG61031142 | | | | | | | | | | | |
| PG61036322 | | | | | | | | | | | |
| PG61036322 | | | | | | | | | | | |
| PG61036322 | 1,36E-06 | 1,19E-10 | 8,71E-05 | 3,47E-04 | -1,6 | 94,1 | 78,4 | 0,00E+00 | 0,0 | 5–10 | |
| PG61036322 | | | | | | | | | | | |
| PG61040102 | | | | | | | | | | | |
| PG61040102 | | | | | | | | | | | |
| PG61040102 | 7,88E-07 | 9,04E-11 | 1,15E-04 | 2,36E-04 | -43,1 | 155,6 | 21,3 | 5,80E-05 | 4,6 | < 5 | |
| PG61040102 | | | | | | | | | | | |
| PG61045212 | | | | | | | | | | | |
| PG61045212 | | | | | | | | | | | |
| PG61045212 | 1,32E-06 | 7,17E-11 | 5,45E-05 | 2,16E-04 | -4,8 | 21,2 | 11,1 | 3,31E-06 | 0,7 | < 5 | |
| PG61045212 | | | | | | | | | | | |
| PG61045242 | | | | | | | | | | | |
| PG61045242 | | | | | | | | | | | |
| PG61045242 | 1,38E-06 | 7,88E-11 | 5,72E-05 | 2,43E-04 | -0,5 | 27,4 | 25,1 | 0,00E+00 | 0,2 | < 5 | |
| PG61045242 | | | | | | | | | | | |
| KK61036032 | | | | | | | | | | | |
| KK61036032 | | | | | | | | | | | |
| KK61036032 | | | | | | | | | | 5–10 | |

Rheintal: Für Isotopenanalysen ausgewählter GZÜV-Messstellen

| GZÜV Nr. | Probenahmeort | Probenahme-datum | Ab- | Teufe | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ | ^3H | ^3H | CFC11 | CFC12 | SF ₆ |
|------------|------------------|------------------|-------|-------|-----------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|
| | | | stich | (m) | VSMOW | VSMOW | (TE) | MU | (pMol/kg) | (pMol/kg) | (fMol/kg) |
| PG80207352 | Bregenz | 05.03.2009 | | 14,1 | -10,44 | -72,80 | | | | | |
| PG80207352 | Bregenz | 07.05.2009 | 7,87 | 14,1 | | | | | | | |
| PG80207352 | Bregenz | 18.08.2009 | 7,80 | 14,1 | -11,02 | -77,40 | 8,5 | 0,4 | 8,3 | 21,8 | 1,4 |
| PG80207352 | Bregenz | 20.10.2009 | 8,46 | 14,1 | -10,65 | -74,10 | | | | | |
| PG80217252 | Höchst | 05.03.2009 | | 9,50 | -9,48 | -71,6 | | | | | |
| PG80217252 | Höchst | 07.05.2009 | 4,28 | 9,50 | -9,53 | -73,6 | | | | | |
| PG80217252 | Höchst | 18.08.2009 | 3,97 | 9,50 | -9,64 | -72,6 | 9,4 | 0,4 | 0,7 | 0,3 | 0,6 |
| PG80217252 | Höchst | 20.10.2009 | 4,41 | 9,50 | -9,49 | -70,5 | | | | | |
| PG80224352 | Lauteracher Ried | 05.03.2009 | | 8,00 | -10,36 | -75,3 | | | | | |
| PG80224352 | Lauteracher Ried | 07.05.2009 | 3,20 | 8,00 | -10,67 | -77,4 | | | | | |
| PG80224352 | Lauteracher Ried | 18.08.2009 | 3,10 | 8,00 | -10,58 | -75,5 | 9,2 | 0,4 | 6,2 | 1,2 | 0,4 |
| PG80224352 | Lauteracher Ried | 20.10.2009 | 3,56 | 8,00 | -10,33 | -73,3 | | | | | |
| PG80240352 | Wolfurt | 05.03.2009 | | 40,00 | -10,64 | -75,2 | | | | | |
| PG80240352 | Wolfurt | 07.05.2009 | | 40,00 | | | | | | | |
| PG80240352 | Wolfurt | 19.08.2009 | 7,00 | 40,00 | -10,57 | -74,9 | 7,9 | 0,4 | 15,7 | 9,1 | 2,2 |
| PG80240352 | Wolfurt | 22.10.2009 | | 40,00 | -10,58 | -74,0 | | | | | |
| PG80301752 | Dornbirn | 05.03.2009 | | 8,00 | -10,63 | -73,9 | | | | | |
| PG80301752 | Dornbirn | 07.05.2009 | 4,28 | 8,00 | -11,01 | -76,8 | | | | | |
| PG80301752 | Dornbirn | 18.08.2009 | 4,30 | 8,00 | -9,48 | -64,1 | 9,3 | 0,5 | 3,1 | 11,0 | 1,6 |
| PG80301752 | Dornbirn | 20.10.2009 | 4,33 | | -9,22 | | | | | | |
| PG80301852 | Dornbirn | 05.03.2009 | | 8,50 | -10,42 | -71,8 | | | | | |
| PG80301852 | Dornbirn | 07.05.2009 | 5,04 | 8,50 | -11,74 | -82,2 | | | | | |
| PG80301852 | Dornbirn | 18.08.2009 | 5,21 | 8,50 | -9,38 | -63,30 | 9,80 | 0,40 | 3,4 | 10,3 | 1,8 |
| PG80301852 | Dornbirn | 20.10.2009 | 5,24 | 8,50 | -9,44 | | | | | | |
| PG80303452 | Lustenau | 05.03.2009 | | 5,50 | -9,51 | -69,50 | | | | | |
| PG80303452 | Lustenau | 07.05.2009 | 2,18 | 5,50 | -9,73 | -73,80 | | | | | |
| PG80303452 | Lustenau | 18.08.2009 | 2,29 | 5,50 | -9,55 | -72,50 | 9,80 | 0,4 | | | |
| PG80303452 | Lustenau | 20.10.2009 | 2,41 | 5,50 | -9,64 | | | | 5,7 | 120,8 | 1,1 |
| PG80303452 | Lustenau | 15.06.2010 | | | -9,94 | -72,40 | 9,30 | 0,50 | | | |
| PG80401152 | Altach | 05.03.2009 | | | -9,54 | -68,8 | | | | | |
| PG80401152 | Altach | 11.05.2009 | 2,83 | | -9,51 | -70,7 | | | | | |
| PG80401152 | Altach | 18.08.2009 | 2,34 | | -9,55 | -70,7 | 9,2 | 0,4 | 0,3 | 5,6 | 3,3 |
| PG80401152 | Altach | 20.10.2009 | 2,58 | | -9,57 | | | | | | |
| PG80404152 | Feldkirch | 16.03.2009 | | 13,00 | -10,23 | -75,1 | | | | | |
| PG80404152 | Feldkirch | 11.05.2009 | 9,57 | 13,00 | -10,27 | -77,6 | | | | | |
| PG80404152 | Feldkirch | 19.08.2009 | 8,93 | 13,00 | -10,24 | -75,0 | 8,8 | 0,4 | 236,0 | 71,9 | 1,6 |
| PG80404152 | Feldkirch | 05.11.2009 | 10,18 | 13,00 | -10,09 | | | | | | |
| PG80404252 | Tosters | 16.03.2009 | | 13,20 | -10,00 | -73,2 | | | | | |
| PG80404252 | Tosters | 11.05.2009 | 10,74 | 13,20 | -10,10 | -74,5 | | | | | |
| PG80404252 | Tosters | 19.08.2009 | 11,40 | 13,20 | -10,11 | -75,8 | 7,6 | 0,3 | 1,8 | 0,3 | 1,0 |
| PG80404252 | Tosters | 21.10.2009 | 12,40 | 13,20 | -10,01 | | | | | | |
| PG80404252 | Tosters | 15.06.2010 | | | -10,09 | -74,2 | 7,6 | 0,5 | | | |
| PG80404452 | Bergle | 16.03.2009 | | 10,50 | -11,61 | -82,8 | | | | | |
| PG80404452 | Bergle | 11.05.2009 | 4,22 | 10,50 | -11,61 | -85,0 | | | | | |

