Zeitschrift: Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftern; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

Band: 17 (2012)

Heft: 2

Artikel: Klimaänderung und deren Auswirkungen auf die Grundwasserressourcen : Resultate des gleichnamigen Workshops vom 11. Mai 2012

Autor: Schürch, Marc / Höhn, Eduard / Hunkeler, Daniel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-349245

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 07.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Swiss Bull. angew. Geol. Vol. 17/2, 2012 S. 85-92

Klimaänderung und deren Auswirkungen auf die Grundwasserressourcen – Resultate des gleichnamigen Workshops vom 11. Mai 2012

Marc Schürch[1], Eduard Höhn[2], Daniel Hunkeler[3], Federico Matousek[4], Pascal Turberg[5]

1. Ziel und Inhalt des Workshops

Die sich abzeichnende Klimaänderung wird sich auch auf das Grundwasser der Schweiz auswirken (BAFU 2012a). In diesem Zusammenhang organisierten die Arbeitsgruppe «Klima und Grundwasser» der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrogeologie SGH und die Gruppe «Grundwasserprojekte» des Nationalen Forschungsprogramms NFP/PNR61 «Nachhaltige Wassernutzung» einen Workshop mit dem Titel «Klimaänderung und deren Auswirkungen auf die Grundwasserressourcen». Der Workshop wurde am 11. Mai 2012 in Solothurn durchgeführt. Er hatte zum Ziel, einen Erfahrungsaustausch zwischen der Forschung und der Praxis zu ermöglichen. Das zentrale Thema war, wie im Grundwassersektor verschiedene Akteure aus Wissenschaft, Beratung, Planung, Wasserversorgung und Behörden mit den Fragen der Auswirkungen der Klimaänderung auf die Grundwasserressourcen umgehen. Folgende Fragen standen im Vordergrund:

- Wie schätzen die verschiedenen Akteure mögliche Auswirkungen der Klimaänderung auf die Grundwasserressourcen und den Wasserbedarf ein?
- Welche Aktivitäten haben die verschiedenen Akteure bereits eingeleitet, um Antworten auf die beobachteten und prognostizierten Auswirkungen der Klimaänderung auf die Grundwasserressourcen zu finden?
- Gibt es Anzeichen aus der Praxis, die auf klimabedingte Veränderungen der Wasserressourcen oder des Wasserbedarfes hinweisen?
- Wo erkennen die verschiedenen Akteure einen Handlungsbedarf seitens der Forschung?

Am Workshop nahmen rund 50 Vertreter der verschiedenen Akteure teil. Das Programm des Workshops setzte sich aus den drei Themenbereichen «Grundwasserquantität», «Grundwasserqualität» und «Wasserwirtschaft/Bewässerungsbedarf» zusammen. Zu jedem der drei Bereiche fand jeweils ein Vortrags- und Diskussionsblock im Plenum statt. Bei der Aufarbeitung wurden die diskutierten Themen, wie nachfolgend dargestellt, neu gruppiert: Monitoring, Prognosen/Szenarien, Prozesse und Bewirtschaftungsaspekte. Der nachfolgende Bericht fasst diese Aufarbeitung zusammen.

2. Resultate

2.1 Monitoring

Lange Datenreihen spielen für das Verständnis von Prozessen im Grundwasser und für die Erstellung von Szenarien und Prognosen eine wichtige Rolle. Kann man Auswirkun-

[1] Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie, 3003 Bern
[2] Buchserstrasse 44, 8157 Dielsdorf
[3] Centre d'hydrogéologie et de géothermie, Rue Emile-Argand 11, 2000 Neuchâtel
[4] Dr. von Moos AG, Bachofnerstrasse 5, 8037 Zürich
[5] EPFL, GC A2 435 (Bâtiment GC), Station 18, 1015 Lausanne

gen der Klimaänderung auf das Grundwasser in der Vergangenheit anhand langjähriger Datenreihen ablesen, ermöglicht dies ein besseres Verständnis der gegenwärtigen Prozesse und lässt auf mögliche zukünftige Entwicklungen schliessen. So fliessen z. B. im Rahmen der regelmässigen Überprüfung von Messnetzkonzepten bereits heute Erkenntnisse aus vorhergesagten zukünftigen Niederschlagsszenarien (OcCC/ProClim 2007; CH2011 2011) ins Oberflächenwasser- und Grundwasser-Monitoring ein. Dies gilt insbesondere für die Beobachtung von Niedrig- und Hochwasserperioden.

