WIKIPEDIA

Grundwasser

Grundwasser ist Wasser unterhalb der Erdoberfläche, das durch Versickern von Niederschlägen oder teilweise auch durch Migration aus Seen und Flüssen dorthin gelangt.

Der Gesteinskörper, in dem sich das Grundwasser aufhält und fließt, wird als Grundwasserleiter (aus dem Lateinischen auch: *Aquifer*, *wassertragend* bzw. *Wasserträger*) bezeichnet.

Die Fachgebiete, die sich mit Grundwasser befassen, sind die Hydrogeologie und die Grundwasserhydraulik.

Natürlicher Grundwasseraustritt (Raben Steinfelder Forst am Pinnower See, Landkreis Ludwigslust-Parchim, Mecklenburg-Vorpommern)

Inhaltsverzeichnis

Grundlagen und Begriffsbestimmung

Hydrogeologische Begriffe

Grundwasserneubildung und Grundwassermenge
- Einfluss der Bodenpassage

Gefahren für das Grundwasser und Grundwasserschutz
- Weltkarte zur Grundwassergefährdung
- Auswirkungen des Klimawandels

Gefahren durch Grundwasser für den Menschen

Ökosystem Grundwasser
- Überwachung des ökologischen Zustands

Forschung

Bauwesen

Literatur

Weblinks

Fußnoten

Eine Frau beim Wasserschöpfen aus einer offenen Wasserquelle, Mwamanongu Village, Tansania

Grundlagen und Begriffsbestimmung

Grundwasser wird nach DIN 4049 definiert als

> „unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschließlich oder nahezu ausschließlich von der Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird“.

Das Wasserhaushaltsgesetz bestimmt Grundwasser als

> „das unterirdische Wasser in der Sättigungszone, das in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund steht“.

Die treibenden Kräfte für die Grundwasserströmung sind die Gewichtskraft und die durch sie hervorgerufenen Druckkräfte. Grundwasser bewegt sich (strömt, fließt) infolge von Differenzen in der Piezometerhöhe (= hydraulisches Potential) durch die Hohlräume des Untergrunds. Nach dieser Definition zählt auch Stauwasser zum Grundwasser.

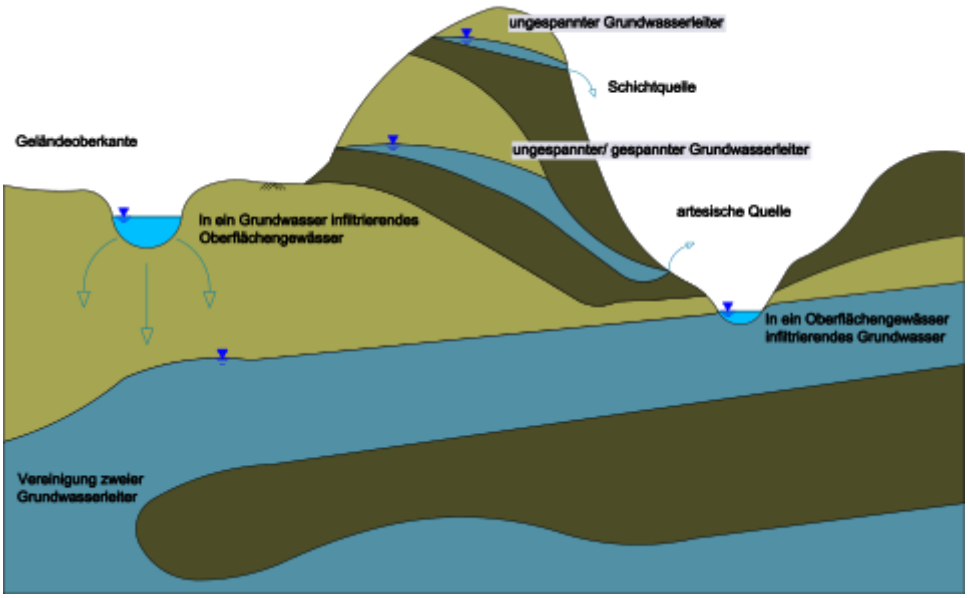
Nicht zum Grundwasser zählt das hygroskopisch, durch die Oberflächenspannung sowie durch Kapillareffekte gebundene unterirdische Wasser der ungesättigten Bodenzone (Bodenfeuchte, Haftwasser, siehe auch Grenzflurabstand). Auch das sich vorwiegend vertikal bewegende Sickerwasser in der ungesättigten Bodenzone gehört nicht zum Grundwasser.