| GZÜV Nr. | Probenahmeort | Probenahmedatum | Abstich | Teufe | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ | ^3H | ^3H | CFC11 | CFC12 | SF ₆ |
|------------|-------------------------------|-----------------|---------|-------|-----------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------------|
| | | | (m) | (m) | VSMOW (‰) | VSMOW (‰) | (TE) | (TE) | (pMol/kg) | (pMol/kg) | (fMol/kg) |
| PG80404452 | Bergle | 19.08.2009 | 4,25 | 10,50 | -11,49 | -84,2 | 9,1 | 0,4 | 6,0 | 11,4 | 2,1 |
| PG80404452 | Bergle | 19.08.2009 | 4,25 | 10,50 | | | | | 5,5 | 11,9 | 3,4 |
| PG80404452 | Bergle | 21.10.2009 | 4,63 | 10,50 | -11,75 | | | | | | |
| PG80410152 | Koblach | 16.03.2009 | | 5,50 | -9,74 | -70,9 | | | | | |
| PG80410152 | Koblach | 11.05.2009 | 3,10 | 5,50 | | | | | | | |
| PG80410152 | Koblach | 18.08.2009 | 2,82 | 5,50 | -9,63 | -75 | 9,3 | 0,4 | 10,4 | 2,2 | 2,2 |
| PG80410152 | Koblach | 28.10.2009 | 2,95 | 5,50 | -9,30 | | | | | | |
| PG80412252 | Mäder | 16.03.2009 | | 6,00 | -10,81 | -77,2 | | | | | |
| PG80412252 | Mäder | 11.05.2009 | 4,24 | 6,00 | -10,90 | -80,4 | | | | | |
| PG80412252 | Mäder | 18.08.2009 | 3,75 | 6,00 | -10,18 | -76,8 | 9,1 | 0,4 | 4,8 | 9,9 | 2,4 |
| PG80412252 | Mäder | 28.10.2009 | 4,55 | 6,00 | -10,86 | | | | | | |
| PG80413252 | Meiningen | 16.03.2009 | | 8,22 | -10,04 | -73,8 | | | | | |
| PG80413252 | Meiningen | 11.05.2009 | 2,84 | 8,22 | | | | | | | |
| PG80413252 | Meiningen | 19.08.2009 | 2,70 | 8,22 | -10,26 | -76,1 | 10,6 | 0,5 | 66,2 | 13,7 | 1,5 |
| PG80413252 | Meiningen | 21.10.2009 | 3,04 | 8,22 | -10,37 | | | | | | |
| PG80414152 | Brederis | 16.03.2009 | | 18,95 | -10,73 | -74,5 | | | | | |
| PG80414152 | Brederis | 11.05.2009 | 14,38 | 18,95 | | | | | | | |
| PG80414152 | Brederis | 19.08.2009 | | 18,95 | -10,53 | -74,3 | 9,4 | 0,5 | 10,1 | 11,0 | 1,6 |
| PG80414152 | Brederis | 05.11.2009 | 15,56 | 18,95 | -10,56 | | | | | | |
| HD 200204 | Dornbirner Ache/ Enz | 17.08.2009 | | | -10,23 | | | | | | |
| HD 200329 | Bregenter Ache/ Kennelbach | 17.08.2009 | | | -9,72 | -66,5 | | | | | |
| | Frutzbach/ Rankweil | 19.08.2009 | | | -10,07 | | | | | | |

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probe- nahme- datum | ³ He/ ⁴ He | ³ He | ⁴ He | Ne | Delta 3He | Delta He | Delta Ne | ⁴ He _{radio} | tritiogenes Helium | MVZ |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|---------|
| | | | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (%) | (%) | (%) | (cm ³ STP/ kg) | (TE) | (Jahre) |
| PG80207352 | 05.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80207352 | 07.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80207352 | 18.08.2009 | 1,38E-06 | 7,26E-11 | 5,27E-05 | 2,30E-04 | -0,5 | 19,5 | 20,0 | 0,00E+00 | 0,2 | < 5 |
| PG80207352 | 20.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80217252 | 05.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80217252 | 07.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80217252 | 18.08.2009 | 2,24E-06 | 8,04E-11 | 3,59E-05 | 1,62E-04 | 61,8 | -18,7 | -15,3 | 0,00E+00 | 13,9 | 5–10 |
| PG80217252 | 20.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80224352 | 05.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80224352 | 07.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80224352 | 18.08.2009 | 1,99E-06 | 1,10E-10 | 5,51E-05 | 2,24E-04 | 44,1 | 24,8 | 16,6 | 1,81E-06 | 14,9 | 5–10 |
| PG80224352 | 20.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80240352 | 05.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80240352 | 07.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80240352 | 19.08.2009 | 1,47E-06 | 7,84E-11 | 5,34E-05 | 2,29E-04 | 6,1 | 21,0 | 19,5 | 0,00E+00 | 2,1 | 5–10 |
| PG80240352 | 22.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80301752 | 05.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80301752 | 07.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80301752 | 18.08.2009 | 1,37E-06 | 6,36E-11 | 4,66E-05 | 2,00E-04 | -1,3 | 5,4 | 4,3 | 0,00E+00 | 0,1 | < 5 |
| PG80301752 | 20.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80301852 | 05.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80301852 | 07.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80301852 | 18.08.2009 | 1,40E-06 | 7,04E-11 | 5,03E-05 | 2,11E-04 | 1,1 | 13,9 | 10,3 | 0,00E+00 | 0,9 | < 5 |
| PG80301852 | 20.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80303452 | 05.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80303452 | 07.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80303452 | 18.08.2009 | | | | | | | | | | < 5 |
| PG80303452 | 20.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80303452 | 15.06.2010 | 1,61E-06 | 7,46E-11 | 4,64E-05 | 2,07E-04 | 16,2 | 5,0 | 8,0 | 0,00E+00 | 4,1 | |
| PG80401152 | 05.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80401152 | 11.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80401152 | 18.08.2009 | 1,40E-06 | 7,56E-11 | 5,41E-05 | 2,25E-04 | 1,1 | 22,4 | 17,3 | 0,00E+00 | 0,9 | < 5 |
| PG80401152 | 20.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80404152 | 16.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80404152 | 11.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80404152 | 19.08.2009 | 1,47E-06 | 8,38E-11 | 5,71E-05 | 2,31E-04 | 5,5 | 29,2 | 20,5 | 1,75E-06 | 3,0 | 5–10 |
| PG80404152 | 05.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80404252 | 16.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80404252 | 11.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80404252 | 19.08.2009 | | | | | | | | | | 11–25 |
| PG80404252 | 21.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80404252 | 15.06.2010 | 7,99E-08 | 1,27E-10 | 1,58E-03 | 2,00E-04 | -94,2 | 3485,6 | ? | 1,54E-03 | 12,44? | |
| PG80404452 | 16.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80404452 | 11.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80404452 | 19.08.2009 | 4,91E-07 | 9,43E-11 | 1,92E-04 | 2,24E-04 | -64,5 | 335,0 | 16,5 | 1,39E-04 | 7,5 | < 5 |

