

Grundwasser – die Funktion des Waldes

Marc Schürch¹, Thilo Herold¹, Ronald Koze¹

Grundwasserneubildung

Menge und Qualität von Grundwasser, aus dem mehr als 80% des schweizerischen Trink- und Brauchwassers gewonnen werden, sind von zahlreichen Faktoren abhängig. Erste Voraussetzung für die Bildung von Grundwasser sind ausreichende **Niederschlagsmengen**, die entweder direkt versickern oder über Flussinfiltration das Grundwasser speisen. Im «Wasserschloss Europas» haben wir hiervon mit mittleren Jahresniederschlägen zwischen 500 und 2000 mm pro Jahr zum Glück genug, einmal abgesehen von ausnehmend langen Trockenperioden besonders in Karst-(Kalkstein)gebieten oder bei hohem Wasserbedarf in Ballungsräumen. Die **Bodennutzung** entscheidet massgeblich, ob das Niederschlagswasser, wie in Wald und Feld ungehindert in den Untergrund sickern kann oder ob durch Oberflächenversiegelung, wie in Siedlungs- und Industriegebieten bzw. auf Strassen und Plätzen die Grundwasserneubildung stark eingeschränkt ist. Waldgebiete, die 29.5 % der Fläche der Schweiz bedecken, haben daher einen massgeblichen Einfluss auf die Grundwasserneubildung. Weiterhin entscheidet die **Art des Untergrundes** darüber, wie gut das Wasser im Boden versickern kann und ob es in der Tiefe, in den geologischen Formationen, in genügender Menge gespeichert wird.

Elemente des Wasserkreislaufs im Wald

Hohe Wasserrückhaltung

Der belebte Oberboden in Wäldern ist reich an organischem Material und stellt ein komplexes Hohlraumsystem mit einer grossen Speicherwirkung dar. In den obersten zehn Zentimetern eines Waldbodens können darum, vergleichbar mit einem saugkräftigen Schwamm, pro Quadratmeter bis zu 50 l Wasser zurückgehalten werden. Bewuchs, Nadeln und Äste garantieren eine kontinuierliche, natürliche Bodenbedeckung, die mit dem ausgedehnten Wurzelwerk die Erosion des Waldbodens effizient verhindert. Im Wald findet ferner praktisch keine künstliche Bodenverdichtung statt. Um sich mit Nährstoffen und Wasser zu versorgen, verfügen Bäume und Sträucher über ein ausgedehntes Wurzelwerk, das oft bis in die wassergesättigte Zone reicht. Die Wurzeln lockern dichte Bodenhorizonte auf und bilden Makroporen, die das Sickerwasser in die Tiefe leiten (ONF 1999, Combe und Rosselli 2002).

Geringe Schadstoffeinträge

Der Eintrag von umweltgefährdenden Stoffen ist im Wald generell gering, weil der Einsatz jener Stoffe im Wald entweder verboten oder stark eingeschränkt ist, und auch kaum Notwendigkeit für die Verwendung solcher Stoffe besteht (vgl. Kuchli 2003, in diesem Heft). Der Waldboden zeichnet sich weiterhin durch eine hochwirksame Filterwirkung der mit dem Niederschlag in den Boden eingebrachten Schadstoffe aus. Darum ist in der Regel unter Wald gebildetes Grundwasser geringer belastet als Grundwasser aus landwirtschaftlich genutzten Bereichen und aus bevölkerungsreichen Gebieten. Doch auch im Wald ist die Grundwasserqualität durch grossflächige Kahlschläge und maschinelle Nutzung gefährdet. Nitratwaschungen unter Rodungsflächen, Schmiermittel und Kraftstoffe von Maschinen sowie Mittel zur Behandlung von gelagertem Holz können das Grundwasser gefährden. Diese Aktivitäten sind darum in Grundwasserschutz zonen stark eingeschränkt.

