

Modellierung der zukünftigen Grundwasserneubildung in der Schweiz basierend auf hoch auflösenden Lysimeterdaten

Christian Möck^{1*}, Volker Prasuhn², Philip Brunner¹ und Daniel Hunkeler¹

Zusammenfassung

Prognosen über zukünftige Grundwasserneubildungsraten (GWR) sind wichtige Faktoren für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung. Jedoch ist die Bestimmung der GWR aufgrund unterschiedlicher Bodentypen, Vegetation und Klimaänderungen schwierig. In diesem Zusammenhang werden dafür üblicherweise numerische Modelle genutzt. Jedoch liegen aufgrund fehlender Messdaten häufig große Unsicherheiten vor. Wägbare Lysimeter mit zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Messdaten stellen eine gute Alternative da, um die GWR und deren Veränderung zu bestimmen. In dieser Studie wurde ein numerisches 1D-Modell basierend auf Lysimeter-Messungen aus Zürich-Reckenholz kalibriert. Simulationen der zukünftigen GWR basieren auf „Delta-Change“-Faktoren in Kombination mit einem stochastischen Wettergenerator. Die Simulationsergebnisse zeigen einen abnehmenden Trend der GWR, jedoch mit einer großen Varianz. Die Ergebnisse hängen stark von der jeweiligen Klimamodellkette ab und haben daher eine große Unsicherheit.

Summary

Prediction of groundwater recharge (GWR) under future climate conditions is the key parameter for sustainable water management. However, it is difficult due to different soil types, vegetation and climate change. Typically predictions depend on numerical models. However, low quantity of observation can increase the predictive uncertainty of GWR estimations. Lysimeter data with high data quality can help to find reliable model parameters to describe observed processes in soils. Based on a 1D calibrated numerical model predictions of actual and future GWR are carried out. Future GWR is simulated based on “Delta-Change” factors for precipitation and temperature in combination with a stochastic weather generator. Initial results indicate decreasing groundwater recharge rates but depend strongly on the chosen climate model chain. A high uncertainty and bias can be observed by consideration of different climate model chains for the same scenario.

Einführung

Für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung ist die Bestimmung aktueller und zukünftiger GWR ein Schlüsselparameter. Verschiedene Bodentypen, die Heterogenität des Bodens sowie die Vegetation erschweren jedoch deren genaue Bestimmung. Zusätzlich verkomplizieren vorhergesagte Klimaänderungen Prognosen zukünftiger GWR. Daten der Lysimeteranlage in Zürich-Reckenholz wie Sickerwassermenge und Wassergehaltmessungen wurden genutzt, um Aussagen zur aktuellen und zukünftigen GWR treffen zu können. Ein numerisches Modell wurde auf Grundlage dieser Daten kalibriert. Die bestimmten Modellparameter wurden anschließend genutzt, um zukünftige Veränderungen in der Wasserbilanz zu simulieren. Hierbei wurden klimatische Änderungen von Temperatur und Niederschlag in Kombination mit einem stochastischen Wettergenerator einbezogen. Unsere Studie zeigt exemplarisch erste Ergebnisse der zukünftigen Grundwasserneubildungsrate für einen sandigen Lehm aus Grafenried (Kt. Bern) für die Periode 2060 des A1B-Klimaszenarios.

Methodik

Für die Untersuchung wurden Daten von wägbaren, monolithischen Lysimetern (1 m² Oberfläche; 1,5 m Tiefe) der

Lysimeteranlage Zürich-Reckenholz genutzt (PRASUHN et al. 2009). Messungen des Wassergehalts in vier verschiedenen Tiefen (10, 30, 60, 90 cm) mittels FDR-Sonden in zweifacher Wiederholung, Sickerwassermenge und aktuelle Evapotranspirations-Messungen (ETa) wurden einbezogen.

Die Simulationen wurden mit dem numerischen finite Elemente-Code HydroGeoSphere (THERRIEN et al. 2010) durchgeführt. Vertikaler 1D-variabler gesättigter Wasserfluss wurde mit der Richard's Gleichung modelliert. Die Parametrisierung der Bodenwasserspannungskurven und Permeabilitätskurven in zwei Schichten erfolgte durch van Genuchten-Funktionen. Basierend auf der Arbeit von KRISTENSEN und JENSEN (1975) wurde die Evapotranspiration als eine Funktion von Wassergehalt, Leaf Area Index (LEAF), Wurzeltiefe, Evaporationstiefe und potentieller Evapotranspiration berechnet (ETp). Täglich gemessener Niederschlag an der vorort liegenden MeteoSwiss-Wetterstation und kalkulierte Evapotranspiration wurden als obere Randbedingung verwendet. Das untere Ende der Bodensäule wurde mit einer Randbedingung, die konstanten atmosphärischen Druck simuliert, abgebildet.