Die in der Definition genannten Hohlräume der Erdrinde sind je nach geologischer Beschaffenheit des Untergrunds: Poren (klastische Sedimente und Sedimentgesteine wie zum Beispiel Sand, Kies, Schluff), Klüfte (Festgesteine wie beispielsweise Granit, Quarzit, Gneis, Sandsteine) oder durch Lösung entstandene große Hohlräume (zum Beispiel Kalkstein). Dementsprechend unterscheidet man: Porengrundwasser (siehe auch: Porenwasser), Kluftgrundwasser und Karstgrundwasser.

Grundwasser nimmt am Wasserkreislauf teil. Die Verweilzeit reicht von unter einem Jahr bis hin zu vielen Millionen Jahren. Sehr alte Grundwässer werden auch als fossiles Wasser bezeichnet, zum Beispiel die Vorkommen unter der Sahara.

Hydrogeologische Begriffe

Ein Grundwasservorkommen oder ein abgrenzbarer Teil eines Grundwasservorkommens wird als **Grundwasserkörper** bezeichnet. Die obere Begrenzungsfläche eines Grundwasserkörpers heißt Grundwasserspiegel, die untere Begrenzungsfläche wird **Grundwassersohle**, **Grundwassersohlfläche** oder **Grundwasserunterfläche** genannt. Der vertikale Abstand von der Grundwassersohle zur Grundwasseroberfläche wird als **Grundwassermächtigkeit** bezeichnet.[1]



Längsschnitt durch ein fiktives Grundwassersystem. Hellblau: Oberflächengewässer, dunkelblau: Grundwasserleiter („Aquifer“), olivgrün: permeables Gestein (wasserungesättigt), dunkelbraun: impermeables Gestein (Aquiklud).

Der Teil eines Gesteins, der mit Wasser gefüllt ist, wird als **Grundwasserraum** bezeichnet. Gesteinsschichten, die in der Lage sind, Wasser zu leiten werden als Grundwasserleiter („Aquifer“) bezeichnet. Sie müssen jedoch nicht notwendigerweise immer Wasser enthalten. Grundwasserleiter werden nach unten durch einen weiteren Gesteinskörper begrenzt, der wasserundurchlässig ist oder als wasserundurchlässig angesehen werden kann. Dieser Grundwassernichtleiter wird auch als *Aquiklud* bezeichnet. Bei vertikaler Abfolge von mehreren Grundwasserleitern und Grundwassernichtleitern können mehrere übereinander liegende Grundwasserstockwerke (Horizonte) vorliegen.

Bei einem ungespannten Grundwasserleiter ist der hydrostatische Druck definitionsgemäß gleich dem Luftdruck; praktischerweise wird der Luftdruck in der Hydromechanik oft gleich Null gesetzt; das hydraulische Druckpotential (engl. *hydraulic head*) ist an der freien Grundwasseroberfläche gleich der Summe aus ihrer geodätischen Höhe und dem Luftdruck

(bzw. Null). Die in einer Grundwassermessstelle freiliegende Grundwasseroberfläche bezeichnet man als Standrohrspiegel. Der Abstand zwischen Geländeoberfläche und Grundwasseroberfläche wird mit Flurabstand oder *Grundwasserflurabstand* bezeichnet. Sofern die über dem Grundwasserleiter liegende geologische Einheit, die Grundwasserüberdeckung, eine wasserdurchlässige Schicht ist, herrschen ungespannte Verhältnisse vor. Ist die Grundwasserüberdeckung wasserundurchlässig, können gespannte Grundwasserverhältnisse vorliegen, was bedeutet, dass das hydraulische Potenzial höher liegt als die tatsächliche Grundwasseroberfläche (gespanntes, bei Überschreiten der Erdoberfläche artesisches Grundwasser). Schichtenwasser ist durch wasserstauende Schichten oberhalb des Grundwassers am Versickern gehindertes, meist oberflächennahes, vom Hauptgrundwasserleiter unabhängiges Grundwasser. Befindet sich darunter eine nicht wassergesättigte Zone, spricht man von schwebendem Grundwasser.