Die Dokumentation von Auswirkungen der Klimaänderung auf die Grundwasserressourcen sollte sich generell auf einzelne bereits gut charakterisierte Grundwasserleiter konzentrieren, dabei aber auch alle wichtige Grundwasserleitertypen abdecken. An diesen Standorten sollte ein möglichst umfassender Datensatz erhoben werden, um Ursachen (z.B. Variationen im Niederschlag) und Wirkungen (z.B. Änderungen in der Quellschüttung) miteinander in Beziehung setzen zu können. Dabei ist zu beachten, dass anthropogene Einflüsse (Flussbau- und Infrastrukturmassnahmen, Wasserentnahmen) häufig grösser sind als natürliche Einflüsse. Darum können die Auswirkungen der Klimaänderung auf das Grundwasser in der Regel nur an anthropogen unbeeinflussten Grundwasserleitern abgelesen werden.

Insbesondere Quellen aus Lockergesteinen und verkarsteten Festgesteinen eignen sich für diese Untersuchungen, da sie generell rasch auf Witterungsveränderungen reagieren. So nahm an solchen Quellen die Schüttung während der mehrmonatigen Trockenperiode im Jahr 2003 markant ab (BUWAL,

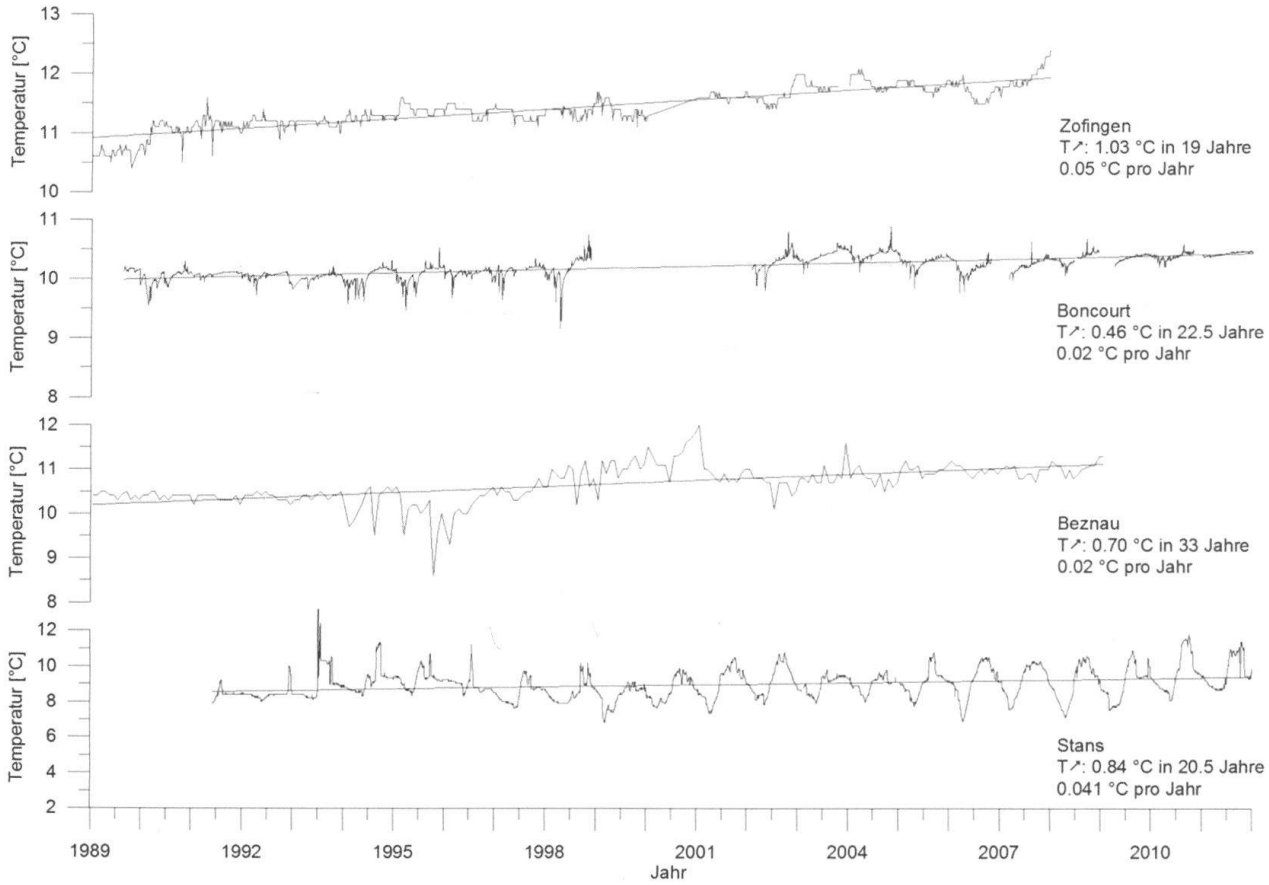

Fig. 1: Zeitliche Entwicklung der Grundwassertemperatur (1989 - 2012) an vier Messstellen in Lockergesteins-Grundwasserleitern der Schweiz (aus BAFU 2012/13).

