

# ERSCHLIESSUNG NATÜRLICH GEFILTERTER KARSTWÄSSER IM TRAUNTAL

## THE DEVELOPMENT OF NATURAL FILTERED KARST WATER IN THE TRAUN VALLEY

Reinhard Gratzner<sup>(1)</sup> und Christian Schmid<sup>(2)</sup>

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Wasserversorgung im Bereich des Salzkammerguts erfolgt traditionsbedingt größtenteils aus seichtliegenden Quellen bzw. Karstquellen. Probleme hinsichtlich Qualität und Quantität machen eine entsprechende Aufbereitung der Wässer bzw. eine Erschließung aus Porengrundwasserleiter notwendig. Eine weitere Erschließung von Quellen wird vor allem durch erhöhte Ablöseforderungen durch die Grundeigentümer, die Flächennutzung und den im Salzkammergut vorherrschenden Bauungsdruck stark eingeschränkt, sodass eine ausreichende Dimensionierung von notwendigen Schutzgebieten für kleinere Wasserversorger kaum mehr finanzierbar ist. Eine Alternative dazu stellt die Erschließung natürlich gefilterter Karstwässer dar, wie am Beispiel der Wasserversorgung von Gmunden und Reithwald gezeigt wird. Beide nutzen einen Porenaquifer (Schuttkörper bzw. Moräne) der von Karstwässern alimentiert wird. Die trübungsanfälligen Karstwässer werden durch Adsorptionsvorgänge an der Sedimentmatrix in Kombination mit einer stark verminderten Fließgeschwindigkeit, welche durch ein hydraulisches Widerlager (Traunsee bzw. Hallstätter See) bedingt ist, gereinigt. Temperatur, Chemie und Isotopendaten belegen, dass bei den jeweiligen Brunnen nur Karstwasser gefördert wird.

### ABSTRACT

In the area of Salzkammergut the main water supply has been traditionally done by shallow springs respectively karst springs. Problems concerning quality and quantity require a water treatment respectively new water developments in porous aquifers. Further developments of spring water were powerfully restricted by the increased costs of replacement, by land use and the impact of high density areas, so that a sufficient dimensioning of the water refuges will be scarcely fundable for smaller water providers. An alternative thereto is the development of natural filtered karst water, as exemplified by the water providers of Gmunden and Reithwald. Both utilise porous aquifers (clastic fan resp. moraine) that will be charged by karst water. The karst waters vulnerable to turbidity will be cleaned by adsorption processes on the surface of the sediment matrix combined to a highly reduced flow velocity in consequence of the hydraulic water thrust (Traunsee resp. Hallstätter See). Temperature, chemical and isotopic data show that only karst water will be pumped by the respective wells.

### I. EINLEITUNG

Die Wasserversorgung Österreichs basiert zu einem erheblichen Teil auf Karstwässern. Neben Kleinwasserversorgungen in den Kalkalpen nutzen auch große Städte, wie Wien, Innsbruck, Graz, Villach etc. derartige Quellwasservorkommen. Die Städte Wien und Graz befinden sich außerhalb der unmittelbaren Quellgebiete und werden dementsprechend über Fernleitungen versorgt, wobei sich die Wassererschließung dieser beiden Landeshauptstädte grundlegend unterscheidet. Historisch bedingt nutzt die Stadt Wien seit mehr als 100 Jahren große Karstquellen aus dem nördlichen Hochschwab. Die Stadt Graz entnimmt hingegen das Karstwasser des Hochschwabmassivs erst seit etwa 20 Jahren über zwei Vertikalfilterbrunnen, die in den Talfüllungen der südlich vorgelagerten Tal Landschaften situiert sind.

Den Karstwässern kommt in Österreich bei der Bewirtschaftung eine besondere Rolle zu. Diese Wässer sind charakterisiert durch eine geringe Verweildauer und eine starke Schwankung in der Ergiebigkeit. Fließgeschwindigkeiten zwischen 100 und 500 m/h (Herlicska et al. 1994) sind keine Seltenheit, Schüttungsquotienten (NQ/HQ) zwischen 0,1 und 0,05 sind bei entsprechenden Jahresniederschlagsmengen durchaus möglich. Dementsprechend schwierig gestaltet sich die nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung sowie der Grundwasserschutz. Dieser wird durch die intensive Nutzung der kalkalpinen Landschaften in Österreich sowohl durch die Land- und Forstwirtschaft als auch den Tourismus zusätzlich erschwert.

