

Einfluss des Klimawandels auf Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf: Eine globale Analyse unter Berücksichtigung neuer Klimaszenarien

Petra Döll, Martina Flörke, Michael Märker und Sara Vassolo

Einleitung

Die durch globale Klimamodelle berechneten Niederschläge sind mit einer weit höheren Unsicherheit behaftet als z.B. die Temperaturen (IPCC 2001). Daher unterscheiden sich die für ein Emissionsszenario durch unterschiedliche globale Klimamodelle berechneten Niederschlagsänderungen auf regionalem Maßstab stark (vgl. z.B. DÖLL 2002) und weitaus stärker als die berechneten Temperaturänderungen. Es ist deshalb notwendig, für die Untersuchung des Einflusses des Klimawandels auf Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf wenigstens die Szenarien zweier Klimamodelle zu berücksichtigen, um die Unsicherheiten zumindest grob abschätzen zu können. Die hier vorgestellte globalkalige Analyse umfasst erstmals zwei verschiedene Szenarien der Treibhausgasemissionen (in ihrer jeweiligen Umsetzung in Klimaszenarien durch zwei globale Klimamodelle). Ziel der Analyse ist es, zu untersuchen, welche Bedeutung veränderte Emissionspfade, wie sie z.B. durch Klimaschutzmaßnahmen erreicht werden können, für die zukünftige Entwicklung von Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf haben. Bei den Emissionsszenarien handelt es sich um die SRES Szenarien A2 und B2 des IPCC (NAKICENOVIC & SWART 2000). Bei A2 werden die Treibhausgasemissionen 2030 als ca. doppelt so hoch wie 1990 angenommen, während bei B2, welches eine umweltschonende Entwicklung der Gesellschaft voraussetzt, die Emissionen nur um etwa ein Drittel erhöht sind (Abb. 1).

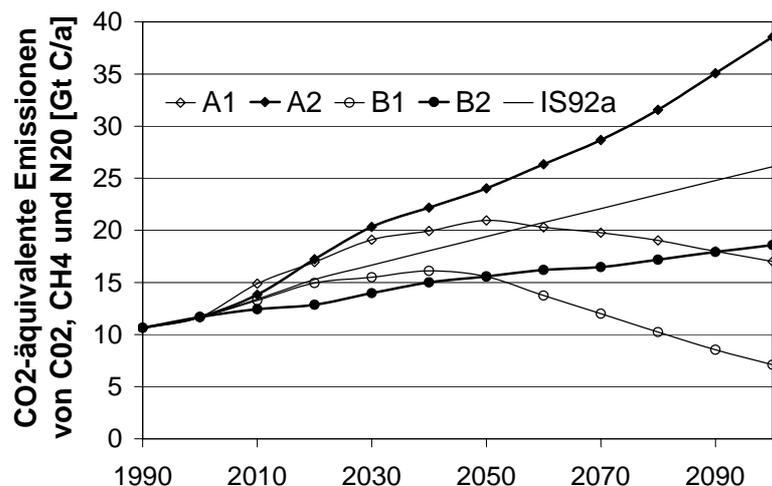


Abb. 1: Die SRES Treibhausgas-Emissionsszenarien des IPCC A1, A2, B1 und B2, ebenso wie das ältere IPCC IS92a Szenario, das die Grundlage fast aller publizierten Klimaszenarien bis 2001 war.

Globale Modellierung von Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf

Das globale Wassermengenmodell WaterGAP 2 berechnet Abflussbildung, Grundwasserneubildung und Durchfluss sowie die Wassernutzung in den Sektoren Landwirtschaft, Haushalte und Industrie in allen Einzugsgebieten der Erde (räumliche Auflösung 0.5°). Damit ermöglicht WaterGAP eine global konsistente Analyse des Einflusses des Klimawandels auf Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf in Flusseinzugsgebieten, und damit auf den Wasserstress, der sich aus dem Verhältnis von Angebot und Nachfrage ergibt.