BWG, MeteoSchweiz 2004). Darum bietet es sich an, auch Veränderungen bei der Grundwasserneubildung durch Versickerung von Niederschlagswasser vor allem in diesen Gebieten zu beobachten. Die Messmethode, respektive das Messnetzkonzept sollten dabei der Fragestellung und dem zu betrachtenden Massstab (regional, lokal) angepasst sein.

Für Klimafragen ist die Wassertemperatur ein entscheidender Parameter. Sie ist einer der wichtigsten Regulatoren von chemischen und biologischen Vorgängen in Gewässern. Die Temperatur beeinflusst unter anderem Stoffwechselvorgänge und das Wachstum und die Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften. Verbreitet wird infolge des Anstiegs der Lufttemperatur auch ein Anstieg der Temperatur im oberflächennahen Grundwasser beobachtet. Die Grundwassertemperatur hängt neben der Lufttemperatur aber auch vom Grundwasserleitertyp, von der Tiefe des Grundwasservorkommens sowie von der Art und Geschwindigkeit der Grundwasserneubildung ab (Infiltration von Niederschlags-, Fluss-, Schnee- und Gletscherschmelzwasser). In Fig. 1 sind beispielhaft vier Grundwassermessstellen in Lockergesteins-Grundwasserleitern dargestellt, an welchen ein Temperaturanstieg von ca. 0.4–1.0 °C über die letzten 20 Jahre beobachtet wurde (BAFU 2012/13).

2.2 Prognosen/Szenarien

Gemäss den Niederschlagsszenarien 2050/2100 für die Schweiz (CH2011 2011) werden bis 2070 trockene Jahre – vergleichbar mit 2003 – häufiger auftreten. Für Grundwasservorkommen und grundwasserabhängige Ökosysteme sind mehrere aufeinanderfolgende trockene Sommer ohne zwischenzeitliche Erholung problematisch. Solche Szenarien müssen in zukünftigen Grundwasserprognosen und Grundwassermodellierungen berücksichtigt werden, um die Auswirkungen zunehmender Trockenperioden auf das Grundwasser und auf Fliessgewässer adäquat abzubilden. Um Unsicherheiten in Grundwasserprognosen und Grundwasserszenarien zu eruieren und zu minimieren, braucht es vor allem gute langjährige Grundwasserdaten (siehe Kapitel 2.1).

Gemäss dem Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» CCHydro wird sich das mittlere jährliche Wasserdargebot in der Schweiz bis 2100 nur wenig ändern (BAFU 2012a). Jedoch wird eine Änderung in der jahreszeitlichen Verteilung des Wasserdargebotes erwartet (BAFU 2012a, Bollinger & Nyffenegger 2012). Für das Grundwasser wird das jährlich nachhaltig nutzbare Dargebot derzeit auf etwa 18 km^3 geschätzt (Sinreich et al. 2012). Für eine differenzierte Beurteilung der Auswirkungen von Klimaänderung respektive Verschiebungen beim Oberflächenwasserdargebot auf das Grundwasser ist es hilfreich, verschiedene Grundwasserregime zu unterscheiden (Schürch et al. 2010). Grundwasserleiter mit einem pluvialen und nivo-pluvialen Regime, welches typisch für den Jura und das Mittelland bzw. die Voralpen ist, könnten unter den prognostizierten, zunehmenden Trockenperioden leiden. Damit sich ein Lockergesteins-Grundwasserleiter mit pluvialem Regime – zumal wenn die Grundwasserneubildung zeitlich verzögert geschieht – nach einer Trockenperiode erholen kann, sind mehrere Niederschlagsperioden bis hin zu mehreren Jahren notwendig. In Fig. 2 sind für einen solchen Fall an der NAQUA-Messstelle Niederbipp/BE die Monate mit überdurchschnittlichem Grundwasserstand in Blau und diejenigen mit unterdurchschnittlichem Grundwasserstand in Rot dargestellt. Generell fällt über die letzten 20 Jahre eine sinkende Tendenz des Grundwasserstandes sowie eine Zunahme der Jahre mit unterdurchschnittlichen Werten auf. Dies kann zumindest teilweise mit Effekten der Klimaänderung er-

klärt werden. Grundwasserleiter mit einem nivo-glazialen Regime mit hydraulischer Anbindung an einen Fluss aus den Alpen werden hingegen vorerst von einer erhöhten Gletscherschmelze profitieren (BAFU 2012a). Mit dem Verschwinden einiger Gletscher ab ca. 2050 ist hier dann aber ein Rückgang der Grundwasserstände zu erwarten (BAFU 2012a).