---

<sup>1)</sup> Dr. Reinhard Gratzner, Institut für Geowissenschaften, Abteilung Prospektion und Angewandte Sedimentologie, Montanuniversität Leoben, A-8700 Leoben (Tel.: +43-3842/402-243, e-mail: [gratzner@notes.unileoben.ac.at](mailto:gratzner@notes.unileoben.ac.at)); <sup>2)</sup> Dipl.-Ing. Dr. mont. Ch. Schmid, ZT-Büro Dr. Schmid, Grüner Wald 12, A- 4810 Gmunden, Austria (0664/4109069, e-mail: [schmid@unileoben.ac.at](mailto:schmid@unileoben.ac.at))

Durch die in den letzten Jahren festzustellende Änderung in den Niederschlagsereignissen, vor allem durch die Zunahme der Starkniederschläge in den Sommermonaten, kommt es vermehrt in den Karstwässern zu kurzzeitigen Trübungseinbrüchen und damit einhergehend bakterieller Belastung. Eine natürliche Filterung ist infolge des geringen Oberflächenkontaktes in den gut durchlässigen Karbonatgesteinen nicht gegeben. Dem entsprechend muss zur Sicherung der Qualität des aus diesen Systemen entnommenen Trinkwassers meist eine Entkeimung vorgeschaltet werden. Bei Trübungseinbrüchen ist zusätzlich eine kostenintensive Ultrafiltration vorzusehen. Diese Tatsache führt infolge der hohen Investitions- und Betriebskosten zu einem allmählichen Umstieg von der reinen Quellwassernutzung auf Brunnensysteme.

## II. DIE WASSERNUTZUNG IM TRAUNTAL

Die Grundwassererschließung im Salzkammergut basiert in Abhängigkeit von der geologischen Situation traditionell auf der Nutzung von Quellen. In diesem Gebiet wird die Wasserversorgung der Bevölkerung mit wenigen Ausnahmen wie in den Städten und größeren Gemeinden durch Wassergenossenschaften sichergestellt. Die Quellen in dem den Nördlichen Kalkalpen vorgelagerten Flysch bzw. Helvetikum werden aufgrund ihrer geringen Schüttung vorwiegend für Einzelwasserversorgungen und kleinstrukturierte Wassergenossenschaften genutzt. Bei den Karstquellen aber auch bei anderen oberflächennahen Quellen kommt es bei Starkniederschlägen bzw. bei plötzlich einsetzender Schneeschmelze vermehrt zu qualitativen Problemen. Diese unbefriedigende Situation wird durch die Schwierigkeiten für eine ausreichende Dimensionierung der für den Grundwasserschutz erforderlichen Schutzgebiete verstärkt. Oftmals kann die exakte Anströmrichtung der Quelle sowie die Fließgeschwindigkeit ohne hohen technischen und finanziellen Aufwand nicht nachvollziehbar ermittelt werden. Hohe Ablöseforderungen für die auferlegten Nutzungsbeschränkungen in den Schutzgebieten verschärfen zusätzlich die Situation.

Es ist Tatsache, dass das Grundwasser in Porengrundwasserleitern gegenüber Karstgrundwasserleitern eine bis um den Faktor 1000 geringere Fließgeschwindigkeit aufweist und dementsprechend eine natürliche Filterung (Trübe) erfolgt und infolge der daraus resultierenden Verweildauer zum Großteil auch eine natürliche Entkeimung durch den intensiven Kontakt mit der Sedimentoberfläche des Aquifers stattfindet. Als Vorgänge sind hier besonders Adsorptionserscheinungen an Mineraloberflächen zu erwähnen. Da die Talandschaften des Trauntals mehrfach glazial überprägt und gestaltet wurden (van Husen 1977) sind sedimentationsbedingt sowohl lateral als auch vertikal Bereiche unterschiedlicher Durchlässigkeiten zu erwarten. Daraus resultiert die Möglichkeit, dass in einer Talfüllung mehrere Grundwasserleiter vorhanden sind. Bei einer entsprechend ausgeformten Deckschicht sind diese Tiefenwässer weitgehend vor anthropogenen Verunreinigungen geschützt. Dem entsprechend kann in diesem Fall auf die Ausweisung einer Schutzzone II („Bakterielles Schutzgebiet“ – 60 Tagegrenze) verzichtet werden, was einerseits zu einer größeren Akzeptanz bei den Grundeigentümern führt und andererseits aber auch die Investitions- und Betriebskosten entsprechend minimiert.