Das hydrologische Modell WGHM (**WaterGAP Global Hydrological Model**) ist für 724 Messstellen weltweit derart kalibriert, dass der simulierte langjährige mittlere Abfluss mit dem gemessenen übereinstimmt, wobei die Durchflussreduzierung durch Wassernutzung berücksichtigt wird. Eine Modellüberprüfung hat ergeben, dass das Modell den typischen Niedrigwasserabfluss (auf Monatsbasis) sowie die interannuelle Variabilität zufriedenstellend simuliert (DÖLL et al. 2003). Das Modul zur Berechnung des Bewässerungswasserbedarfs GIM (**Global Irrigation Model**) (DÖLL 2002; DÖLL & SIEBERT 2002) basiert auf einer globalen Karte der bewässerten Flächen 1995 (DÖLL & SIEBERT 2000) und verwendet ebenso wie WGHM Zeitreihen von monatlichen Klimadaten (1901-95) von NEW et al. (2000). GIM ist u.a. gegen unabhängig geschätzte Netto-Bewässerungswasserbedarfe in den USA validiert. WaterGAP wird insbesondere dazu verwendet, konsistente Szenarien des globalen Wandels im Bereich der Wassermengenproblematik zu entwickeln (z.B. LEHNER et al. 2001).

Der Einfluss des Klimawandels auf Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf wird durch Skalierung der gemessenen monatlichen Niederschlags- und Temperaturwerte während der Klimanormale 1961-90 (jeweils 360 Werte pro Zelle) mit den durch die Klimamodelle berechneten langfristigen monatlichen Niederschlags- und Temperaturänderungen zwischen der Klimanormale und der jeweiligen zukünftigen Dekade (hier die 2020er und die 2070er Jahre) berechnet. Dabei geschieht die Skalierung im Falle des Niederschlags multiplikativ, im Falle der Temperatur additiv. Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf werden dabei sowohl für die Klimanormale als auch für die zukünftigen Zeiträume durch Berechnung einer dreißigjährigen Zeitreihe bestimmt. Bei den verwendeten Klimamodellen handelt es sich um das Modell ECHAM4/OPYC des Max-Planck-Instituts für Meteorologie, Hamburg, und das Modell HadCM3 des Hadley Centers, Bracknell, Großbritannien. Die Klimaszenarien wurden über das IPCC Data Distribution Centre zur Verfügung gestellt (<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk>).

Ergebnisse

Die mit WaterGAP 2 berechneten Änderungen der Wasserressourcen WR bis zu den 2020er bzw. 2070er Jahren (prozentuale Änderungen der langjährigen Mittel des Abflusses in Einzugsgebieten) unterscheiden sich sehr stark je nach dem verwendeten Klimamodell. Sie sind stärker vom Klimamodell als von den doch deutlich unterschiedlichen Emissionsszenarien abhängig. Für große Gebiete der Erde führt ein Klimamodell (für ein gegebenes Emissionsszenario) zu einer Abnahme von WR, während das andere zu einer Zunahme führt. Basierend auf dem HadCM3-Klimamodell nimmt WR in Mittelamerika und in Südamerika bis

hinunter zum Amazonas und im östlichen Australien für beide Emissionsszenarien und Zeiträume stark ab, während es nach dem ECHAM4-Modell zunimmt. Für die iberische Halbinsel, Südchina, das westliche Australien und große Teile Nordamerikas verhält es sich genau umgekehrt. Beide Modelle führen zu beträchtlichen Abnahmen von WR im Nordosten Brasiliens und im südwestlichen Afrika, und zu beträchtlichen Zunahmen in den borealen Zonen.

Vergleicht man jeweils die beiden Emissionsszenarien, so führen die geringeren Emissionen im Szenario B2 nicht zu geringeren Änderungen von WR als bei A2. Dies trifft sowohl für die 2020er als auch die 2070er Jahre zu. So sind nach dem HadCM3-Modell die Abnahmen von WR bis zu den 2070er Jahren in Mittel- und Südamerika bei dem Emissionsszenario B2 stärker als bei A2, bei dem bis dahin wesentlich höhere Emissionen angenommen werden. Türkei, Syrien, Irak und Iran sind bis zu den 2020er Jahren mit B2 von deutlichen Abnahmen betroffen, während mit den höheren Emissionen A2 WR ungefähr stabil bleibt. Die Änderungen von WR bis zu den 2070er Jahren sind meist stärker als bis zu den 2020er Jahren.

