

Bauen über Grundwasserträgern – im Speziellen nukleare Anlagen

forumvera

| | | | VERANTWORTUNG FÜR
DIE ENTSORGUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE

Inhalt

Vorwort	3
Was ist Grundwasser?	4
Wo findet man Grundwasser?	6
Wie wird Grundwasser genutzt?	8
Wie schützt man Grundwasser?	10
Wie baut man über Grundwasser?	12
Beispiele von Bauten über Grundwasserträgern	14
Oberflächenanlagen für geologische Tiefenlager	19
Rechtliche Grundlagen	20
Begriffserklärungen	24
Literatur-/Quellenverzeichnis	25

Vorwort



Ohne Wasser kein Leben. Mensch, Tiere und Pflanzen sind auf sauberes Wasser angewiesen. Die Schweizer verbrauchen im Vergleich zum europäischen Ausland eher viel Wasser. Seit 1981 sinkt der durchschnittliche Wasserverbrauch in der Schweiz. Damals verbrauchte die Schweizer Bevölkerung inklusive Industrie und produzierendes Gewerbe noch über 500 Liter Trinkwasser pro Einwohner und Tag. Seither sank der Wasserverbrauch auf 309 Liter pro Einwohner und Tag.

In der Kategorie «Haushalte und Kleingewerbe» betrug der Trinkwasserverbrauch 2013 noch 178 Liter pro Einwohner und Tag. Neue Produktionsverfahren und Strukturänderungen in der Industrie, wassersparende Haushaltgeräte, eine Verhaltensänderung der Bevölkerung, die vom Vollbad aufs Duschen umgestiegen ist und die Eindämmung der Wasserverluste aus dem Verteilnetz haben zu diesem Rückgang beigetragen.

Die Schweiz gilt als Wasserschloss Europas. Insgesamt «lagern» in ihr 262 Milliarden Kubikmeter Wasser, etwa ein Fünftel davon ist Grundwasser. Grundwasservorkommen finden sich fast überall. Pro Jahr wird in der Schweiz rund 1 Milliarde Kubikmeter Trinkwasser geför-

dert. Dies entspricht dem Inhalt des Bielersees und nur knapp 2% der jährlichen Niederschlagsmenge. 83% unseres Trinkwassers stammt aus Grundwasservorkommen. Die mächtigsten Grundwasserströme fließen in den Flusstälern des Mittellandes. Gleichzeitig ist das Mittelland die am dichtesten besiedelte Gegend unseres Landes. Konflikte zwischen der Bautätigkeit und dem Grundwasser sind unausweichlich. Dennoch ist es gelungen, den Schutz des Grundwassers sicherzustellen. Das hat einerseits damit zu tun, dass die entsprechende Gesetzgebung konsequent befolgt wird, andererseits gibt es ausreichende technisch ausgereifte Verfahren, wie über einem Grundwasservorkommen gebaut werden kann, ohne dieses zu gefährden. In besonderen Situationen ist es auch möglich, im Grundwasserstrom selber zu bauen.

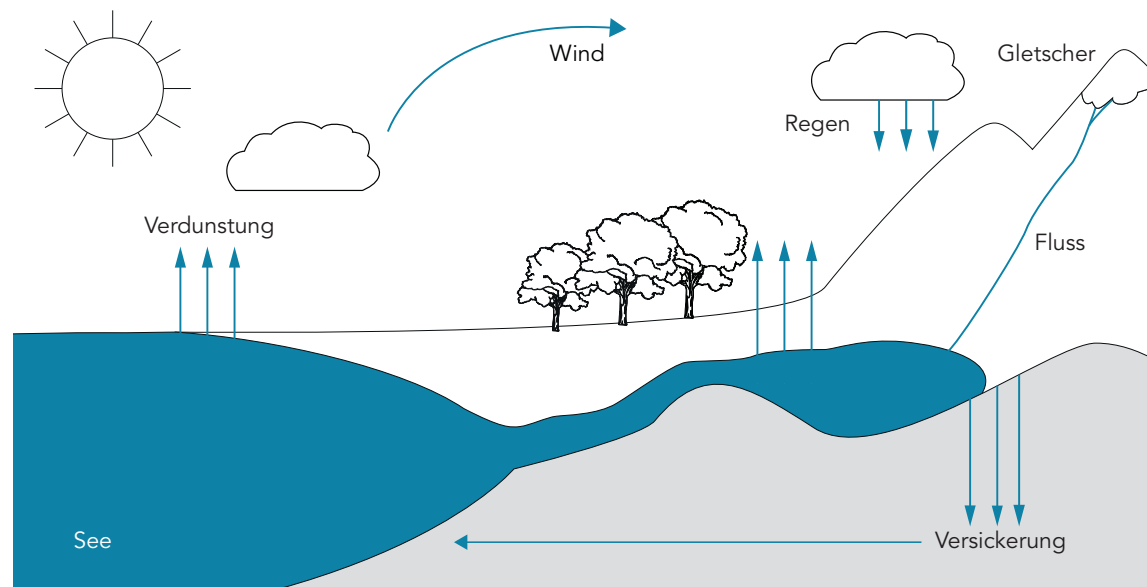
Die aktuell zur Diskussion stehenden möglichen zwei Standorte für Oberflächenanlagen geologischer Tiefenlager liegen zum Teil ganz, zum Teil am Rande über Grundwasservorkommen. Die Frage, was zum Schutz des Grundwassers vorzukehren ist, beschäftigt daher ganz besonders. Denn auch in dieser Situation gilt: Sicherheit geht vor.

Gabriela Winkler

Was ist Grundwasser?

Grundwasser fließt im oberen Teil der Erdkruste und stellt den unterirdischen und zu meist unsichtbaren Teil des Wasserkreislaufs dar. Gespeist wird es von versickerndem Regen- und Oberflächenwasser. In den Siedlungsgebieten fließt ein Grossteil der Niederschläge über die Kanalisation ab, statt

das Grundwasser zu speisen. Auch Drainagen, Bodenverdichtungen und Wasserentnahmen stören die natürliche Bildung von neuem Grundwasser. Grundwasser gibt es fast überall. Es kommt in den Poren der Gesteine vor, fließt durch Klüfte und Karsthohlräume.



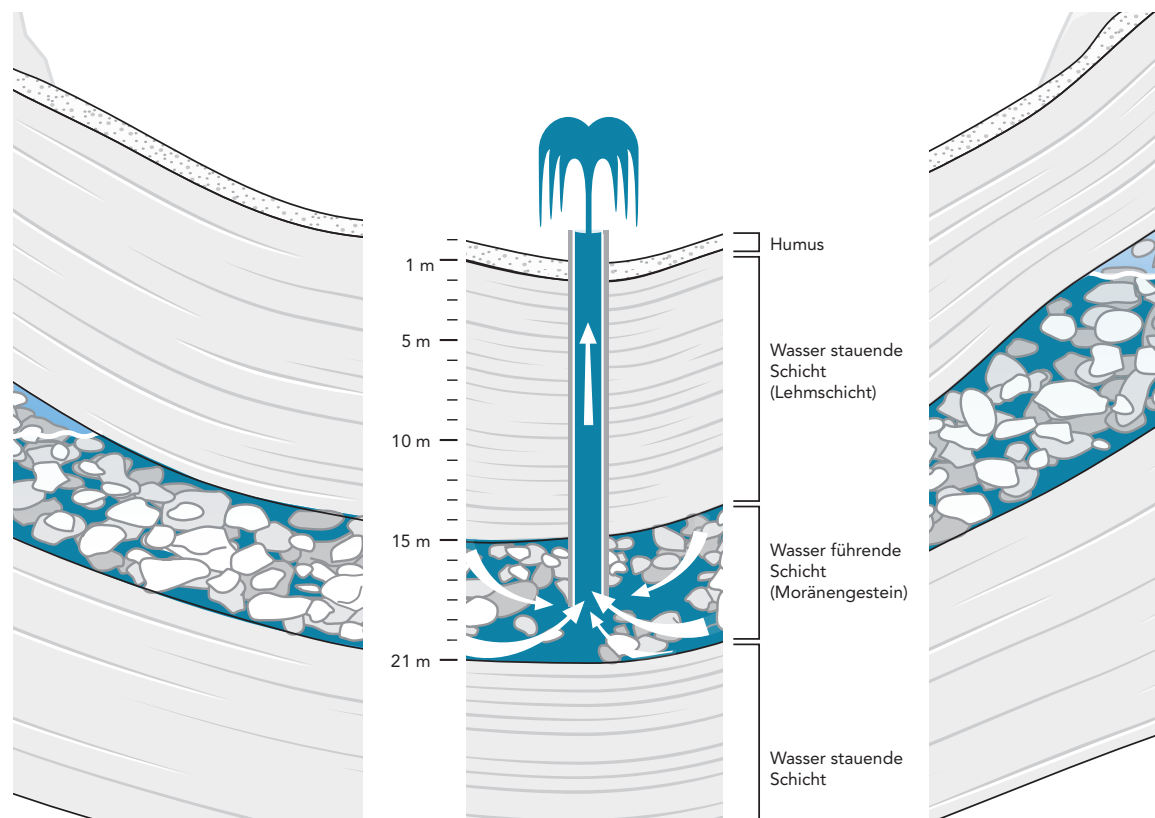
Wasserkreislauf: Zirkulation von Wasser durch Niederschlag, Verdunstung, Versickerung und Abfluss.

