

## Tafel 8.4 Haupttypen der Grundwasserleiter

### Einleitung

Der Anteil des Grundwassers an der Wasserversorgung der Schweiz beträgt über 80 %, weshalb eine nachhaltige Nutzung und der Schutz dieser natürlichen Ressource eine vordringliche Aufgabe unserer Gesellschaft ist. Die Grundwasserzirkulation ist sehr komplex. Im Gegensatz zu den Oberflächengewässern entzieht sie sich der direkten Beobachtung; ausserdem hängt sie von oft nur ungenau bekannten geologischen Strukturen ab. Einmal versickert, zirkuliert das Wasser in den Hohlräumen des Untergrundes, bis es als Quell- oder Brunnenwasser wieder an der Erdoberfläche austritt. Als Grundwasserleiter oder Aquifer bezeichnet man eine geologische Formation, die in ihren Hohlräumen Wasser in nennenswerter Menge aufnehmen und weiterleiten kann. Diese können aus Kornzwischenräumen (Poren) des Untergrundes, aus offenen Klüften oder auch aus weiten Höhlen wie im Karstgestein bestehen. Wenn die Hohlräume mit Wasser gefüllt sind (gesättigte Zone), spricht man von einem Grundwasservorkommen. In Anbetracht der komplexen natürlichen Bedingungen stellt die vorliegende Atlas-Tafel nur einfache hydrogeologische Situationen dar. Auf diese Weise kann man die Grundwasserbewegungsarten in den Hauptspeichergesteinen der Schweiz nachvollziehen. Vereinfacht können in der Schweiz sechs Haupttypen von Aquifere unterschieden werden. Sie sind mit Fallbeispielen anhand von Profilen und Grafiken auf der Tafel vorgestellt und nachstehend erläutert. Für jeden Typ ist das Funktionsprinzip des Aquifers und seine räumliche Verbreitung angegeben. Die chemische Wasserzusammensetzung wird durch die Mineralsalze bestimmt, die vom Wasser in Berührung mit dem Aquifergestein gelöst worden sind. Die Darstellung zu den Geothermalsystemen ergänzt die Beispiele der Aquifere.

### Rezente Flussschotter

In den zahlreichen von quartären Gletschern geformten Tälern lagerten sich nach der Eisschmelze zuerst feinkörnige Seesedimente ab. Darüber bauten die Flüsse eine Schwemmebene aus Schottern und Grobsand auf. Am Beispiel aus dem Rheintal bei Oberriet [1] ist diese Abfolge von See- und Flussablagerungen sowie ihre Sedimentstruktur deutlich erkennbar. Niederterrassenschotter weisen vergleichbare hydrogeologische Verhältnisse auf. Durch ihre grosse Ergiebigkeit sind die Flussschotter sehr bedeutende Aquifere. Sie weisen eine beträchtliche Durchlässigkeit und Porosität (ungefähr  $150 \text{ l/m}^3$ ) auf. Da das Grundwasser hydraulisch mit dem Flussbett verbunden ist, kann ein Wasseraustausch erfolgen. Bei Niedrigwasser wird der Rhein vom Grundwasser gespiesen, während bei Hochwasser ein Teil des Rheinwassers in die Schotter versickert, was eine schnelle Erneuerung der Grundwasserreserven ermöglicht. Daneben verdünnt das mineralienarme Flusswasser das Grundwasser, welches in kalkreichen Einzugsgebieten natürlicherweise vom Typ Kalzium-Hydrogenkarbonat ist. Kommen hingegen Evaporitgesteine (z. B. Gips) vor, können im Wasser auch beachtliche Mengen an Sulfat gelöst sein. Weil der Grundwasserspiegel ohne abschirmende Deckschicht nur wenige Meter unter der Bodenoberfläche liegt, reagiert dieser Grundwassertyp äusserst empfindlich auf Verunreinigungen. Die Wasserqualität hängt deshalb eng mit der Landnutzung (Landwirtschaft, Industrie, Besiedlung) zusammen.

