

1.9 Fossiles und neues Grundwasser als Teil des Gesamtwassers

CLAUS KOHFAHL, GUDRUN MASSMANN & ASAF PEKDEGER

Fossil and juvenile groundwater as part of the global water: First we define groundwater and aquifers, factors influencing groundwater quantity and quality and its relevance as a resource. Groundwater is subsurface water which can be collected by wells, tunnels, or drainage galleries, or it can flow naturally to the earth's surface via seeps or springs. It forms by infiltration of rain or surface water underground. Groundwater forms more than 30% of the global freshwater resources and is therefore a precious natural resource and of great importance for the drinking water supply. The abstraction of groundwater instead of surface water has a number of clear advantages. Groundwater is filtered naturally by physical and microbiological processes in subsurface layers during its recharge which generally results in a better water quality; nonetheless groundwater can be contaminated by geogene or anthropogenic factors. Depending on climate, morphology and geology the natural recharge varies between 2 and 50% of the annual precipitation. To guarantee sufficient freshwater supply for future generations sustainable management of groundwater resources in a quantitative and a qualitative sense is necessary. This requires monitoring strategies and research of water-rock interaction, which provide a means to control the quantity and quality of available groundwater resources in different hydrogeological contexts. Important strategies to enhance the formation of groundwater are artificial recharge via surface water bodies or wells, which are becoming more important in the future with regard to global climate changes.

Fossiles und neues Grundwasser stellen eine wichtige Ressource zur Deckung des globalen Trink- und Brauchwasserbedarfs dar. Die qualitative und quantitative Entwicklung dieser Ressource und deren Abhängigkeit insbesondere vom Klimawandel sind somit für die Menschheit von großem Interesse (UNESCO 2003).

Grundwasser als Teil des Wasserkreislaufs

Das Grundwasser ist Teil des globalen Wasserkreislaufs, welcher durch die Komponenten Niederschlag N , Verdunstung V , Transpiration der Vegetation T , oberirdischer Abfluss A_o (Bäche, Flüsse etc.) und unterirdischer Abfluss A_u nach Gleichung 1 für eine gegebene Fläche in Form einer vereinfachten Massenbilanz beschrieben werden kann (siehe Kap. 1.3: Marcinek).

$$N = V + T + A_o + A_u \quad (1)$$

Entstehung und Definition von Grundwasser

Grundwasser ist das Wasser, das die Hohlräume im Gestein zusammenhängend ausfüllt und sich nur unter dem Einfluß der Schwerkraft bewegt. Es entsteht durch die Versickerung von Oberflächenwasser und Niederschlagswasser in den Untergrund, der in eine ungesättigte und eine gesättigte Zone unterteilt wird. In der ungesättigten Zone sind die Porenräume mit Wasser und Bodenluft gefüllt. Das Wasser befindet sich direkt an den Kornoberflächen des Sedimentmaterials (Sedi-

mentmatrix) und ist aufgrund der an den Grenzflächen wirkenden Adhäsionskräfte nur eingeschränkt und in Abhängigkeit vom Wassergehalt beweglich. Bei den in dieser Zone vorkommenden Formen unterirdischen Wassers unterscheidet man Kapillarwasser, Sickerwasser, Adsorptionswasser, Wasser in Einzelhohlräumen, und chemisch gebundenes Wasser. Die ungesättigte Zone erfüllt jedoch eine wichtige Funktion für die Vegetation, welche die dort gespeicherten Wasserreserven nutzbar machen kann. Des Weiteren läuft in der ungesättigten Zone eine Reihe natürlicher und z.T. mikrobiologisch katalysierter Reinigungs- und Abbauprozesse ab, welche die Qualität des Grundwassers erheblich verbessern und gegenwärtig gezielt für die Gewinnung von Trinkwasser genutzt werden.

Das eigentliche Grundwasser befindet sich in der gesättigten Zone, wo die Poren- bzw. Hohlräume vollständig mit Wasser gefüllt sind. Ab einer bestimmten Porengröße wirken in der gesättigten Zone keine Adhäsionskräfte des umgebenden Sedimentmaterials mehr und das Grundwasser kann sich unter dem Einfluss der Schwerkraft gut bewegen. Als Grundwasserleiter bezeichnet man dementsprechend ein Gestein mit zusammenhängenden und ausreichend großen Hohlräumen, welches in der Lage ist, Grundwasser zu leiten. Deshalb wird es für den Menschen wirtschaftlich nutzbar und kann mit geeigneten Brunnen und Pumpen gefördert werden. Gut geeignete Grundwasserleiter sind grobkörnige Lockersedimente (Mittelsande, Grobsande und Kiese) sowie auch verschiedene Typen von Festgesteinen. Nicht geeignet sind feinkörnige Sedimente wie Schluffe und Tone. Sie haben zwar einen sehr hohen

Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3. Auflage (2011)
Hrsg.: Lozán J. L., H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese

Porenanteil, besitzen jedoch sehr kleine Porenhohlräume, so dass die Adhäsionskräfte der Sedimentmatrix die Wasserbeweglichkeit stark einschränken und somit eine wirtschaftliche Nutzung unterbinden.

Nur der Teil des infiltrierenden Wassers, der nicht am Sediment haften bleibt oder durch Verdunstung und Transpiration verbraucht worden ist, kann dem Grundwasser zusickern und führt somit zur Grundwasserneubildung.