Tritt Grundwasser an die Oberfläche, spricht man von Quellwasser. Daneben kann Grundwasser auch in Grundwasseraufstößen, so genannten artesischen Quellen, an die Oberfläche treten. Eine artesische Quelle ist ein natürlicher Austritt aus einem gespannten Grundwasserleiter. Zu einer solchen Erscheinung kommt es, wenn die Unterseite der dichten Deckschicht gleichzeitig die obere Grenzfläche des Grundwasserkörpers ist, sodass der Druckspiegel des Grundwassers über der Basis der Grundwasserdeckschicht liegt. Artesische Quellen treten u.a. als Verwerfungsquellen auf. Künstlich angebohrte artesische Grundwasserlagen bezeichnet man als Artesische Brunnen. Seen und andere Stillgewässer, die aus artesischen Quellen gespeist sind, sind Formen der Druckwasserseen.

Die Bewegung des Grundwassers wird durch die Schwerkraft bestimmt und ist in der Regel langsamer als diejenige der Oberflächengewässer. Grundwasser hat eine nahezu konstante Temperatur und chemische Zusammensetzung.

Es wird bei der Versickerung durch den Boden, der den Schmutz wie ein Sieb zurückhält, physikalisch gereinigt. Humus und feine Tonplättchen in den obersten Bodenschichten können unerwünschte Stoffe chemisch an sich binden und reinigen damit das versickernde Regenwasser, das Schadstoffe aus der Luft in den Boden einträgt. Es ist meist hygienisch einwandfrei und kann direkt für die Trinkwasserversorgung verwendet werden – im Gegensatz zu Seewasser, welches in speziellen Anlagen aufbereitet werden muss.

Wasser im Erdinnern gibt es auch ausserhalb des Wasserkreislaufes. Es wurde vor sehr langer Zeit gebildet, z.B. in der letzten Eiszeit und liegt in so genannten Tiefenwasserstockwerken. Es kann sich auch um Wasser handeln, das zusammen mit dem Gestein versenkt wurde und lange nicht in Kontakt mit der Atmosphäre war.



Artesischer Brunnen

Illustration: Mineralquelle Bad Knutwil, www.knutwiler.ch

Wo findet man Grundwasser?

Grundwasser ist im Wesentlichen über Jahrtausende gespeichertes Regenwasser. Das Wasser versickert durch Boden, verwittertes und wasserdurchlässiges, poröses Gestein. In diesen 3 Bereichen, die man als mit Wasser ungesättigte Zone bezeichnet, finden sich in den Porenräumen Luft und Wasser. Die ungesättigte Zone reicht bis zur Grundwasseroberfläche.

Die Untergrenze des Grundwassers wird Grundwasserstauer genannt. Es handelt sich dabei um sehr dichtes, undurchlässiges Gestein. Das wasserhaltige Gestein darüber wird als Grundwasserleiter bezeichnet. In den Poren des Grundwasserleiters zirkuliert keine Luft mehr. Man nennt sie daher auch gesättigte Zone.

Grundsätzlich werden drei Typen von Grundwasserleitern unterschieden:

- Lockergesteins-Grundwasserleiter
- Kluft-Grundwasserleiter
- Karst-Grundwasserleiter

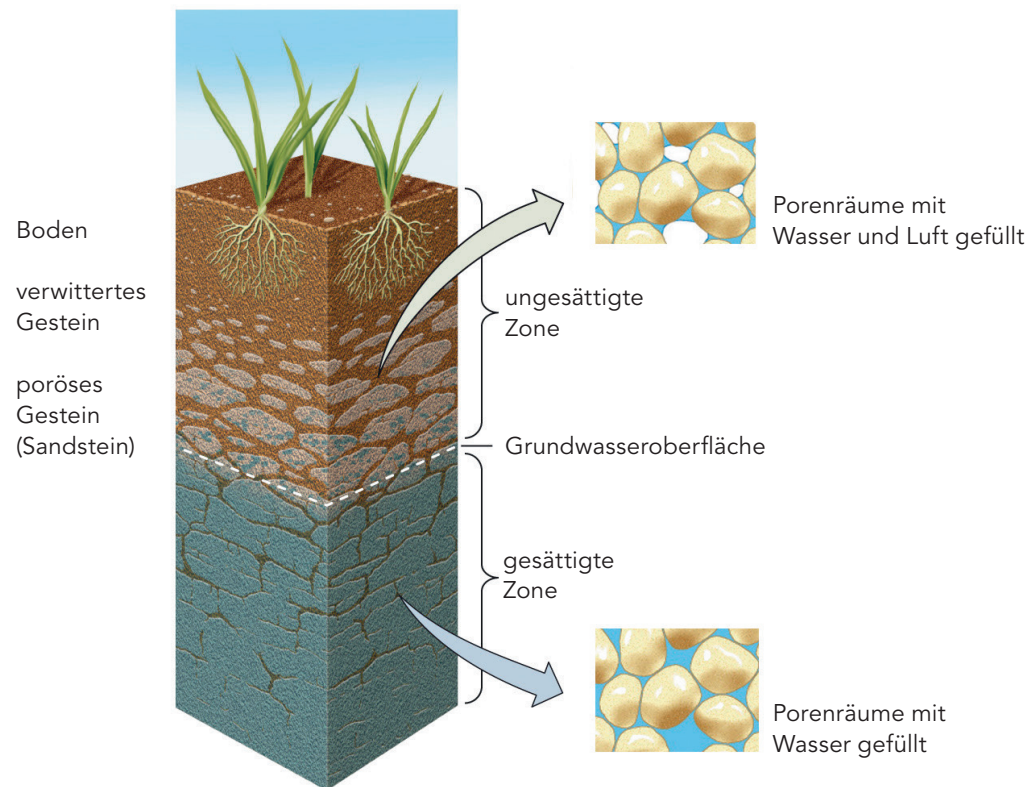
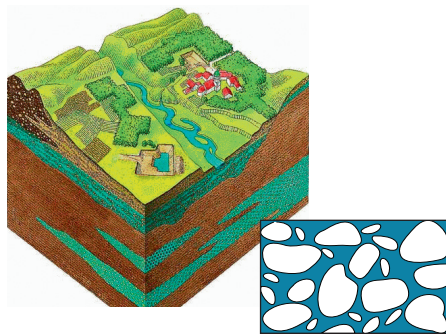
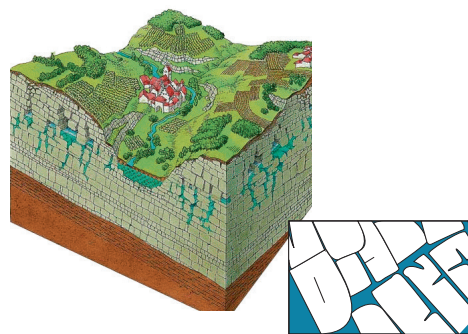


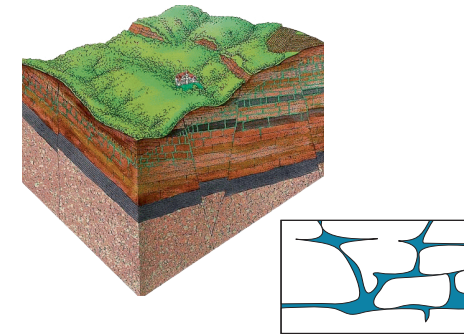
Illustration: Grotzinger/Jordan/Press/Siever, Allgemeine Geologie, 5. Aufl.
© Spektrum Akademischer Verlag GmbH 2008



Typisch für **Lockergesteins-Grundwasserleiter** (z.B. Schotter, Kies) ist ihre hohe Speicherkapazität. Das Grundwasser füllt den Porenraum zusammenhängend aus, daher spricht man auch von Porengrundwasserleiter. Gewisse Schadstoffe und Krankheitserreger können in diesem langsam fließenden Grundwasser innerhalb einer relativ kurzen Fließdistanz abgebaut bzw. zurückgehalten werden.



Karstgrundwasserleiter (z.B. Kalkstein) stellen einen Sonderfall der Kluftgrundwasserleiter dar. Im wasserlöslichen Festgestein bilden sich durch chemische Auflösung Hohlräume, die häufig durch Fugen unterschiedlicher Größe verbunden sind. In Karstgrundwasserleitern kann das Grundwasser sehr hohe Fließgeschwindigkeiten von bis zu mehreren 100 m/ Stunde erreichen.



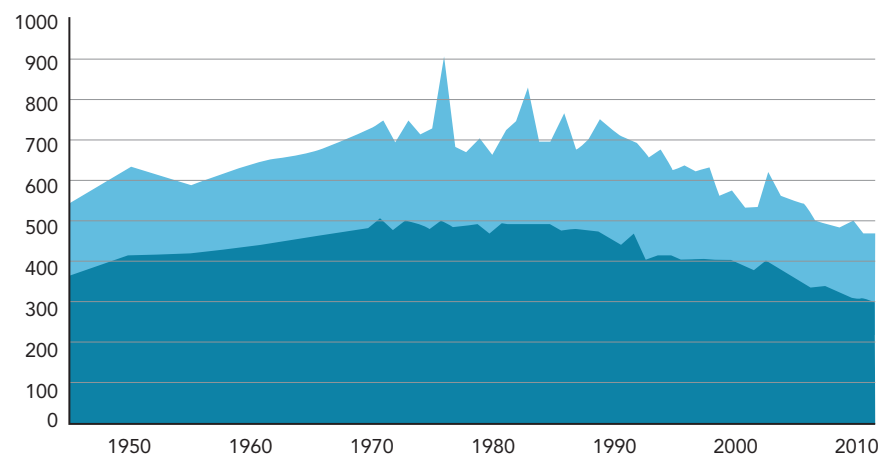
Im Fels bewegt sich das Grundwasser in **Gesteinsfugen und Klüften** (z.B. im Granit) verschiedener Kluftweiten. Diese Grundwasserleiter werden als Kluftgrundwasserleiter bezeichnet. Die nutzbare Wassermenge ist sehr unterschiedlich und die Filterwirkung sowie die Reaktionsflächen und -möglichkeiten von Kluftwasserleitern sind schlechter als in Porengrundwasserleitern.