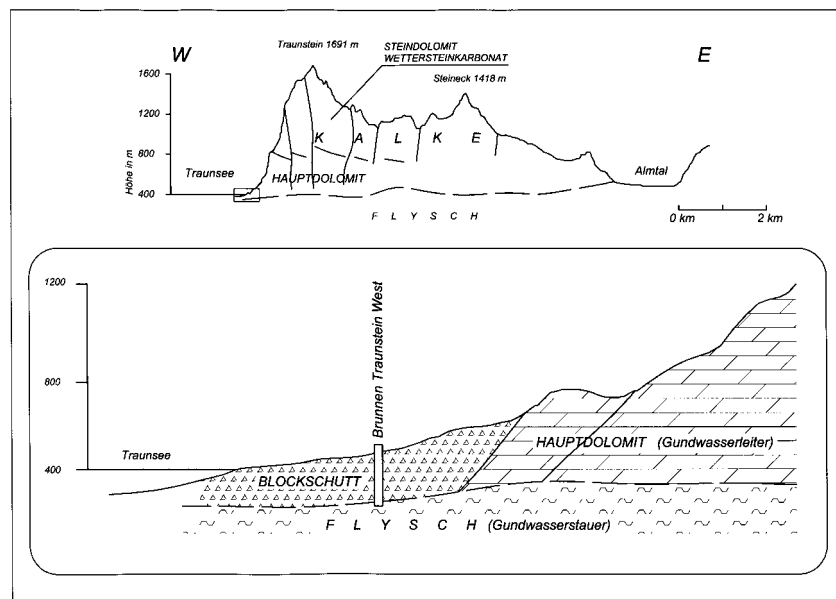
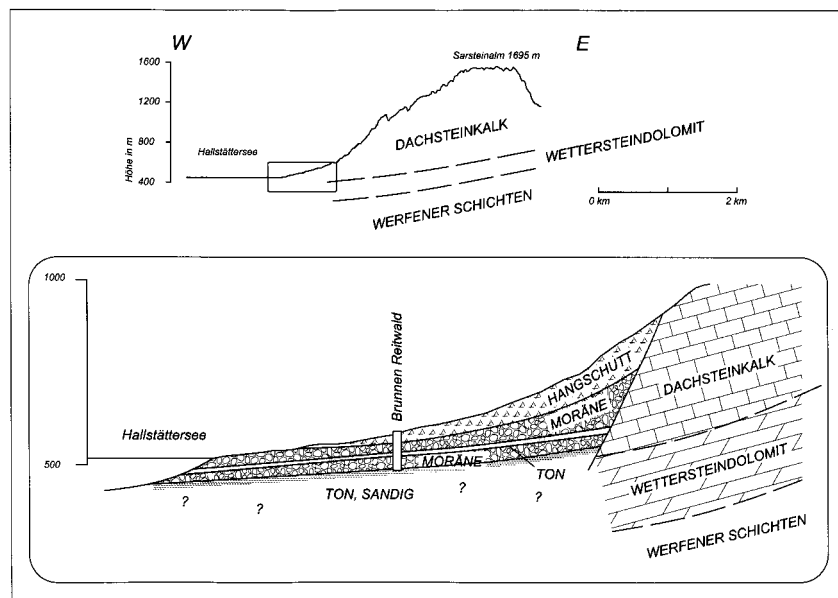