Bezüglich ihrer Beteiligung am Umsatz des Wasserkreislaufs unterscheidet man zwischen konnatem Wasser, Tiefenwässern und meteorischen Wässern. Konnate Wässer sind fossile Grundwässer, die sich zeitgleich mit der Ablagerung ihres umgebenden Sedimentes gebildet haben. Wässer in mehr als 250 m Tiefe bezeichnet man in der Regel als Tiefenwässer. Konnate Wässer und Tiefenwässer zeichnen sich durch lange unterirdische Verweilzeiten über geologische Zeiträume aus und haben dort aufgrund der langen Kontaktzeit mit dem umgebenden Gestein viele Mineralien gelöst, so dass sie als Trinkwasser nur begrenzt geeignet sind, jedoch eine Heilwirkung haben können (Sohlwässer). Meteorische Wässer sind Grundwässer, die jährlich oder in mehrjährigen Perioden am Wasserkreislauf beteiligt sind und sich aufgrund ihrer chemischen Reinheit in der Regel am besten für die Trinkwassergewinnung eignen.

Grundwasserleitertypen

Als Grundwasserleiter bezeichnet man einen Gesteinskörper, der aufgrund seines Gehaltes an Hohlräumen in der Lage ist, Grundwasser weiterzuleiten. Liegt der sich in einem Messrohr einer Grundwassermessstelle einstellende Wasserspiegel (Grundwasserdruckfläche) oberhalb der geologischen Begrenzung des Grundwasserleiters, so spricht man von einem gespannten Grundwasser. Die geologische Begrenzung ist ein hydraulisch gering- oder undurchlässiges Gestein wie z.B. eine Tonschicht. Entspricht die Grundwasserdruckfläche der Grundwasseroberfläche, so handelt es sich um einen freien Grundwasserleiter. Hinsichtlich der vorhandenen Hohlräume unterscheidet man Poren- und Klufgrundwasserleiter. Porengrundwasserleiter sind in der Regel geologisch junge Lockersedimente, deren Körner noch nicht durch eine Matrix zementiert sind und somit über einen zusammenhängenden Porenraum verfügen. Beispiele für Lockersedimente finden sich im gesamten Norddeutschen Becken, wo durch Gletscher transportierte Sedimentmassen in den letzten 2 Mio. Jahren teilweise Lockersedimente in einer Mächtigkeit von mehreren 100 m abgelagert wurden (EHLERS 1994). Hinsichtlich der Grundwassergewinnung sind Poren-

grundwasserleiter sowohl in Hinblick auf ihr Speichervermögen als auch bezüglich ihrer hygienischen und reinigenden Funktionen als optimal anzusehen.

Klufgrundwasserleiter sind Festgesteine wie Sandstein, Granit, Kalkstein etc., deren Sedimentkörner durch eine feste, meist kalkhaltige oder silikatische Matrix miteinander verbunden sind und somit nur in geringem Umfang Porenhohlräume aufweisen. In diesen Gesteinen erfolgt die Wasserbewegung zumeist an Bruchstellen oder Störungszonen und nur in geringerem Maße oder gar nicht in Porenräumen.

Die wichtigsten Eigenschaften eines Grundwasserleiters sind dessen hydraulische Leit- und Speichereigenschaft und dessen Mächtigkeit. Sie beeinflussen die Absenkbeträge bei der Grundwasserförderung sowie die Ausdehnung und Geometrie des Absenktrichters. Informationen über die hydraulische Durchlässigkeit des Sediments erhält man über die Analyse der Korngrößenzusammensetzung des Gesteins (BEYER 1964), sowie durch Pumpversuche, mit denen das Absenkungsverhalten des Grundwassers bei der Wasserförderung mit Hilfe hydraulischer Gleichungen ausgewertet wird (KRUSEMANN & DE RIDDER 1994). Informationen zur Mächtigkeit des Grundwasserleiters können ebenfalls aus Pumpversuchen sowie aus Erkundungsbohrungen gewonnen werden.

Grundwasserneubildung

Zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebots muss die Grundwasserneubildung quantifiziert werden. Zu diesem Zweck wurden zahlreiche Methoden entwickelt (MATTHES & UBELL 1983), von denen hier die wichtigsten kurz erläutert seien. Eine häufig angewandte Methode misst die Grundwasserneubildung direkt mit eigens dafür in den Boden eingearbeiteten Messbehältern, die als Lysimeter bezeichnet werden (DVWK 1980). Eine andere Methode ist die Ermittlung aus dem Bodenwasserhaushalt, bei der die Grundwasserneubildung aus der Differenz des Niederschlags zur Verdunstung und zur Änderung des Bodenwassergehaltes berechnet wird, sofern der oberirdische Abfluss vernachlässigbar ist. Auch mathematische Grundwassermodelle ermöglichen die Bestimmung der Grundwasserneubildung durch Anpassung von simulierten an gemessene Grundwasserstände. Ein weiteres Verfahren basiert auf der Messung von oberirdischen Abflüssen in Vorflutern (Flüssen oder Bächen). Dabei wird die Tatsache genutzt, dass sich der Abfluss in Bächen oder Flüssen aus der Speisung durch das exfiltrierende Grundwasser (Basisspeisung), sowie aus kurzzeitigen Niederschlagsereignissen zusammensetzt. Hierbei lässt sich der Basisabfluss aus dem Grundwasser, welcher

der gesuchten Grundwasserneubildung entspricht, graphisch trennen (NATERMANN 1951). Als weiterhin wichtige Verfahren sei zuletzt die Bestimmung der Grundwasserneubildung mittels Chlorid und Tritium-Konzentrationen des Wassers im Untergrund erwähnt.

Die natürliche Grundwasserneubildung beträgt in gemäßigttem humiden Klima etwa 30–50%, im mediterranen Klima 10–20% und im ariden Klima 0–2% des Niederschlags (BOUWER 2002).

Grundwasserchemie

Ein weiterer wichtiger Aspekt zur Bewertung des Grundwassers ist neben den quantitativen und hydraulischen Gesichtspunkten seine hydrogeochemische Zusammensetzung. Diese ist generell begründet durch geogene (natürliche) wie anthropogene Faktoren. Die Ursache der geogenen Beeinflussung des Grundwassers liegt in den Wasser-Gestein-Wechselwirkungen wie Lösungs- und Fällungsprozessen, Ionenaustausch und Redoxreaktionen.

Geogene Einflussfaktoren

Die Intensität der geogenen Prägung ist im Wesentlichen abhängig von der Kontaktzeit sowie der geochemischen Zusammensetzung des Grundwasserleiters. Lange Kontaktzeiten, wie sie bei Tiefenwässern und konnatn Wässern üblich sind, führen somit zu hohen Mineralisationsgraden.

Sehr prägend auf die Beschaffenheit des Grundwassers wirkt sich die Löslichkeit des Gesteinsmaterials aus. Die beiden diesbezüglichen Endglieder bilden Eindampfungsgesteine ehemaliger Ozeane (Salzgesteine/Evaporite) mit extrem hoher Löslichkeit und hauptsächlich aus Silikaten zusammengesetzte Gesteine, wie z.B. reiner Sandstein oder Granit mit sehr niedrigen Löslichkeiten und dementsprechend niedrig mineralisierten Wässern. Aufgrund ihrer hohen Löslichkeit liefern Evaporite für die Trinkwasserversorgung nicht nutzbare und extrem hoch mineralisierte Salzwässer, die auch benachbarte nutzbare Trinkwasserreservoirs gefährden können, wenn sie in diese eindringen. Versalzungserscheinungen im Grundwasser können jedoch auch durch Intrusionen von Meerwasser in Süßwassergrundwasserleiter hervorgerufen werden (Kap. 2.10: Martens & Wichmann), was weltweit ein großes Problem für die Trinkwasserversorgung in ariden küstennahen Regionen darstellt. Neben diesen beiden Extremfällen existieren zahlreiche Gesteinstypen, wie Kalksteine, metamorphe und magmatische Gesteine, deren geochemische Zusammensetzung sich ebenfalls charakteristisch auf das gespeicherte Grundwasser auswirkt.

Ein sehr folgenschweres Beispiel für geogene Kontamination findet man im Gangesdelta in Bangladesch, wo man dazu überging, die Trinkwasserversorgung von Oberflächen- auf Grundwasserförderung umzustellen. Da die Sedimente des Gangesdelta sehr hohe geogene Arsenkonzentrationen aufweisen, kam es aufgrund mangelnder Qualitätskontrolle des Grundwassers zu Vergiftungserscheinungen hohen Ausmaßes in der Bevölkerung (NICKSON et al. 1998).

Anthropogene Einflussfaktoren

Wichtige anthropogene Einflüsse auf die Grundwasserbeschaffenheit kommen vor allem aus der Rohstoffgewinnung, aus landwirtschaftlicher Tätigkeit, aus der industriellen Produktion sowie aus urbanen Ballungsräumen (Kap. 2.9: Zimmermann-Timm).

Beim Abbau von Rohstoffen kommt es durch das Eindringen von Luftsauerstoff zur Oxidation bestimmter Minerale, was zur Entstehung extrem saurer Grubenwässer und zur Mobilisierung von Schwermetallen führt. Die im globalen Maßstab größte Sanierungsmaßnahme, bei der diese Problematik zum Tragen kommt, sind die Rekultivierungen der ehemaligen Braunkohletagebaue im Bitterfelder und Lausitzer Revier in Deutschland. Die aus den Kippen austretenden Grundwässer zeigen dabei teilweise pH-Werte von 2–3 und extrem hohe Frachten an Sulfaten und Säurebildnern.

Der Einfluss landwirtschaftlicher Aktivitäten beruht im Wesentlichen auf der Verwendung organischer und mineralischer Düngemittel, wodurch z.T. hohe Mengen von Nitraten und anderen Indikatoren wie DOC (gelöste organische Kohlenstoffe), Kalium und Sulfat eingetragen werden. Auch die Verwendung von Pestiziden und Insektiziden hat lokal zu einer Anreicherung dieser Substanzen im Grundwasser geführt.

Durch die Industrialisierung und die Entstehung von urbanen Lebensräumen sind eine Vielzahl von anorganischen und organischen Stoffen und Mikroorganismen in den hydrologischen Kreislauf und somit auch ins Grundwasser gelangt. Diese stellen in Abhängigkeit von ihrer Mobilität, biologischen Abbaubarkeit sowie ihrer Toxizität die Trinkwasserversorgung z.T. vor ernsthafte Probleme. Weltweit ernste Schwierigkeiten machen Mikroorganismen aus der Verschmutzung mit Fäkalien wie pathogene Bakterien und Viren, die mit dem Wasser in die Tiefe transportiert werden und im Untergrund eine gewisse Zeit überleben können.

Eine weitere verbreitete Kontaminationsquelle sind schwerlösliche organische Flüssigkeiten, auch NAPL (non aqueous phase liquid) genannt, welche man aufgrund ihrer unterschiedlichen Dichte in zwei Gruppen gliedert. LNAPLs (light non aqueous phase liquid) haben eine geringere Dichte als Wasser und schwimmen

auf dem Kapillarsaum des Grundwassers. Hierzu gehören Kraftstoffe (Benzin, Heizöl etc.). Die zweite Gruppe bilden die DNAPLs (dense non aqueous phase liquid), die eine höhere Dichte als Wasser besitzen und sich somit bis in größere Tiefen ausdehnen können. Hierzu gehört die Gruppe der halogenierten Kohlenwasserstoffe, die als Lösungsmittel in Industrie, Gewerbe und Privathaushalten für vielerlei Zwecke genutzt werden. Verunreinigungen des Untergrundes durch organische Flüssigkeiten stellen in Deutschland flächenmäßig den weitaus höchsten Anteil an allen Kontaminationen.

Die Sanierung solcher Schadensfälle sowie die hierbei ablaufenden Abbauprozesse im Untergrund wurden in den letzten Jahrzehnten intensiv erforscht und es konnte eine Vielzahl von Sanierungsmethoden entwickelt werden. Hierbei stehen Verfestigungs- und biologische Abbauprozesse zur Behandlung der Untergrund-Materialien, Verfahren zur Extraktion und Reinigung der Bodenluft sowie chemische Fixierungs- und biologische Reinigungsverfahren für das Grundwasser zur Verfügung (ACKERER et al. 1991).

Grundwasser als Ressource

Grundwasser spielt weltweit eine bedeutende Rolle bei der Gewinnung von Süßwasser als Trink- und Brauchwasser sowie als Beregnungswasser für die Landwirtschaft. Vom gesamten Süßwasservorkommen der Welt liegen 8 Mio. km³ (30,8%) als Grundwasser vor (UNEP 2003), während sich der Anteil von Oberflächenwasser nur auf etwa 2% beläuft (Bouwer 2002). Der Anteil von Grundwasser an den leicht verfügbaren Süßwasservorkommen wird insgesamt sogar auf > 90% geschätzt. (UNEP 2002). Etwa 30% der Kontinente sind von Grundwasserleitern unterlagert und etwa 19% verfügen über reichhaltige Grundwasservorkommen in geologisch komplexen Gebieten (Abb. 1.9-1; STRUCKMEIER et al. 2003).

Weltweit werden jährlich 600–700 km³ Wasser aus dem Grundwasser entnommen, was etwa 20% der gesamten global verbrauchten Wassermenge entspricht (WMO 1997). Den größten Anteil am gesamten globalen Wasserverbrauch hat die Landwirtschaft (75%), gefolgt von der Industrie (20%) und zuletzt von den privaten Haushalten (5%). Weltweit nutzen etwa ein Viertel der Menschheit (1,5 Mrd. Menschen) Grundwasser als Trinkwasser (UNEP 2002). In Deutschland werden mehr als 70% des Trinkwasserverbrauchs aus Grundwasser gedeckt, in Indien sind es sogar mehr als 80% (STRUCKMEIER et al. 2003) (Abb. 1.9-2).

In den meisten Fällen ist Grundwasser von besserer Qualität als Oberflächenwasser, da es besser vor Verunreinigungen geschützt ist und zudem während der

Untergrundpassage gereinigt wird. Somit stellt Grundwasser eine wichtige Süßwasserressource da, deren Bedeutung für die weltweite Wasserversorgung in Zukunft noch steigen wird (STRUCKMEIER et al. 2003).

Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung

Man spricht dann von einer in Bezug auf die Quantität nachhaltigen Nutzung, wenn innerhalb eines Zeitraumes nicht mehr Grundwasser gefördert als natürlich neugebildet wird. Das natürliche Gleichgewicht wird nicht gestört und die Grundwasserressourcen werden geschont, da es langfristig nicht zu einer Verringerung des Grundwasservorrats kommt. Für eine dauerhafte Entnahme muss die Grundwasserneubildung mit Hilfe der oben genannten Methoden quantifiziert werden.

Für eine nachhaltige Nutzung ist zudem natürlich auch die Erhaltung der Grundwasserqualität von Bedeutung. So werden im Einzugsgebiet eines Wasserwerks Schutzzonen errichtet, um eine Verschmutzung des Grundwassers zu verhindern. Außerdem werden Richtlinien und Gesetze erlassen, in Europa beispielsweise die EU Wasserrahmenrichtlinie, um den Schutz des Grundwasser zu gewährleisten (Kap 4.13).

Grundwasserübernutzung

Wird mehr Wasser aus dem Untergrund entnommen als neugebildet wird, nimmt die Grundwassermenge ab. Die Folge sind fallende Grundwasserspiegel, die dazu führen, dass immer tiefere Brunnen gebohrt werden müssen, bis die Grundwasservorkommen schließlich aufgebraucht sind oder aufgrund von qualitativen Einschränkungen, z.B. durch Salzwasserintrusion, unbrauchbar werden.

Auch in manchen semi-ariden Gebieten mit geringen Grundwasserneubildungsraten, z.B. unter Teilen der Sahara, lagern große Grundwasservorkommen, die in den früheren Jahrtausenden unter feuchteren klimatischen Bedingungen entstanden (fossiles Wasser). Werden die Wasservorkommen dieser »Grundwasserlagerstätten« abgebaut, so sind sie für die Menschen unwiederbringlich verloren, da sie in absehbarer Zeit nicht neugebildet werden können. Da die Vorgänge im Grundwasser sehr langsam ablaufen, wird eine Übernutzung oft erst nach Jahrzehnten erkannt.

Weltweit rechnet man im Jahresdurchschnitt mit einer erneuerbaren Wassermenge von 43.000 km³ (STRUCKMEIER et al. 2003). Theoretisch sind also die weltweiten Wasserressourcen erneuerbar und ausreichend. Es bestehen jedoch maßgebliche Unterschiede in der tatsächlichen Verfügbarkeit in verschiedenen Teilen der Welt. So leben z.B. in Asien 60% der Welt-

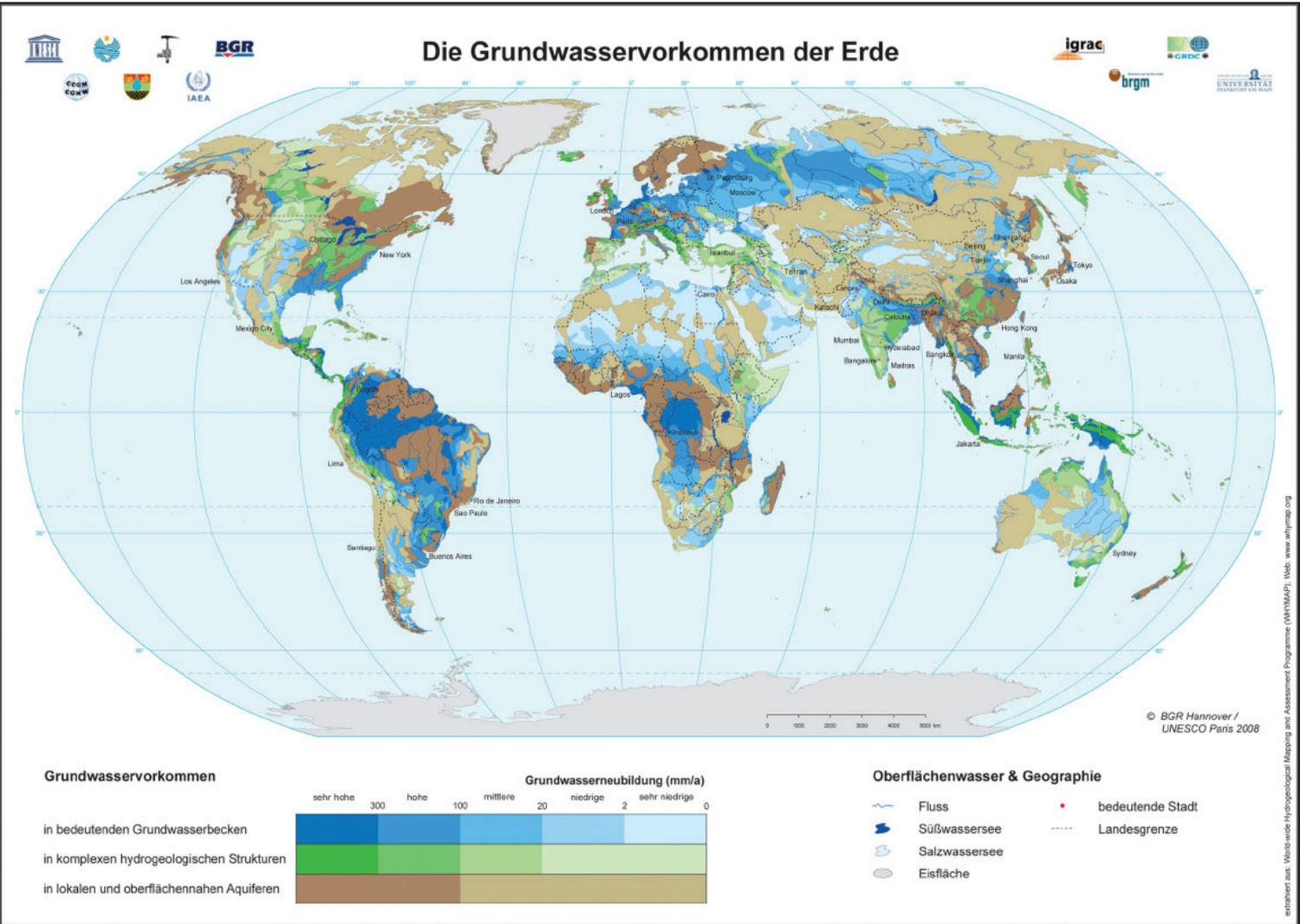


Abb. 1.9-1: Verteilung der weltweiten Grundwasservorkommen und deren Erneuerbarkeit (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR) (Mit freundlicher Genehmigung der BGR).

bevölkerung, während dort nur 36% des weltweit verfügbaren Wassers vorhanden sind (UNESCO 2003). Hinzu kommt, dass sich die Weltbevölkerung in den letzten 100 Jahren verdreifachte und der Wasserbedarf der Bevölkerung versechsfachte (WWC 2000). In mehr als 30 Ländern auf der Welt herrscht derzeit Wasserknappheit (STRUCKMEIER et al. 2003).

Durch eine Übernutzung wurden fallende Grundwasserspiegel z.B. in China (ZAISHENG 2002) und Australien (GERGES et al. 2002), aber auch in Europa in Spanien (ESCALANTE & GUTIÉRREZ 2002) oder Italien (LANDINI & PRANZINI 2002) beobachtet. ZAISHENG (2002) berichtet von großräumig mit einer Rate von 1m pro Jahr fallenden Wasserspiegeln im dicht besiedelten Flachland Nord-Chinas (insgesamt um bis zu 30 m in den vergangenen Jahrzehnten). Nahe der Stadt Adelaide in Süd-Australien bildete sich aufgrund intensiver Entnahme von Wasser aus einem gespannten Grundwasserleiter ein bis zu 75 m tiefer Absenkungstrichter (GERGES et al. 2002).

Sollte es wie erwartet im Zuge eines Klimawandels zu einer Zunahme der Aridität in Gebieten mit ohnehin geringen Niederschlägen kommen, so würde sich die Problematik der (Grund)wasserübernutzung noch verschärfen. Ein Ansatz zur Lösung des Problems eines zunehmenden Wasserbedarfs einer wachsenden Bevölkerung ist die künstliche Anreicherung von Grundwasser, die weltweit zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Künstliche Grundwasseranreicherung

Man unterscheidet bei der künstlichen Grundwasseranreicherung zwischen induzierter Uferfiltration an natürlichen Gewässern und der künstlichen Grundwasseranreicherung über angelegte Becken, Gräben oder Feuchtwiesen sowie mit Hilfe von Injektion über Brunnen. Neben der Aufstockung des Grundwasservorrats können als weitere Ziele der Grundwasseranreicherung die Vermeidung von Salzwasserintrusion, die vorübergehende Speicherung von Wasser und die Verbesserung der Wasserqualität genannt werden (BOUWER 2002). Eine Qualitätsverbesserung und ein Rückhalt von potenziellen Schadstoffen werden vor allem durch die physikalische Filterung, durch biochemischen Abbau und Sorptionsvorgänge erreicht.

Uferfiltration ist die Infiltration von oberirdischem Wasser in das Grundwasser. Voraussetzung für die Uferfiltration ist ein hydraulisches Potenzialgefälle vom Gewässer zur Grundwasseroberfläche. Dieses kann natürlich bestehen oder durch die Wasserförderung mittels Brunnen in Gewässernähe hervorgerufen werden (induzierte Uferfiltration; BOUWER 2002). Weitere Voraussetzungen für die erfolgreiche Bewirtschaftung von Uferfiltratfassungen ist eine ausreichende Durchlässigkeit der Gewässersohle, die sich durch Kolmation (Selbstabdichtung) verringern kann. Nach Schätzungen von HISCOCK & GRISCHKE (2002) beläuft

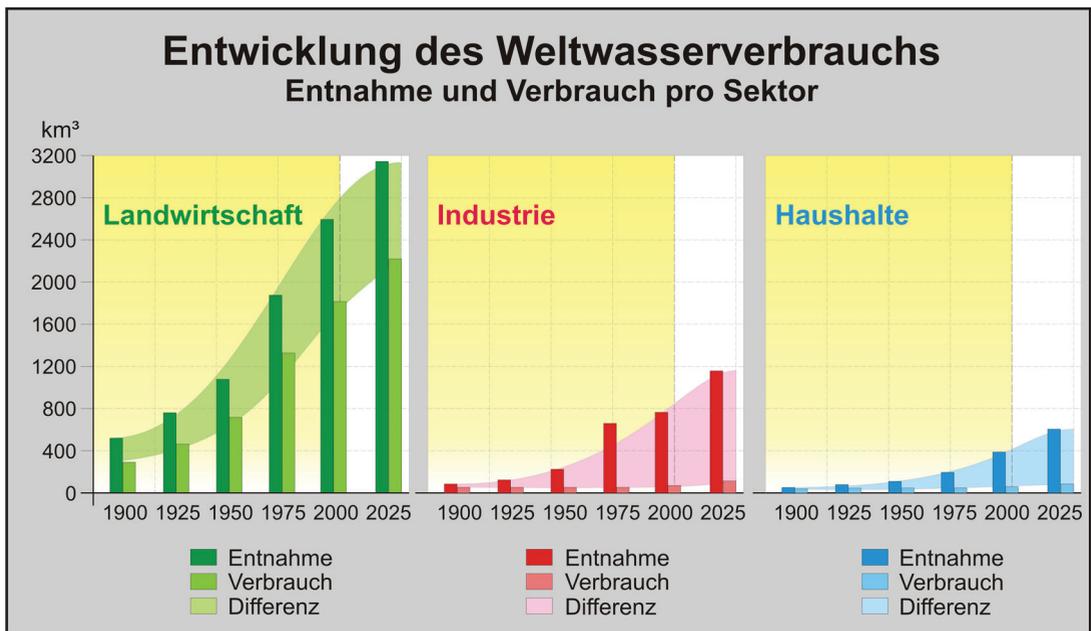


Abb. 1.9-2: Wasserverbrauch von Landwirtschaft, Industrie und Haushalten auf der Welt von 1900 bis 2025 (Prognose). (nach STRUCKMEIER et al. 2003 und UNEP 2002) (Mit freundlicher Genehmigung der BGR).

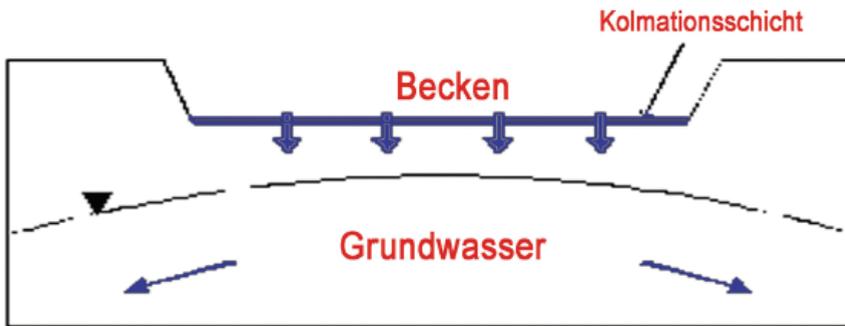


Abb. 1.9-3: Schema eines künstlich angelegten Infiltrationsbeckens in Berlin (Kolmation = Selbstabdichtung).

sich der Anteil des Uferfiltrats an der gesamten Wasserförderung in der Slowakei auf 50%, in Ungarn auf 45%, in Deutschland auf 16% und in den Niederlanden auf 5%. In Berlin werden sogar mehr als 70% des Trinkwassers durch Uferfiltration und künstliche Grundwasseranreicherung gewonnen (PEKDEGER & SOMMER-VON JARMERSTEDT 1998) (Abb. 1.9-3).

Eine künstliche Grundwasseranreicherung kann durch den Bau von Dämmen in vorübergehende oder dauerhafte Gewässer mit dem Ziel der Vergrößerung der Gewässeroberfläche erfolgen. Gängig ist auch der Bau von speziellen Infiltrationssystemen wie Lagunen, Becken, alten Kiesgruben, Überflutungsflächen, perforierten Rohren oder jeder denkbaren Einrichtung, die eine Wasserversickerung durch die ungesättigte Zone oder direkt in Grundwasser ermöglicht (BOUWER 2002). Die Vorteile und der Nutzen künstlicher Infiltrationsanlagen verhalten sich analog der Uferfiltration an künstlichen Gewässern. Aufgrund der meist fehlenden Strömung sind die Probleme mit der Kolmation und daraus folgenden Verringerung der Infiltrationskapazität meist größer, weshalb das zu versickernde Wasser häufig vorbehandelt und die Sohlen der Anlagen regelmäßig regeneriert werden.

Die künstliche Grundwasseranreicherung durch Injektion von Wasser in Schluckbrunnen (auch ASR, aquifer storage and recovery) wird vor allem in trockenen Gebieten in der Welt praktiziert (PYNE 1995). Auch wenn durchlässige Böden oder Landflächen nicht verfügbar sind oder wenn die Grundwasserleiter sehr tief oder gespannt sind, bietet sich die Verwendung von Injektionsbrunnen an. Neben dem Ziel der saisonalen Speicherung von Wasser können als weitere Nutzen die Verringerung der Salinität, das Verhindern von Salzwassereinträgen, die Verbesserung der Grund-

wasserqualität, die Speicherung von Wärme sowie die Vermeidung von Erdsenkung und Überflutungen sein (DILLON & PAVELIC 1996). Wenn es verfügbar ist, wird überschüssiges Regenwasser oder geklärtes Abwasser in Grundwasserleiter gepumpt, um in Zeiten von Wasserknappheit wieder herausgepumpt zu werden (BOUWER 1996). Ein großer Vorteil der Wasserspeicherung im Untergrund im Vergleich zur oberflächlichen Speicherung ist auch in den verschwindend geringen Wasserverlusten durch Verdunstung zu suchen.

Schlussbetrachtung

Grundwasser, welches in Grundwasserleitern gespeichert vorliegt und sich durch Infiltration von Niederschlags- oder Oberflächenwasser in den Untergrund Neubildet, stellt eine bedeutende Wasserressource dar. Da weltweit der Wasserbedarf der Bevölkerung wächst, wird die Bedeutung von Grundwasserressourcen als Grundlage der Wasserversorgung in Zukunft weiter zunehmen. Für eine nachhaltige Nutzung des Grundwassers sind sowohl quantitative als auch qualitative Faktoren von Bedeutung. Die Quantität der Grundwasserressourcen wird durch Übernutzung (die natürliche Grundwasserneubildung übersteigende Entnahme) gefährdet. Eine Möglichkeit, der Grundwasserübernutzung lokal entgegenzuwirken, ist die künstliche Grundwasseranreicherung. Zudem kann die Grundwasserqualität durch natürliche und anthropogene Verunreinigungen beeinträchtigt werden. Neben der fundierten Untersuchung und Bewertung der Prozesse im Grundwasser sollte deshalb der Schutz von Grundwasservorkommen vor Übernutzung und Verunreinigung verbessert werden.