### Fluvioglaziale Ablagerungen

Die fluvioglazialen Ablagerungen gleichen den rezenten Flussschottern, doch sind sie seltener und befinden sich in ehemaligen, heute aufgefüllten periglazialen Tälern. Oft sind sie teilweise oder vollständig mit Moränen bedeckt, wie im Beispiel Urdorf [8]. Im Vergleich zu den rezenten Flussschottern enthalten fluvioglaziale Ablagerungen unregelmässigerer Kieskörper und haben eine sehr unterschiedliche hydrodynamische Funktionsweise. So erfolgt die Speisung des Aquifers einzig durch Niederschläge, von denen wegen der Moränenbedeckung nur ein kleiner Anteil in den

Untergrund versickern kann. Diese schwach durchlässige Moränenbedeckung erklärt auch den stellenweise leicht – oder gar, wie in der Fassung Badwies – artesisch gespannten Wasserspiegel. Das Wasser ist tief im Untergrund gespeichert und wird durch die Deckschichten gegen Oberflächenverunreinigungen geschützt. Seine Zusammensetzung entspricht grundsätzlich derjenigen in den Flussschottern. Bedingt durch die längere Verweilzeit im Aquifer weisen diese Wässer jedoch eine höhere Mineralisation auf.

## **Molassegesteine**

Die Molassegesteine, die den Untergrund des Mittellandes bilden (s. Tafel 8.2), weisen eine wechselhafte Zusammensetzung auf, die von Tonen und Mergeln über Sandsteine bis zu Konglomeraten reicht. Nur die beiden letztgenannten Sedimenttypen können ausreichend Wasser für eine Quellbildung aufnehmen. Das Wasser bewegt sich in der Molasse entlang von Klüften und Schichtgrenzen. Durch die Oberflächenverwitterung wurde der Kalkzement der Sandsteine bis in eine Tiefe von ungefähr zehn Metern aufgelöst. Dadurch entstanden bedeutende Poren-Hohlräume im Gestein, die die Grundwasserspeicherung begünstigen. Das Beispiel von Lenzburg [5] zeigt, wie Niederschlagswasser in der Hügelkuppe versickert, seitlich abfließt und an der Grenzschicht zwischen dem Aquifer und den unterliegenden schwach durchlässigen, mergeligen Schichten als Quelle wieder hervortritt. Obwohl diese Quellen wenig ergiebig sind, treten sie zahlreich auf und bilden gesamthaft eine nicht zu vernachlässigende Wasserressource. Die Quellschüttung schwankt beachtlich, wenn das Wasser in Diskontinuitäten, wie z. B. Klüften, fließt. Sie ist hingegen ausgeglichener, wenn das Wasser aus den Sandsteinporen stammt, was auch eine gute mikrobiologische Wasserqualität bewirkt. Durch den Kalkzement der Sandsteine ist die chemische Wasserzusammensetzung vom Typ Kalzium-Magnesium-Hydrogenkarbonat.

## **Karbonatkarst-Gesteine**

Kalke und Dolomitgesteine bilden Aquifere von sehr unterschiedlicher Durchlässigkeit. Das Grundwasser bewegt sich sowohl in schmalen Klüften und Gesteinsporen als auch in Karstrinnen und Höhlen von beachtlichem Ausmass. Diese Karsthohlräume entstehen durch die karbonatlösende Wirkung der im Grundwasser enthaltenen Kohlensäure, die aus der Luft und vor allem aus dem Boden stammt. In den kleinen Hohlräumen ist die Durchlässigkeit gering, das gesamte gespeicherte Wasservolumen jedoch relativ gross. In den Karstgerinnen hingegen ist die Durchlässigkeit bei einem kleinen Speichervolumen sehr gross. So können ganze Bäche in einem Karstgebiet verschwinden, um nach einigen Kilometern unterirdischen Fliessens wieder hervorzutreten. Die Ergiebigkeit von Karstquellen variiert stark in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen. Bei Hochwasser sind Karstwässer wegen ihrer teils sehr grossen Fliessgeschwindigkeiten oft von mässiger bakteriologischer Qualität, so dass sie für den Konsum zuerst desinfiziert oder sogar filtriert werden müssen. In einigen Gegenden des Juras und der Alpen bilden sie jedoch unersetzbare Wasserressourcen. Durch Tiefbohrungen erschlossenes Grundwasser ist im allgemeinen von besserer Qualität. Aufgrund der kurzen Kontaktzeit mit dem Gestein sind Karstwässer nur schwach mit Kalzium- und Hydrogenkarbonat-Ionen mineralisiert. Ein in der Schweiz gut bekanntes Beispiel einer Karstquelle ist dasjenige der Areuse-Quelle bei St. Sulpice [12]. Diese Quelle wird aus den bis zu 350 m mächtigen gut durchlässigen Malmkalen gespeisen, während die darunterliegenden Mergel des Argovien eine Stauschicht bilden. Es ist denn auch die Form dieser Stauschicht und nicht die Geländeform, die das Einzugsgebiet abgrenzt.