Wie Oberflächengewässer folgt auch Grundwasser der Schwerkraft und fließt in Richtung des größten (piezometrischen) Gefälles. Für Grundwasserströmungsgebiete lässt sich dieses aus Karten ermitteln, auf denen Standrohrspiegelhöhen als Hydroisohypsen dargestellt sind (Grundwassergleichenplan). Das größte Gefälle und damit die Grundwasserströmungsrichtung bzw. die Grundwasserstromlinien liegen immer im rechten Winkel zu den Grundwassergleichen. Die einfachste Methode zur Erstellung eines Grundwassergleichenplans ist die Anwendung des Verfahrens des hydrologischen Dreiecks.

Im Vergleich zu Oberflächengewässern fließt Grundwasser zumeist mit sehr viel geringerer Geschwindigkeit. Man beachte auch den Unterschied zwischen Filtergeschwindigkeit und Abstandsgeschwindigkeit. In Kies (Korngrößen 2–63 mm) beträgt die Abstandsgeschwindigkeit 5–20 m/Tag (Maximalwerte liegen bei 70–100 m/Tag), in feinporigeren Sedimenten wie Sand (Korngrößen 0,063–2 mm) nur etwa 1 m/Tag, immer abhängig auch vom Gefälle. In tiefen Grundwasserleitern kann sich die Geschwindigkeit bis auf wenige m/Jahr verringern.

Grundwasser fließt (exfiltriert, entlastet) in einen Vorfluter (Gerinne oder entwässernde Geländesenke) oder tritt in Quellen an der Erdoberfläche aus.

Der Begriff Wasserader (Radiästhesie) ist ein pseudo- oder parawissenschaftlicher Begriff und wird in der naturwissenschaftlichen, hydrologischen und hydrogeologischen Fachsprache nicht verwendet.

Zur Prognose oder Nachbildung von Grundwasserströmungen werden *mathematische Grundwassermodelle* eingesetzt, mit denen man Zuströmung, Entnahme, Absenkung und Neubildung von Grundwasser gut und detailgenau darstellen kann. Auch Gefährdungen (Migration von Umweltschadstoffen) lassen sich damit frühzeitig erkennen, selbst historische Zustände kann man damit nachvollziehen, zum Beispiel bei der Altlastenerkundung.[2][3]

Grundwasserneubildung und Grundwassermenge

Grundwasser entsteht dadurch, dass Niederschläge versickern oder Wasser im Sohl- und Uferbereich von Oberflächengewässern durch Migration oder künstliche Anreicherung (Infiltrationsanlagen, zum Beispiel Sickerbeete, Schlitzgräben, Infiltrations-Brunnen) in den Untergrund infiltriert. Von den 22,6 Mio. km³ Grundwasser der oberen zwei Kilometer der Erdkruste sind etwa 0,1–5,0 Mio. km³ jünger als 50 Jahre.[4] Hierbei spricht man auch von *Umsatzwasser*, das rezenter Bestandteil des Wasserkreislaufes ist. Im Gegensatz dazu steht *fossiles Grundwasser*, das im tieferen Untergrund seit geologischen Zeiträumen (einige zehntausende bis viele Millionen Jahre) vom Wasserkreislauf abgeschnitten ist.

Einfluss der Bodenpassage

Bei der lang andauernden Untergrundpassage wird das Grundwasser durch physikalische, chemische und mikrobiologische Prozesse verändert; es stellt sich ein chemisches und physikalisches Gleichgewicht zwischen der festen und flüssigen Phase des Bodens oder Gesteins ein. So entsteht beispielsweise durch Aufnahme von Kohlenstoffdioxid (aus der Atmung der Bodenorganismen) und seine Reaktion mit dem Calcit und Dolomit die Wasserhärte. Bei genügend langer Verweilzeit können

pathogene Mikroorganismen (Bakterien, Viren) so weit eliminiert werden, dass sie keine Gefährdung mehr darstellen. Diese Prozesse sind aus wasserwirtschaftlicher Sicht überwiegend positiv für die Beschaffenheit des Grundwassers und werden daher summarisch auch als Selbstreinigung bezeichnet.

Allerdings kann es bei der Versickerung saurer Wässer, beispielsweise saurer Regen oder aus Tagebau-Restseen, auch zur Auslösung erheblicher Mengen an Aluminium aus Kristallingestein kommen, auch aus Böden in Fichten- und Tannenwäldern. Ferner können saure Grundwässer, speziell durch Pyritverwitterung versauerte Grundwässer, hohe Gehalte an Eisen(II)-Verbindungen aufweisen.