Abb. 1: Geologische Situation des Brunnen Traunstein West

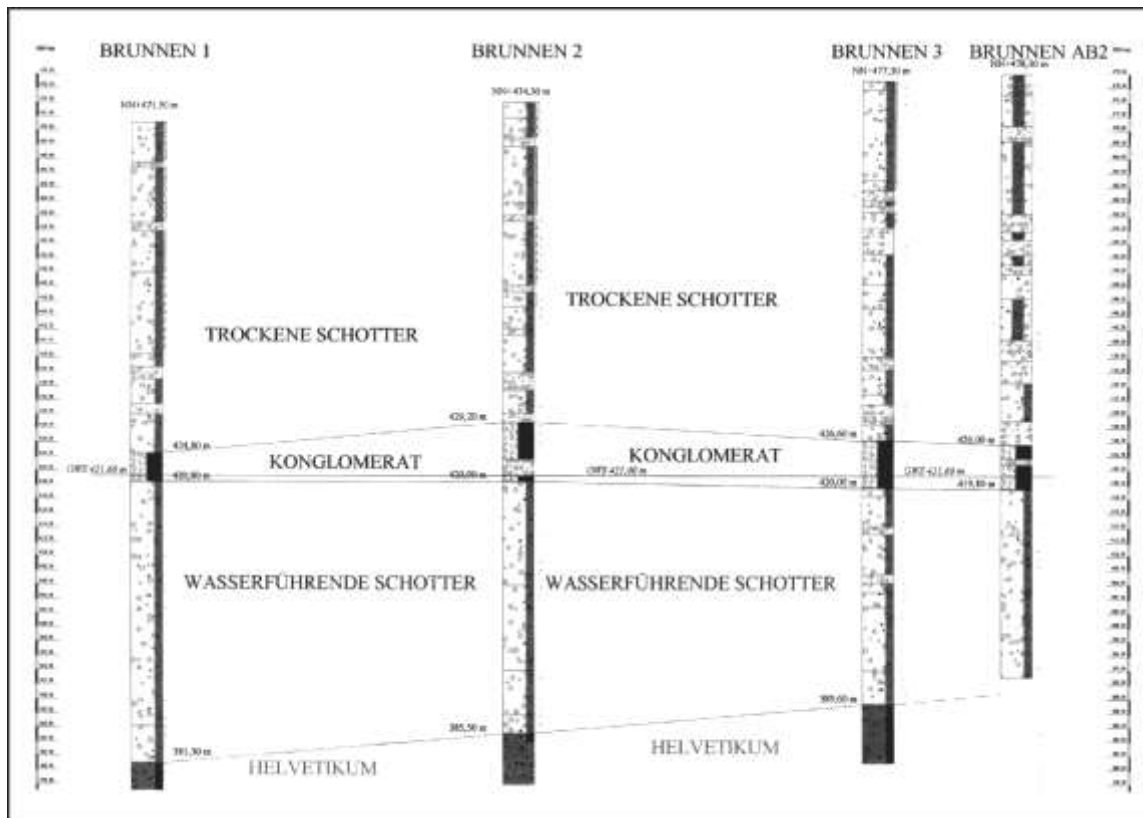
Aus diesem Grund wurden in letzter Zeit die Wasserversorgungssysteme einzelner Wassergenossenschaften und Gemeinden von Quellanutzung auf Tiefbrunnen umgerüstet bzw. durch die zusätzliche Erschließung von Grundwasser ein zweites Standbein geschaffen. Dies betrifft im Salzkammergut die Gemeinde Obertraun, die WG Hornquelle in Gosau, die WG Reithwald in Bad Goisern sowie ansatzweise auch die WG Bad Goisern Ort. Im steirischen Salzkammergut ist zur Zeit die Gemeinde Tauplitz mit der völligen Umstellung ihrer Wasserversorgung von Quellwasser auf Tiefgrundwasser befasst.

Die Wasserversorgung der Stadt Gmunden erfolgt seit 1892 mit dem Wasserwerk Erzherzogin Marie Valerie (Wasserwerk Moosham) in Ermangelung ergiebiger Quellen aus dem Begleitstrom der Traun. Da die Wässer stark von der Wasserqualität des alimentierenden Traunsees beeinflusst werden, weisen sie jahreszeitlich schwankende aber insgesamt erhöhte Chloridwerte aus. Infolge des Siedlungsdrucks in Teilen des Wasserschutzgebietes und der zunehmenden Nutzung dieses Gebietes als Naherholungsraum waren die verantwortlichen Personen der Stadtgemeinde Gmunden seit längerem bestrebt, die Wasserversorgung durch ein zweites Standbein langfristig abzusichern. Dazu gab es einerseits die Möglichkeit einer überregionalen Versorgung aus dem Teuerwanger Forst durch das LWU bzw. den Versuch zu unternehmen, im Gemeindegebiet eine weitere Grundwassererschließung vorzunehmen. Infolge der zu erwartenden Schutzgebietsproblematik bot sich das Traunsteinmassiv für eine zukünftige Erschließung durch Brunnen an. Neben dem Vorteil einer Erschließung in einem bestehenden Naturschutzgebiet war zu erwarten, dass die verkarstungsfähigen Gesteine des Traunsteins analog zu anderen Karstgebieten wie etwa dem Hochschwabmassiv ein entsprechendes Grundwasserpotential aufweisen, was hier unter anderem durch die kaum vorhandenen Oberflächenabflüsse anzunehmen war.