Bezüglich des Netto-Bewässerungswasserbedarf ICU ist es im Allgemeinen nicht so, dass in den Einzugsgebieten, in denen die (übers Jahr gemittelten) Wasserressourcen zunehmen, auch ICU abnimmt. Das liegt insbesondere daran, dass bei ICU die Klimaänderung während der Wachstumsperiode (150 Tage bzw. 300 Tage bei Anbau von zwei Feldfrüchten pro Jahr) zum Tragen kommt und nicht die während des ganzen Jahres. Auch daher hat die Unsicherheit der Klimamodelle bezüglich der Niederschlagsänderungen für ICU eine deutlich andere Wirkung als für die Wasserressourcen. So sind die Änderungen im ICU für die iberische Halbinsel sehr ähnlich (und nahe Null), da HadCM3 vor allem im Winter, d.h. außerhalb der Wachstumsperiode, sehr viel höhere Niederschläge in den 2020er Jahren berechnet als ECHAM4, was zu einer starken Diskrepanz bei den Wasserressourcen führt. Im großen und ganzen sind die Bewässerungswasserbedarfe, die sich mit den ECHAM4- und HadCM3-Klimaänderungen berechnen, ähnlicher als die berechneten Wasserressourcen. Zum einen ist ICU sensitiver auf die Temperatur als die Wasserressourcen, und die Unsicherheit in den berechneten Temperaturänderungen ist geringer als die Unsicherheit in den berechneten Niederschlagsänderungen. Zum anderen schätzt GIM nicht den Wasserbedarf für eine konstante Wachstumsperiode, sondern bestimmt eine optimale Wachstumsperiode als Funktion des Niederschlags und der Temperatur. In vielen Zellen führen unterschiedliche Klimaszenarien zu einer unterschiedlichen Verschiebung der Wachstumsperioden, was zu einer Angleichung der berechneten Wasserbedarfe führt. Im globalen Mittel erhöht sich ICU bei konstanter Bewässerungsfläche bis in die 2020er Jahre von 1131 km³/a um 1-3% je nach Szenario und Klimamodell und um 2-7% bis in die 2070er (wobei HadCM3 B2 zu den größten Zunahmen führt). China und Indien, die Länder mit dem höchsten ICU weltweit, haben bis zu den 2020er Jahren im Landesmittel mit Anstiegen von 2-15% und (-6)-5% (je nach Szenario und Klimamodell) zu rechnen.

Schlussfolgerungen

Es zur Zeit noch nicht möglich, die Auswirkungen unterschiedlicher zukünftiger Treibhausgasemissionen auf Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf in Einzugsgebieten

ab zuschätzen. Dies liegt daran, dass die durch Klimamodelle berechneten Niederschläge mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Ein Vergleich der mit den beiden Emissionsszenarien A2 und B2 berechneten Änderungen von Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf zeigt jedoch, dass verminderte Emissionen im Allgemeinen nicht zu geringeren Änderungen führen werden.

Damit unterscheidet sich die Problematik der klimabedingten Änderungen von Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf z.B. deutlich vom Problem des Meeresspiegelanstiegs, der mit den Treibhausgasemissionen bzw. -konzentrationen positiv korreliert. Bei letzterem ist die Temperatur die dominante treibende Kraft, bei ersteren der Niederschlag. Zwar korrelieren im globalen Mittel sowohl Temperatur als auch Niederschlag positiv mit den Treibhausgaskonzentrationen. Auf regionaler Skala trifft dies jedoch für den Niederschlag nicht mehr zu; aufgrund der durch die Treibhausgase veränderten globalen atmosphärischen Zirkulation ergeben sich räumlich differenziert sowohl (starke) Zunahmen des Niederschlags als auch (starke) Abnahmen, und die Lage der Regionen mit Zu- und Abnahmen ändert sich mit der sich ändernden atmosphärischen Zirkulation.

Literatur

- DÖLL, P., F. KASPAR & B. LEHNER (2003): A global hydrological model for deriving water availability indicators: model tuning and validation. *Journal of Hydrology*, 270 (1-2), 105-134.
- DÖLL, P. (2002): Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic Change*, 54(3), 269-293.
- DÖLL, P. & S. SIEBERT (2002): Global modeling of irrigation water requirements. *Water Resources Research*, 38(4), 8.1-8.10, DOI 10.1029/2001WR000355.
- DÖLL, P. & S. SIEBERT (2000): A digital global map of irrigated areas. *ICID Journal*, 49(2), 55-66.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Edited by J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu. Cambridge University Press. (<http://www.ipcc.ch>)
- LEHNER, B., T. HENRICH, P. DÖLL & J. ALCAMO (2001): *EuroWasser — