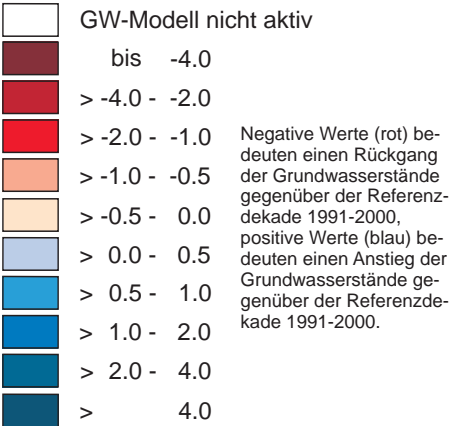


Vergleich der Dekade 2051-2060 aus dem Klimaszenario *REMO regional - Baseline* mit der Dekade 1991-2000 aus dem Referenzlauf

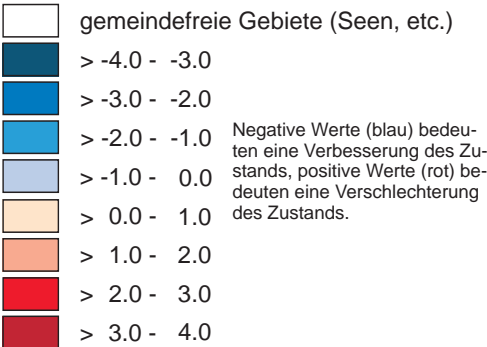
Karte 1: Differenz der berechneten Grundwasserhöhen (Mittelwert pro Zone) der Dekaden 2051-2060 und 1991-2000 [m]



Karte 2: Differenz der berechneten *GroundwaterQuantity-Flags* (Mittelwert pro Zone) der Dekaden 2051-2060 und 1991-2000

Karte 3: Differenz der berechneten *DrinkingwaterQuantity-Flags* (Mittelwert pro Community) der Dekaden 2051-2060 und 1991-2000 (Dekadenmittelwert) für das Gesellschaftsszenario *Performance*

Karte 4: Differenz der berechneten *DrinkingwaterQuantity-Flags* (Mittelwert pro Community) der Dekaden 2051-2060 und 1991-2000 (Dekadenmittelwert) für das Gesellschaftsszenario *Allgemeinwohl*



GLOBAL CHANGE ATLAS
EINZUGSGEBIET OBERE DONAU



Herausgeber:
GLOWA-Danube-Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München

3.2.3 Teilprojekt Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung

Ausgewählte Aspekte der Veränderung des mengenmäßigen Zustands des Grundwassers und der Wasserversorgung

Rastergröße: 1 x 1 km²
Maßstab: 1: 3.800.000



Datengrundlage:
Modellergebnisse von *GroundwaterFlow* und *WaterSupply*
Ergebnisse des statistischen Klimaantriebs-Generators (siehe Kapitel S3)

Autor:
R. Barthel, R. Ziller, A. Gundel, T. Hörhan
Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart

Grafik:
V. Falck
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung, Ludwig-Maximilians-Universität München

3.2.3 Teilprojekt Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung - Veränderungen des mengenmäßigen Zustands des Grundwassers und der Wasserversorgung

1. Einleitung

Im vorliegenden Kapitel werden ausgewählte Aspekte der möglichen zukünftigen Entwicklung des mengenmäßigen Zustands der Grundwasserressourcen und die daraus resultierenden Konsequenzen für die überwiegend grundwasserbasierte öffentliche Trinkwasserversorgung für das Einzugsgebiet der Oberen Donau vorgestellt. Die Ergebnisse wurden im Wesentlichen mit dem Grundwasserströmungsmodell *Groundwater-Flow* (siehe Kapitel 2.2.1) und dem Akteurmodell der Wasserversorgung *WaterSupply* (siehe Kapitel 2.2.2 und 2.2.3) erzeugt, sind aber maßgeblich auch von den Komponenten *LandSurface* (hier v.a. Grundwasserneubildung, siehe Kapitel 2.1.1 und Kapitel 3.1.7 und *Actor* (hier v.a. Wasserbedarf, siehe Kapitel 2.9.1 bis 2.12.1) abhängig. Die wichtigsten Eingangsgrößen der Simulationsergebnisse bilden die in den Kapiteln S1-S5 beschriebenen Klimatrends und Klimavarianten und die in Kapitel S6 erläuterten Gesellschaftsszenarien. Es muss darauf hingewiesen werden, dass hier keine Ergebnisse zur Wasserqualität vorgestellt werden und die Berechnungen ohne direkte Kopplung mit den Simulationsmodellen *Farming* (siehe Kapitel 2.9.2), *Biological* (siehe Kapitel 2.8.2) und *SNT* (siehe Kapitel 2.8.3) berechnet wurden (siehe auch Kapitel 3.3.1). Für das bessere Verständnis der Akteurmodellierung wird die Lektüre von Kapitel E3 empfohlen.