**Abb. 2: Geologische Situation Brunnen Reithwald**

Zur Sicherung der zukünftigen Wasserversorgung für die Stadt Gmunden wurde 1996 mit einem komplexen Untersuchungsprogramm zur Bewertung der Grundwasserhältnisse an den Westabhängen des Traunsteins begonnen (Abb. 1). Detaillierte geologische und geophysikalische Untersuchungen des Schuttkörpers nördlich der „Weiß Ries“ ergaben günstige Bedingungen für die Situierung einer Grundwassergewinnungsanlage. Mittels refraktionsseismischer Messungen konnte eine im Grundwasserschwankungsbereich anstehende, den Aquifer nach oben abdichtende Konglomeratlage erfasst werden. Geoelektrische Tiefensondierungen ermöglichten den Nachweis eines mächtigen Schotterkörpers unterhalb dieser Konglomeratzwischenlage. Durch Temperaturmessungen im Traunsee in bestimmten Tiefenlagen wurden Zonen mit unterirdischen Grundwasserzutritten auskartiert. Im Herbst 1996 wurde eine erste 60 m tiefe Aufschlussbohrung (AB 1) östlich der Forststraße niedergebracht. Dadurch konnte der vermutete gut durchlässige Grundwasserleiter direkt nachgewiesen werden. Im Rahmen der Erkundung des Wassereinzugsgebietes fanden ergänzende Untersuchungen zur hydrochemischen und isotopischen Signatur der Wässer im Umfeld der Bohrung statt, um Aussagen über Alter und Mischungsverhältnisse des erschlossenen Grundwassers ableiten zu können. Die hydraulischen sowie chemisch bakteriologischen Tests, die an dieser Aufschlussbohrung durchgeführt wurden bescheinigten dem beprobten Aquifer die Eignung als Trinkwasser. Eine weitere, in unmittelbarer Nähe der geplanten Wasserversorgungsanlage abgeteufte Aufschlussbohrung (AB 2) erbrachte die Gewissheit über die Homogenität des für die Erschließung vorgesehenen Aquifers und die einheitliche Zusammensetzung des Schuttfächers (Abb. 3).



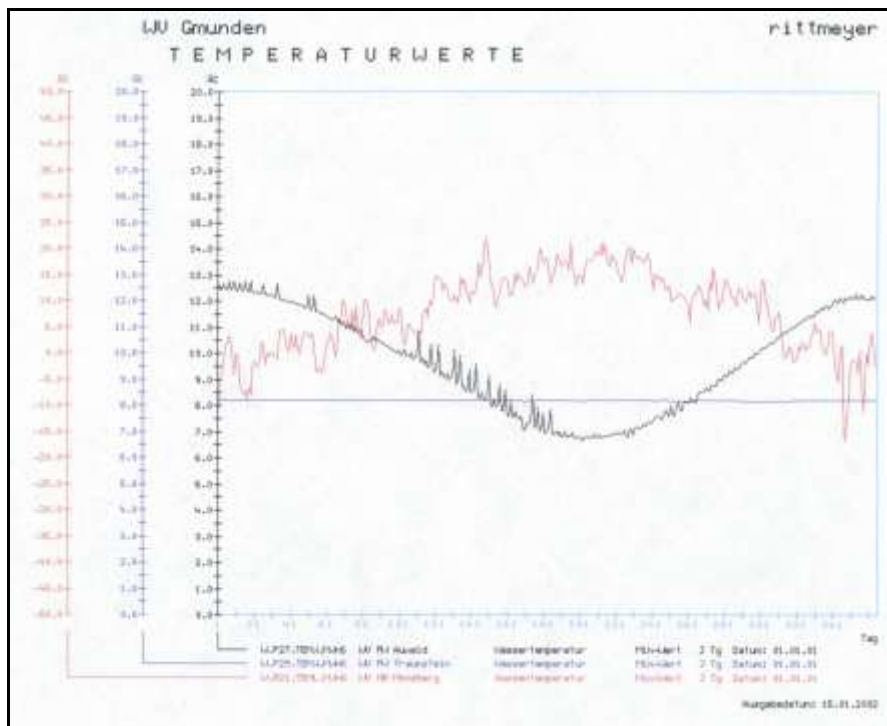
**Abb. 3: Gegenüberstellung der Bohrprofile Brunnen 1-3 und AB 2**