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probe- nahme- datum | $^3\text{He}/^4\text{He}$ | ^3He | ^4He | Ne | Delta 3He | Delta He | Delta Ne | $^4\text{He}_{\text{radio}}$ | tritiogenes Helium | MVZ |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|-------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------|---------|
| | | | ($\text{cm}^3\text{STP}/$ kg) | ($\text{cm}^3\text{STP}/$ kg) | ($\text{cm}^3\text{STP}/$ kg) | (%) | (%) | (%) | ($\text{cm}^3\text{STP}/$ kg) | (TE) | (Jahre) |
| PG80404452 | 19.08.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80404452 | 21.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80410152 | 16.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80410152 | 11.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80410152 | 18.08.2009 | 2,32E-06 | 1,10E-10 | 4,76E-05 | 2,05E-04 | 67,3 | 7,5 | 8,0 | 0,00E+00 | 18,0 | 5–10 |
| PG80410152 | 28.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80412252 | 16.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80412252 | 11.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80412252 | 18.08.2009 | 1,51E-06 | 8,78E-11 | 5,80E-05 | 2,41E-04 | 9,4 | 31,3 | 25,6 | 0,00E+00 | 3,4 | < 5 |
| PG80412252 | 28.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80413252 | 16.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80413252 | 11.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80413252 | 19.08.2009 | 1,29E-06 | 9,72E-11 | 7,56E-05 | 2,30E-04 | -7,1 | 71,2 | 19,8 | 2,05E-05 | 8,6 | 5–10 |
| PG80413252 | 21.10.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80414152 | 16.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80414152 | 11.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG80414152 | 19.08.2009 | 1,40E-06 | 8,45E-11 | 6,05E-05 | 2,54E-04 | 0,7 | 38,0 | 33,0 | 0,00E+00 | 0,5 | < 5 |
| PG80414152 | 05.11.2009 | | | | | | | | | | |
| HD 200204 | 17.08.2009 | | | | | | | | | | |
| HD 200329 | 17.08.2009 | | | | | | | | | | |
| Frutzbach | 19.08.2009 | | | | | | | | | | |

Unteres Salzachtal: Für Isotopenanalysen ausgewählter GZÜV-Messstellen

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probenahme- ort | Probe- nahme- datum | Ab- stich (m) | Teufe (m) | $\delta^{18}\text{O}$ VSMOW (‰) | $\delta^2\text{H}$ VSMOW (‰) | ^3H (TE) | ^3H MU (TE) | CFC11 (pMol/kg) | CFC12 (pMol/kg) | SF ₆ (fMol/kg) |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| PG53100082 | Ainedter | 10.03.2009 | | | -10,79 | -76,3 | | | | | |
| PG53100082 | Ainedter | 24.06.2009 | | | -11,06 | -78,4 | | | | | |
| PG53100082 | Ainedter | 06.10.2009 | | | -9,85 | | 7,3 | 0,4 | 3,5 | 8,1 | 1,2 |
| PG53100082 | Ainedter | 02.12.2009 | | | -9,98 | | | | | | |
| PG53100172 | Scheffau | | | | | | | | | | |
| PG53100172 | Scheffau | 18.06.2009 | 2,60 | | -12,84 | -94,3 | | | | | |
| PG53100172 | Scheffau | 06.10.2009 | 3,11 | | -10,42 | | 11,3 | 0,6 | 2,4 | 5,2 | 1,2 |
| PG53100172 | Scheffau | 24.11.2009 | 3,10 | | -10,37 | | | | | | |
| PG53100192 | H4 VB IV | 10.03.2009 | | | -11,28 | -78,4 | | | | | |
| PG53100192 | H4 VB IV | 15.06.2009 | 4,28 | | -10,75 | -75,0 | | | | | |
| PG53100192 | H4 VB IV | 06.10.2009 | 5,09 | | -11,27 | | 11,7 | 0,6 | 3,4 | 6,7 | 1,9 |
| PG53100192 | H4 VB IV | 23.11.2009 | 4,95 | | -11,32 | | | | | | |
| PG53100202 | Golling 16 | 10.03.2009 | | | -10,61 | -74,7 | | | | | |
| PG53100202 | Golling 16 | 17.06.2009 | 6,96 | | -10,57 | -73,8 | | | | | |
| PG53100202 | Golling 16 | 06.10.2009 | 7,54 | | -11,15 | | 8,0 | 0,4 | 2,5 | 23,0 | 0,5 |
| PG53100202 | Golling 16 | 24.11.2009 | 7,77 | | -11,06 | -76,1 | | | | | |
| PG53100212 | Torren 8 | 10.03.2009 | | 9,40 | -12,19 | -88,8 | | | | | |
| PG53100212 | Torren 8 | 15.06.2009 | 8,03 | 9,40 | -10,82 | -77,5 | | | | | |
| PG53100212 | Torren 8 | 06.10.2009 | 8,75 | 9,40 | -9,92 | | 8,8 | 0,5 | 2,8 | 5,7 | 1,5 |
| PG53100212 | Torren 8 | 23.11.2009 | 7,91 | 9,40 | -9,55 | | | | | | |
| PG53100222 | Torren 4 | 10.03.2009 | | | -10,65 | -75,3 | | | | | |
| PG53100222 | Torren 4 | 15.06.2009 | 4,11 | | -10,89 | -76,6 | | | | | |
| PG53100222 | Torren 4 | 06.10.2009 | 4,72 | | -11,20 | | 9,10 | 0,50 | | | |
| PG53100222 | Torren 4 | 23.11.2009 | 4,84 | | -11,17 | | | | | | |
| PG53116922 | Taugl | 10.03.2009 | | 91,00 | -10,57 | -72,9 | | | | | |
| PG53116922 | Taugl | 24.06.2009 | 16,01 | 91,00 | -11,14 | -77,8 | | | | | |
| PG53116922 | Taugl | 06.10.2009 | 19,73 | 91,00 | -10,76 | | 8,30 | 0,40 | 3,5 | 8,1 | 1,1 |
| PG53116922 | Taugl | 02.12.2009 | 19,27 | 91,00 | -10,34 | | | | | | |
| PG53200102 | Vigaun | 10.03.2009 | | | -10,07 | -70,0 | | | | | |
| PG53200102 | Vigaun | 24.06.2009 | 7,43 | | -11,75 | -83,4 | | | | | |
| PG53200102 | Vigaun | 06.10.2009 | 9,60 | | -10,30 | -71,0 | 7,4 | 0,4 | 2,00 | 5,2 | 1,7 |
| PG53200102 | Vigaun | 02.12.2009 | 10,95 | | -9,76 | | | | | | |
| PG53200112 | Vigaun | 10.03.2009 | | | -10,42 | -71,9 | | | | | |
| PG53200112 | Vigaun | 24.06.2009 | 7,00 | | -11,76 | -82,9 | | | | | |
| PG53200112 | Vigaun | 07.10.2009 | 9,17 | | -10,47 | -73,0 | 9,2 | 0,5 | 2,8 | 6,6 | 1,3 |
| PG53200112 | Vigaun | 02.12.2009 | 8,92 | | -9,79 | | | | | | |
| PG53200132 | Oberalm | 11.03.2009 | | | -10,42 | -73,3 | | | | | |
| PG53200132 | Oberalm | 17.06.2009 | 4,30 | | -10,39 | -72,1 | | | | | |
| PG53200132 | Oberalm | 07.10.2009 | 5,00 | | -10,32 | -72,9 | 8,6 | 0,4 | 2,7 | 7,6 | 1,5 |
| PG53200132 | Oberalm | 25.11.2009 | 3,64 | | -10,30 | | | | | | |
| PG53200232 | Gamp | 11.03.2009 | | | -11,22 | -78,8 | | | | | |
| PG53200232 | Gamp | 17.06.2009 | 2,31 | | -11,23 | -78,0 | | | | | |
| PG53200232 | Gamp | 07.10.2009 | | | -11,31 | -78,7 | 8,3 | 0,4 | 2,1 | 9,3 | 3,0 |
| PG53200232 | Gamp | 24.11.2009 | 2,83 | | -11,28 | | | | | | |
| PG54100152 | Anif | 11.03.2009 | | | -11,29 | -80,3 | | | | | |
| PG54100152 | Anif | 15.06.2009 | 5,45 | | -10,43 | | | | | | |
| PG54100152 | Anif | 07.10.2009 | 5,90 | | -10,91 | -75,1 | 8,4 | 0,4 | 3,0 | 5,9 | 2,2 |
| PG54100152 | Anif | 23.11.2009 | 6,00 | | -11,49 | | | | | | |