Im Einzugsgebiet der Oberen Donau stammen mehr als 90% des durch die öffentliche Wasserversorgung gewonnenen Trinkwassers aus dem Grundwasser (u.a. Emmert, 1999). Deshalb ist die Betrachtung der möglichen Entwicklung der Grundwasservorkommen unter Bedingungen des globalen Wandels eine wesentliche Aufgabe im Hinblick auf die Daseinsvorsorge und die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen. Über den Aspekt der Trinkwasserversorgung hinaus ist der Zustand der Grundwasservorkommen von maßgeblichem Einfluss auf grundwasserabhängige Ökosysteme. Zudem ist Grundwasser in Trockenzeiten die einzige Quelle für den Oberflächenabfluss und muss deshalb bei Niedrigwasserbetrachtungen mit Auswirkungen auf Ökologie, Energieerzeugung und Schifffahrt betrachtet werden. Im Hinblick auf die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser ist bei der mengenmäßigen Entwicklung der Grundwasservorkommen v.a. die räumliche und zeitliche Verteilung entscheidend. Für das Einzugsgebiet der Oberen Donau kann angenommen werden, dass auch unter deutlich heißeren und trockeneren Bedingungen bei gleichbleibendem Wasserbedarf in der Summe ausreichend Wasser für die Trinkwasserversorgung zur Verfügung steht. Nicht auszuschließen sind dann aber lokale und temporäre Engpässe, die durch eine Anpassung der Versorgungsstrukturen aufgefangen werden müssen. Im vorliegenden Beitrag findet dabei die mögliche Ausweitung der landwirtschaftlichen Bewässerung noch keine Berücksichtigung.

2. Beteiligte Modelle und Berechnungsmethoden

Für eine umfassende Evaluation der im vorausgegangenen Abschnitt angesprochenen Zusammenhänge sind folgende Betrachtungen erforderlich:

- Wie verändert sich die **Grundwasserneubildung** unter sich ändernden klimatischen Bedingungen? Die Grundwasserneubildung wird durch die Komponente *LandSurface* (siehe Kapitel 2.1.1 und Kapitel 2.1.2) berechnet.
- Wie wirkt sich die geänderte Grundwasserneubildung auf die **gespeicherten Grundwasservorräte**, die **Grundwasserstände**, den **Austausch zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser** und die räumlich-zeitliche **Dynamik des Grundwassers** aus? Diese Ergebnisse liefert das Modell *GroundwaterFlow*.
- Wo und unter welchen Bedingungen ist das aktuelle System (Entnahmen, Leitungsnetz) der **öffentlichen Trinkwasserversorgung** nicht mehr in der Lage, ausreichend Trinkwasser für die angeschlossenen Verbraucher bereitzustellen bzw. wo und wann führt dies zu **ökologischen Schäden** und zu einer **Verletzung des Nachhaltigkeitsprinzips**? Durch welche Anpassungen des Systems können

solche Zustände kompensiert werden? Hierfür verwendbare Ergebnisse liefert das Modell *WaterSupply*.

Die hier dargestellten Ergebnisse wurden mit einer Modellkonfiguration erstellt, in der zunächst Grundwasserneubildung und Wasserstand im Gerinne für verschiedene Klimaszenarien durch das Bodenwasserhaushaltsmodell PROMET (Mauser & Bach, 2009) berechnet wurden. Diese Werte sowie klimatische und andere Ausgaben von PROMET wurden verwendet, um die Akteurmodelle *Household*, *WaterSupply*, *Economy*, *Demography* und *Tourist* sowie die *Groundwater*-Komponenten anzutreiben. Dieses Vorgehen verzichtet auf einige Rückkopplungen, erlaubt aber aufgrund hoher Rechengeschwindigkeiten die Simulation zahlreicher Szenarien.