Um realistische Anfangsbedingungen zu erzeugen, wurde eine Vorlaufzeit des Modells von sechs Monaten durchgeführt. Anschließend wurden 682 Tage (01.04.2010

¹ Universität Neuchâtel, Centre for hydrogeology and geothermics, Rue-Emilie-Argand 11, CH-2009 NEUCHÂTEL

² Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Reckenholzstraße 191, CH-8046 ZÜRICH

* Ansprechpartner: Christian Möck, christian.moeck@unine.ch



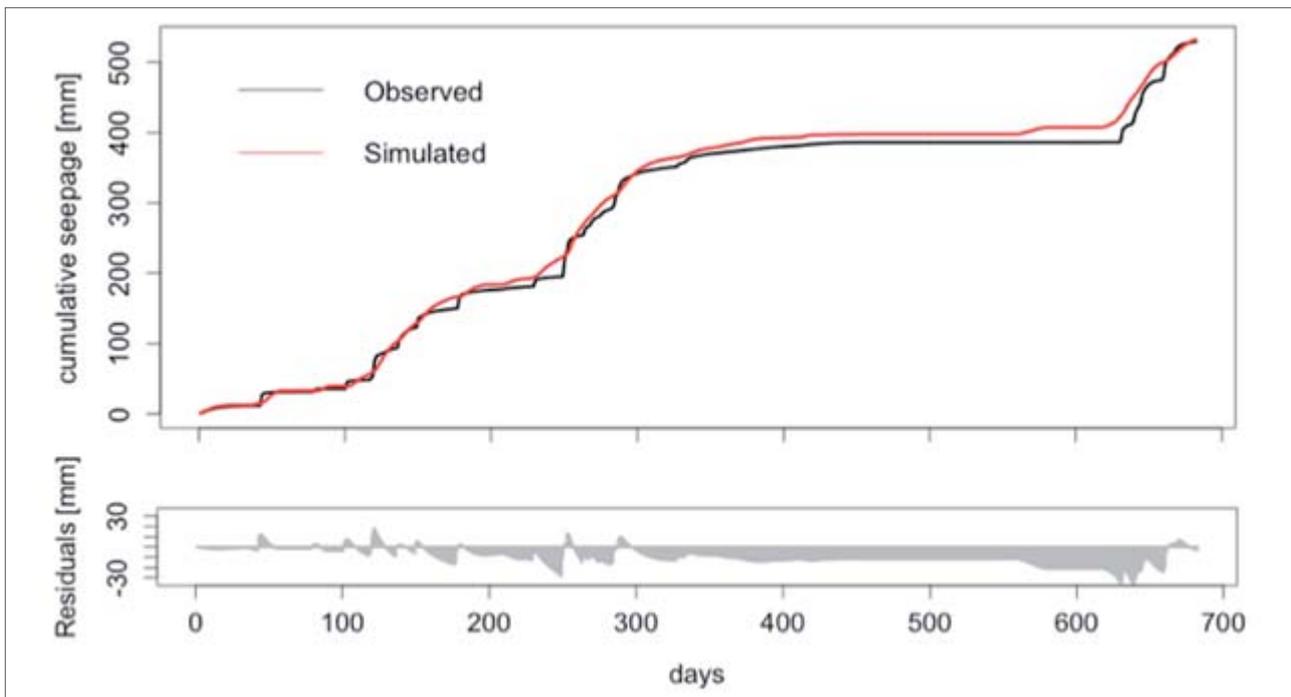


Abbildung 1: Beobachte (schwarze Linie) und simulierte (rote Linie) kumulative Sickerwassermenge zwischen 01.04.2010 und 12.02.2012 sowie die Residuen für den Boden Grafenried von der Lysimeteranlage Zürich-Reckenholz.

bis 12.02.2012) mit vier verschiedenen Bepflanzungen (Wintergerste, Phacelia, Zuckerrüben und Futterweizen) simuliert. Die Kalibration der Modellparameter wurde durch PEST (DOHERTY 2010), ein modellunabhängiges inverses Parameter-Bestimmungsprogramm, durchgeführt. Die Kalibration beruht auf Messungen des Sickerwassers und einem gemittelten Wassergehalt in den vier verschiedenen Tiefen. Invers bestimmte Modellparameter wurden als zeitlich konstant angenommen. Einzige Ausnahme ist der LEAF-Index, der mit unterschiedlichem Pflanzentyp und der Wachstumsperiode variiert, sowie die zeitabhängige Wurzeltiefe. Anschließend wurden Simulationen basierend auf „Delta-Change“-Faktoren (BOSSHARD et al. 2011) und einem stochastischen Wettergenerator (LARS-WG) für das Klimaszenario A1B mit unterschiedlichen Klimamodellketten für die Periode 2060 angewandt.