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probenahme- ort | Probe- nahme- datum | Ab- stich (m) | Teufe (m) | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ | ^3H | ^3H | CFC11 (pMol/kg) | CFC12 (pMol/kg) | SF ₆ (fMol/kg) |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|--------------|-----------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| | | | | | VSMOW (‰) | VSMOW (‰) | (TE) | (TE) | | | |
| PG54100282 | St. Leonhard | 10.03.2009 | | | -11,29 | -81,1 | | | | | |
| PG54100282 | St. Leonhard | 15.06.2009 | 15,32 | | -11,21 | -79,0 | | | | | |
| PG54100282 | St. Leonhard | 06.10.2009 | 15,67 | | -11,25 | -79,0 | 8,4 | 0,4 | 5,0 | 10,7 | 1,9 |
| PG54100282 | St. Leonhard | 24.11.2009 | 16,16 | | -11,28 | | | | | | |
| PG54100382 | Kleßheim | 10.03.2009 | | 30,00 | -9,65 | -71,8 | | | | | |
| PG54100382 | Kleßheim | 16.06.2009 | 9,58 | 30,00 | -9,66 | -70,7 | | | | | |
| PG54100382 | Kleßheim | 06.10.2009 | 6,71 | 30,00 | -9,61 | -69,8 | 8,2 | 0,4 | 16,8 | 17,0 | 0,8 |
| PG54100382 | Kleßheim | 24.11.2009 | 9,32 | 30,00 | -9,63 | | | | | | |
| PG54100392 | Kleßheim | 10.03.2009 | | | -9,83 | -72,5 | | | | | |
| PG54100392 | Kleßheim | 16.06.2009 | 3,28 | | -9,43 | -67,8 | | | | | |
| PG54100392 | Kleßheim | 06.10.2009 | 2,46 | | -9,36 | -67,2 | 8,2 | 0,4 | 2,9 | 15,2 | 1,9 |
| PG54100392 | Kleßheim | 24.11.2009 | 2,45 | | -9,36 | | | | | | |
| PG54100642 | Salzburg | 10.03.2009 | | | -10,34 | -74,3 | | | | | |
| PG54100642 | Salzburg | 18.06.2009 | 3,18 | | -9,92 | -71,3 | | | | | |
| PG54100642 | Salzburg | 06.10.2009 | 3,31 | | -9,60 | -67,5 | 9,0 | 0,5 | 68,7 | 9,8 | 1,7 |
| PG54100642 | Salzburg | 26.11.2009 | 3,34 | | -9,75 | | | | | | |
| PG54100682 | Sportplatz Süd | 11.03.2009 | | | -10,00 | -72,6 | | | | | |
| PG54100682 | Sportplatz Süd | 16.06.2009 | 4,12 | | -10,02 | -72,6 | | | | | |
| PG54100682 | Sportplatz Süd | 07.10.2009 | 5,27 | | -9,78 | -68,0 | 9,5 | 0,5 | 21,0 | 9,4 | 1,3 |
| PG54100682 | Sportplatz Süd | 23.11.2009 | 4,52 | | -9,77 | | | | | | |
| PG54100712 | Bergheim | 10.03.2009 | | | -10,07 | -73,5 | | | | | |
| PG54100712 | Bergheim | 23.06.2009 | 7,80 | | -10,10 | -73,0 | | | | | |
| PG54100712 | Bergheim | 06.10.2009 | 7,24 | | -9,90 | -70,2 | 6,8 | 0,4 | 36,4 | 52,6 | 1,6 |
| PG54100712 | Bergheim | 02.12.2009 | 7,33 | | -9,92 | | | | | | |
| PG54100932 | Pegel 2/88 | 11.03.2009 | | 7,05 | -9,33 | -67,6 | | | | | |
| PG54100932 | Pegel 2/88 | | | 7,05 | | | | | | | |
| PG54100932 | Pegel 2/88 | 07.10.2009 | 3,90 | 7,05 | -9,08 | -63,8 | 9,1 | 0,5 | 2,1 | 1,7 | 1,7 |
| PG54100932 | Pegel 2/89 | 02.12.2009 | 3,84 | 7,05 | -8,94 | | | | | | |
| PG54100992 | Weitwörth | 11.03.2009 | | 5,64 | -11,28 | -83,1 | | | | | |
| PG54100992 | Weitwörth | 16.06.2009 | 1,78 | 5,64 | -8,16 | -57,3 | | | | | |
| PG54100992 | Weitwörth | 07.10.2009 | 3,55 | 5,64 | -8,03 | -54,7 | 10,0 | 0,5 | 10,5 | 2,1 | 2,8 |
| PG54100992 | Weitwörth | 01.12.2009 | 3,27 | 5,64 | -8,86 | | | | | | |
| PG54101152 | Obereching | 11.03.2009 | | 66,00 | -14,26 | -105,2 | | | | | |
| PG54101152 | Obereching | 24.06.2009 | 8,70 | 66,00 | -14,42 | -106,0 | | | | | |
| PG54101152 | Obereching | 07.10.2009 | 7,45 | 66,00 | -14,03 | -103,3 | <0,3 | | 0,7 | 1,2 | 0,1 |
| PG54101152 | Obereching | 02.12.2009 | 8,55 | 66,00 | -14,29 | | | | | | |
| PG54101182 | Pegel 8/88 | 11.03.2009 | | | -8,88 | -65,0 | | | | | |
| PG54101182 | Pegel 8/88 | 24.06.2009 | 2,78 | | -9,55 | -66,6 | | | | | |
| PG54101182 | Pegel 8/88 | 07.10.2009 | 4,10 | | -8,98 | -62,6 | 8,7 | 0,5 | 4,2 | 4,4 | 1,4 |
| PG54101182 | Pegel 8/89 | 02.12.2009 | 4,50 | | -8,95 | | | | | | |
| PG54111962 | Oberndorf | 11.03.2009 | | 5,50 | -10,02 | -72,3 | | | | | |
| PG54111962 | Oberndorf | 24.06.2009 | 3,88 | 5,50 | -9,39 | -68,4 | | | | | |
| PG54111962 | Oberndorf | 07.10.2009 | 3,90 | 5,50 | -9,02 | -65,0 | 9,6 | 0,5 | 3,4 | 3,1 | 2,4 |
| PG54111962 | Oberndorf | 02.12.2009 | 3,72 | 5,50 | -9,18 | | | | | | |
| KK54100272 | Glanegg | 16.06.2009 | | | -10,91 | -75,4 | | | | | |
| KK54100272 | Glanegg | 06.10.2009 | 8,87 | 21,40 | -10,34 | -70,8 | 8,7 | 0,5 | 3,6 | 1,9 | 1,6 |
| KK54100272 | Glanegg | 24.11.2009 | | | -11,20 | | | | | | |
| KK53100422 | Bluntatal | 06.10.2009 | | | -11,39 | -78,6 | 7,4 | 0,4 | 2,4 | 5,3 | 1,1 |