Mit der Errichtung der Förderbrunnen wurde im Winter 1997 begonnen. Nach Fertigstellung der Brunnenbauwerke wurden mehrere Pumpversuche gefahren, mittels derer die hydraulischen, hydrochemischen, hygienischen und isotopehydrologischen Eigenschaften des Aquifers und der geförderten Wässer erfasst wurden.

Beim Pumpversuch wurden die drei Brunnen gleichzeitig gefahren und die bewilligte maximale Fördermenge von 75 l/s über die gesamte Pumpversuchsdauer gehalten. Die in fünf Meter Entfernung situierte Aufschlussbohrung AB 2 wurde als Beobachtungspegel verwendet und zeigte keine Absenkung des Grundwasserspiegels während der vierwöchigen Pumpversuchsdauer. Ein Zusammenhang zwischen dem Seewasserspiegel und dem durch die Bohrungen genutzten Grundwasserkörper war hingegen festzustellen, wobei keine zeitliche Verzögerung zwischen dem Seewasserspiegel und der Spiegellage in der Aufschlussbohrung festzustellen war. Diese identischen hydrostatischen Druckverhältnisse lassen keinen generellen Rückschluss auf einen möglichen Stoffaustausch zu, da der Grundwasserkörper unterhalb des an allen Bohrungen angetroffenen Konglomerates als gespannter Wasserkörper vorliegt und auf Druckänderungen des hydraulischen Widerlagers (Wasserkörper Traunsee) reagiert.

Da aus den Pumpversuchsdaten infolge der nicht messbaren Absenkung keine Berechnung der Durchlässigkeit möglich war, mussten die Werte aus Kornverteilungskurven abgeleitet werden. Diese Berechnungen ergaben Werte um  $3,5 \times 10^{-3}$  m/sec. Legt man für eine grobe Abschätzung der Abstandsgeschwindigkeit einen hydraulischen Gradienten von 6 ‰ zu Grunde, errechnet sich nach Wyssing (1979) ein Betrag von etwa 12 m/d bei einer mittleren Porosität von 16 %. Dies ergibt für den hier vorgelagerten Schuttfächer eine Durchgangsgeschwindigkeit von ca. 20 Tagen bezogen auf freie Fließverhältnisse.

Die Leitfähigkeitswerte des Traunseewassers liegen deutlich über denen der Pumpwässer. Das Traunseewasser schwankt während der Pumpversuchsdauer zwischen 380 und 490  $\mu\text{s/cm}$  und das durch die Brunnen geförderte Karstwasser zwischen 255 und 285  $\mu\text{s/cm}$ . Diese signifikante Differenz in der Leitfähigkeit bestätigt eindrucksvoll, dass durch die Brunnenreihe „Traunstein West“ kein Uferfiltrat (Seewasser) sondern durch den vorgelagerten Schotterkörper natürlich gefiltertes Karstwasser aus dem Traunstein gefördert wird. Dies wird auch durch den Unterschied im Chloridgehalt (Traunsee 48-82 mg/l, Traunstein West 2-5 mg/l) der beiden Wässer erhärtet.