3. Szenarioannahmen

Von den zur Verfügung stehenden Klimaszenarien (siehe Kapitel S1 bis S5) wurde für den vorliegenden Artikel vor allem der Klimatrend *REMO regional* mit der Klimavariante *Baseline* (siehe Tabelle S4.2 in Kapitel S4) ausgewertet und dargestellt. Zum Vergleich werden einzelne Aspekte aus dem Klimaszenario *Fortschreibung – 5 trockene Jahre* gezeigt.

Diese Klimaszenarien wurden jeweils mit den drei definierten gesellschaftlichen Szenarien (siehe Kapitel S1 und S6) kombiniert, so dass insgesamt sechs GLOWA-Danube-Szenarien zum Vergleich vorliegen. Für die Kartendarstellungen wurde nur das Klimaszenario *REMO regional – Baseline* mit den beiden Gesellschaftsszenarien *Performance* und *Allgemeinwohl* verwendet.

4. Ergebnisse

Die Veränderungen von Grundwasserhaushalt und Trinkwasserversorgung unter Szenarienbedingungen vollziehen sich in Raum und Zeit. Da sich nicht alle in Abschnitt 2 genannten Aspekte gleichzeitig abbilden lassen, wurde versucht die maßgeblichen Größen soweit wie möglich kumuliert darzustellen. Hierzu eignen sich die folgenden Ergebnisgrößen:

- a) *GroundwaterLevel*: Grundwasserstand. Dieser wird für die 405 ausgewiesenen Grundwasserzonen (siehe Kapitel 2.2.3) gemittelt dargestellt, da sonst lokale Effekte die generellen Trends überlagern.
- b) *GroundwaterQuantityFlag* (siehe Kapitel 2.2.3 und E3), welche für 405 Zonen im Einzugsgebiet den mengenmäßigen Zustand der Grundwasservorkommen in Form eines Index von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht) darstellt und die Grundwasserneubildung, die Grundwasserstände und den Basisabfluss mit einbezieht.
- c) *DrinkingWaterQuantityFlag* (siehe Kapitel 2.2.3 und E3) welche analog zu a) den mengenmäßigen Zustand der Trinkwasserversorgung wiedergibt und berücksichtigt, dass Trinkwasserversorgungsunternehmen Wasser aus verschiedenen Gewinnungsgebieten (Zonen) gewinnen und dass Wasserversorgungsunternehmen miteinander vernetzt sein können.

Die räumliche Differenzierung der Entwicklung der *Flags* wird in den Kartendarstellungen (s.u.)

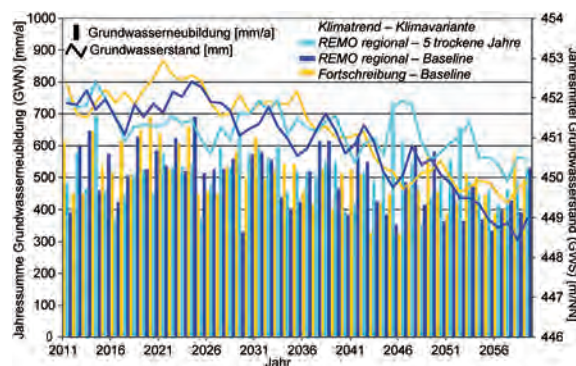


Abbildung 3.2.3.1: Vergleich des Verlaufs der mittleren Grundwasserneubildung (GWN) und der mittleren jährlichen Grundwasserstände (GWS) für das Einzugsgebiet der Oberen Donau für die drei verschiedenen Klimaszenarien *REMO regional – Baseline* (dunkelblau), *REMO regional – 5 trockene Jahre* (hellblau) und *Fortschreibung – Baseline* (gelb).

wiedergegeben. Die zeitlich differenzierte Entwicklung und der Vergleich verschiedener Szenarien werden durch die Zeitreihendarstellungen

in Abbildung 3.2.3.2 und 3.2.3.3 wiedergegeben. Hierbei wird jeweils das Mittel der *GroundwaterQuantityFlag* und der *DrinkingWaterQuantityFlag* über das gesamte Einzugsgebiet der Oberen Donau dargestellt. Um einen Eindruck über die klimatischen Verhältnisse der einzelnen Szenarien zu geben, wird die Grundwasserneubildung für alle verwendeten Klimaszenarien in Abbildung 3.2.3.1 dargestellt. Nähere Erläuterungen zur Entwicklung der Grundwasserneubildung gibt Kapitel 3.1.7.