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probe- nahme- datum | ³ He/ ⁴ He | ³ He | ⁴ He | Ne | Delta 3He | Delta He | Delta Ne | ⁴ He _{radio} | tritiogenes Helium | MVZ |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|---------|
| | | | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (%) | (%) | (%) | (cm ³ STP/ kg) | (TE) | (Jahre) |
| PG53100082 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100082 | 24.06.20 09 | | | | | | | | | | |
| PG53100082 | 06.10.2009 | 1,37E-06 | 9,12E-11 | 6,64E-05 | 2,71E-04 | -0,8 | 50,0 | 40,6 | 0,00E+00 | 0,0 | 5–10 |
| PG53100082 | 02.12.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100172 | | | | | | | | | | | |
| PG53100172 | 18.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100172 | 06.10.2009 | 1,31E-06 | 7,96E-11 | 6,09E-05 | 2,36E-04 | -5,5 | 37,0 | 21,0 | 4,50E-06 | 1,0 | 11–25 |
| PG53100172 | 24.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100192 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100192 | 15.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100192 | 06.10.2009 | 1,37E-06 | 7,02E-11 | 5,12E-05 | 2,22E-04 | -0,9 | 15,6 | 15,1 | 0,00E+00 | 0,0 | 11–25 |
| PG53100192 | 23.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100202 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100202 | 17.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100202 | 06.10.2009 | 1,37E-06 | 1,10E-10 | 7,99E-05 | 3,20E-04 | -1,0 | 78,0 | 65,0 | 0,00E+00 | 0,0 | 5–10 |
| PG53100202 | 24.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100212 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100212 | 15.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100212 | 06.10.2009 | 1,13E-06 | 6,98E-11 | 6,16E-05 | 2,14E-04 | -18,2 | 39,2 | 10,9 | 1,13E-05 | 0,2 | < 5 |
| PG53100212 | 23.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100222 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100222 | 15.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53100222 | 06.10.2009 | 1,36E-06 | 6,74E-11 | 4,95E-05 | 2,16E-04 | -1,5 | 12,0 | 11,9 | 0,00E+00 | 0,0 | < 5 |
| PG53100222 | 23.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53116922 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53116922 | 24.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53116922 | 06.10.2009 | 1,57E-06 | 9,18E-11 | 5,83E-05 | 2,39E-04 | 13,7 | 31,7 | 23,9 | 7,81E-07 | 5,1 | 5–10 |
| PG53116922 | 02.12.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200102 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200102 | 24.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200102 | 06.10.2009 | 1,37E-06 | 8,10E-11 | 5,91E-05 | 2,48E-04 | -1,0 | 33,0 | 28,5 | 0,00E+00 | 0,0 | 5–10 |
| PG53200102 | 02.12.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200112 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200112 | 24.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200112 | 07.10.2009 | 1,37E-06 | 7,15E-11 | 5,23E-05 | 2,23E-04 | -1,0 | 19,0 | 16,0 | 0,00E+00 | 0,0 | 5–10 |
| PG53200112 | 02.12.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200132 | 11.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200132 | 17.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200132 | 07.10.2009 | 1,40E-06 | 7,08E-11 | 5,06E-05 | 2,17E-04 | 1,0 | 14,4 | 12,7 | 0,00E+00 | 0,5 | < 5 |
| PG53200132 | 25.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200232 | 11.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200232 | 17.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG53200232 | 07.10.2009 | 1,42E-06 | 6,11E-11 | 4,32E-05 | 1,94E-04 | 2,2 | -2,5 | 0,5 | 0,00E+00 | 0,2 | < 5 |
| PG53200232 | 24.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100152 | 11.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100152 | 15.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100152 | 07.10.2009 | 1,37E-06 | 6,85E-11 | 5,02E-05 | 2,15E-04 | -1,0 | 13,0 | 11,0 | 0,00E+00 | 0,0 | 5–10 |
| PG54100152 | 23.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100282 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100282 | 15.06.2009 | | | | | | | | | | |