**Abb. 4: Temperaturverteilung Brunnen Auwald, Traunstein West und Moosberg**

Die Tritiumgehalte der Messreihen an der Aufschlussbohrung und an den entnommenen Brunnenwässern liegen im Bereich von 16-22 TU und zeigten im Untersuchungszeitraum zwischen 1996 und 1998 nur geringe Schwankungen. Unter Berücksichtigung der Tritiumgehalte rezenter Niederschlagswässer und einer sich ganzjährig vollziehenden Grundwasserneubildung ergibt sich aus den Werten eine mittlere Verweilzeit für das an den Westabhängen des Traunsteins erschlossene Grundwasser von ca. 5 Jahren (max. im Bereich von 5-10 Jahren). Die beprobten Grundwässer weisen eine vergleichbare isopenhydrologische Signatur auf, die sowohl über längere Zeiträume hinweg als auch unter erhöhten Förderbedingungen gleich bleibt. Die mittlere Höhenlage des Einzugsgebietes kann mit 650 bis 850 m ü. A. angegeben werden. Das Einzugsgebiet dieses Karstwässers liegt somit im Bereich des Traunsteinkomplexes. Ein Einfluss von infiltrierenden Oberflächenwässern aus dem Bereich des Schuttkegels ist nicht feststellbar.

Die sich aus den Isotopenuntersuchungen ableitenden anomalen Verhältnisse für Karstwässer werden durch die Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen, die kontinuierlich seit Inbetriebnahme des Wasserwerkes (Herbst 1998) aufgezeichnet werden, erhärtet. So zeigen die Temperatureaufzeichnungen seit Förderbeginn den konstanten Wert von 8,3 °C (Abb. 4). Die Schwankungsbreite in der Leitfähigkeit variiert ebenfalls um  $\pm 10 \mu\text{s}/\text{cm}$ . Dies deutet auf ein großes Grundwasserreservoir hin. Hydrogeologisch wird dieses Grundwasservorkommen im Norden durch die hier anstehende Flyschzone begrenzt. Im Osten stehen diese geringdurchlässigen Sedimente im Flyschfenster des Almtales um ca. 80 bis 100 m höher an, als im Bereich des Brunnenfeldes „Traunstein West“, wo dieser Grundwasserstauer ca. 35 bis 40 m unter dem Seespiegel erbohrt wurde. Dies bedeutet, dass das Einzugsgebiet des Grundwasserkörpers bis zum ca. 8,5 km entfernten Rand des Almtales reichen dürfte.

Ähnliche Verhältnisse wurden bei einer Grundwassererschließung für die WG Reithwald im Gemeindegebiet Bad Goisern angetroffen (Abb. 2). Hier wurde infolge einer bakteriologischen Kontamination der bisher genutzten Quellen sowie eines seichtliegenden Brunnens eine Ersatzwasserversorgung an den Westabhängen des Sarsteins errichtet. Durch eine Aufschlussbohrung in den dem Sarstein vorgelagerten Moränen und Hangschuttmassen wurde ein zweites, gespanntes Grundwasserstockwerk zwischen 75,5 und 93 m u. GOK erschlossen. Überlagert wird dieser Aquifer von einem ca. 8 m mächtigen, tonig schwach sandig ausgebildeten Zwischenstauer, der wiederum weitgehend von Moränenmaterial (1. Grundwasserstockwerk mit geringer Grundwassermächtigkeit) überlagert wird. Aufgrund der hydrogeologischen Verhältnisse und der bisher vorliegenden hydrochemischen Befunde ergibt sich eine zum Wasserwerk „Traunstein West“ vergleichbare hydraulische Situation. Der Zwischenstauer wird hier von einer 8 m mächtigen, gering durchlässigen, schwach sandigen Tonlage gebildet. Das hydraulische Widerlager bildet hier der Wasserkörper des Hallstätter Sees, dessen Wasserspiegelschwankungen während des Pumpversuches ohne zeitlichen Verzug den Wasserspiegel im Brunnen beeinflussen.

Im vorliegenden Fall stellen die verkarsteten Gesteine des Sarsteins das Einzugsgebiet dar. Die vorgelagerten glazialen Sedimente mit ihren auflagernden Hangschuttmassen hemmen auch hier den raschen Abfluss der Karstwässer gegen das Trauntal bzw. den Hallstättersee. Ein ähnlich umfangreiches hydrogeologisches und isopenhydrologisches Untersuchungsprogramm konnte bei dieser Wassererschließung nicht durchgeführt werden. Es ist aber auch hier eine weitgehende Temperaturkonstanz dieser Wässer zu erkennen, wobei allerdings längere Zeitreihen bis dato fehlen (Inbetriebnahme 2003).