Wie wird Grundwasser genutzt?

In der Schweiz wird aus Quellen, Grund- und Seewasser Trinkwasser gewonnen. In einem rund 59'000 km langen, fein verzweigten Rohrnetzsystem im Untergrund wird das Trinkwasser zu den einzelnen Abnehmern geleitet. Die ergiebigen Lockergesteinsschichten aus Kies und Sand umfassen zwar nur 6% der Landesfläche, liefern – gemessen an der Fördermenge der öffentlichen Wasserwerke – aber 36% des inländischen Wasserbedarfs.

Die jährlich geförderte Trinkwassermenge der Schweiz entspricht nur knapp 2% der jährlichen Niederschlagsmenge. Rund 40% des Trinkwassers stammen aus Quellen, weitere 40% aus Grundwasserströmen und 20% aus Oberflächengewässern (vor allem Seen).

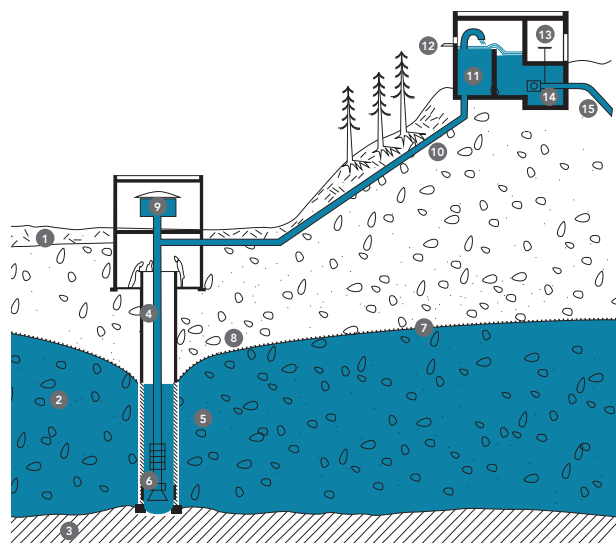
Seit Anfang der 1990er Jahre sinkt der Wasserverbrauch der Einwohner in der Schweiz. Der «Ausreisser» von 2003 ist auf den aussergewöhnlich heissen und langdauernden Sommer zurückzuführen.



Entwicklung des mittleren und des maximalen Wasserverbrauchs pro Einwohner und Tag. (Liter pro Tag und Person)

- maximaler Verbrauch
- mittlerer Verbrauch

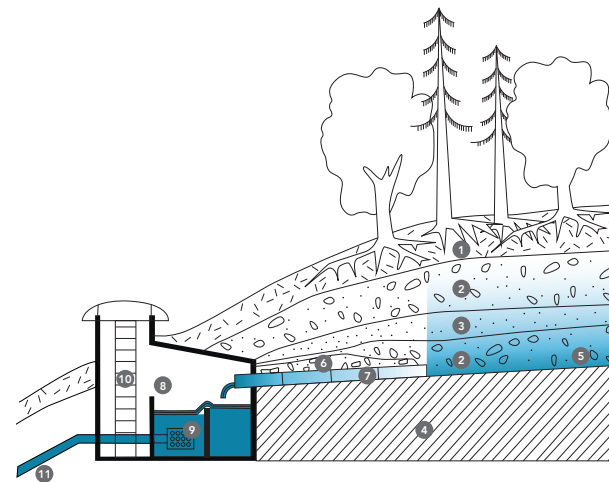
Illustration: nach SVGW / SSIGE / SSIGA



- 1 Humus
- 2 Kies und Sand
- 3 Lehm oder Fels
- 4 Brunnenschacht
- 5 Filterrohr
- 6 Pumpe
- 7 Grundwasserspiegel
- 8 Absenkungstrichter
- 9 Motor
- 10 Zuleitung zum Reservoir
- 11 Wasser-Reserve
- 12 Überlauf
- 13 Absperrorgan
- 14 Sieb (Auslauf)
- 15 Versorgungsnetz

Grundwasserfassung

Bei dieser Gewinnung von Grundwasser werden Brunnenschächte in die Grundwasserführende Schicht abgetäuft. In den Wänden des Brunnenschachtes sind in der Grundwasser führenden Schotter-schicht kleine Schlitze angebracht, damit das Wasser in den Schacht einfließen kann. Wenn nötig findet eine schonende Entkeimung unter Beimischung von Chlor oder Ozon statt. Das Trinkwasser kann nun ins Versorgungsnetz resp. zur Speicherung ins Reservoir gepumpt werden. Von dort gelangt es über das Verteilnetz in die Haushalte, Dienstleistungs-, Gewerbe- und Industriebetriebe.



- 1 Humus
- 2 Kies und Sand
- 3 Sand
- 4 Lehm oder Fels
- 5 Wasser
- 6 Steinschicht
- 7 Sicker-röhre
- 8 Brunnenstube
- 9 Sieb
- 10 Leiter
- 11 Zuleitung zum Reservoir

Quellfassung

Eine typische Quellfassung besteht fast immer aus einem Filterrohr mit Schlitzen oder Löchern, das in einer Sicker- bzw. Filterpackung aus sauberem Kies auf der wasserführenden Schicht verlegt wird. Diese verhindert, dass feine Sedimente aus dem Untergrund in das Fassungsrohr eindringen können. Damit behält das Quellwasser seine Reinheit.

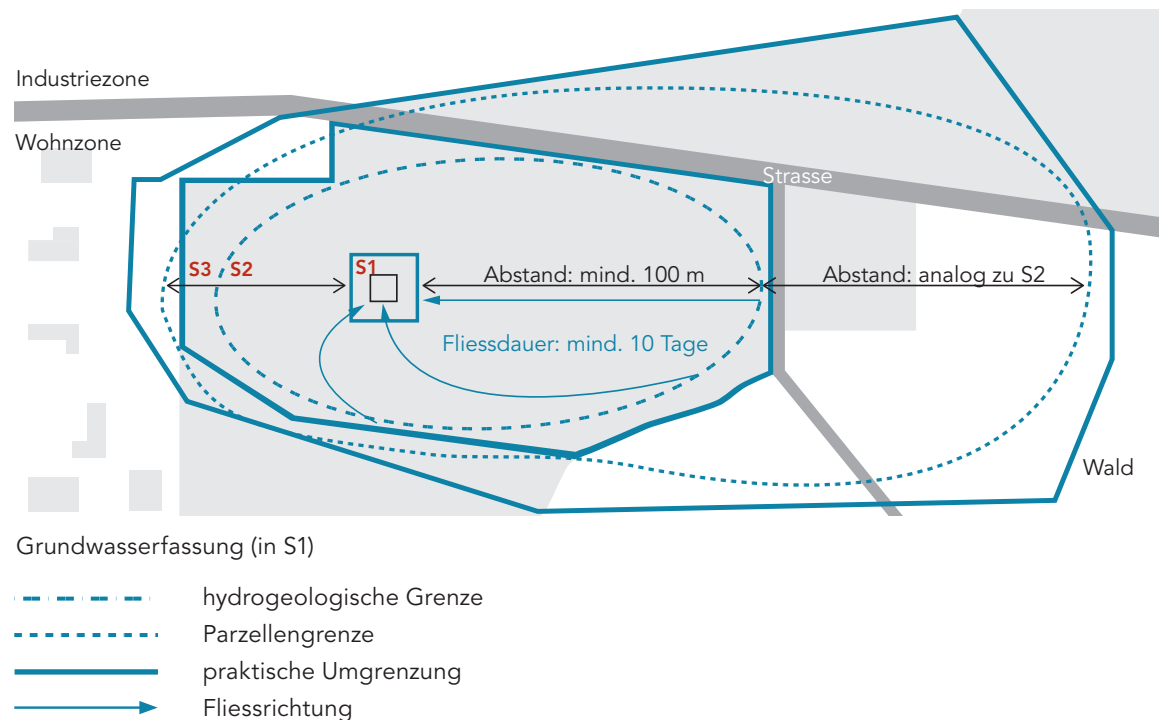
Illustrationen: nach SVGW / SSIGE / SSIGA

Wie schützt man Grundwasser?

Rund um Grundwasserfassungen zur Gewinnung von Trinkwasser sind die Tätigkeiten der Landwirtschaft wie des Baus stark eingeschränkt. Es gibt drei eigentliche Schutz-zonen.

Der «Fassungsbereich» **S1** umfasst die unmittelbare Umgebung einer Grundwasserfassung bzw. einer Anlage zur Grundwasseranreicherung. Im Umkreis von mindestens 10m um die Fassung und um die Fassungstränge sind nur Eingriffe und Tätigkeiten erlaubt, die der Trinkwasserversorgung dienen. Damit sollen Beschädigungen der Anlage oder direkte Verschmutzungen des gefassten Wassers verhindert werden. Landwirtschaftlich kann diese Schutzzone nur als Dauerwiese oder Wald genutzt werden. Es herrscht ein absolutes Verbot für die Verwendung von Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln. Auch dürfen keine Tiere in diesem Bereich weiden.