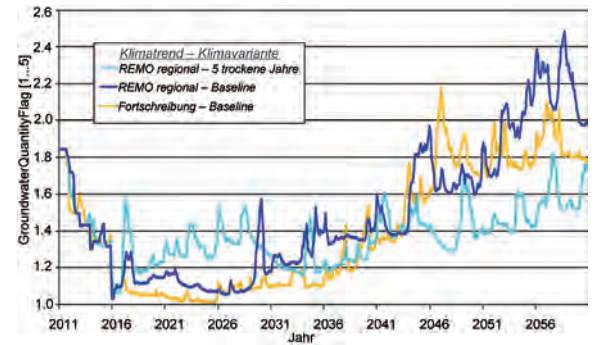


Abbildung 3.2.3.2: Vergleich des zeitlichen Verlaufs der *GroundwaterQuantityFlag* (Gebietsmittel) für die drei Klimaszenarien *REMO regional – Baseline* (dunkelblau), *REMO regional – 5 trockene Jahre* (hellblau) und *Fortschreibung – Baseline* (gelb).

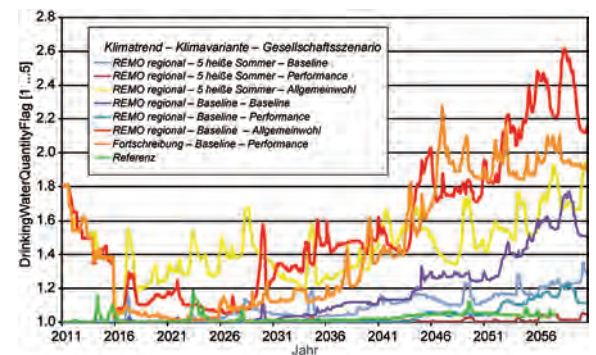


Abbildung 3.2.3.3: Vergleich des zeitlichen Verlaufs der *DrinkingWaterQuantityFlag* (Gebietsmittel) für verschiedene Szenarienkombinationen.

Kartendarstellungen:

Es ist leider nicht möglich, den Themenkomplex Grundwasser-Wasserversorgung in seinen räumlich-zeitlichen Aspekten in wenigen Karten erschöpfend darzustellen. Die auf der linken Seite dargestellten Karten sind deshalb mehr dazu geeignet einen Eindruck von den möglichen Ergebnisdarstellungen zu geben, als die Entwicklung unter Szenarienbedingungen umfassend darzustellen. Die dargestellten Ergebnisgrößen sind die Änderungen von Grundwasserstand, *GroundwaterQuantityFlags* und *DrinkingWaterQuantityFlags* (s.o.), jeweils für das Klimaszenario *REMO regional – Baseline*.

Für die Darstellung wurde für alle Werte das Dekadenmittel für die letzte Dekade des Simulationszeitraums (2050-2059) berechnet. Dargestellt wird die Veränderung dieses Dekadenmittels relativ zur Dekade 1990-1999. Aus den relativen Veränderungen (Differenz) lassen sich die Trends der Entwicklung räumlich aufgelöst einfach ablesen, gleichzeitig kommen absolute Modellunsicherheiten weniger zum Tragen, da den Ergebniswerten für Referenz und Szenarien jeweils die gleichen Annahmen und Parameter zugrunde liegen.

Die Karten zum mengenmäßigen Zustand (*Flags*) wurden unter spezifischen Szenarioannahmen und ohne Kalibrierung auf Basis der verfügbaren Daten erstellt. Dies kann im Einzelfall zu unrealistisch erscheinenden Ergebnissen führen, die durch Verbesserung der Datenbasis und Korrektur der Annahmen verbessert werden können, was im Rahmen des Stakeholderprozesses angestrebt wird.

Literatur

- Barthel, R., Janisch, S., Nickel, D. & Trifkovic, A. (2009): *Using the Multiactor-Approach in GLOWA-Danube to Simulate Decisions for the Water Supply Sector under Conditions of Global Climate Change*. – Water Resources Management, in press; online: DOI: 10.1007/s11269-009-9445-y.
- Emmert, M. (1999): *Die Wasserversorgung im deutschen Einzugsgebiet der Donau*. Wasserwirtschaft 89 (7-8): S. 396-403.
- Mauser, W. & Bach, H. (2009): *PROMET – Large scale distributed hydrological modelling to study the impact of climate change on the water flows of mountain watersheds*. Journal of Hydrology, accepted.