| GZÜV Nr. WGEV Nr. No. | Probe- nahme- datum | ³ He/ ⁴ He | ³ He | ⁴ He | Ne | Delta | Delta | Delta | ⁴ He _{radio} | tritiogenes Helium | MVZ (Jahre) |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|-------|--------|-------|----------------------------------|-----------------------|----------------|
| | | | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | | (%) | (%) | (%) | | | |
| PG54100282 | 06.10.2009 | 1,36E-06 | 8,90E-11 | 6,54E-05 | 2,61E-04 | -1,6 | 47,6 | 35,4 | 1,43E-06 | 0,5 | 5–10 |
| PG54100282 | 24.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100382 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100382 | 16.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100382 | 06.10.2009 | 1,56E-06 | 1,19E-10 | 7,66E-05 | 2,34E-04 | 12,5 | 73,0 | 21,1 | 2,06E-05 | 16,9 | 5–10 |
| PG54100382 | 24.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100392 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100392 | 16.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100392 | 06.10.2009 | 1,39E-06 | 6,80E-11 | 4,87E-05 | 2,09E-04 | 0,9 | 10,1 | 8,2 | 0,00E+00 | 0,5 | 5–10 |
| PG54100392 | 24.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100642 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100642 | 18.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100642 | 06.10.2009 | 1,37E-06 | 6,56E-11 | 4,80E-05 | 2,05E-04 | -1,2 | 8,2 | 6,2 | 1,30E-07 | 0,0 | < 5 |
| PG54100642 | 26.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100682 | 11.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100682 | 16.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100682 | 07.10.2009 | 1,41E-06 | 7,72E-11 | 5,49E-05 | 2,22E-04 | 1,7 | 23,9 | 15,2 | 2,14E-06 | 2,0 | 11–25 |
| PG54100682 | 23.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100712 | 10.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100712 | 23.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100712 | 06.10.2009 | 1,32E-06 | 7,42E-11 | 5,62E-05 | 2,17E-04 | -4,5 | 27,3 | 12,0 | 5,30E-06 | 1,7 | 11–25 |
| PG54100712 | 02.12.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100932 | 11.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100932 | | | | | | | | | | | |
| PG54100932 | 07.10.2009 | 1,09E-06 | 8,08E-11 | 7,44E-05 | 2,44E-04 | -21,5 | 67,0 | 25,0 | 1,54E-05 | 0,0 | 5–10 |
| PG54100932 | 02.12.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100992 | 11.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100992 | 16.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54100992 | 07.10.2009 | 1,08E-06 | 7,99E-11 | 7,39E-05 | 2,41E-04 | -21,8 | 65,0 | 25,0 | 1,54E-05 | 0,0 | 11–25 |
| PG54100992 | 01.12.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54101152 | 11.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54101152 | 24.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54101152 | 07.10.2009 | 4,49E-07 | 2,09E-10 | 4,67E-04 | 5,55E-04 | -67,5 | 930,0 | 180,0 | 3,10E-04 | 0,0 | > 50 |
| PG54101152 | 02.12.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54101182 | 11.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54101182 | 24.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54101182 | 07.10.2009 | 1,38E-06 | 6,63E-11 | 4,80E-05 | 2,06E-04 | 0,0 | 8,3 | 6,7 | 0,00E+00 | 0,2 | 5–10 |
| PG54101182 | 02.12.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54111962 | 11.03.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54111962 | 24.06.2009 | | | | | | | | | | |
| PG54111962 | 07.10.2009 | 7,76E-07 | 7,93E-11 | 1,02E-04 | 2,44E-04 | -44,0 | 130,9 | 26,4 | 4,33E-05 | 0,0 | < 5 |
| PG54111962 | 02.12.2009 | | | | | | | | | | |
| KK54100272 | 16.06.2009 | | | | | | | | | | |
| KK54100272 | 06.10.2009 | | | | | | | | | | |
| KK54100272 | 24.11.2009 | | | | | | | | | | |
| KK54100272 | 06.10.2009 | | | | | | | | | | |
| KK54100272 | 11.03.2009 | | | | | | | | | | |
| KK54100272 | 24.06.2009 | 1,42E-06 | 8,83E-11 | 6,22E-05 | 2,48E-04 | 2,7 | 45,0 | 32,0 | 1,70E-06 | 2,0 | 5–10 |
| KK54100272 | 07.10.2009 | | | | | | | | | | |
| KK53100422 | 02.12.2009 | 1,18E-07 | 9,31E-11 | 7,89E-04 | 1,89E-04 | -91,5 | 1700,0 | 1,0 | 7,45E-04 | 7,0 | < 5 |

Wulkatal: Isotopenanalysen ausgewählter GZÜV-Messstellen

| GZÜV Nr. | Probenahmeort | Probenahmedatum | Abstich (m) | Teufe (m) | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ | ^3H | ^3H | CFC11 (pMol/kg) | CFC12 (pMol/kg) | SF_6 (fMol/kg) |
|------------|------------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------------------|
| | | | | | VSMOW (‰) | VSMOW (‰) | (TE) | MU | | | |
| PG10000122 | Oslip | 05.02.2009 | 1,07 | 5,37 | -11,52 | -88,00 | | | | | |
| PG10000122 | Oslip | 21.05.2009 | 2,19 | 5,37 | -9,20 | -72,50 | | | | | |
| PG10000122 | Oslip | 28.07.2009 | 2,19 | 5,37 | -9,10 | -70,80 | 8,1 | 0,4 | 7,6 | 3,8 | 0,6 |
| PG10000122 | Oslip | 02.11.2009 | | 5,37 | -9,25 | | | | | | |
| PG10000692 | Eisenstadt | 12.02.2009 | 5,07 | 8,35 | -9,79 | -75,00 | | | | | |
| PG10000692 | Eisenstadt | 06.05.2009 | 5,16 | 8,35 | -9,92 | | | | | | |
| PG10000692 | Eisenstadt | 28.07.2009 | 5,31 | 8,35 | -7,11 | -51,70 | 11,8 | 0,5 | 7,8 | 3,2 | 2,0 |
| PG10000692 | Eisenstadt | 18.11.2009 | 5,55 | 8,35 | -9,83 | | | | | | |
| PG10002732 | Wulkaprodersdorf | 11.02.2009 | 2,11 | 7,04 | -9,17 | -68,5 | | | | | |
| PG10002732 | Wulkaprodersdorf | 21.05.2009 | 2,63 | 7,04 | -9,18 | -69,7 | | | | | |
| PG10002732 | Wulkaprodersdorf | 28.07.2009 | 2,52 | 7,04 | -9,23 | -70,5 | 9,9 | 0,4 | 82,0 | 23,3 | 1,3 |
| PG10002732 | Wulkaprodersdorf | 02.11.2009 | 2,92 | 7,04 | -9,07 | | | | | | |
| PG10002742 | ST Margarethen | 11.02.2009 | 2,6 | 8,90 | -9,76 | -71,6 | | | | | |
| PG10002742 | ST Margarethen | 21.05.2009 | 3,57 | 8,90 | -10,24 | -76,9 | | | | | |
| PG10002742 | ST Margarethen | 28.07.2009 | 3,36 | 8,90 | -9,85 | -73,25 | 12,7 | 0,6 | 1,5 | 1,9 | 0,4 |
| PG10002742 | ST Margarethen | 02.11.2009 | 3,86 | 8,90 | -9,63 | | | | | | |
| PG10002892 | Trausdorf | 11.02.2009 | 2,06 | 5,20 | -8,49 | -65 | | | | | |
| PG10002892 | Trausdorf | 21.05.2009 | 2,42 | 5,20 | -8,72 | -68,1 | | | | | |
| PG10002892 | Trausdorf | 28.07.2009 | 2,46 | 5,20 | -8,68 | -68,7 | 9,2 | 0,4 | 1,4 | 2,8 | 1,0 |
| PG10002892 | Trausdorf | 02.11.2009 | 2,91 | 5,20 | -8,75 | | | | | | |
| PG10002902 | Pöttelsdorf | 05.02.2009 | 4,18 | 13,80 | -9,65 | -70,1 | | | | | |
| PG10002902 | Pöttelsdorf | 21.05.2009 | 3,85 | 13,80 | -9,56 | -70,7 | | | | | |
| PG10002902 | Pöttelsdorf | 28.07.2009 | 3,25 | 13,80 | -9,54 | -71,2 | 14,2 | 0,6 | 16,1 | 3,6 | 0,6 |
| PG10002902 | Pöttelsdorf | 02.11.2009 | 3,51 | 13,80 | -9,50 | | | | | | |
| PG10002932 | Trausdorf | 05.02.2009 | 1,76 | 9,00 | -9,62 | -72,2 | | | | | |
| PG10002932 | Trausdorf | 21.05.2009 | 2,72 | 9,00 | -9,86 | -74,9 | | | | | |
| PG10002932 | Trausdorf | 28.07.2009 | 2,76 | 9,00 | -9,22 | -70,6 | 8,7 | 0,5 | 2,3 | 0,9 | < 0,1 |
| PG10002932 | Trausdorf | 02.11.2009 | 3,22 | 9,00 | -9,20 | | | | | | |
| PG10002932 | Trausdorf | 25.06.2010 | | 9,00 | -9,20 | -68,25 | 8,7 | | | | |
| PG10003922 | Antau | 05.02.2009 | 3,66 | 7,00 | -8,97 | -66,5 | | | | | |
| PG10003922 | Antau | 21.05.2009 | 3,9 | 7,00 | -9,08 | -68,6 | | | | | |
| PG10003922 | Antau | 28.07.2009 | 3,82 | 7,00 | -8,76 | -65,5 | 13,5 | 0,6 | 14,4 | 2,8 | 0,8 |
| PG10003922 | Antau | 02.11.2009 | 4,01 | 7,00 | -9,02 | | | | | | |
| PG10003952 | Wiesen | 12.02.2009 | 3,00 | ? | -10,07 | -74,2 | | | | | |
| PG10003952 | Wiesen | 06.05.2009 | 2,53 | | -10,09 | | | | | | |
| PG10003952 | Wiesen | 28.07.2009 | 1,86 | | -10,07 | -73,5 | 8,1 | | 51,5 | 14,3 | 0,8 |
| PG10003952 | Wiesen | 18.11.2009 | 1,09 | | -9,96 | | | | | | |
| Wulka01 | Wulka, Trausdorf | 25.06.2010 | | | -9,22 | -67,15 | 8,3 | 0,5 | | | |