In der «engeren Schutzzone» **S2** ist es grundsätzlich verboten, Gülle auszubringen. Die Versickerung von Abwasser sowie



das Erstellen von Bauten und Anlagen sind ebenfalls nicht zulässig. Damit soll sichergestellt werden, dass keine krankheitserregenden Mikroorganismen ins Trinkwasser

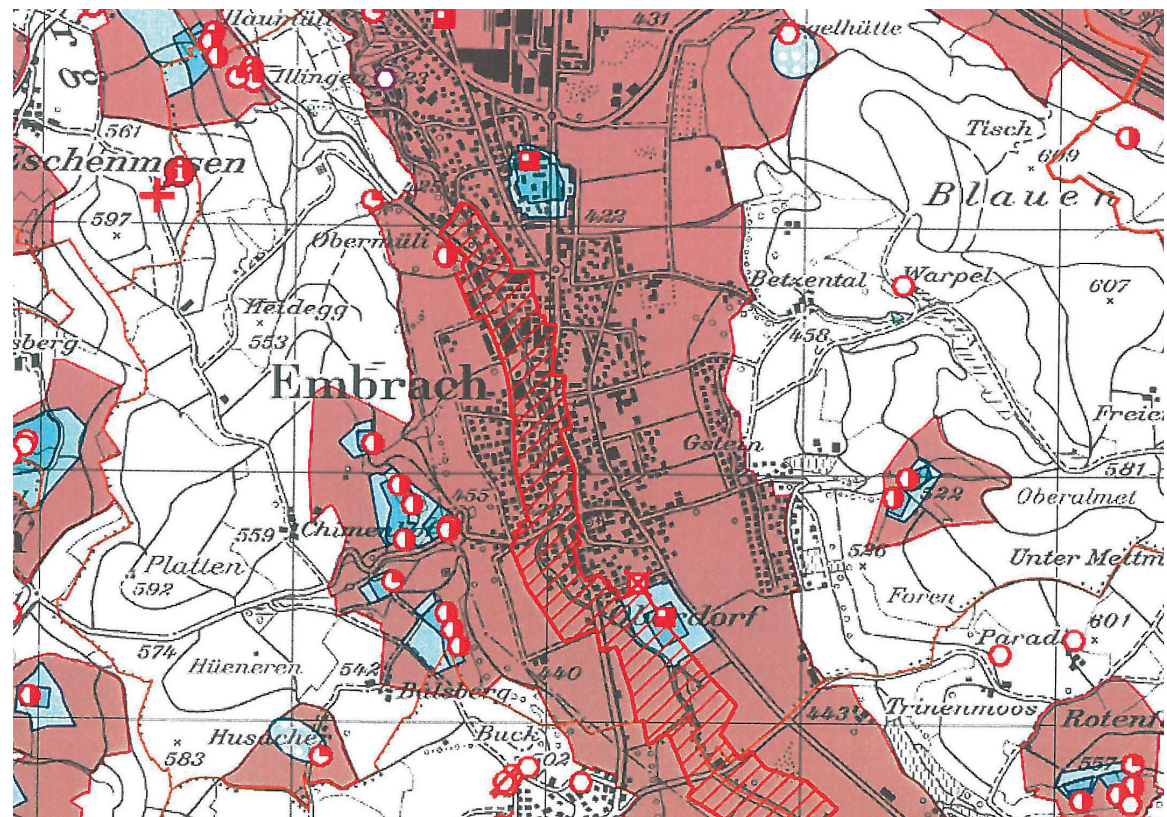
gelangen. In dieser Zone herrscht auch ein totales Bauverbot. Das Versickern jeglicher Abwässer ist untersagt.

Illustration: nach BAFU

Betriebe, die eine Gefahr für das Grundwasser darstellen (z.B. Tankstellen) dürfen nicht in der «weiteren Schutzzone» S3 stehen. Dies, um bei einem Unfall genügend Zeit und Raum zur Verfügung zu haben, eine Gefahr für das gefasste Trinkwasser abzuwehren. Auch in diesem Gebiet darf die schützende Deckschicht nicht wesentlich vermindert werden. Kiesabbau ist völlig ausgeschlossen. Der Gewässerschutzbereich Au umfasst die nutzbaren Grundwasservorkommen und die zu ihrem Schutz notwendigen Randgebiete. Im Gewässerschutzbereich Au muss eine mindestens 2m mächtige, natürlich gewachsene Materialschicht über dem Grundwasserspiegel erhalten bleiben.

Gewässerschutzkarte Embrach

- Grundwasserfassung 300 – 3000 l/min
- ⊠ aufgehobene Grundwasserfassung
- Quellfassung
- ◐ Quellfassung 0 – 30 l/min
- ◑ Quellfassung 30 – 300 l/min
- ⊘ unbenutzte Quellfassung
- Grundwasserschutz zonen (S2 u. S3)



- ▨ Gewässerschutzbereich A₀
- Gewässerschutzbereich A_u

Karte: Gis-Browser, Kanton Zürich

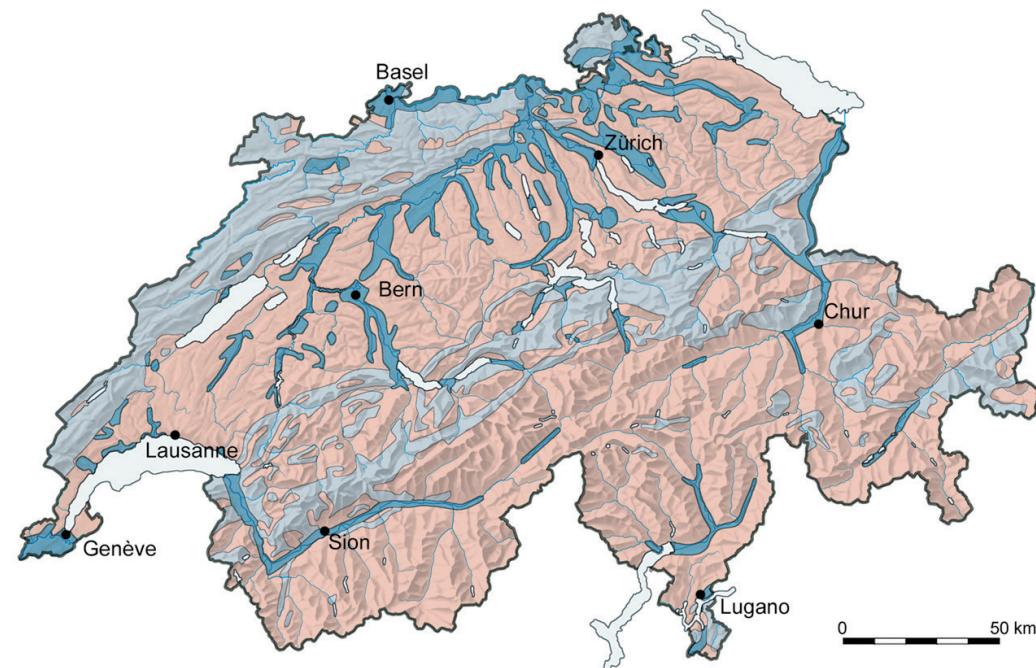
Wie baut man über Grundwasser?

Ein Blick auf die Schweizer Karte zeigt, dass zahlreiche Siedlungen, Betriebe und Infrastrukturanlagen oberhalb des Grundwassers liegen.

Sicherheitsvorkehrungen zum Schutze des Grundwassers sind am Gebäude selber, so wie auch während des Baus zu treffen.

Gefahr kann von auf der Baustelle gelagerten, wassergefährdenden Stoffen ausgehen. Dies bedingt umfangreiche Schutzmassnahmen, wie sie vom Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein im Normenwerk SIA 431 «Entwässerung von Baustellen» empfohlen werden.

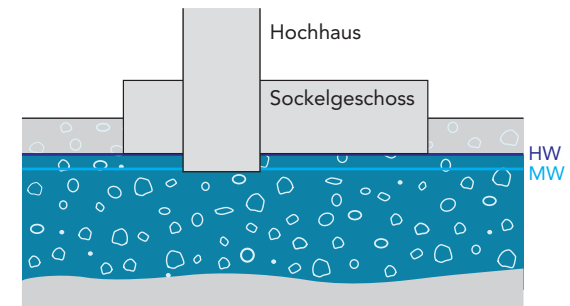
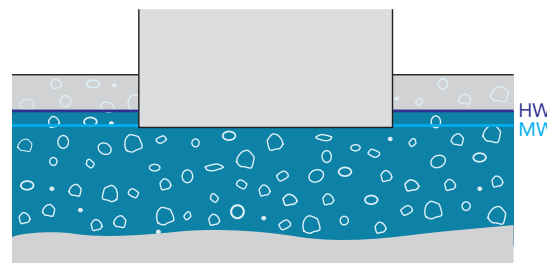
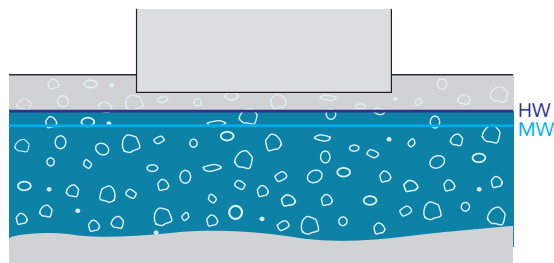
Die Installations- und Lagerplätze müssen mit dichtem Belag versehen sein. Das Abwasser muss zuerst gereinigt und kann erst dann abgeleitet werden. Dies bedingt eine umfassende Instruktion des Baustellenpersonals und eine Qualitätssicherung durch die Bauleitung, welche sicherzustellen hat, dass die Vorgaben und Massnahmen auch umgesetzt werden.



Hydrogeologische Karte der Schweiz

- Karst-Grundwasserleiter
- Kluft-Grundwasserleitung
- Lockergesteins-Grundwasserleiter

Illustration: Swisstopo



Vorschriften beim Bauen über Grundwasser

HW = höchster Grundwasserspiegel

MW = langjähriger Mittelwasserspiegel

Erlaubt

Bauen über Grundwasserträger ist üblich und erlaubt. Bedingung ist, dass eine mindestens 2m mächtige, natürlich gewachsene Materialschicht über dem Grundwasserspiegel erhalten bleibt. Eine wasserrechtliche Bewilligung ist nicht nötig.