¹ Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Landesgeologie, Sektion Hydrogeologie, CH-3003 Bern-Ittigen.
Fax 031-3247681, marc.schuerch@bwg.admin.ch, www.bwg.admin.ch

Hohe Evapotranspiration und hoher Wasserkonsum

Je nach Intensität und Dauer der Niederschläge erreicht ein beträchtlicher Anteil des Niederschlagswassers gar nie den Waldboden, weil er an der grossen Vegetationsoberfläche von Krone und Stamm direkt wieder verdunstet (Harding et al. 1992). Dieser Interzeptionsverlust beträgt in Tannenwäldern z.B. etwa das Doppelte desjenigen von Grasland (Calder und Newson 1979). Die Höhe des Verlustes hängt vor allem von der Niederschlagshäufigkeit und von der Waldzusammensetzung (Nadelwald, Laubwald, etc.) ab. Die jährliche Wasseraufnahme des Waldbodens liegt etwa doppelt so hoch wie diejenige von Ackerland; ein Teil des aufgenommenen Wassers wird über die Transpiration an die Atmosphäre wieder abgegeben. Darum ist im Wald der Wasseranteil, der bei gleicher Niederschlagsmenge vom Oberboden zum Grundwasser sickert, generell geringer als unter Grasland und unter Ackerflächen (Cooper 1980). Abbildung 1 zeigt schematisch die verschiedenen Elemente des Wasserkreislaufs im Wald.

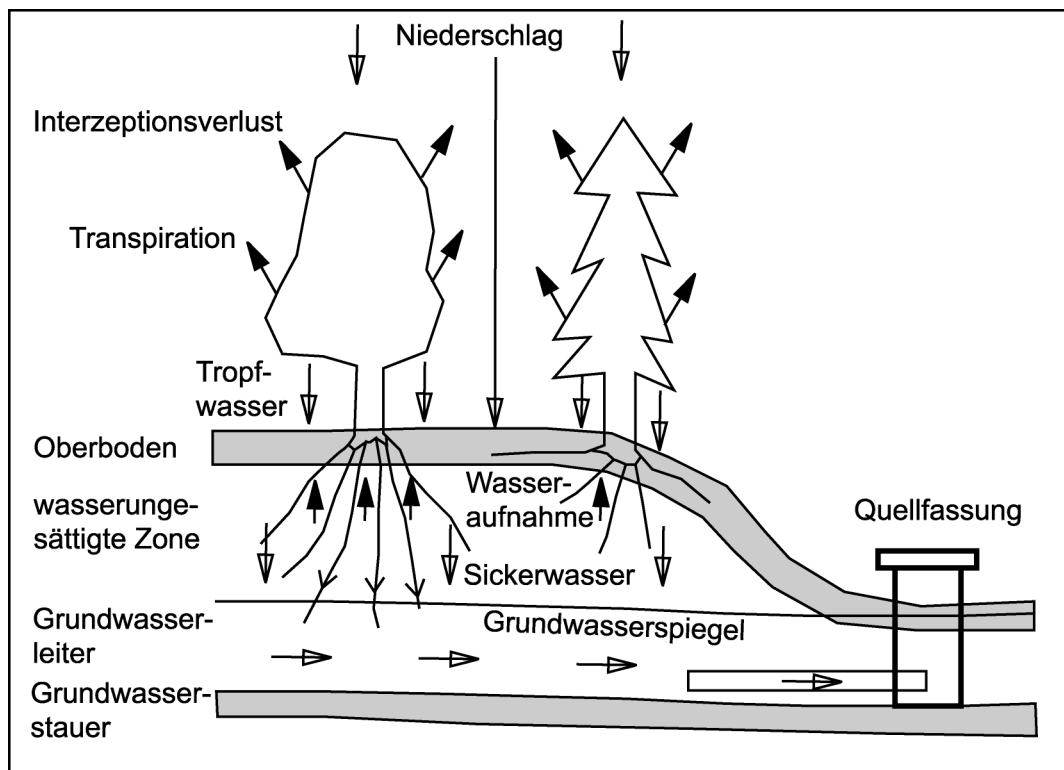


Abbildung 1: Elemente des Wasserkreislaufs im Wald.

Grundwasserbeobachtung

Grundwasser wird in der Schweiz intensiv beobachtet. Allerdings haben die verschiedenen Akteure unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen. Das Ziel der Überwachung durch die Wasserversorgungen ist es, lokal eine gute Trink- und Brauchwasserqualität in den Fassungen und im Leitungsnetz zu gewährleisten. Diese Trinkwasserüberwachung erfolgt unter der Aufsicht der kantonalen Laboratorien im Rahmen der Lebensmittelverordnung. Die kantonale Grundwasserbeobachtung liefert die notwendigen Daten für den Vollzug der Gewässerschutz- und Lebensmittelgesetzgebung. Die überregional koordinierte Beobachtung der Grundwasserverhältnisse ist Aufgabe des Bundes. Dieser erhebt zuverlässige und langfristige Daten und stellt sie für die Umweltstatistik und als Grundlage für den Grundwasserschutz zur Verfügung. Die nationale Grundwasserbeobachtung erlaubt eine landesweite Übersicht über den Grundwasserzustand des Landes und dessen Tendenzen und Risiken, als Grundlage für

eine nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung. Das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) betreibt seit 1976 das nationale Netz zur Beobachtung von Grundwasserständen und Quellschüttungen (NABESS) und seit 1997 gemeinsam mit dem BUWAL das nationale Netz zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers (NAQUA). Weiterhin besteht seit 1992 ein nationales Netz zur Beobachtung der Isotope im Wasserkreislauf (NISOT) für spezifische Anwendungen in der Hydrogeologie (Etcheverry 2002). Das Fernziel der Grundwasserbeobachtung in der Schweiz liegt in einem repräsentativen, zwischen den Kantonen und dem Bund koordinierten Beobachtungssystem bei minimiertem Ressourceneinsatz.

Grundwasservorkommen

Die Beobachtung der Grundwasservorkommen erfolgt anhand der Aufzeichnung von Daten der Grundwasserstände und Quellschüttungen. In den Kantonen ist die Datenlage sehr unterschiedlich. Es werden hauptsächlich Grundwasserstände in Piezometern und Pumpbrunnen gemessen. Kontinuierliche Quellschüttungsmessungen sind sehr selten. Das nationale Beobachtungsnetz NABESS verfolgt folgende Ziele (BWG 2002, Buttet und Eberhard 1995):

- Beobachtung des Einflusses von Grundwassernutzung sowie von anthropogenen Eingriffen wie Drainagen, Einbauten ins Grundwasser, Oberflächenversiegelung und Meteorwasserversickerung auf die Grundwasserressourcen.
- Beobachtung des Einflusses von Bodennutzung und Klimaänderung auf die Grundwasserressourcen sowie im Zusammenhang mit hydrogeologischen Risiken (Massenbewegungen, Überschwemmungen).

A priori treten in der Schweiz, mit Ausnahme in Karst- und Ballungsgebieten, bisher keine gravierenden mengenmässigen Grundwasserprobleme auf. In Anbetracht der zunehmenden anthropogenen Einflussnahme ist die quantitative Beobachtung des Grundwassers jedoch notwendig. Bislang erfasst das Beobachtungsnetz NABESS nur teilweise bewaldete Einzugsgebiete. Im Rahmen der geplanten Erweiterung des Beobachtungsnetzes durch Quell- und Piezometer-Messstellen, die vermehrt auch in Waldeinzugsgebieten liegen, wird zur Zeit eine Verbesserung der Repräsentativität der Daten angestrebt.