Gefahren für das Grundwasser und Grundwasserschutz

Das Grundwasser ist in der Wasserrahmenrichtlinie der EU als Schutzgut eingestuft.[5] Somit kommt dem Grundwasserschutz europaweit eine hohe Priorität zu. Aus diesem Grund wird das Grundwasser behördlich mit Hilfe von Grundwassermessstellen überwacht.

Hinweisschild „Grundwasserschutzgebiet“ in der Schweiz

Menschliche Eingriffe können sich qualitativ und quantitativ negativ auf das Grundwasser auswirken.

In Deutschland sind mengenmäßige Engpässe durch übermäßige Grundwasserentnahme nur lokal von Bedeutung. In semiariden oder ariden Regionen mit geringer Grundwasserneubildung führt eine übermäßige Entnahme von Grundwasser zu einer großflächigen Absenkung der Grundwasseroberfläche und zu entsprechenden Umweltschäden. Bei grobem Verstoß gegen geltende Gesetze wird oftmals ein Strafverfahren gegen Umweltverschmutzer eingeleitet.

Gefahren für die Grundwasserbeschaffenheit sind beispielsweise die Deposition und Bodenpassage von Luftschadstoffen, die übermäßige Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln durch die Landwirtschaft oder hochkonzentrierte Schadstofffahnen aus Altlasten.

Der pflegende (kurative) und wiederherstellende (sanierende) Grundwasserschutz hat daher eine wichtige Bedeutung im Umweltschutz. Zum vorbeugenden Grundwasserschutz zählt die Ausweisung von Wasserschutzgebieten im Einzugsgebiet (Gewinnungsanlagen) von Wasserwerken. Die Sanierung von Grundwasserschäden ist meist teuer und zeitaufwändig.

Für küstennahe Brunnen und die Wasserversorgung auf Inseln kann eine Salzwasserintrusion problematisch sein. Aufgrund des empfindlichen hydrostatischen Gleichgewichtes zwischen Süß- und Salzwasser im Untergrund kann dort bereits eine geringfügige Entnahme von Süßwasser zu einer rapiden Verringerung der Mächtigkeit der Süßwasserschicht durch den Aufstieg von Salzwasser führen. Infolgedessen kann das Wasser an der Entnahmestelle für Menschen ungenießbar oder für die Bewässerung unbrauchbar werden.

Weltkarte zur Grundwassergefährdung

Die *Weltkarte zur Grundwassergefährdung durch Hochwasser und Dürren (Global Map of Groundwater Vulnerability to Floods and Droughts)* entstand in Zusammenarbeit des Projektes „Grundwasser für Notsituationen“ (Groundwater for Emergency Situations, GWES) des Internationalen Hydrologischen Programms (International Hydrological Programme, IHP) der UNESCO mit der Internationalen Vereinigung der Hydrogeologen und dem Weltweiten hydrogeologischen Kartier- und Datenerhebungsprogramm (World-wide Hydrogeological Mapping and Assessment Programme, WHYMAP), koordiniert durch die UNESCO und die deutsche Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Die Karte, die eigentlich aus

mehreren Karten besteht, basiert im Wesentlichen auf der Karte *Grundwasserressourcen der Erde 1 : 25 000 000 (Groundwater Resources of the World 1 : 25 000 000)* des WHYMAP aus dem Jahr 2011. Sie zeigt, wie stark (in drei Stufen: *niedrig*, *mittel* und *hoch*) das Grundwasser in den verschiedenen Regionen der Erde aufgrund der jeweiligen natürlichen Gegebenheiten im Hinblick auf bestimmte Naturkatastrophen gefährdet ist.[6] Die Karte wurde der Öffentlichkeit beim siebten Weltwasserforum vorgestellt, das vom 12. bis 17. April 2015 im südkoreanischen Daegu stattfand.[7]

Auswirkungen des Klimawandels

Die meisten weltweiten Grundwasservorkommen befinden sich hinsichtlich der Zu- und Abfluss-/Entnahmemengen aktuell noch im Gleichgewicht. Es käme hingegen zu einem Absinken und schließlich Versiegen des Grundwassers, wenn in einem Gebiet die mittleren Zufluss- die mittleren Abfluss- und Entnahmemengen nicht mehr ausgleichen könnten. Anhand einer in internationaler Zusammenarbeit erstellten Grundwassermodellierung wurde aufgezeigt, dass im Zuge des Klimawandels in den kommenden 100 Jahren nur noch etwa die Hälfte der weltweiten Grundwasservorkommen im Gleichgewicht sein könnten. Bei der anderen Hälfte könnten selbst extreme Regenfälle durch die Häufung von Trockenperioden die Reservoirs im Mittel nicht mehr auffüllen. Obschon sich dies erst mit einer zeitlichen Verzögerung bemerkbar machte, so versiegten diese Grundwasservorkommen letztlich doch vollständig.[8] Gerade das verzögerte Eintreten der Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung wird hierbei als „Umwelt-Zeitbombe“ beschrieben.[9]

Gefahren durch Grundwasser für den Menschen

Normalerweise geht von Grundwasser keine direkte Gefahr für den Menschen (wie zum Beispiel bei unmittelbar benachbarter magmatischer Aktivität, siehe phreatomagmatische Explosion) aus. Es kommt jedoch gelegentlich zu Überschwemmungen und Unterspülungen durch austretendes Grundwasser.[10] Eine tödliche Gefahr stellt eintretendes Grundwasser beim Tunnelbau dar. Grundwasser kann Beton und die Stahlbewehrung angreifen. Deshalb muss grundsätzlich dort, wo Betonteile mit Wasser in Berührung kommen können, eine Grundwasserprobe entnommen werden, die gemäß DIN 4030 auf Betonaggressivität untersucht werden muss.

Weltweit beziehen rund 300 Millionen Menschen ihr Wasser aus Grundwasservorräten. Rund 10 Prozent der Grundwasserbrunnen sind jedoch mit Arsen oder Fluorid kontaminiert. Diese Spurenstoffe sind meist natürlichen Ursprungs und werden vom Wasser aus Felsen und Sedimenten ausgewaschen.[11]

Im Jahr 2008 präsentierte das Schweizer Wasserforschungsinstitut Eawag eine neue Methode, mit der sich Gefahrenkarten für geogene Giftstoffe im Grundwasser erstellen lassen, ohne dass sämtliche Brunnen und Grundwasservorräte einer Region dafür überprüft werden müssen.[12][13][14] 2016 machte die Eawag ihr Wissen auf der Grundwasser Assessment Plattform (GAP) frei zugänglich. Dieses Internetportal bietet Behördenmitgliedern, Mitarbeitenden von NGOs und anderen Fachleute die Möglichkeit, eigene Messdaten hochzuladen und Risikokarten für Gebiete ihrer Wahl zu erstellen.

Ökosystem Grundwasser

→ Hauptartikel: Stygobionta und Stygal

Die Tiere des Grundwassers sind meist durchsichtig oder weiß und blind. In Europa gibt es über 2000 Tierarten im Grundwasser, in Deutschland über 500.[15] Ihnen wird eine nicht unbedeutende Funktion für die Reinigung des Grundwassers von organischen Bestandteilen zugesagt. Sie ernähren sich zwar von Bakterienfilmen auf den Gesteinsoberflächen und Sedimentkörnern, wobei ebendiese Bakterien den überwiegenden Anteil an der Reinigung des Grundwassers haben, aber die Fraßtätigkeit der Grundwassertiere dämmt das Wachstum der Bakterien ein und hält den Poren- und Kluftraum in den Grundwasserleitern offen. So wird die Selbstreinigungskraft des Ökosystems aufrecht erhalten.[16][17] Das Grundwasser gehört zu den größten und ältesten (das heißt langzeitstabilsten) kontinentalen Lebensräumen der Welt. Viele der dort lebenden Arten sind sogenannte lebende Fossilien.[17]

Überwachung des ökologischen Zustands

Der ökologische Zustand von Fließ- bzw. Oberflächengewässern wie von Grundwasser wird in der Europäischen Union (EU) nach der *Richtlinie 2000/60/EG* (EU-Wasserrahmenrichtlinie, WRRL) nach verschiedenen Kriterien analysiert und nach fünf Graden eingeteilt: „sehr gut“, „gut“, „mässig“, „unbefriedigend“, „schlecht“.[18][19]

Der Zustand und die Entwicklung des Grundwassers in der Schweiz wird durch die *Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA* des Bundesamts für Umwelt ermittelt.[20]

In Ballungsräumen wird als Folge vor allem des Wärmeinsel-Effektes eine Erwärmung des Grundwassers beobachtet. Diese „thermische Verschmutzung“ wird von Hydrogeologen als potenzielle Bedrohung für die Lebewesen im Grundwasser und mithin für die Grundwasserqualität betrachtet.[16]

Forschung

Mit den GRACE-Satelliten kann seit 2002 die Zu- und Abnahme des Grundwassers grob gemessen werden.