Literatur

- ACKERER P., G. BATTERMANN, U. BLOTENBERG, A. GRUHN, W. KINZELBACH, W. SCHNEIDER & A. VOSS (1991): Sanierungsverfahren für Grundwasserschadensfälle und Altlasten - Anwendbarkeit und Beurteilung. DVWK (1980): DVWK-Schriften, 98, Bonn, P. Parey, 228 pp.
- BEYER W. (1964): Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit aus Kiesen und Sanden aus der Kornverteilung. Wasserwirtschaft- Wassertechnik: 165-169.
- BOUWER H. (1996): Issues in artificial recharge. Wat. Sci. Tech. 33(10-11), 381-390.
- BOUWER H. (2002): Artificial recharge of groundwater: Hydrology and engineering. Hydrogeol. J. 10(1), 121-142.
- BMZ (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT UND ENTWICKLUNG) (1999): Wasser - Konflikte lösen, Zukunft gestalten. Materialien 099, 179 pp.
- DILLON P. & P. PAVELIC (1996): Guidelines on the quality of stormwater and treated wastewater for Injection into aquifers for storage and reuse. Urban Water Research Association of Australia Report No 109, 48 pp.
- DVWK (1980): Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern. H. 114. Parey, Hamburg, 52 pp.
- EHLERS J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 358 pp.
- ESCALANTE A.E.F. & J.L. GUTIÉRREZ (2002): Hydrogeological studies proceeding artificial recharge in Los Arenales Duero basin, Spain. In: DILLON P.J. (ed.): Management of Aquifer Recharge for Sustainability, 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, Australia, 453-458.
- GERGES N.Z., P.J. DILLON, X.P. SIBENALER, R.R. MARTIN, P. PAVELIC, S.R. HOWLES & K. DENNIS (2002): South Australian experience with aquifer storage and recovery. In: DILLON P.J. (ed.): Management of Aquifer Recharge for Sustainability, 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, Australia, 453-458.
- HISCOCK K.M. & T. GRISCHEK (2002): Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. J. of Hydrology. 266, 139-144.
- KRUSEMANN G.P. & N.A. DE RIDDER (1994): Analysis and evaluation of pumping test data. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. 378 pp.
- LANDINI F. & G. PRANZINI (2002): Investigations and project for aquifer replenishment in Prato, Italy. In: DILLON P.J. (ed.): Management of Aquifer Recharge for Sustainability, 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, Australia, 279-283.
- MATTHES G & K. UBELL (1983): Allgemeine Hydrogeologie, Grundwasserhaushalt. - In: Lehrbuch der Hydrogeologie Bd. 1, Gebr. Borntraeger, Berlin-Stuttgart. 438 pp.
- NATERMANN E. (1951): Die Linie des langfristigen Grundwassers und die Trockenwetterabflüsse., Wasserwirtschaft (Sonderheft), Stuttgart, 12-14.
- NICKSON R., J. MCARTHUR, W. BURGESS, K. AHMED†, P. RAVENSCROFT & M. RAHMANN (1998): Arsenic poisoning of Bangladesh groundwater. Nature, 395.
- PEKDEGER A. & CH. SOMMER-VON JARMERSTEDT (1998): Einfluß der Oberflächenwassergüte auf die Trinkwasserversorgung Berlins. Forschungspolitische Dialoge in Berlin - Geowissenschaft und Geotechnik, Berlin, 33-41.
- PYNE R.D.G. (1995): Groundwater recharge and wells, a guide to aquifer storage and recovery. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 375 pp.
- STRUCKMEIER W.G., R.-H. FRANKEN, T. HAUT, F. HIMMELSBACH, F. SCHWARZ & M. ZEPKE (2003): Grundwasser. Commodity Top News 21. BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. 7 pp, www.bgr.de.
- UNEP (United Nations Environmental Program) (2002): Vital Water Graphics - An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters. www.unep.org/vitalwater, Zugriff am 20.04.2004.
- UNEP (United Nations Environmental Program) (2003): Geo Year Book 2003. www.unep.org/geo/yearbook, Zugriff am 21.04.2004.
- UNESCO (2003): Water for People – Water for Life- The United Nations World Water Development Report. UNESCO Publishing / Berghahn Books. 576 pp.
- WMO (World Meteorological Organisation) (1997): Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. WMO, Geneva.
- WWC (World Water Vision) (2000): Results of the Gender Mainstreaming Project: The way forward. Paris, World Water Vision Unit – World water Council UNESCO.
- ZAISHENG H. (2002): Artificial recharge of groundwater in the North China Plain. In: Dillon P.J. (ed.): Management of Aquifer Recharge for Sustainability, 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, Australia, 435-439.

*Prof. Dr. Gudrun Massmann
Hydrogeologie und Landschaftswasserhaushalt
Carl von Ossietzky Universität
Oldenburg D-26111 Oldenburg
gudrun.massmann@uni-oldenburg.de*

*Dr. Claus Kohphal
Prof. Dr. Asaf Pekdeger
Freie Universität Berlin
Institut für Geologische Wissenschaften
AB Hydrogeologie
Malteserstr. 74-100 - 12249 Berlin*