Quellen liefern mehr als die Hälfte des jährlich in der Schweiz als Trink- und Brauchwasser genutzten Grundwassers (SVGW 2000). Im Schweizer Mittelland, im Jura und in den Voralpen befinden sich die für die Wasserversorgung genutzten Quellen zum grossen Teil in bewaldeten Gebieten. Je nach dem Grundwasserleitertyp und den lokalen Fliessverhältnissen verhalten sich Quellen unterschiedlich und das Grundwasser ist von unterschiedlichem Alter und unterschiedlicher Ergiebigkeit. Quellen mit einer Grundwasserzirkulation in oberflächennahen, gut durchlässigen Lockergesteinsschichten reagieren im allgemeinen rasch auf Niederschlagsereignisse, dagegen zeichnen sich Quellen mit einer tiefergehenden Grundwasserzirkulation in Festgesteinen durch eine konstantere Schüttung aus. Pumpbrunnen in den Lockergesteinen der Flusstäler liefern die weitere knappe Hälfte des jährlich in der Schweiz konsumierten Grundwassers; nach Möglichkeit werden dabei Grundwasservorkommen in Wäldern bevorzugt. So liegen z.B. acht von neun Grundwasserfassungen der Stadt Winterthur im stadteigenen Wald (BUWAL 2003a). Abbildung 2 zeigt einige Eindrücke von Grundwassermessstationen im Wald.



Abbildung 2: Grundwasserbeobachtungsstellen im Wald: Piezometer (Quelle: NAQUA, BWG) und Quelfassung (Quelle: NISOT, BWG).

Grundwasserqualität

Grundwasser in Waldgebieten ist praktisch keinem direkten Eintrag von umweltgefährdenden Stoffen in den Boden ausgesetzt. Darum sind es vor allem natürliche Prozesse wie Wechselwirkungen zwischen dem Sickerwasser und der Bodensubstanz bzw. den Untergrundgesteinen sowie Oxidations- und Reduktionsprozesse, Nitrifikation/Denitrifikation und Ammonifikation, die die Qualität des Grundwassers in Waldgebieten bestimmen (Meylan 2003, Combe und Rosselli 2002). Der Eintrag von Luftschadstoffen ist zwar wegen der Filterwirkung und der Interzeption der Baumkronen in Waldgebieten generell höher als auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, die meisten Substanzen gelangen aber trotzdem nicht ins Grundwasser. Der hohe Humusgehalt vieler Waldböden, die damit verbundene Vielfalt an Bodenorganismen und die ganzjährige Bedeckung und Durchwurzelung des Bodens garantieren eine zuverlässige Filterfunktion, sowie einen Rückhalt und Abbau der Schadstoffe. Stickstoff wird z.B. durch Mikroorganismen und Pflanzen als Nährstoff und Energiequelle aufgenommen. Wo basische Stoffe wie z.B. Calcium aus tieferen karbonatreichen Schichten mobilisiert wird, versauert der Oberboden weniger rasch (BUWAL 2003b). Die chemische Zusammensetzung und die Qualität des Grundwassers hängt entscheidend von der geologischen Beschaffenheit der wasserungesättigten Zone ab. Die ungesättigte Zone mit Kies-, Sand- und Siltlagen enthält zwar nur wenig organisches Material, filtert aber zusätzlich zum Oberboden (Abbildung 1) das versickernde Wasser auf seinem Weg zum Grundwasser. Grundwasservorkommen in Karst- und Kluftgesteinen besitzen dagegen eine mittlere bis hohe Verschmutzungsempfindlichkeit (Vulnerabilität), da das Sickerwasser über grössere Öffnungen im Gestein direkt in die Tiefe gelangen kann. Die Gewässerschutzverordnung von 1998 (GSchV) fordert daher zur Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen bei diesen Gesteinstypen eine Bemessung nach Vulnerabilitätskriterien, die unter der Leitung des BWG und des BUWAL in Praxisanleitungen formuliert wurden (Doerfliger und Zwahlen 1998, Pochon und Zwahlen

2003). Wald wird hierbei als die geeignetste Bodennutzungsform für die empfindlichsten Gebiete angesehen.