Resultate

Ein Vergleich zwischen simulierten und gemessenen GWR zeigt eine gute Übereinstimmung der Gesamtmenge sowie im generellen zeitlichen Verlauf (Abbildung 1). Jedoch gibt es einige Ausnahmen, wie z.B. die lange Trockenphase im Frühling-Sommer 2011 (Plateau), die sich auf das gesamte Jahr 2011 auswirkt. Hier ist eine Überschätzung des Sickerwassers zu beobachten. Dies deutet auf ein Problem bei der Berechnung der Wasserbilanz hin, da die gemessene ETA basierend auf der Wasserbilanz des Lysimeters nicht wiedergegeben werden kann (Grafik nicht gezeigt). Zusätzlich lässt sich auch erkennen, dass bei einzelnen Ereignissen die Sickerwassermenge nicht richtig wiedergegeben werden kann. Prozesse wie bevorzugte Fließwege durch Makroporen können mit einer van Genuchten-Parameterfunktion

nicht simuliert werden. Obwohl Defizite in der Modellstruktur zu erkennen sind, kann jedoch der generelle zeitliche Trend des Sickerwassers und auch die Sickerwassermenge gut nachgebildet werden.

In Abbildung 2 sind die aktuellen und zukünftigen GWR für 10 verschiedene Klimamodellketten des A1B-Szenarios für die Periode 2060 als Boxplot dargestellt. Die aktuelle mittlere Grundwasserneubildungsrate (rote linke Box) beträgt 330 mm. Der 50%-Bereich (ganze Box) der simulierten GWR liegt zwischen 300 und 420 mm. Ausreißer aus diesem Bereich sind die Jahre 2003 und 2011, für die die kleinsten GWR simuliert worden sind. Hohe Temperaturen und geringe Niederschlagsmengen in diesen Jahren führten zu den niedrigen simulierten GWR.

Für die modellierten zukünftigen GWR zeigt sich deutlich eine große Variabilität zwischen den einzelnen Klimamodellketten. Der generelle Trend zeigt eine abnehmende jährliche GWR, jedoch mit einer Ausnahme. Die herunter skalierten Klimamodellketten weisen in den „Delta-Change“-Faktoren für Niederschlag und Temperatur deutliche Unterschiede auf (nicht dargestellt). Deren Auswirkungen übertragen sich auf die simulierten zukünftigen GWR. Unter Berücksichtigung dieser Unsicherheit kann jedoch eine mittlere abnehmende GWR von -18 % im Vergleich zur aktuellen GWR berechnet werden. Jedoch ist anzumerken, dass die Ergebnisse in einem Bereich von -29 bis +5 % liegen.

Schlussfolgerung

Erste Ergebnisse zeigen, dass die GWR der Lysimeter aus Zürich-Reckenholz simuliert werden können. Durch zeitabhängige Werte für den LEAF-Index und die Wurzeltiefe