## **Evaporitkarst-Gesteine**

Unter der Bezeichnung «Evaporite» verstehen wir hier im wesentlichen Gesteine, die Sulfate enthalten. In der Schweiz kommen diese Gesteine meist in Trias-Formationen vor. Während sie im Jura im Kern von Antiklinalen anzutreffen sind, bilden sie in den Alpen vorwiegend wenig mächtige, schichtförmige Aquiferkörper, die sich über mehrere Dutzend Kilometer erstrecken

können. Gips, ein Kalziumsulfat, wird nahe der Erdoberfläche von Wasser noch leichter gelöst als Kalk. Dadurch entsteht ein von offenen Klüften durchzogenes Gestein mit hoher Durchlässigkeit. In einer Tiefe von zehn bis einigen hundert Metern geht Gips jedoch in den undurchlässigen Anhydrit über. Die chemische Wasserzusammensetzung wird durch hohe Kalziumsulfatgehalte dominiert, die dem Wasser einen Mineralwassercharakter verleihen. Dies ist auch der Fall im Beispiel der Quelle von Les Bouillets bei Nendaz [4], die mit einer modernen und leistungsfähigen Stollenfassung im Liegenden der Aquifergipsschicht erschlossen ist. Unlösliche Rückstände in den Klüften bewirken eine ausreichende Filtration und damit eine gute mikrobiologische Wasserqualität.

## **Kristalline Silikatgesteine**

Die Tektonik ist der entscheidende Faktor bei der Wasserbewegung in kristallinen Massiven. Weil die verschiedenen Silikatgesteine (z.B. Granit, Gneis, Serpentin) weder porös noch wasserlöslich sind, verleihen vor allem die Diskontinuitäten (Brüche, Klüfte, Verschiebungen) diesen Massiven eine sehr heterogene und schwache Kluftdurchlässigkeit. Eine erhöhte Durchlässigkeit des Aquifers findet sich in einer oberflächennahen Schicht von einigen Dutzend Metern Mächtigkeit, die durch zahlreiche offene Klüfte geprägt ist. Letztere sind durch eine nacheiszeitliche Entlastung der Talflanken und durch Verwitterung entstanden und begünstigen die Wasserzirkulation. Eine solche relativ stark durchlässige Zone wurde beim Vortrieb der Tunnelumfahrung von Locarno zwischen Mappo und Morettina angetroffen [11]. Mit zunehmender Tiefe und grösserer Überdeckung werden die Wassereinträge geringer, da sie nur noch durch wenige mit der Oberfläche kommunizierende Klüfte gespeist werden. Aufgrund der geringen Löslichkeit der Gesteine bleibt die Mineralisation des Wassers recht schwach. Insbesondere die Hydrogenkarbonatgehalte sind gering, was leicht saure Wässer zur Folge hat. Manchmal enthält das Wasser auch Sulfat, das aus der Oxydation des häufig vorkommenden Minerals Pyrit stammt. An einigen Wasseraustritten im Tunnel Mappo – Morettina wurden bis zu 300 mg/l Sulfat gemessen. Aquifere dieses Typs kommen in den kristallinen Gebieten des Aar- und Gotthardmassivs vor, aber auch in den Walliser, Tessiner und Bündner Alpen. Die zahlreich auftretenden Quellen sind jedoch meist nicht sehr ergiebig.