Die Beobachtung der Grundwasserqualität erfolgt durch chemische Analysen von Wasserproben, die entweder in Piezometern oder in Grundwasserfassungen (Quellen und Pumpbrunnen) entnommen werden. Das Bundesnetz NAQUA beobachtet landesweit den Einfluss der Bodennutzung auf die Grundwasserqualität. Das Modul NAQUA_{TREND} erfasst an wenigen ausgewählten Stationen (50) langfristig die Grundwasserqualität in der Schweiz. An diesen möglichst repräsentativen Standorten werden physikalische Parameter des Grundwassers kontinuierlich erfasst, in regelmässigen Abständen umfassende chemische Analysen durchgeführt und hydrogeologische und hydrochemische Detailstudien erstellt (Greber et al. 2002). Das Modul NAQUA_{SPEZ} umfasst eine grössere Anzahl von Stationen (500), beschränkt sich aber auf gezielte Analysekampagnen von spezifischen Belastungsstoffen. Von den Hauptinhaltsstoffen des Grundwassers ist Nitrat der markanteste Indikator zur Beobachtung des Einflusses der Bodennutzung. Der Schwankungsbereich der Nitratwerte sämtlicher Einzelmessungen des Beobachtungsnetzes NAQUA_{TREND} liegt zwischen 0.1 und 47 mg/l (Greber et al. 2002). Der Anforderungswert der GSchV für als Trinkwasser genutztes Grundwasser fordert Nitratkonzentrationen von unter 25 mg/l. Anthropogen weitgehend unbelastetes Grundwasser, insbesondere unter Waldgebieten, unter unproduktiven Flächen und unter Dauergrünland (Weiden), weist generell nur wenige mg/l Nitrat auf. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die mittleren Nitratwerte für alle Messstellen von NAQUA_{TREND} zwischen 1997 und 2003 gruppiert nach der Hauptbodennutzung in den jeweiligen Einzugsgebieten. Die Abbildung belegt, dass die Bodennutzung markant die Nitratgehalte und somit auch die Qualität im Grundwasser bestimmt. Meylan (2003) bestätigt diese Beobachtungen anhand von breiter abgestützten Resultaten.