2.3 Prozesse

Die Wechselwirkungen zwischen Fliessgewässern und Grundwasser sind seit längerer Zeit Gegenstand intensiver praxisnaher Forschung (z.B. Huggenberger et al. 2006; Hoehn et al. 2007; Vogt et al. 2009; Hunkeler 2012). Im Folgenden werden einige Aspekte kurz beschrieben, die in dieser Hinsicht für Untersuchungen zur Klimaänderung und deren Auswirkungen eine signifikante Rolle spielen.

Flussgespeiste Grundwasserleiter, wie z. B. die Aareschotter zwischen Rubigen und Kiesen/BE oder der Thurtalschotter zwischen Bürglen/TG und Gütighausen/ZH, reagieren unmittelbar auf Niederschlagssituationen und erholen sich auch nach einer Trockenperiode relativ rasch. Bei flussgespeisten Grundwasserleitern nehmen mit fortschreitender Kolmatierung (Abdichtung des Flussbettes) die Flusswasserinfiltration und somit die Grundwasserneubildung ab. Hochwasserereignisse können die abgedichtete Sohle des Flussbettes auflockern bzw. abtragen. So wurde z. B. nach dem August-Hochwasser 2005 entlang der Kleinen Emme eine höhere Flusswasserinfiltration und somit Grundwasserneubildung beobachtet als vor dem Hochwasser. Nach den Niederschlagsprognosen von CH2011 könnten Extremereignisse und damit Hochwassersituationen in den Fliessgewässern zunehmen. Es bleibt abzuklären, was dies für die Kolmatierungs- und Dekolmatierungsphasen in den Flüssen bedeutet.

Überschwemmungen von Grundwasserfassungen, die nahe an Fliessgewässern liegen, können zum direkten Eintrag von verunreinigtem Flusswasser führen, wie z. B. in der Rhonetalebene im Wallis oder in der Aaretalebene zwischen Thun und Bern (Schürch et al. 2008; Sinreich et al. 2008). Dies bedeutet, dass bei einer Zunahme von Hochwasserereignissen ufernahe Grundwasserfassungen öfters beeinträchtigt sein könnten. Massnahmen zur Sanierung solcher Fassungen sind in Diskussion (Hoehn & Meylan 2009).

In Niedrigwasserperioden fallen im Mittelland und Jura bereits heute gewisse Flussabschnitte trocken (z. B. Sissle zwischen Frick und Eiken, Töss und Trueb in Teilen ihres Oberlaufs). Als Folge davon bleibt in dieser Zeit die Flusswasserinfiltration ins Grundwasser aus. Wird gleichzeitig die Grundwasserentnahme nicht reduziert, kann der Grundwasserspiegel markant absinken, wie

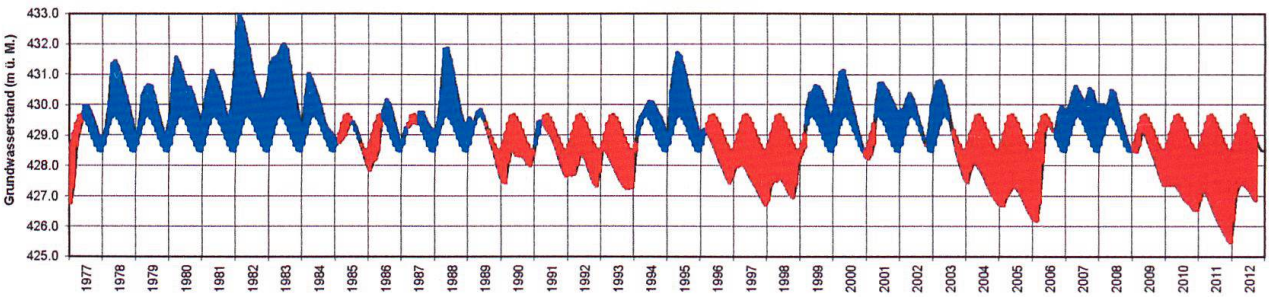

Fig. 2: Auf Niederschlagsereignisse langsam reagierender Lockergesteins-Grundwasserleiter, dessen Grundwasserstand sich nach einer Trockenperiode erst nach mehreren Jahren wieder normalisiert. NAQUA-Messstelle Niederbipp/BE (BAFU 2009); Grundwasserstand 1977 - 2012; Monate mit überdurchschnittlichem Grundwasserstand in Blau, mit unterdurchschnittlichem Grundwasserstand in Rot.