## **Geothermalsysteme**

Obwohl sie keinen eigentlichen Aquifertyp darstellen, wurden die Geothermalsysteme in Anbetracht des grossen Interesses an Thermalquellen in dieser Darstellung berücksichtigt; sie sind durch erhöhte Wassertemperaturen an der Austrittsstelle charakterisiert. Es handelt sich entweder um Tiefengrundwässer oder um Sickerwässer, die in ausreichend grosse Tiefen gelangten, wo sie geothermisch erwärmt wurden. Das Beispiel von Lavey-les-Bains gehört zur Kategorie der Sickerwässer [2]. Im vorliegenden Fall haben die Untersuchungen gezeigt, dass das Wasser bis in eine Tiefe von rund 2000 m unter Meeresniveau vordringt, wo es eine Temperatur von rund 100 °C erreicht. Der Aufstieg des Wassers an die Erdoberfläche muss – damit es nicht zu sehr abgekühlt wird – schnell erfolgen. Dies geschieht meist entlang von tektonischen Störungszonen. Durch die besonderen thermodynamischen Verhältnisse sind Thermalwässer in der Regel stark mineralisiert. In der Schweiz werden 15 Thermalzonen unterschieden, in denen die Wassertemperatur 25 °C übersteigt [13].

## **Verdankungen**

Die Realisierung dieser Tafel war dank verschiedener Gutachten möglich, die von den jeweiligen Autoren zur Verfügung gestellt wurden. Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft unterstützte die vorliegende Arbeit.

## Literatur

- [1] **Amt für Wasser- und Energiewirtschaft des Kantons St. Gallen (1984):** Grundwasseruntersuchungen in der Rheinebene zwischen Rüthi und Au. Hydrogeologischer Bericht über das Untersuchungsprogramm vom Winter 1983/84 und dessen Ergebnisse. Büro für Technische Geologie AG, Bericht Nr. 3348, Sargans.
- [2] **Bianchetti, G. (1994):** Hydrogéologie et géothermie de la région de Lavey-les-Bains (Vallée du Rhône, Suisse). Bulletin du Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, No.13, Neuchâtel.
- [3] **Doerfliger, N., Zwahlen, F. (1995):** EPIK: A New Method for the Delineation of Protection Areas in Karstic Environment. Introduction of Symposium on Karst Waters and Environmental Impacts, 10–20 September 1995, Antalya, Turkey.
- [4] **GEOLEP (1994):** Commune de Nendaz – Recaptage de la source des Bouillets, rapport hydrogéologique préliminaire. Etude No. 8716, Laboratoire de géologie (GEOLEP), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne.
- [5] **Hesske, S. (1995):** Typologie des eaux souterraines de la Molasse entre Chambéry et Linz (France, Suisse, Allemagne, Autriche). Thèse de doctorat No. 1417, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne.
- [6] **Jäckli, H. (1966):** Geologischer Atlas der Schweiz, Erläuterungen zum Blatt 1090, Wohlen. Hrsg. Schweizerische Geologische Kommission, Bern.
- [7] **Jäckli, H. (1967):** Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:500 000. In: Atlas der Schweiz: Tafel 16, Eidg. Landestopographie, Wabern–Bern.
- [8] **Kempf, Th. et. al. (1986):** Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich (Erläuterungen zur Grundwasserkarte 1:25 000). Hrsg. Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, gemeinsam mit der Schweizerischen Geotechnischen Kommission, Bern.
- [9] **Mandia, Y. (1991):** Typologie des aquifères évaporitiques du Trias dans le bassin lémanique du Rhône (Alpes occidentales). Thèse de doctorat No. 948, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne.
- [10] **Schweizerische Geologische Kommission (Hrsg.) (1980):** Geologische Karte der Schweiz, 1:500 000, 2. Ausgabe, Wabern–Bern.
- [11] **Studio di geologia Dr. A. Baumer (1991):** Idrogeologia, Petrografia, Geomeccanica, Interpretazione dei dati. Rapporti preliminari 2–1991 e 3–1991, Ascona.
- [12] **Tripet, J.-P. (1972):** Etude hydrogéologique du bassin de la source de l'Areuse. Thèse de doctorat, Université de Neuchâtel, Neuchâtel.
- [13] **Vuataz, F.-D. (1983):** Hydrology, Geochemistry and Geothermal Aspects of the Thermal Water from Switzerland and Adjacent Alpine Regions. Journal of Volcanology and Geothermal Research 19:73–97, Amsterdam.
- [14] **Vuataz, F.-D. et. al. (1993):** Programme Géothermoval: Résultats d'une prospection des ressources géothermiques du Valais, Suisse. Bulletin du Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel, No. 12:1–37, Neuchâtel.
- [15] **Wildberger, A. (1990):** Karstgebiete in der Schweiz. Unveröffentlichter Bericht mit Karte der Arbeitsgruppe «Karst und Schutzzonen», Geotechnisches Büro Dr. von Moos AG, Zürich.