Bauwesen

Grundwasser, im Bauwesen auch als *Druckwasser* bezeichnet, stellt besonders im Tiefbau ein Problem dar, wenn wechselnde, in den Baubereich reichende Grundwasserstände nicht beachtet werden oder wenn bewusst ins Grundwasser gebaut wird, das dann in die Baugrube beziehungsweise das Bauwerk drückt. Eine auf wasserundurchlässigem Beton basierende und damit grundwasserfeste Bauweise von Kellern und sonstigen Bauwerken wird als Weiße Wanne bezeichnet.[21][22] Dabei muss stets der Auftrieb (Auftrieb = Gewicht der verdrängten Flüssigkeit) berücksichtigt werden, der die Wanne nach oben drückt.

Literatur

- Werner Aeschbach-Hertig, 2002: *Klimaarchiv im Grundwasser.* In: *Physik in unserer Zeit.* 33(4), ISSN 0031-9252, S. 160–166
- Robert A. Bisson, Jay H. Lehr, 2004: *Modern groundwater exploration.* Wiley, Hoboken, ISBN 0-471-06460-2
- Robert Bowen, 1986: *Groundwater.* 2. Auflage. Elsevier Applied Science Publishers, New York, ISBN 0-85334-414-0
- Alfons Hack, Wolfgang Leuchs, Peter Obermann, 1984: *Der Salzsprung im Grundwasser.* Geowissenschaften in unserer Zeit; 2, 6; 194–200; doi:10.2312/geowissenschaften.1984.2.194
- B. Hölting, W. G. Coldewey, 2005: *Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie.* 6. Auflage. Elsevier, München, ISBN 3-8274-1526-8
- W. Kinzelbach, R. Rausch, 1995: *Grundwassermodellierung: Eine Einführung mit Übungen.* Borntraeger, Berlin/Stuttgart, ISBN 3-443-01032-6
- Frank-Dieter Kopinke, Katrin Mackenzie, Robert Köhler, Anett Georgi, Holger Weiß, Ulf Roland, 2003: *Konzepte zur Grundwasserreinigung.* In: *Chemie Ingenieur Technik.* 75(4), ISSN 0009-286X, S. 329–339
- G. Mattheß, K. Ubell, 1983: *Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 1: Allgemeine Hydrogeologie, Grundwasserhaushalt*. Gebr. Borntraeger, Berlin/Stuttgart, ISBN 3-443-01005-9
- Gudrun Preuß, Horst Kurt Schminke, 2004: *Grundwasser lebt!* In: *Chemie in unserer Zeit.* 38(5), ISSN 0009-2851, S. 340–347
- H. M. Raghunath, 2003: *Groundwater.* 2. Auflage. *New Age International Publishers*, Neu Delhi, ISBN 0-85226-298-1
- R. Schleyer, H. Kerndorff, 1992: *Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen.* VCH, Weinheim, ISBN 3-527-28527-X
- M. Thangarajan: *Groundwater – resource evaluation, augmentation, contamination, restoration, modeling and management*. Springer, Dordrecht (NL) 2007, ISBN 978-1-4020-5728-1
- Joachim Wolff, 1992: *Kontinuierliche Grundwasserüberwachung.* Die Geowissenschaften; 10, 2; 31–36; doi:10.2312/geowissenschaften.1992.10.31
- Klaus Zipfel, Gerhard Battermann, 1997: *Hauptsache Grundwasser – Grundwassermodelle, Möglichkeiten, Erfahrungen, Perspektiven.* Hrsg. Technologieberatung Grundwasser und Umwelt (TGU). Koblenz, OCLC

177343255 (https://worldcat.org/oclc/177343255)

Weblinks

Commons: Grundwasser (https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Underground_water?uselang=de) – Sammlung von Bildern, Videos und Audiodateien

Wiktionary: Grundwasser – Bedeutungserklärungen, Wortherkunft, Synonyme, Übersetzungen