### III. SCHLUSSFOLGERUNG

Eiszeitlich eingetieft und teilweise wiederverfüllte Tallandschaften bieten in kalkalpinen Gebieten die Möglichkeit zur Erschließung natürlich gefilterter Karstwässer aus vorgelagerten Porengrundwasserleitern, da durch die Tätigkeit der Gletscher einerseits oberflächennahe Karstsysteme frei gelegt wurden und andererseits in der Rückzugsphase einzelne Bereiche wieder mit glazifluvialen Ablagerungen unterschiedlicher Durchlässigkeit verfüllt wurden. Auch mächtige Hangschuttmassen können eine ähnliche Funktion ausüben. Durch diese räumliche Situation ergibt sich die Möglichkeit, dass Karstwässer in diese jungen Talfüllungen alimentieren. Bedingt durch den Wechsel von Karst- zu Porengrundwasserleiter reduziert sich die Fließgeschwindigkeit um ein vielfaches, wodurch die mitgeführte Schwebfracht teils durch die geringere Schleppkraft des Wassers bzw. durch die Adsorptionskräfte der Sedimentmatrix auf natürliche Weise entfernt wird. Da die Schwebstoffe auch das Trägermaterial für mögliche Keime darstellen, erfolgt durch die Retardation dieser Feinstteile eine entsprechende Entkeimung.

Durch diese natürliche Reinigung wird die Problematik, die bei einer direkten Nutzung von Karstwässern auftritt, wesentlich entschärft. Außerdem wird aufgrund der Speichereigenschaften des vorgelagerten Porengrundwasserleiters neben der verbesserten Qualität auch eine entsprechende Kontinuität in der Quantität gewährleistet, wodurch in weiterer Folge durch kleinräumigere Schutzgebiete und den Wegfall einer kostenintensiven Aufbereitung eine günstige Bewirtschaftung gegeben ist.

Betrachtet man die geologischen und glaziomorphologischen Eigenheiten der kalkalpinen Tallandschaften, so sind zahlreiche Möglichkeiten für die zukünftige Erschließung natürlich gefilterter Karstwässer vorhanden. Diese Maßnahmen erfordern jedoch eine entsprechende geologisch hydrologische Vorerkundung, wobei dadurch auch nicht auszuschließen ist, dass es mit zunehmender Entfernung vom unterlagernden verkarstungsfähigen „Grundgebirge“ zu einer Zunahme von Fehlbohrungen kommt. Aufschlussbohrungen sind daher in diesem Fall eine unabdingbare Voraussetzung.

### ANHANG 1: LITERATUR

- Fabiani E., Weissensteiner V., Wakonigg H. 1980. Grund- und Karstwasseruntersuchungen im Hochschwabgebiet. Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung Band 44, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesbaudirektion Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung, Graz.
- Herlicska H., Lorbeer G. E., Boroviczeny F., Lassing M., Mandl G. W., Pavuza R., Stummer G. 1994. Pilotprojekt „Karstwasser Dachstein“. Band 1: Karstwasserqualität. Umweltbundesamt Monographien **41**, Wien.
- Hölting B. 1992. Hydrogeologie. 441p., Ferdinand Enke, Stuttgart.
- Husen v. D. 1977: Zur Fazies und Stratigraphie der jungpleistozänen Ablagerungen im Trauntal. Jahrb. Geol. B.-A. **120**, 1-130, Wien.
- Schmid Ch., Weingraber F. 1999. Wasserwerk „Traunstein West“, Zusammenfassender Bericht über die geologischen, hydrogeologischen, hydrochemischen und isopenhydrologischen Untersuchungen zur endgültigen Festlegung der Schutzgebietsgrenzen. Unveröff. Bericht ZT-Büro Dr. Schmid, Gmunden.
- Schmid Ch., Gratzner R. 2002. Wasserrechtliches Einreichprojekt Bohrbrunnen 4a der WG Reithwald. Unveröff. Bericht ZT-Büro Dr. Schmid, Gmunden.
- Wyssing, L. 1979. Eine neue Formel zur Berechnung der Zuströmungsdauer (Laufzeit) des Grundwassers zu einem Grundwasserpumpwerk. *Eclogae geol. Helv.* **72**, 401-406, Basel.
- Zötl J. G. 1974. Karsthydrogeologie. 291p., Springer Wien – New York.