Fig. 3 beispielhaft zeigt. Mit den prognostizierten, zunehmenden Trockenperioden im Sommer könnten jene Flussabschnitte häufiger und länger trockenfallen sowie sich die betroffenen Abschnitte ausdehnen.

Lockergesteins-Grundwasserleiter ohne Anbindung an ein Fliessgewässer werden durch versickerndes Niederschlagswasser gespeist. Je tiefer der Grundwasserspiegel liegt bzw. je mächtiger die ungesättigte Zone ist, desto träger reagiert der Grundwasserleiter auf Witterungsveränderungen. Das Prozessverständnis der Sickerflüsse zwischen der Bodenzone und tiefen Grundwasserspiegeln ist derzeit ungenügend und muss verbessert werden. Hier sind integrale Ansätze der Pedologie, Hydrogeologie und z.B. Geophysik notwendig. Das Prozessverständnis in der Bodenschicht kann anhand von in-situ Studien (Gimmi 2004) sowie Studien an künstlichen Lysimetern verbessert werden (Vögeli Albisser & Prasuhn 2011).

Änderungen der Wassertemperatur infiltrierender Fliessgewässer wirken sich auf die Grundwasserqualität aus, besonders dann, wenn ein direkter hydraulischer Anschluss des Grundwassers an das Fliessgewässer vorliegt (z. B. Hoehn et al. 1983). Mit zunehmender Temperatur erhöht sich die mikrobiologische Aktivität im Grundwasser. Wird im Grundwasser gelöster Sauerstoff durch mikrobiologische Aktivität reduziert, können Redoxprozesse wie Nitratreduktion oder Eisen- und Manganlösung einsetzen (von Gunten et al. 1991). Wie sich aber Redoxprozesse und mikrobiologische Aktivität im Grundwasser mit der Klimaänderung verändern werden, ist derzeit schwierig absehbar.

Trockenperioden können sich neben der Grundwasserneubildung auch auf die Grundwasserqualität auswirken. So kann es in Trockenperioden aufgrund der verstärkten Verdunstung und geringeren Pflanzenaufnahme zu einer Anreicherung von Stoffen wie Nitrat im Bodenwasser kommen. Bei nachfolgenden Perioden mit erhöhten Niederschlägen werden die Stoffe dann ausgewaschen, was zu erhöhten Nitratkonzentrationen im Grundwasser führen kann, wie nach dem Trockenjahr 2003 häufig beobachtet (BUWAL, BWG, MeteoSchweiz 2004). Zudem kann bei flussnahen Förderbrunnen in Trockenperioden der Anteil Grundwasser, welcher aus landwirtschaftlich beeinflussten Gebieten zuströmt, zunehmen.

2.4 Bewirtschaftungsaspekte

Erste Ergebnisse aus dem NFP61 zeigen, dass Stauseen und Kraftwerksbecken bereits heute vermehrt als multifunktionale Speicher verwendet werden. D. h., dass das Wasser je nach Jahreszeit für die Trinkwasserversorgung, Stromproduktion oder für das Beschneien von Skipisten verwendet wird.

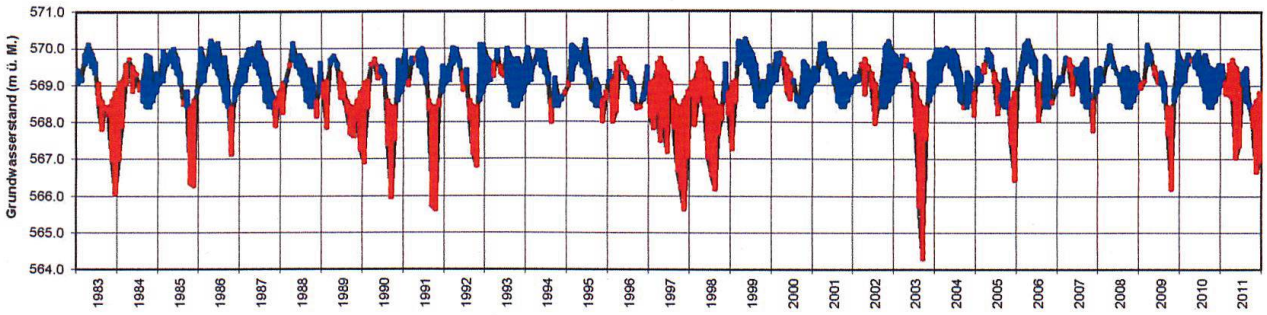

Fig. 3: Absinken des Grundwasserspiegels nach Trockenfallen des Flussabschnittes (hier die Töss). NAQUA-Messstelle Wila/ZH (BAFU 2009); Grundwasserstand (1983 - 2011); Monate mit überdurchschnittlichem Grundwasserstand sind in Blau und diejenigen mit unterdurchschnittlichem Grundwasserstand in Rot dargestellt.

Grundwasserleiter fungieren ebenfalls als Wasserspeicher bzw. werden als solche verwendet. So spielt die künstliche Anreicherung des Grundwassers mit Flusswasser aus dem Rhein und der Birs bei der Trinkwassergewinnung für die Region Basel eine wichtige Rolle (Aellig 2001; Regli & Huggenberger 2008; hardwasser.ch 2012). Für eine integrale Bewirtschaftung von Lockergesteins-Grundwasserleitern werden dabei zunehmend Grundwassermodelle verwendet, wie z. B. bei dem Limmat-Grundwasserleiter in Zürich (Engeler et al. 2011) und bei dem Arve-Grundwasserleiter in Genf (de los Gobos 2010).

Grundwasser wird zunehmend auch für die Kühlung bzw. das Heizen von Gebäuden genutzt. Wie das Trockenjahr 2011 zeigte, kann der Betrieb von Wärmepumpen in Trockenperioden aber infolge eines tiefen Grundwasserstands zeitlich beeinträchtigt sein. Tiefe Grundwasserstände könnten zudem dazu führen, dass in Förderbrunnen ohne Anbindung an ein Fliessgewässer in Niedrigwasserperioden weniger Wasser entnommen werden kann.

Nicht zuletzt sollten bei der Erstellung von Grundwasserszenarien weitere sozio-ökonomische Aspekte im Zusammenhang mit Tourismus, Waldnutzung oder auch Landschaftspflege vermehrt berücksichtigt werden.

Insgesamt sind bei der Bewirtschaftung der Wasserressourcen – auch im Rahmen der Klimaänderung – unterschiedlichste Aspekte zu berücksichtigen. Die Bundesbehörden sind derzeit daran, Empfehlungen für ein integrales Einzugsgebietsmanagement zu erstellen (WASSER-AGENDA 21 2011). Der Bericht «Wasserversorgung 2025» (BAFU 2013) und der Bericht «Anpassungsstrategien des Bundes» (BAFU 2012b) machen bereits Empfehlungen für die Sicherstellung der Wasserversorgung in Trockenperioden, z. B. durch eine vermehrte Vernetzung von kleinen Wasserversorgungen.

3. Fazit und Empfehlungen

3.1 Fazit

- Während die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Grundwasserquantität relativ gut abgeschätzt werden können, gibt es in Bezug auf die Grundwasserqualität noch erhebliche Unsicherheiten. Hier muss das Prozessverständnis verbessert werden, insbesondere im Zusammenhang mit Redoxprozessen und der mikrobiologischen Aktivität im Grundwasser.
- Für die Beobachtung der Auswirkungen der Klimaänderung auf das Grundwasser sollten ausgesuchte, klimarelevante Parameter an einzelnen, gut charakterisierten Grundwasserleitern erhoben werden. Diese Parameter sind insbesondere Grundwasserstand bzw. Quellschüttung, Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt und Redox-Potenzial. Somit würde ein vollständiges Datenset für die Erstellung von Grundwasserszenarien und Prognosen zur Verfügung gestellt werden können.
- Problematisch für die Wasserversorgung und für grundwassergebundene Ökosysteme sind mehrere hintereinander folgende trockene Jahre. Diese Situation sollte darum unbedingt in zukünftigen Szenarien- und Prognose-Modellierungen berücksichtigt werden. Grundwasserleiter mit einem pluvialen und nivo-pluvialen Regime werden zuerst unter der Klimaänderung leiden; Grundwasserleiter mit einem nivo-glazialen Regime hingegen werden vorerst noch von einer erhöhten Gletscherschmelze profitieren. Erst nach Rückgang der Gletscher werden auch bei Letzteren negative Veränderungen eintreten.