- Weltkarten mit Themenschwerpunkt Grundwasser (https://www.bgr.bund.de/whymap/EN/Maps_Data/maps_data_node_en.html) auf der Internetpräsenz des BGR
- Broschüre Grundwasser in Berlin (Gesamtausgabe), Senatsverwaltung Bereich Umwelt (http://www.berlin.de/sen/umwelt/wasser/hydrogeo/de/broschuere/grundwasser-broschuere.pdf) (PDF-Datei; 37,5 MB)
- *Wie entsteht Grundwasser?* – Schüler- und Lehrerangebot des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (http://wasserforscher.de/schueler/der_wasserkreislauf/wie_entsteht_grundwasser/index.htm)
- BR-online: Ökosystem Grundwasser – Leben ohne Licht und Luft (https://web.archive.org/web/20160125171841/http://www.br.de/radio/bayern2/wissen/iq-wissenschaft-und-forschung/oekosystem100.html) (Memento vom 25. Januar 2016 im *Internet Archive*) (Podcast)
- Grundwasserneubildung im nördlichen Westfalen (https://www.lwl.org/LWL/Kultur/Westfalen_Regional/Naturraum/Grundwasserneubildung)
- Grundwasser – der verborgene Schatz (https://www.scinexx.de/dossier/grundwasser-der-verborgene-schatz/) (scinexx)

Fußnoten

1. Bernward Hölting, Wilhelm Georg Coldewey: *Hydrogeologie*. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 8. Auflage. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 2013, ISBN 978-3-8274-2353-5, S. 9, doi:10.1007/978-3-8274-2354-2 (https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2354-2).
2. Christoph Schöpfer, Rainer Barchet, Horst W. Müller, Klaus Zipfel: *Moderne Technologien zur Erfassung und Nutzung von Grundwasserressourcen in einer urbanen Region.* In: *gwf-Wasser/Abwasser.* 141 (2000) Heft 13, S. 48–52, Oldenbourg Industrieverlag München.
3. Rainer Pfeifer, Horst W. Müller, Thomas Waßmuth, Thomas Zenz: *Grundwasser für Ludwigshafen, von der Gefahrerkundung bis zu den Schutzmaßnahmen am Beispiel des Wasserwerkes Parkinsel.* In: *Hauptsache Grundwasser.* Hrsg. Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH (TGU), Koblenz 1997, S. 43–59.
4. Tom Gleeson, Kevin M. Befus, Scott Jasechko, Elco Luijendijk, M. Bayani Cardenas: *The global volume and distribution of modern groundwater*. In: *Nature Geoscience*. Band 9, Nr. 2, 2016, S. 161–167, doi:10.1038/ngeo2590 (https://doi.org/10.1038/ngeo2590) (nature.com (http://www.nature.com/ngeo/journal/vaop/ncurrent/full/ngeo2590.html)).
5. *EU-Wasserrahmenrichtlinie.* (http://europa.eu/legislation_summaries/environment/water_protection_management/l28002b_de.htm) europa.eu, 24. März 2010, abgerufen am 22. Juni 2011.
6. UNESCO, BGR: *The Global Map of Groundwater Vulnerability to Floods and Droughts – Explanatory Notes.* UNESCO, Paris 2015 (PDF (http://www.bgr.bund.de/whymap/EN/Downloads/Global_maps/whymap_ed2015_explan_notes.pdf;jsessionid=1BF0F7F8F037B691D05B2DCDB292E70C.1_cid292?__blob=publicationFile&v=2) 8,5 MB).
7. *Experten präsentieren Weltgrundwasserkarte* (http://www.sueddeutsche.de/news/politik/international-experten-praesentieren-weltgrundwasserkarte-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-150415-99-07495), sueddeutsche.de, 15. April 2015, abgerufen am 13. Mai 2015.
8. M. O. Cuthbert, T. Gleeson, N. Moosdorf, K. M. Befus, A. Schneider, J. Hartmann, B. Lehner: *Global patterns and dynamics of climate-groundwater interactions.* In: *Nature Climate Change.* Band 9, 2019, S. 137–141, doi:10.1038/s41558-018-0386-4
9. *Klimawandel Forscher warnen: Grundwasser schwindet.* (https://www.tagesspiegel.de/politik/klimawandel-forscher-warnen-grundwasser-schwindet/23922150.html) Der Tagesspiegel, 29. Januar 2019, abgerufen am 3. Februar 2019.
10. Brigitte Schmiemann: *Wo Berlin im Grundwasser ertrinkt.* (http://www.webcitation.org/5zpKpm0vs) Pegelstände. In: *Berliner Morgenpost Online.* Axel Springer Verlag, 22. April 2009, archiviert vom Original (https://tools.wmflabs.org/giftbot/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.morgenpost.de%2Fberlin%2Farticle1078067%2FWo_Berlin_im_Grundwasser_ertrinkt.html) am 30. Juni 2011; abgerufen am 30. Juni 2011.
11. *Eawag Aquatic Research.* (http://www.eawag.ch/en/research/humanwelfare/drinkingwater/gap/) Abgerufen am 3. Juni 2016.