Bewilligungspflichtig

Im Gewässerschutzbereich A_U erfordern Bauten in Grundwasserleitern, d.h. unterhalb des höchsten Grundwasserspiegels, eine kantonale Bewilligung. Einbauten in nutzbare Grundwasservorkommen dürfen Speichervolumen und Durchflusskapazität nicht wesentlich und dauernd verringern. Tiefbauten bis zum langjährigen Mittelwasserspiegel (MW) sind in der Regel mit wasserrechtlicher Bewilligung erlaubt.

Ausnahmebewilligungen

Sofern zur Fundation eines Hochhauses (Gebäudehöhe über 25m) erforderlich ist, kann bis zu 10% der durchschnittlichen Mächtigkeit des durchflossenen Grundwasserleiters unter dem mittleren Grundwasserspiegel entfernt werden.

Illustrationen: nach AWEL

Beispiele von Bauten über Grundwasserträgern

Bauen über Grundwasserträgern ist nichts Aussergewöhnliches. Es bestehen erprobte Technologien und Methoden, welche sicherstellen, dass es zu keinen Grundwasserverunreinigungen kommt. Dies gilt bspw. auch für grosse Infrastrukturanlagen der Bahn wie etwa die Durchmesserlinie oder die Unterfahrung der Limmat mit Bahnlinien in Zürich, beim Flughafen Zürich, aber auch für Nuklearanlagen wie das Zwischenlager für radioaktive Abfälle in Würenlingen (Zwilag) oder das Nasslager für abgebrannte Brennelemente beim Kernkraft Gösgen.

Zwilag Würenlingen

Abgebrannte Brennelemente werden zunächst bei den Kernkraftwerken in Abklingbecken gelagert, bis sie transportfähig sind. Danach werden sie, verpackt in riesige Stahlbehälter, in ein nationales Zwischenlager verbracht. Das ist nötig, weil die weitere Wärmeentwicklung immer noch sehr hoch ist. Erst nach ca. 40 Jahren im Zwischenlager ist die Wärmeabgabe so weit abgeklungen, dass die Brennelemente in ein geologisches Tiefenlager eingebracht werden können. In einer Referendumsabstimmung stimmten 1989 die Bürgerinnen und Bürger von Würenlingen dem Bau eines Zwischenlagers für radioaktive Abfälle auf ihrem Gemeindegebiet mit 707 Ja gegen 662 Nein zu.

Nach sieben Jahren lagen die Nuklearen Bau- und Betriebsbewilligungen des Bundes vor. Bundesrat und Parlament unterstrichen mit der sorgfältigen Behandlung der Gesuche, dass die Zwischenlagerung als

Bindeglied zwischen der Abfallentstehung und der geologischen Tiefenlagerung ein wichtiger Schritt in der nuklearen Entsorgungskette ist. Am 27. April 2000 fand die offizielle Einweihung statt. Die Lagerhalle für schwach- und mittelaktive Abfälle wurde in einer zweiten Bauetappe bis Ende 2003 errichtet. Sie dient vorerst als Lagergebäude für Ersatzteile und Betriebsmittel. Das Zwischenlager für radioaktive Abfälle im aargauischen Würenlingen steht über dem Grundwasserträger des Aaretals. Es beherbergt nicht nur Lagerräume für radioaktive Abfälle aller Kategorien, sondern auch eine Anlage zur Verbrennung radioaktiver Abfälle. Diese schwach- und mittelaktiven radioaktiven Abfälle werden nicht auf konventionelle Art verascht, sondern mit einem Plasma-brenner bei hohen Temperaturen bis zu 20'000°C thermisch zersetzt oder aufgeschmolzen. Die aufgeschmolzenen Abfälle werden unter der Beimischung von Glas in endlagerfähige Gebinde abgegossen.

Das Gefahrenpotential für Grundwasser umfasst ein weites Spektrum:

- Betriebsmittel für Plasma-Anlage
- Betriebsmittel für Konditionierungsanlage
- Konventionelle und radioaktive Abwässer und Rückstände aus dem Betrieb der Plasma-Anlage
- Konventionelle und radioaktive Abwässer und Rückstände aus dem Betrieb der Konditionierungsanlage
- Zur Verarbeitung angelieferte radioaktive Abfälle in flüssiger und fester Form
- Endkonditionierte Abfälle

Damit die Anlage bewilligt und gebaut werden konnte, waren umfangreiche Schutzmassnahmen für das Grundwasser nötig:

- Wasserdichter Belag auf den Umschlagplätze im Freien
- Oberflächenentwässerung mit Rückhaltesystem
- Doppelwandige Leitungen für radioaktiv belastetes Wasser im Freien
- Flüssigkeiten in Behältern
- Untergeschosse der Gebäude zur Aufnahme von Löschwasser
- Rissbeschränkung (SIA 162 bzw. 262) und rissüberbrückende Beschichtung
- Untergeschosse mit aussenliegender Dichtungsfolie (Grundwasserabdichtung)
- Schutz gegen eindringende Feuchtigkeit und austretende Flüssigkeiten
- Administrative Massnahmen, Qualitätssicherungssystem

Entscheidend war die konsequente Bauaufsicht und Qualitätskontrolle auf dem Bauplatz. Seit dem Betrieb des Zwiilag, wo Brennstäbe aus dem Kernkraftwerk Mühleberg umgepackt werden, wie dies auch in den Oberflächenanlagen für geologische Tiefenlager gemacht werden wird, sind keinerlei Vorfälle aufgetreten, welche eine Gefährdung des Grundwassers darstellen würden.

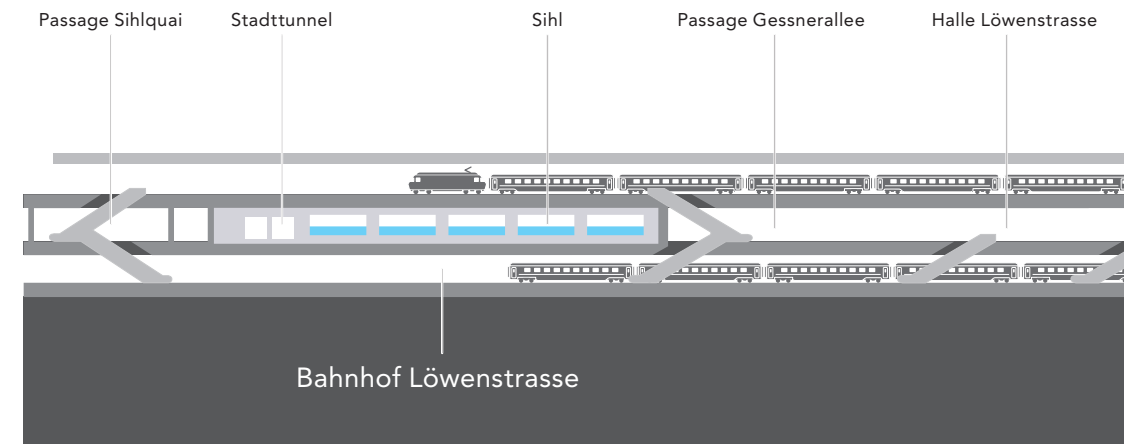


Bau des Zwischenlagers Würenlingen
Foto: ZWILAG

Der Wasserbahnhof

Der Zürcher Hauptbahnhof ist über Grundwasser gebaut. Bei der Errichtung des Durchgangsbahnhofs Museumsstrasse und beim Bau des Bahnhofs Löwenstrasse waren tiefe Eingriffe ins Grundwasser nötig. Vor knapp 30 Jahren musste die Limmat erstmals unterquert werden. Damals gefror man während der Bauzeit den Tunnels vom HB zum Bahnhof Stadelhofen den Grundwasserstrom unter dem Fluss ein.

Im 2014 dem Betrieb übergebenen Bahnhof Löwenstrasse in Zürich halten die Züge mehrere Meter tief im Grundwasserstrom der Sihl. Der Bahnhof steht quer zur Fliessrichtung und stellt damit einen eigentlichen Riegel dar. Um eine Stauung des Grundwassers zu vermeiden, waren aufwändige bauliche Massnahmen nötig, u.a. wird das Grundwasser in drei grossen Rohren durch die Bodenplatte des Bahnhofs geführt. Beim Bau des Bahnhofs Löwenstrasse musste der Grundwasserspiegel vorübergehend um mehrere Meter abgesenkt werden. Stefan Hotz, Mitautor der Publikation «Druchmesserlinie – Das Wunder von Zürich», beschreibt den Vorgang so: «Das geschah indem im oberirdischen Bahnhof im Abstand von 30 Metern mehrere Filterbrunnen 20 Meter in den Boden gebohrt wurden. Von deren Grund beförderten Pumpen das Wasser in zwei Becken, von denen eines neben der Sihlpost stand. Von da aus wurde es über Rohre mehrere Hundert Meter weit zu drei weiteren Versicherungen geleitet und dem Boden wieder zugeführt.»



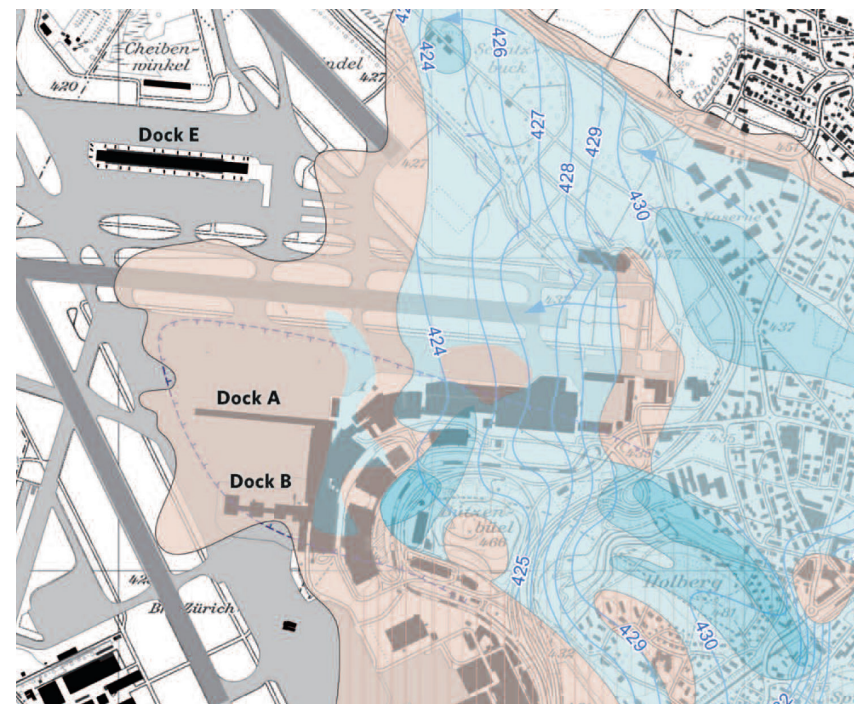
Die Sihl in einem Untergeschoss des Bahnhofs Löwenstrasse
Illustration: «Durchmesserlinie – Das Wunder von Zürich», ©SBB

Tanklager

Im Schweizer Erdreich befinden sich ungezählte Heizöl-, Diesel- und Benzintanks. Sie alle – in Industrie, Verkehrsbetrieben und Wohnhäusern – mussten bis zum 31. Dezember 2014 überprüft und gegebenenfalls mit einer Doppelwand ausgestattet werden. Allein die SBB haben 71 solcher Lager.

Auffällig in der Landschaft stehen die grossen überirdischen Tanklager. An der Bahnlinie Zürich-Schaffhausen in Rümlang finden sich auf dem Gebiet Zwüscheteich 25 riesige Tanks. Der grösste fasst 27 Millionen Liter. Die Tanks enthalten u.a. Kerosin. Mit zwei parallelen Rohrleitungen wird das Kerosin zur Betankung der Flugzeuge auf das Flughafenareal gepumpt. Dort sind die Pipelines mit den Tankanlagen an den Flugzeugstandplätzen über ein Rohrsystem verbunden. Die Docks A und B, wo die Flugzeuge betankt werden, liegt über weniger mächtigem Grundwasser im Grundwassergebiet Au.

Neue freistehende Lagerbehälter mit nicht sichtbarem Boden müssen gemäss Carburia-Richtlinien über einen Doppelboden verfügen, dessen Zwischenraum mit einem Leckanzeigesystem (Dichtheitsnachweis) überwacht wird. Der Dichtheitsnachweis erfolgt bei Stahldoppelböden und bei GFK-Doppelböden (glasfaserverstärkter Kunststoff) mit einem Manometer, welches das im Zwischenraum des Doppelbodens gezogene Stand-Vakuum anzeigt. Das Doppelbodensystem muss auf die Zusammensetzung der gelagerten Produkte abgestimmt sein.



Grundwasserkarte Flughafenareal

- geringe Grundwasser-Mächtigkeit
- mittlere Grundwasser-Mächtigkeit nachgewiesen
- grosse Grundwasser-Mächtigkeit nachgewiesen
- sehr grosse Grundwasser-Mächtigkeit nachgewiesen

Illustration: AWEL

Nasslager Gösgen

Das Kernkraftwerk Gösgen liegt am Aareufer und damit über und im Grundwasserstrom der Aare. Ganz im Grundwasser liegt das 2008 zum Betrieb freigegebene Nasslager für abgebrannte Brennelemente. Dessen Bau wurde notwendig, weil die Lagerkapazität im Kernkraftwerkgebäude zu knapp wurde. Für die Baubewilligung mussten geotechnische Gutachten und eine Umweltverträglichkeitsprüfung erstellt werden. Darin musste nachgewiesen werden, dass weder während der Bauphase noch während des Betriebs ein nennenswerter zusätzlicher Einfluss auf die Strömungsverhältnisse des Grundwassers entstehen würde. Die 10%-Regel bezüglich der Verringerung der Durchflusskapazität bei Einbauten unter den mittleren Grundwasser-Spiegel im Gewässerschutzbereich A_U konnte nachgewiesen werden. Damit konnte eine Ausnahmegenehmigung nach Anhang 4 Ziff. 211.2 der Gewässerschutzverordnung (GSchV) mit gewässerschutztechnischen Auflagen erteilt werden. Das Gebäude aus Stahlbeton ist 37 Meter lang, 17 Meter breit und 25 Meter hoch. Die Aussenstrukturen des Brennelementelagergebäudes sind mindestens 1,5 Meter dick. Damit ist es gegen aussergewöhnliche Ereignisse, wie Erdbeben, Hochwasser und Flugzeugabsturz geschützt. Die Brennelementeinlagerung erfolgt mittels Transportbehältern über das betriebsinterne Schienensystem. Das im Lagergebäude untergebrachte Becken kann im Endausbau bis zu 1008 Brennelemente aufnehmen. Das Becken erweitert die bestehende Lagerkapazität des Brennelementelagerbeckens im Reaktorgebäude, welches rund 600 Standplätze umfasst. Mitte Mai 2008 wurden die ersten Brennelemente im neuen Lagerbecken eingelagert.



Kernkraftwerk Gösgen

Foto: KKG

Oberflächenanlagen für geologische Tiefenlager

Ausschlaggebend für die Standortwahl eines geologischen Tiefenlagers ist die Geologie, also die höchstmögliche Sicherheit im Untergrund. Bei der Wahl der Standorte für die Oberflächenanlagen besteht hingegen planerischer Spielraum. Gemäss NTB 13-01 der Nagra enthalten die angelieferten radioaktiven Abfälle keine Flüssigkeiten. Sie sind zu jedem Zeitpunkt eingeschlossen und sicher verpackt.

Offen ist, ob die Transportbehälter mit den abgebrannten Brennelementen in der Oberflächenanlage nicht nur angeliefert und ausgepackt, sondern auch gereinigt werden. Dadurch ist mit geringen Mengen von radioaktiv belastetem Wasser zu rechnen, das in geschlossenen Kreisläufen gehalten werden muss. Auch die in der Oberflächenanlage anfallenden radioaktiven Betriebsabfälle sowie die Flüssigkeiten in der kontrollierten Zone enthalten keine relevanten Mengen an wassergefährdenden Flüssigkeiten.



Beispiel einer möglichen Oberflächenanlage:
Planungsstudie NAGRA, Oberflächenanlage Haberstal, Stadel (NL-6)
Visualisierung: maaars, Zürich

Rechtliche Grundlagen

Das Gewässerschutzrecht regelt radioaktive Stoffe nur bezüglich ihrer chemischen Eigenschaften, bezüglich radiologischer Eigenschaften gelten hingegen die Strahlenschutz- und die Kernenergiegesetzgebung. Kernanlagen sind bezüglich Grund- / Trinkwasserschutz und Umweltschutz wie andere Anlagen auch zu behandeln (Umweltverträglichkeitsprüfung UVP). Oberflächenanlagen geologischer Tiefenlager sind im Gewässerschutzbereich Au grundsätzlich bewilligungsfähig (evtl. mit entsprechenden Grundwasserschutz-Auflagen). Geologische Tiefenlager sind in Grundwasserschutz-zonen und -arealen nicht vorgesehen.

Gewässerschutzgesetz (GSchG)

Art. 1 Zweck

Dieses Gesetz bezweckt, die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen zu schützen. Es dient insbesondere:

- der Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen;
- der Sicherstellung und häuslicher Nutzung des Trink- und Brauchwassers;
- der Erhaltung natürlicher Lebensräume für die einheimische Tier- und Pflanzenwelt;
- der Erhaltung von Fischgewässern;
- der Erhaltung der Gewässer als Landschaftselemente
- der landwirtschaftlichen Bewässerung;
- der Benützung zur Erholung;
- der Sicherung der natürlichen Funktion des Wasserkreislaufs.

Art. 6 Grundsatz

- Es ist untersagt, Stoffe, die Wasser verunreinigen können, mittelbar oder unmittelbar in ein Gewässer einzubringen oder sie versickern zu lassen.
- Es ist auch untersagt, solche Stoffe ausserhalb eines Gewässers abzulagern oder auszubringen, sofern dadurch die konkrete Gefahr einer Verunreinigung des Wassers entsteht.

Der Gewässerschutz hat verschiedene Zwecke:

- Reinhaltung des Wassers als Trink- oder Brauchwasser;
- Schutz aquatischer (d.h. vom Wasser abhängiger) Ökosysteme als Teilaufgabe des Naturschutzes.

Art. 19 Gewässerschutzbereiche GSchG

- Die Kantone teilen ihr Gebiet nach der Gefährdung der ober- und der unterirdischen Gewässer in Gewässerschutzbereiche ein. Der Bundesrat erlässt die erforderlichen Vorschriften.
- In den besonders gefährdeten Bereichen bedürfen die Erstellung und die Änderung von Bauten und Anlagen sowie Grabungen, Erdbewegungen und ähnliche Arbeiten einer kantonalen Bewilligung, wenn sie die Gewässer gefährden können.

Gewässerschutzverordnung (GSchV)

Art. 32 Bewilligungen für Anlagen und Tätigkeiten in den besonders gefährdeten Bereichen

- In den besonders gefährdeten Bereichen (Art. 29) ist eine Bewilligung nach Art.19 Absatz 2 GSchG insbesondere erforderlich für:
 - Untertagebauten;
 - Anlagen, die Deckschichten oder Grundwasserstauer verletzen;
 - Grundwassernutzungen (einschliesslich Nutzungen zu Heiz- und Kühlzwecken);
 - dauernde Entwässerungen und Bewässerungen;
 - Freilegungen des Grundwasserspiegels;
 - Bohrungen;
 - Lageranlagen für flüssige Hofdünger;
 - Lageranlagen für wassergefährdende Flüssigkeiten, die in kleinen Mengen Wasser verunreinigen können, mit einem Nutzvolumen von mehr als 2000 l je Lagerbehälter;
 - Lageranlagen für wassergefährdende Flüssigkeiten in Grundwasserschutz-zonen und -arealen mit einem Nutzvolumen von mehr als 450 l;
 - Umschlagplätze für wassergefährdende Flüssigkeiten.
- Ist eine Bewilligung erforderlich, müssen die Gesuchsteller nachweisen, dass die Anforderungen zum Schutze der Gewässer erfüllt sind, und die dafür notwendigen Unterlagen (gegebenenfalls hydrogeologische Abklärungen) beibringen.
- Die Behörde erteilt eine Bewilligung, wenn mit Auflagen und Bedingungen ein ausreichender Schutz der Gewässer gewährleistet werden kann; sie legt dabei auch die Anforderungen an die Stilllegung der Anlagen fest.

Kernenergiegesetz (KEG)

Art. 1 Gegenstand und Zweck

Dieses Gesetz regelt die friedliche Nutzung der Kernenergie. Es bezweckt insbesondere den Schutz von Mensch und Umwelt vor ihren Gefahren.

Art. 2 Geltungsbereich

- 1 Dieses Gesetz gilt für:
 - a. nukleare Güter;
 - b. Kernanlagen;
 - c. radioaktive Abfälle:
 1. die in Kernanlagen anfallen, oder
 2. die nach Artikel 27 Absatz 1 des Strahlenschutzgesetzes vom 22. März 1991 (StSG) abgeliefert worden sind.
- 2 Der Bundesrat kann vom Geltungsbereich dieses Gesetzes ausnehmen:
 - a. nukleare Güter, die nicht der Nutzung der Kernenergie dienen;
 - b. Kernanlagen mit kleinen oder ungefährlichen Mengen von Kernmaterialien oder radioaktiven Abfällen;
 - c. nukleare Güter und radioaktive Abfälle mit geringer Strahlenwirkung.
- 3 Soweit dieses Gesetz nichts anderes bestimmt, gelten die Vorschriften des StSG.

Art. 12 Bewilligungspflicht

- 1 Wer eine Kernanlage bauen oder betreiben will, braucht eine Rahmenbewilligung des Bundesrates.
- 2 Auf die Erteilung einer Rahmenbewilligung besteht kein Rechtsanspruch.
- 3 Kernanlagen mit geringem Gefährdungspotenzial bedürfen keiner Rahmenbewilligung. Der Bundesrat bezeichnet diese Anlagen.

Art. 13 Voraussetzungen für die Erteilung der Rahmenbewilligung

- 1 Die Rahmenbewilligung kann erteilt werden, wenn:
 - a. der Schutz von Mensch und Umwelt sichergestellt werden kann;
 - b. keine anderen von der Bundesgesetzgebung vorgesehenen Gründe, namentlich des Umweltschutzes, des Natur- und Heimatschutzes und der Raumplanung, entgegenstehen;
 - c. ein Konzept für die Stilllegung oder für die Beobachtungsphase und den Verschluss der Anlage vorliegt;

- d. der Nachweis für die Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle erbracht ist;
 - e. die äussere Sicherheit der Schweiz nicht berührt wird;
 - f. keine völkerrechtlichen Verpflichtungen entgegenstehen;
 - g. bei geologischen Tiefenlagern zudem, wenn die Ergebnisse der erdwissenschaftlichen Untersuchungen die Eignung des Standortes bestätigen.
- 2 Die Rahmenbewilligung wird Aktiengesellschaften, Genossenschaften und juristischen Personen des öffentlichen Rechts erteilt. Eine ausländische Unternehmung muss eine im Handelsregister eingetragene Zweigniederlassung haben. Soweit keine internationalen Verpflichtungen entgegenstehen, kann der Bundesrat nach ausländischem Recht organisierten Unternehmen die Rahmenbewilligung verweigern, wenn der Staat, in dem das Unternehmen seinen Sitz hat, kein Gegenrecht gewährt.

Art. 14 Inhalt

Die Rahmenbewilligung legt fest:

- a. den Bewilligungsinhaber;
 - b. den Standort;
 - c. den Zweck der Anlage;
 - d. die Grundzüge des Projektes;
 - e. die maximal zulässige Strahlenexposition für Personen in der Umgebung der Anlage;
 - f. für geologische Tiefenlager zudem:
 1. Kriterien, bei deren Nichterfüllung ein vorgesehener Lagerbereich wegen fehlender Eignung ausgeschlossen wird,
 2. einen vorläufigen Schutzbereich.
- 2 Als Grundzüge des Projektes gelten die ungefähre Grösse und Lage der wichtigsten Bauten sowie insbesondere:
 - a. bei Kernreaktoren: das Reaktorsystem, die Leistungsklasse, das Hauptkühlsystem;
 - b. bei Lagern für Kernmaterialien oder radioaktive Abfälle: die Kategorien des Lagergutes und die maximale Lagerkapazität.
 - 3 Der Bundesrat setzt eine Frist für die Einreichung des Baugesuchs fest. Er kann diese Frist in begründeten Fällen verlängern.

Art. 15 Bewilligungspflicht

Wer eine Kernanlage errichten will, braucht eine Baubewilligung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Departement).

Art. 16 Voraussetzungen für die Erteilung der Baubewilligung

- 1 Die Baubewilligung wird erteilt, wenn:
 - a. der Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet wird;
 - b. das Projekt den Grundsätzen der nuklearen Sicherheit und Sicherung entspricht;
 - c. keine anderen von der Bundesgesetzgebung vorgesehenen Gründe, namentlich des Umweltschutzes, des Natur- und Heimatschutzes und der Raumplanung, entgegenstehen;
 - d. eine fachgerechte Projektausführung gewährleistet ist und ein Programm für qualitätssichernde Massnahmen für sämtliche Bautätigkeiten vorliegt;
 - e. ein Plan für die Stilllegung oder ein Projekt für die Beobachtungsphase und ein Plan für den Verschluss der Anlage vorliegt.

Art. 18 Projektausführung

Der Bewilligungsinhaber muss eine vollständige Dokumentation über die technischen Einrichtungen sowie die durchgeführten Kontrollen und Prüfungen anlegen.

Art. 30 Grundsätze

- 1 Mit radioaktiven Stoffen ist so umzugehen, dass möglichst wenig radioaktive Abfälle entstehen.
- 2 Die in der Schweiz anfallenden radioaktiven Abfälle müssen grundsätzlich im Inland entsorgt werden.
- 3 Radioaktive Abfälle müssen so entsorgt werden, dass der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist.

Art. 31 Pflicht zur Entsorgung

- 1 Wer eine Kernanlage betreibt oder stilllegt, ist verpflichtet, die aus der Anlage stammenden radioaktiven Abfälle auf eigene Kosten sicher zu entsorgen. Zur Entsorgungspflicht gehören auch die notwendigen Vorbereitungsarbeiten wie Forschung und erdwissenschaftliche Untersuchungen sowie die rechtzeitige Bereitstellung eines geologischen Tiefenlagers.
- 2 Die Entsorgungspflicht ist erfüllt, wenn:
 - a. die Abfälle in ein geologisches Tiefenlager verbracht worden sind und die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den allfälligen Verschluss sichergestellt sind;
 - b. die Abfälle in eine ausländische Entsorgungsanlage verbracht worden sind.

Art. 33 Entsorgung durch den Bund

- 1 Der Bund entsorgt:
 - a. die radioaktiven Abfälle, die nach Artikel 27 Absatz 1 des StSG1 abgeliefert worden sind;

- b. die übrigen radioaktiven Abfälle auf Kosten des Entsorgungsfonds, wenn der Entsorgungspflichtige seinen Pflichten nicht nachkommt.

- 2 Er kann zu diesem Zweck:

- a. sich an erdwissenschaftlichen Untersuchungen beteiligen oder selber solche durchführen;
 - b. sich am Bau und Betrieb einer Entsorgungsanlage beteiligen oder selber eine solche errichten und betreiben.

Art. 35 Bewilligungspflicht und -voraussetzungen

- 1 Erdwissenschaftliche Untersuchungen in möglichen Standortregionen, die dazu dienen, Kenntnisse im Hinblick auf ein geologisches Tiefenlager zu verschaffen, bedürfen einer Bewilligung des Departements.
- 2 Die Bewilligung wird erteilt, wenn:
 - a. die geplanten Untersuchungen geeignet sind, die erforderlichen Grundlagen für die spätere Beurteilung der Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers zu erbringen, ohne die Eignung eines Standortes zu beeinträchtigen;
 - b. keine anderen von der Bundesgesetzgebung vorgesehenen Gründe, namentlich des Umweltschutzes, des Natur- und Heimatschutzes und der Raumplanung, entgegenstehen.
- 3 Der Bundesrat kann Untersuchungen, die nur geringfügige Beeinträchtigungen zur Folge haben, von der Bewilligungspflicht nach diesem Gesetz ausnehmen.

Art. 36 Inhalt der Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen

- 1 Die Bewilligung legt fest:
 - a. die Grundzüge der Untersuchungen, insbesondere die ungefähre Lage und Ausdehnung von Bohrungen und Untertagebauten;
 - b. die Untersuchungen, die erst nach Freigabe durch die Aufsichtsbehörden ausgeführt werden dürfen;
 - c. den Umfang der erdwissenschaftlichen Dokumentation.

Art. 37 Betriebsbewilligung

- 1 Für geologische Tiefenlager wird die Betriebsbewilligung erteilt, wenn zusätzlich zu den Voraussetzungen nach Artikel 20 Absatz 1:
 - a. die während des Baus gewonnenen Erkenntnisse die Eignung des Standortes bestätigen;
 - b. die Rückholung der radioaktiven Abfälle bis zu einem allfälligen Verschluss ohne grossen Aufwand möglich ist.

- 2 Die Betriebsbewilligung legt den definitiven Schutzbereich des geologischen Tiefenlagers fest.
- 3 Sie legt Anforderungen, insbesondere Grenzwerte für die Aktivität der einzulagernden Abfälle fest. Für die Einlagerung der einzelnen Abfallsorten bedarf es der Freigabe durch die Aufsichtsbehörden.

Art. 38 Besondere Pflichten des Inhabers einer Betriebsbewilligung für ein geologisches Tiefenlager

- 1 Der Bundesrat kann den Inhaber einer Betriebsbewilligung für ein geologisches Tiefenlager verpflichten, die aus der Schweiz stammenden radioaktiven Abfälle zu kostendeckenden Entschädigungen zu übernehmen, sofern sie den in der Betriebsbewilligung umschriebenen Anforderungen entsprechen.
- 2 Der Bewilligungsinhaber muss eine vollständige Dokumentation über die bis zum Abschluss der Beobachtungsphase gewonnenen und für die Sicherheit wesentlichen Erkenntnisse, die Pläne des geologischen Tiefenlagers und das Inventar der radioaktiven Abfälle führen.
- 3 Solange das geologische Tiefenlager der Kernenergiegesetzgebung untersteht, darf sich die Betreibergesellschaft nur mit Zustimmung des Departements auflösen.

Art. 39 Beobachtungsphase und Verschluss

- 1 Der Eigentümer des geologischen Tiefenlagers muss ein aktualisiertes Projekt für die Beobachtungsphase und ein Projekt für den allfälligen Verschluss vorlegen, wenn:
 - a. die Einlagerung der radioaktiven Abfälle abgeschlossen ist;
 - b. die Betriebsbewilligung entzogen wurde oder nach Artikel 68 Absatz 1 Buchstaben a oder b erloschen ist und das Departement die Vorlage eines Projektes anordnet.
- 2 Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase die Verschlussarbeiten an, wenn der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist.
- 3 Nach ordnungsgemäsem Verschluss kann der Bundesrat eine weitere, befristete Überwachung anordnen.
- 4 Nach ordnungsgemäsem Verschluss oder nach Ablauf der Überwachungsfrist stellt der Bundesrat fest, dass das Lager nicht mehr der Kernenergiegesetzgebung untersteht. Der Bund kann weiter gehende Massnahmen nach diesem Zeitpunkt, insbesondere eine Umweltüberwachung, durchführen.

Art. 40 Schutz des geologischen Tiefenlagers

- 1 Der Schutzbereich ist der Raum im Untergrund, in dem Eingriffe die Sicherheit des Lagers beeinträchtigen könnten. Der Bundesrat legt die Kriterien für den Schutzbereich fest.

- 2 Wer Tiefbohrungen, Stollenbauten, Sprengungen und andere Vorhaben, durch die ein Schutzbereich berührt wird, durchführen will, braucht eine Bewilligung der vom Bundesrat bezeichneten Behörde.
- 3 Die vom Bundesrat bezeichnete Behörde meldet nach Erteilung der Rahmenbewilligung den vorläufigen, nach Erteilung der Betriebsbewilligung den definitiven Schutzbereich beim Grundbuchamt zur Anmerkung im Grundbuch an. Die Kantone nehmen die vom Schutzbereich betroffenen Grundstücke, die nicht im Grundbuch aufgenommen sind, in das Grundbuch auf. Grundstücke, über die keine anerkannte Vermessung besteht, müssen hierfür vermessen werden (Erstvermessung oder Erneuerung der Vermessung). Der Bundesrat regelt die Einzelheiten.
- 4 Die Kantone sorgen dafür, dass der Schutzbereich im Richt- und im Nutzungsplan eingetragen wird.
- 5 Wird das Lager nicht gebaut oder nicht in Betrieb genommen, hebt die vom Bundesrat bezeichnete Behörde den vorläufigen Schutzbereich auf und ersucht das Grundbuchamt, die Anmerkung zu löschen. Die Kantone sorgen dafür, dass der Richt- und der Nutzungsplan angepasst werden.
- 6 Der Bundesrat sorgt dafür, dass die Informationen über das Lager, die eingelagerten Abfälle und den Schutzbereich aufbewahrt werden und die Kenntnisse darüber erhalten bleiben. Er kann entsprechende Daten anderen Staaten oder internationalen Organisationen mitteilen.
- 7 Der Bundesrat schreibt die dauerhafte Markierung des Lagers vor.

Art. 49 Allgemeines

- 1 Das Verfahren für die Baubewilligung von Kernanlagen und die Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen richtet sich nach diesem Gesetz und subsidiär nach dem VwVG1 und dem Bundesgesetz vom 20. Juni 19302 über die Enteignung (EntG).
- 2 Mit der Bewilligung werden sämtliche nach Bundesrecht notwendigen Bewilligungen erteilt.
- 3 Kantonale Bewilligungen und Pläne sind nicht erforderlich. Das kantonale Recht ist zu berücksichtigen, soweit es das Projekt nicht unverhältnismässig einschränkt.
- 4 Bevor das Departement die Bewilligung erteilt, hört es den Standortkanton an. Lehnt dieser das Gesuch ab und erteilt das Departement die Bewilligung dennoch, so ist der Kanton zur Beschwerde berechtigt.
- 5 Zur Kernanlage gehören auch die mit dem Bau und dem Betrieb zusammenhängenden Erschliessungsanlagen und Installationsplätze. Zu den erdwissenschaftlichen Untersuchungen und zum geologischen Tiefenlager gehören zusätzlich die Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Ausbruch-, Aushub- oder Abbruchmaterial, die in einem engen räumlichen und funktionalen Zusammenhang mit dem Projekt stehen.

Begriffsklärungen

Aquifer	wasserführender Grundwasserleiter
Artesischer Quelle	ein natürlicher Austritt aus einem gespannten Grundwasserleiter
Drainage	Fassung von oberflächennahem Grundwasser, das zielgerichtet in Kanälen abgeleitet wird, um Vernässungen zu vermeiden
Gewässerschutzbereich A ₀	zum Schutz der Wasserqualität oberirdischer Gewässer, wenn dies zur Gewährleistung einer besonderen Nutzung eines Gewässers erforderlich ist (Art. 29 GSchV)
Grundwasserleiter	Gesteinskörper mit Hohlräumen, der zur Leitung von Grundwasser geeignet ist
Grundwasser	das im Erdinnern befindliche Wasser. Nach DIN Norm 4049 ist die Definition: «Grundwasser ist unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung fast ausschliesslich von der Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird.»
Grundwasserstauer	wasserundurchlässige Gesteinsschicht wie z.B. Lehm
Grundwasseraufstoss	natürlicher Austritt von Grundwasser
Mikroorganismen	Kleinstlebewesen
Quelle	natürlicher Austritt von Grundwasser an die Oberfläche (§4 Wasserwirtschaftsgesetz).

Literatur- / Quellenverzeichnis

AWEL: *Bauvorhaben in Grundwasserleitern und Grundwasserschutzzonen*. 2003.

Bundesamt für Umwelt BAFU: *Management des Grundwassers in der Schweiz*. Bern, 2010.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL: *Wegleitung Grundwasserschutz*. Vollzug Umwelt. Bern, 2004.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL: *Grundwasser – ein Schatz auf Reisen* (anlässlich des UNO-Jahres des Wassers). 2003.

Carbura-Richtlinien, Teil 1 – Gewässerschutz. Zürich, 2009.

Flughafen Zürich: *Gewässerschutz*. Zürich, 2011.

Matthess G., Ubell Karoly: *Allgemeine Hydrogeologie, Grundwasserhaushalt*. 2003.

Nagra: *Technischer Bericht 13-01, Standortunabhängige Betrachtungen zur Sicherheit und zum Schutz des Grundwassers*. Wettingen, 2013.

Press F., Siever R.: *Allgemeine Geologie*. 5. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 2008.

SBB CFF FFS: *Durchmesserlinie – Das Wunder von Zürich*. 2014.

Wegmüller M.C.: *Einflüsse des Bergwassers auf Tiefbau/Tunnelbau*. 2001.

Zeller W.: *Das Schutzgebiet Mettmenhaslisee, Niederhasli*. Zürich, 1968.

<http://www.bafu.admin.ch/index.html?lang=de>

<http://www.bfe.admin.ch/>

<http://www.knutwiler.ch/>

<http://www.nagra.ch/de>

<http://www.svgw.ch/>

<http://www.trinkwasser.ch/>

<http://maps.zh.ch/>

Impressum

Herausgeber
Forum VERA, Bern

Redaktion
Gabriela Winkler, dipl. sc. nat. ETH
Winkler Kommunikationsberatung
Zürich-Oberglatt

Gestaltung
Winkler Kommunikationsberatung
Zürich-Oberglatt

Druck
2000 Expl., 2015
Druckerei Frey GmbH, Andelfingen



Forum VERA
Waisenhausplatz 14
3000 Bern 7
info@forumvera.ch