3.2 Empfehlungen

Die SGH-Arbeitsgruppe «Klima und Grundwasser» ist der Auffassung, dass die Akteure aus Beratung, Planung, Wasserversorgung und Behörden auf Unterstützung der Forschung angewiesen sind und deshalb Hand-

lungsbedarf besteht. Das NFP61-Programm des Schweizerischen Nationalfonds unternimmt bereits Anstrengungen in diese Richtung. Insbesondere sollten Strategien erarbeitet werden, mit deren Hilfe die Auswirkungen der Klimaänderung auf das Grundwasser gemildert werden können. Hierzu hat die SGH-Arbeitsgruppe «Klima und Grundwasser» folgende Empfehlungen formuliert:

1] Das Grundwasser-Monitoring sollte sich in Bezug auf die Klimaänderung auf repräsentative und gut charakterisierte Grundwasserleiter konzentrieren. An ausgesuchten Standorten sollten klimarelevante Parameter langfristig erhoben werden, um die verschiedenen Einflussfaktoren und Elemente des Wasserkreislaufes (Bodenfeuchte/ Infiltration, Grundwasserstände, Abflüsse) zu charakterisieren. Neben dem Grundwasserstand bzw. der Quellschüttung stellen immer auch die Temperatur und der Sauerstoffgehalt wichtige Parameter dar, die ebenfalls erfasst werden sollten.
2] Bestehende langjährige Datenreihen in anthropogen unbeeinflussten Grundwasserleitern sollten unbedingt weitergeführt werden, da sie in der Schweiz relativ selten sind und damit bereits begonnene Veränderungen weiterverfolgt werden können.
3] Für das Verständnis der Prozesse bei der Grundwasserneubildung sind Messungen an natürlichen Lysimetern (Quellen mit kleinem Einzugsgebiet) und künstlichen Lysimetern notwendig.
4] Die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Grundwasserqualität müssen besser untersucht werden. Im Gegensatz dazu sind die Auswirkungen auf die Grundwasserquantität – ausser beim Prozessverständnis in der ungesättigten Zone – relativ gut bekannt.
5] Grundwasserszenarien 2050/2100 sollten für ausgesuchte, repräsentative und gut untersuchte Grundwasserleiter erstellt werden. Die Modellierungen sollten Situationen mit 3- bis 4-jährigen Sommer-Trockenperioden in Kombination mit trockenen Wintern beinhalten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Grundwasserneubildung in Trockenperioden während heisser Sommer deutlich niedriger ist als bei Trockenperioden mit durchschnittlicher Lufttemperatur.
6] Grundwasser sollte prioritär für die Trinkwasserversorgung verwendet werden, erst sekundär für den Brauchwasserbedarf und für die Bewässerung in der Landwirtschaft.

Die Empfehlungen des Bundes (BAFU 2012b) sowie der SGH-Arbeitsgruppe «Klima und Grundwasser» sollten im Falle konkreter, fachlich und politisch koordinierter Massnahmen (Aktionspläne, Forschungsprogramme, gesetzliche Regelungen, Vollzugshilfen, etc.) berücksichtigt werden.

Literatur

Aellig, P. 2001: Trinkwassergewinnung in den Langen Erlen. Basler Pilotprojekt mit Modellcharakter. energie+wasser Nr. 2, 10–13.

BAFU 2009: Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA). Zustand und Entwicklung 2004 - 2006. Umwelt-Zustand Nr. 0903. Bundesamt für Umwelt, Bern. 144 S.

BAFU 2012a: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Umwelt-Wissen Nr. 1217. Bundesamt für Umwelt, Bern. 76 S.

BAFU 2012b: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Nr. 810.400.066d. Bundesamt für Umwelt, Bern. 64 S.

BAFU 2012/13: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand. Bundesamt für Umwelt, Bern (Bericht in Vorbereitung).

BAFU 2013: Wasserversorgung 2025, Synthese und Handlungsempfehlungen. Bundesamt für Umwelt, Bern (Bericht in Vorbereitung).

Bollinger, D., Nyffenegger, K. 2012: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Eine kurze Übersicht zu den Resultaten des Forschungsprogramms CCHydro. Swiss Bulletin für angewandte Geologie Nr. 17/1, 85–88.

BUWAL, BWG, MeteoSchweiz 2004: Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Schriftenreihe Umwelt Nr. 369. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 174 S.