| GZÜV Nr. | Probe- nahme- datum | ³ He/ ⁴ He | ³ He | ⁴ He | Ne | Delta 3He | Delta He | Delta Ne | ⁴ He _{radio} | tritiogenes Helium | MVZ |
|-------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|---------|
| | | | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (cm ³ STP/ kg) | (%) | (%) | (%) | (cm ³ STP/ kg) | (TE) | (Jahre) |
| PG10000122 | 05.02.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10000122 | 21.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10000122 | 28.07.2009 | 1,42E-06 | 7,05E-11 | 4,97E-05 | 2,10E-04 | 2,6 | 10,3 | 8,5 | 0,00E+00 | 1,1 | < 5 |
| PG10000122 | 02.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10000692 | 12.02.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10000692 | 06.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10000692 | 28.07.2009 | 1,38E-06 | 6,45E-11 | 4,69E-05 | 2,00E-04 | -0,8 | 3,8 | 3,0 | 0,00E+00 | 0,3 | < 5 |
| PG10000692 | 18.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002732 | 11.02.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002732 | 21.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002732 | 28.07.2009 | 1,36E-06 | 8,95E-11 | 6,56E-05 | 2,53E-04 | -1,4 | 45,7 | 30,3 | 3,68E-06 | 1,9 | 11–25 |
| PG10002732 | 02.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002742 | 11.02.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002742 | 21.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002742 | 28.07.2009 | 5,63E-06 | 2,19E-10 | 3,89E-05 | 1,71E-04 | 300,0 | -14,0 | -12,0 | 0,00E+00 | 70,0 | 26–50 |
| PG10002742 | 02.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002892 | 11.02.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002892 | 21.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002892 | 28.07.2009 | 1,34E-06 | 7,23E-11 | 5,39E-05 | 2,16E-04 | -3,1 | 19,7 | 11,4 | 2,50E-06 | 0,9 | 11–25 |
| PG10002892 | 02.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002902' | 05.02.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002902' | 21.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002902' | 28.07.2009 | 1,62E-06 | 8,89E-11 | 5,47E-05 | 2,36E-04 | 17,3 | 21,6 | 21,7 | 0,00E+00 | 5,7 | 26–50 |
| PG10002902' | 02.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002932' | 05.02.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002932' | 21.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002932' | 28.07.2009 | | | | | | | | | | 26–50 |
| PG10002932' | 02.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10002932' | 25.06.2010 | | | | | | | | | | |
| PG10003922' | 05.02.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10003922' | 21.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10003922' | 28.07.2009 | 1,43E-06 | 8,74E-11 | 6,12E-05 | 2,60E-04 | 3,2 | 35,9 | 33,8 | 0,00E+00 | 1,5 | 26–50 |
| PG10003922' | 02.11.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10003952 | 12.02.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10003952 | 06.05.2009 | | | | | | | | | | |
| PG10003952 | 28.07.2009 | 1,53E-06 | 8,81E-11 | 5,75E-05 | 2,44E-04 | 10,7 | 27,7 | 25,9 | 0,00E+00 | 3,9 | 5–10 |
| PG10003952 | 18.11.2009 | | | | | | | | | | |
| Wulka01 | 25.06.2010 | | | | | | | | | | |

Tiefenprobenahme

| Proben Nr. | Probenahmeort | Grundwasser- körper | Höhe | Probe- nahme- datum | Ab- stich | Teufe | Wasser Temp. | Leit- fähigkeit | pH |
|------------------------|------------------------|------------------------|------|---------------------------|--------------|-------|-----------------|--------------------|------|
| | | | (m) | | | | | | |
| KB01/09 13m | Gries/Graz | Grazer Feld | 347 | 22.04.2010 | 8,38 | 29,0 | 14,1 | 718 | 7,35 |
| KB01/09 27m | Gries/Graz | Grazer Feld | 347 | 22.04.2010 | 8,38 | 29,0 | | 669 | 7,47 |
| PG20801082 | Bleiburg/Bleiburg | Jauntal | 471 | 06.07.2009 | 29,7 | 77,00 | 11,0 | 464 | 7,4 |
| Lysimeterstation/Wagna | Lysimeterstation/Wagna | Leibnitzer Feld | 267 | 06.04.2010 | 3,25 | 10,8 | 10,5 | 695 | 7,14 |
| Lysimeterstation/Wagna | Lysimeterstation/Wagna | Leibnitzer Feld | 267 | 25.06.2010 | 4,38 | 11,2 | 12,1 | 749 | 7,10 |
| HFB | Mäder | Rheintal | | 27.04.2010 | 8,50 | 23,0 | 9,8 | 497 | 7,52 |
| FMH | Dornbirn | Rheintal | | 27.04.2010 | 7,50 | 37,0 | 10,9 | 483 | 7,73 |
| Lauterach 3 | Lauterach | Rheintal | | 27.04.2010 | 8,00 | 60,3 | 10,5 | 504 | 7,59 |
| Lauterach 4 | Lauterach | Rheintal | | 27.04.2010 | 7,40 | 248,0 | 9,9 | 404 | 7,80 |
| BI 1/92 | | U. Salzachtal | | 20.05.2010 | 5,15 | 9,4 | 9,7 | 497 | 7,38 |
| BI 1/94 | | U. Salzachtal | | 20.05.2010 | 4,94 | 25,0 | 10,6 | 373 | 7,63 |
| BI.36 | Siegendorf | Wulkatal | | 05.05.2010 | 29,90 | 48,5 | 12,5 | 635 | 7,51 |
| BI.45 | Antau | Wulkatal | | 05.05.2010 | 5,48 | 10,3 | 12,0 | 1302 | 7,17 |

| Proben Nr. | O ₂ | Ca | Mg | Na | K | HCO ₃ | SO ₄ | Cl | NO ₃ |
|------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|------------------|-----------------|---------|-----------------|
| | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) |
| KB01/09 13m | 7,5 | 91,6 | 17,3 | 25,4 | 5,1 | 279,0 | 54,7 | 46,4 | 33,0 |
| KB01/09 27m | 6,9 | 88,4 | 17,1 | 21,2 | 4,8 | 283,0 | 50,9 | 38,2 | 25,2 |
| PG20801082 | 7,5 | 82,0 | 13,8 | 2,7 | 0,9 | 282,0 | 11,9 | 5,1 | 14,1 |
| Lysimeterstation/Wagna | | 116,7 | 11,7 | 7,1 | 1,8 | 343,4 | 35,5 | 23,4 | 32,7 |
| Lysimeterstation/Wagna | 9,1 | | | | | | | | |
| HFB | 1,69 | 72,8 | 15,5 | 5,2 | 1,6 | 253,0 | 49,5 | 7,335 | 2,9 |
| FMH | 0,64 | 73,4 | 13,6 | 7,3 | 1,3 | 278,0 | 23,7 | 10,309 | 1,1 |
| Lauterach 3 | 5,35 | 75,2 | 14,6 | 5,4 | 1,0 | 290,0 | 13,5 | 12,5035 | 6,6 |
| Lauterach 4 | 1,01 | 50,7 | 19,4 | 2,7 | 0,6 | 237,0 | 22,5 | 3,648 | 1,4 |
| BI 1/92 | | | | | | | | | |
| BI 1/94 | | | | | | | | | |
| BI.36 | | | | | | | | | |
| BI.45 | | | | | | | | | |

| GZÜVNr. | d ¹⁸ O | d ² H | ³ H | ³ H | CFC11 | CFC12 | SF ₆ | ³ He/ ⁴ He | ³ He |
|------------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------------|----------------------------------|--------------------------|
| | VSMOW | VSMOW | TE | Err. | (pMol/kg) | (pMol/kg) | (fMol/kg) | | (cm ³ STP/kg) |
| | (‰) | (‰) | (TE) | (TE) | | | | | |
| KB01/0913m | -9,90 | -69,9 | 7,8 | 0,6 | 129,5 | 76,7 | 1,9 | 1,39E-06 | 7,05E-11 |
| KB01/0927m | -10,00 | -69,6 | 6,0 | 0,5 | 97,7 | 85,8 | 1,9 | 1,24E-06 | 7,52E-11 |
| PG20801082 | -9,95 | | 6,7 | 0,3 | 37,7 | 12,1 | 0,8 | 1,14E-06 | 1,11E-10 |
| Lysimeterstation/Wagna | -8,78 | -60,3 | 8,3 | 0,6 | 12,0 | 29,3 | 0,98 | 1,33E-06 | 7,18E-11 |
| Lysimeterstation/Wagna | -8,89 | -62,3 | 10,2 | 0,5 | | | | | |
| HFB | -12,1 | -86,7 | 8,0 | 0,5 | 6,1 | 14,7 | 3,1 | | |
| FMH | -10,31 | -73,2 | 9,1 | 0,6 | 0,9 | 3,6 | 0,4 | 2,03E-06 | 1,28E-10 |
| Lauterach3 | -10,88 | -76,1 | 9,5 | 0,5 | 2,2 | 7,8 | 1,2 | | |
| Lauterach4 | -11,17 | -79,2 | 8,7 | 0,6 | 0,6 | 0,1 | -0,1 | 1,64E-06 | 4,92E-10 |
| BI1/92 | -11,15 | -77,3 | 8,7 | | 15,34 | 22,7 | 1,68 | 1,39088E-06 | 7,0951E-11 |
| BI1/94 | -11,68 | -81,1 | 8,0 | | 3,82 | 4,88 | 1,2 | 1,69287E-06 | 8,80032E-11 |
| BI.36 | -9,80 | -71,85 | 4,7 | 0,4 | 2,5 | 0,9 | 0,2 | 1,99E-06 | 1,22E-10 |
| BI.45 | -9,81 | -68,3 | 11,1 | 0,6 | 4,3 | 1,2 | 0,9 | 2,21E-06 | 8,69E-11 |

| GZÜV Nr. | ⁴ He | Ne | Delta ³ He | Delta He | Delta Ne | ⁴ He _{radio} | tritiogenes Helium | MVZ | Bemerkungen zu Messwerten |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|----------|----------|----------------------------------|--------------------|---------|---------------------------|
| | (cm ³ STP/kg) | (cm ³ STP/kg) | (%) | (%) | (%) | (cm ³ STP/kg) | (TE) | (Jahre) | |
| KB01/09 13m | 5,99E-05 | 2,11E-04 | -15,0 | 35,1 | 9,7 | 1,02036E-05 | 0,6 | < 5 | Packer; 2 Pumpen |
| KB01/09 27m | 6,05E-05 | 2,17E-04 | -10,3 | 36,4 | 13,2 | 8,85E-06 | 1,4 | 11–25 | Packer; 2 Pumpen |
| PG20801082 | 9,68E-05 | 2,64E-04 | -18,0 | 120,0 | 37,5 | 3,22E-05 | 8,5 | 11–25 | |
| Lysimeterstation/Wagna | 5,39E-05 | 2,20E-04 | -4,0 | 24,0 | 17,0 | 1,13E-06 | 0,0 | < 5 | |
| Lysimeterstation/Wagna | | | | | | | | < 5 | |
| HFB | | | | | | | | < 5 | |
| FMH | 6,29E-05 | 2,56E-04 | 46,6 | 42,3 | 33,5 | 1,97E-07 | 16,4 | 11–25 | |
| Lauterach 3 | | | | | | | | 11–25 | |
| Lauterach 4 | 3,00E-04 | 2,35E-02 | 18,2 | 580,2 | 12159,9 | | 30,9 | 26–50 | |
| BI 1/92 | 5,10115E-05 | 0,000219002 | 0,5 | 13,3 | 13 | 0 | 0 | < 5 | |
| BI 1/94 | 5,19845E-05 | 0,000216198 | 22 | 15 | 11,5 | 5,00E-07 | 6,6 | 5–10 | Packer; 2 Pumpen |
| BI.36 | 6,13E-05 | 2,38E-04 | 44,1 | 36,1 | 22,7 | 3,55E-06 | 17,0 | 26–50 | |
| BI.45 | 3,93E-05 | 1,67E-04 | 59,8 | -12,7 | -13,9 | 6,46E-07 | 15,5 | 11–25 | |

Probenahme: M. Kralik, F. Humer, F. Wenter Umweltbundesamt

VSMOW..... Vienna Standard Mean Ocean Water;

TE Tritium Einheit ([³H/¹H]) = ~10⁻¹⁸ = 0,11919 Bq/kg);

MU Mess-Unsicherheit;

pMol picoMol;

fMol femtoMol;

STP Standard condition for Temperature and Pressure (273,15° Kelvin and 101,325 kPa)