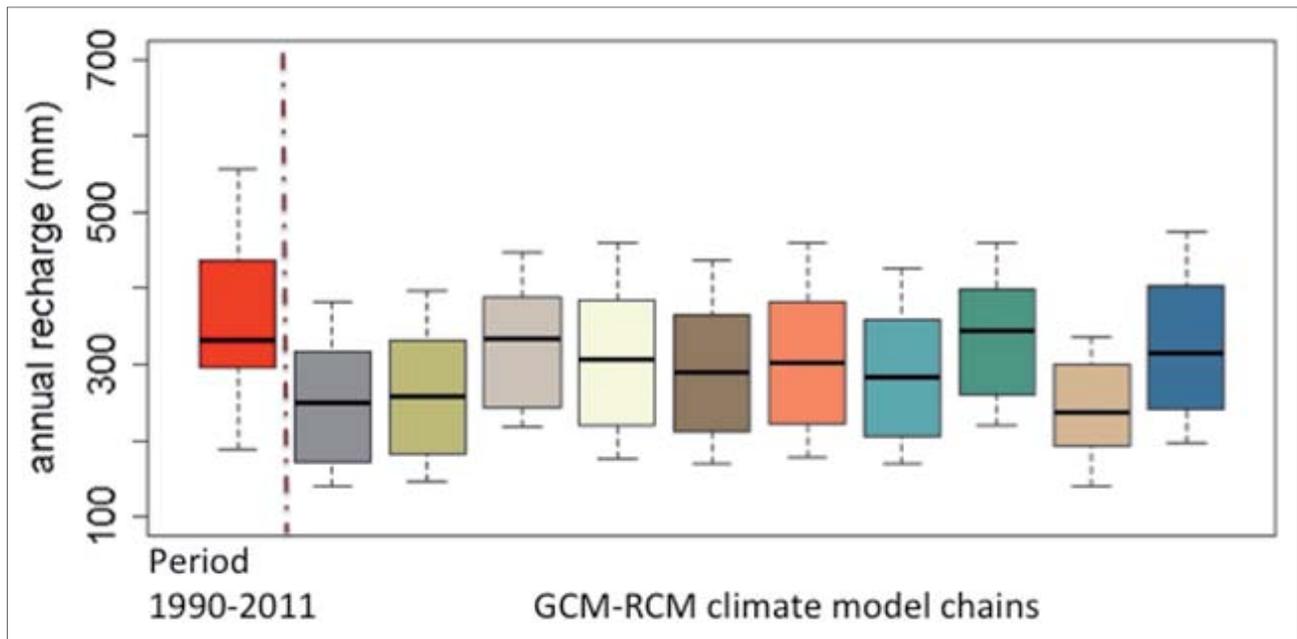


Abbildung 2: Simulierte aktuelle jährliche Grundwasserneubildungsrate basierend auf kalibrierten Modellparametern (red box) sowie die zukünftigen Grundwasserneubildungsraten für die Periode 2060 des A1B-Szenarios für verschiedene Modellketten. Der Boxplot zeigt das untere und obere Quartil (Box) sowie die jährliche mittlere Grundwasserneubildungsrate (schwarzer Strich in den farbigen Boxen).

kann der Effekt unterschiedlicher Pflanzen nachgebildet werden. Fehlende Modellstrukturen für das Pflanzenwachstum werden kompensiert. Dennoch ist anzumerken, dass diese Vereinfachung sowie die von Genuchten-Parametrisierung viele Prozesse, wie z.B. Makroporenfluss, nicht adäquat reproduzieren kann. Trotzdem wird eine gute Übereinstimmung mit gemessenen Daten erzielt.

Prognosen basierend auf den kalibrierten Modellparametern mit unterschiedlichen Klimamodellketten des A1B-Szenarios zeigen eine große Streuung der zukünftigen GWR. Obwohl eine große Unsicherheit zwischen den einzelnen Klimamodellketten vorliegt, kann eine mittlere abnehmende Grundwasserneubildungsrate von -18 % zur simulierten aktuellen jährlichen Rate berechnet werden. Dieser Wert liegt jedoch in einem Bereich zwischen -29 und +5 % bei Betrachtung aller Klimamodellketten. Limitiert werden die Prognosen aufgrund angenommener gleichbleibender Wachstumsperioden für die unterschiedlichen Kulturen. Zunehmende Temperatur und unterschiedliche Wasserverfügbarkeit werden jedoch mit großer Sicherheit das Pflanzenwachstum verändern.

Danksagung

Finanzielle Unterstützung erfolgte vom Nationalen Forschungsprogramm NFP61 „nachhaltige Wassernutzung“.

Literatur

- BOSSHARD, T., S. KOTLARSKI, T. EWEN and C. SCHÄR, 2011: Spectral representation of the annual cycle in the climate change signal, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 2777-2788, doi: 10.5194/hess-15-2777-2011.
- DOHERTY, J., 2010: PEST: Model-Independent Parameter Estimation. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia.
- KRISTENSEN, K.J. and S.E. JENSEN, 1975: A model for estimating actual evapotranspiration from potential evapotranspiration. *Nordic Hydrol.*, 6:170-88.
- PRASUHN, V., E. SPIESS und M. SEYFARTH, 2009: Die neue Lysimeteranlage Zürich-Reckenholz. Bericht 13. Gumpensteiner Lysimeter-tagung, Irdning, 11-16.
- THERRIEN, R., R.G. McLAREN, E.A. SUDICKY and S.M. PANDAY, 2010: *HydroGeoSphere*. A three-dimensional numerical model describing fully-integrated subsurface and surface flow and solute transport, 5, 457 pp.