12. Manouchehr Amini, Kim Mueller, Karim C. Abbaspour, Thomas Rosenberg, Majid Afyuni, Klaus N. Møller, Mamadou Sarr, C. Annette Johnson: *Statistical Modeling of Global Geogenic Fluoride Contamination in Groundwaters.* In: *Environmental Science & Technology.* 42, 2008, S. 3662–3668, doi:10.1021/es071958y.
13. Manouchehr Amini, Karim C. Abbaspour, Michael Berg, Lenny Winkel, Stephan J. Hug, Eduard Hoehn, Hong Yang, C. Annette Johnson: *Statistical Modeling of Global Geogenic Arsenic Contamination in Groundwater.* In: *Environmental Science & Technology.* 42, 2008, S. 3669–3675, doi:10.1021/es702859e.
14. L. Rodriguez-Lado, G. Sun, M. Berg, Q. Zhang, H. Xue, Q. Zheng, C. A. Johnson: *Groundwater Arsenic Contamination Throughout China.* In: *Science.* 341, 2013, S. 866–868, doi:10.1126/science.1237484.
15. Martin Reiss: *Lebensraum Grundwasser* – Bericht zum DGL-Workshop 2002 (https://web.archive.org/web/20031107013541/http://www.hydrogeographie.de/gw_leben.htm) (Memento vom 7. November 2003 im *Internet Archive*).
16. Andreas Frey: *Hitzefalle unter den Großstädten. (https://www.spektrum.de/news/schaden-geothermie-und-klimawandel-dem-grundwasser-und-dessen-fauna/1603656)* Spektrum.de, 23. Oktober 2018, abgerufen am 7. Januar 2019
17. Michael Lüttgen: *Ökologie der interstitiellen Mikro- und Meiofauna – Ein Glossar zur Ökologie und Untersuchungsmethodik des Mesopsammon und Hyporheon.* Mikrokosmos. 96. Jahrg., Heft 4, 2007, S. 207–216 (Zobodat (http://www.zobodat.at/publikation_volumes.php?id=43002), komplettes Heft zum Download)
18. *Umweltziele – der gute Zustand für unsere Gewässer.* (https://www.bmnt.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/plan_gewaesser_ngp/umsetzung_wasserrahmenrichtlinie/umweltziele.html) In: *Webpräsenz des österreichischen Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT).* 10. November 2011, abgerufen am 4. April 2018.
19. Sibylle Wilke: *Ökologischer Zustand der Fließgewässer.* (https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/fliessgewaesser/oekologischer-zustand-der-fliessgewaesser#textpart-2) In: *Webpräsenz des österreichischen Umweltbundesamtes (UBA).* 18. Oktober 2013, abgerufen am 4. April 2018.
20. Bundesamt für Umwelt: *Zustand des Grundwassers.* (https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers.html) Webpräsenz des Bundesamtes für Umwelt der Schweizerischen Eidgenossenschaft (BAFU), abgerufen am 16. September 2018.
21. Weiße Wanne auf beton.org (http://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/weisse-wanne/)
22. Rainer Oswald, Klaus Wilmes, Johannes Kottje: *Weiße Wannen – hochwertig genutzt: Wasserundurchlässige Betonbauteile im Druckwasser mit hochwertig genutzten Innenräumen.* Fraunhofer IRB Verlag, 2007, ISBN 978-3-8167-7344-3.

Abgerufen von „https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Grundwasser&oldid=190084152“

Diese Seite wurde zuletzt am 3. Juli 2019 um 08:41 Uhr bearbeitet.

Der Text ist unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ verfügbar; Informationen zu den Urhebern und zum Lizenzstatus eingebundener Mediendateien (etwa Bilder oder Videos) können im Regelfall durch Anklicken dieser abgerufen werden. Möglicherweise unterliegen die Inhalte jeweils zusätzlichen Bedingungen. Durch die Nutzung dieser Website erklären Sie sich mit den Nutzungsbedingungen und der Datenschutzrichtlinie einverstanden.
Wikipedia® ist eine eingetragene Marke der Wikimedia Foundation Inc.