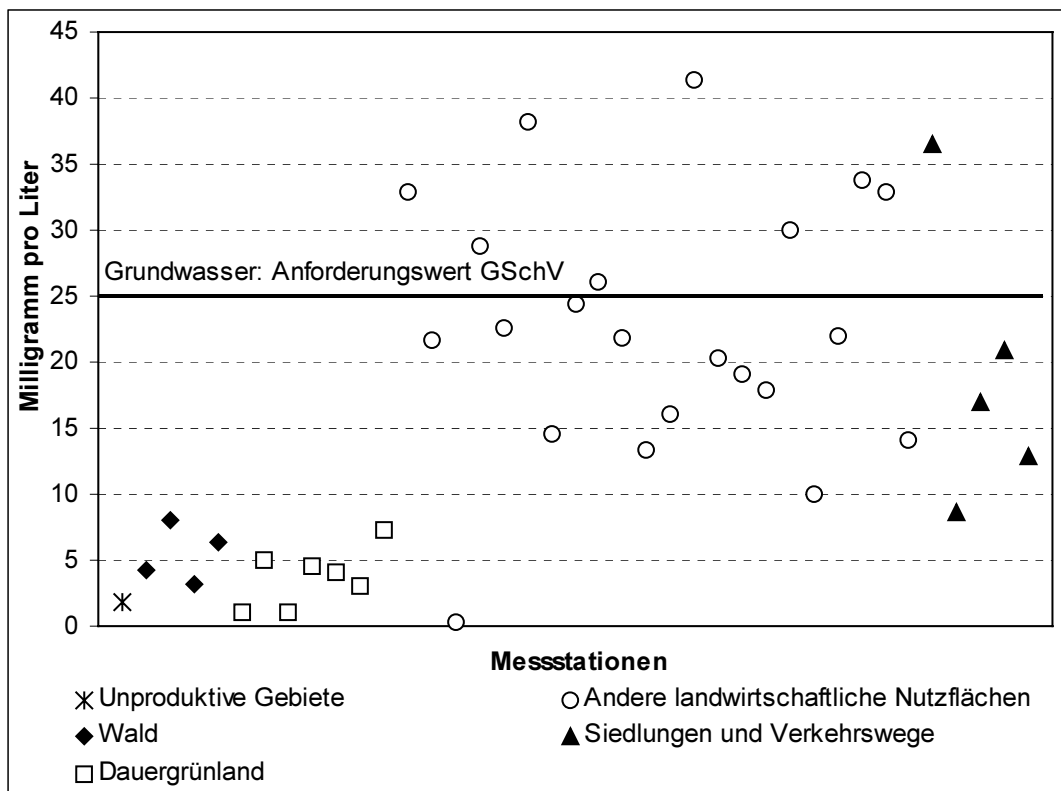


Abbildung 3: Mittlere Nitratgehalte im Grundwasser an allen NAQUA_{TREND}-Messstellen (1997-Februar 2003) gruppiert nach der Bodennutzung (Quelle: NAQUA_{TREND}, BWG).

Isotope des Wassermoleküls als Fingerabdruck im Wasserkreislauf

Die stabilen Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium und das radioaktive Isotop Tritium des Wassermoleküls werden in den Klima- und Naturwissenschaften als natürliche Tracer (Fingerabdruck) verwendet. Die Ursache für diesen Fingerabdruck liegt unter anderem in der Isotopenfraktionierung bei Phasenübergängen. Wenn z.B. Wasserdampf in der Wolke zu Regentropfen kondensiert, fraktionieren die Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium in Abhängigkeit der Temperatur und des Wasserdampfdruckes. Dies führt zu einem charakteristischen Isotopensignal für ein spezifisches Niederschlagsgebiet und für eine gegebene Jahreszeit. Hierdurch lassen sich Alter und Herkunft von Grundwasser elegant bestimmen, aber auch Studien über die Wasseraufnahme von Pflanzen durchführen. Das nationale Beobachtungsnetz NISOT stellt hierzu regionale Referenz- und Grundlagendaten der Isotope des Wassermoleküls zur Verfügung (Schotterer et al. 2000). So konnte mit Hilfe der stabilen Isotope, insbesondere der Datenserien von Sion (Niederschlag) und Porte-du-Scex (Rhonewasser), im Rahmen der dritten Rhonekorrektur der Anteil des infiltrierenden Rhonewassers im Grundwasser abgeschätzt werden (Fette 2002). Jäggi et al. (2003) konnten die Sauerstoff-18-Werte, die von NISOT im Niederschlag an der Station Buchs-Suhr gemessen wurden, mit denjenigen im Bodenwasser, in Baumrinden und in Tannennadeln in Beziehung setzen, und konnten dadurch nachweisen, dass die Sauerstoff-18-Werte in den untersuchten Tannennadeln und in den Baumrinden in Abhängigkeit von den Sauerstoff-18-Werten im Bodenwasser und im Niederschlag saisonal schwanken. Dieses Beispiel zeigt wie schnell der Isotopen-Fingerabdruck im Niederschlag, respektive im Bodenwasser ins organische Material von Baumrinden und Nadeln übertragen wird.

Schlussbemerkungen

Menge und Qualität des Grundwassers sind vor allem von der Niederschlagsmenge, der Bodennutzung und der Art des Untergrundes abhängig. Die Bodennutzung entscheidet massgeblich wie rasch das Niederschlagswasser in den Untergrund sickern kann und wie stark es mit Schadstoffen belastet ist. Dabei sind bewaldete Gebiete und Dauergrünland die geeignetsten Bodennutzungsarten für den Schutz des Grundwassers. Das Verhalten und die Ergiebigkeit von Quellen und Pumpbrunnen werden massgeblich durch den Grundwassertyp (Poren-, Karst-, Kluftgrundwasser) und die lokalen Fliessverhältnisse bestimmt. Die Aufgabe der Grundwasserbeobachtung ist es, den Zusammenhang zwischen diesen verschiedenen Einflussfaktoren und den Grundwasserverhältnissen (Quantität und Qualität) möglichst repräsentativ aufzuzeigen und darauf gestützt, gegebenenfalls die erforderlichen Massnahmen zu ergreifen.