CH2011 2011: Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz CH2011, publiziert durch C2SM, MeteoSchweiz, ETH, NCCR Climate, OcCC. 86 S.

de los Gobos, G. 2010: The transboundary aquifer of the Geneva region (Switzerland and France): successfully managed for 30 years by the Stateof Geneva and French border communities. GESDEC (geology, soil and waste) – Departement of security, police and environment, State of Geneva, 12 quai du Rhône, CP 36, 1211 Geneva.

Engeler, I., Hendricks Franssen, H. J., Müller, R., & Stauffer, F. 2011: The importance of coupled modeling of variably saturated groundwater flow-heat transport for assessing river-aquifer interactions. Journal of Hydrology Nr. 397/3, 295–305.

Gimmi, T. 2004: Verlagerung gelöster Stoffe durch den Boden ins Grundwasser. Schriftenreihe Umwelt Nr. 349. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 46 S.

hardwasser.ch 2012: Grundwasseranreicherung im Hardwald. www.hardwasser.ch

Hoehn, E. & Meylan, B. 2009: Massnahmen zum Schutz flussnaher Trinkwasserfassungen bei wasserbaulichen Eingriffen in Fliessgewässer voralpiner Schotterebenen. Grundwasser Nr. 14(4), 255–263.

Hoehn, E., Cirpka, O. A., Hofer, M., Zobrist, J., Kipfer, R., Baumann, M., Scholtis, A. & Favero, R. 2007: Untersuchungsmethoden der Flussinfiltration. Gas-Wasser-Abwasser Nr. 7/2007, 497–505.

Hoehn, E., Zobrist, J. & Schwarzenbach, R. P. 1983: Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser - Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Glattal. Gas-Wasser-Abwasser Nr. 8/1983, 401–410.

Huggenberger, P., Epting, J., Spottke, I., Regli, C. & Zechner, E. 2006: INTERREG III Grundwasserqualität Oberrhein, Fliessgewässer und ihre Auswirkungen auf das Grundwasser, Teilmodul Fluss-Grundwasser-Interaktion, Monit: Entwicklung von Prognosewerkzeugen, LUBW, Karlsruhe.

Hunkeler, D. 2012: Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser – Prognosen zur Entwicklung der Grundwasservorkommen. PEAK-Fachtagung «Her-ausforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft», Eawag, 14. September 2012.

OcCC/ProClim 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bern. 168 S.

Regli, C. & Huggenberger, P. 2008: Grundwasserschutz bei wasserbaulichen Eingriffen in Fliessgewässer. Gas-Wasser-Abwasser Nr. 7/2008, 521–528.

Schürch, M., Kozel, R. & Sinreich, M. 2008: Schadenspotenzial und Verletzlichkeit von Grundwasser – Fallbeispiele bei Hochwasser und Starkniederschlägen. Gas-Wasser-Abwasser Nr. 6/2008, 459–469.

Schürch, M., Biaggi, D., Kozel, R. & Weingartner R. 2010: Typisierung von Grundwasserregimen in der Schweiz. Konzept und Fallbeispiele. Gas-Wasser-Abwasser Nr. 11/2010, 955–965.

Sinreich, M., Schürch, M. & Kozel, R. 2008: Kapitel 2.5 Grundwasser. In: Bezzola G. R. & Hegg C. (Eds.) 2008: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0825. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. 429 S.

Sinreich, M., Kozel, R., Lützenkirchen, V., Matousek, F., Jeannin, P.-Y., Löw, S. & Stauffer, F. 2012: Grundwasserressourcen der Schweiz. Abschätzung von Kennwerten. AQUA & GAS Nr. 9/12, 16–28.

Vögeli Albisser, C. & Prasuhn, V. 2011: Bewässerung und Grundwasserqualität in Zeiten des Klimawandels. Bericht über die 14. Gumpensteiner Lysimetertagung, Irdning, 3. - 4.5.11. LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning. 181–184.

Vogt, T., Hoehn, E., Schneider, Ph. & Cirpka, O. A. 2009: Untersuchung der Flusswasserinfiltration in voralpinen Schottern mittels Zeitreihenanalyse, Grundwasser Nr. 14(3), 179–194.

von Gunten, H. R., Karametaxas, G., Krähenbühl, U., Kuslys, M., Giovanoli, R., Hoehn, E. & Keil, R. 1991: Seasonal biogeochemical cycles in riverborne groundwater, Geochim. Cosmochim. Acta Nr. 55(12), 3597–3609.

WASSER-AGENDA 21 2011: Einzugsgebietsmanagement. Leitbild für die integrale Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz. Bern. 20 S.