Literatur

- Buttet P. & Eberhard A. 1995. Das Eidgenössische Grundwasser-Beobachtungsnetz. Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern-Ittigen, Hydrologische Mitteilungen 22.
- BUWAL 2003a. Der Stadtwald schützt das Trinkwasser von Winterthur. BUWAL, Bern-Ittigen, www.umwelt-schweiz.ch.
- BUWAL 2003b. Laubwälder liefern das beste Trinkwasser. BUWAL, Bern-Ittigen
- BWG 2002. Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz. Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern-Ittigen, www.bwg.admin.ch.
- Calder I. R. & Newson M. D. 1979. Land use and upland water resources in Britain – a strategic look. Water Resources Bulletin 16: 1628-1639.

- Combe J. & Rosselli W. 2002. L'eau qui sort des bois – quand forêt durable rime avec eau potable. Actes de la Journée thématique de l'Antenne romande du WSL du 26 novembre 2002 à l'EPF-Lausanne. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, www.wsl.ch.
- Cooper J. D. 1980. Measurement of moisture fluxes in unsaturated soil in Thetford Forest. Rep. 66, Institute of Hydrology, Wallingford, United Kingdom.
- Doerfliger N. & Zwahlen F. 1998. Kartierung der Vulnerabilität in Karstgebieten (Methode EPIK). Praxishilfe. BUWAL, Serie Vollzug Umwelt, www.umwelt-schweiz.ch.
- Etcheverry D. 2002. Valorisation des méthodes isotopiques pour les questions pratiques liées aux eaux souterraines - Isotopes de l'oxygène et de l'hydrogène. Bundesamt für Wasser und Geologie. Bern-Ittigen. Berichte des BWG, Serie Geologie Nr. 2.
- Fette M. 2002. Dritte Rhonekorrektur: Revitalisierung trotz Kraftwerksbetrieb? EAWAG news 55, 21-23.
- Greber E., Baumann A., Cornaz S., Herold T., Kozel R., Murali R. & Zobrist J. 2002. Grundwasserqualität in der Schweiz. NAQUA_{TREND} – das nationale Beobachtungsprogramm. Gas Wasser Abwasser 3/2002: 191-201.
- Harding R. J., Neal C. & Whitehead P. G. 1992. Hydrological effects of plantation forestry in north-western Europe. In: Teller A., Mathy P. & Jeffers J. N. R. (eds). Responses of forest ecosystems to environmental changes. Elsevier, New York, pp 445-455.
- Jäggi M., Saurer M., Fuhrer J. & Siegwolf R. 2003. Seasonality of $\delta^{18}\text{O}$ in needles and wood of *Picea abies*. New Phytologist 158: 51-59.
- Küchli Ch. 2003. Der Wald schützt das Trinkwasser am besten. Bündnerwald Nr. 4/2003.
- Meylan B. 2003. Der Wald sorgt für sauberes Trinkwasser. Gas Wasser Abwasser 3/2003: 191-199.
- ONF 1999. L'eau et la forêt. Bulletin technique, numéro spécial n° 37. Office National des Forêts, Fontainebleau, France, www.onf.fr.
- Pochon A. & Zwahlen F. 2003. Ausscheidung von Grundwasserschutz zonen bei Kluft-Grundwasserleitern. Praxishilfe. BUWAL, Serie Vollzug Umwelt, www.umwelt-schweiz.ch (in Vorbereitung).
- Schotterer U., Stocker T., Bürki U., Hunziker J., Kozel R., Grasso D. A. & Tripet J.-P. 2000. Das Schweizer Isotopen-Messnetz. Trends 1992-1999. Gas Wasser Abwasser 10/2000: 733-741.
- SVGW 2000. Statistische Erhebung der Wasserversorgung in der Schweiz 1998. Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Zürich.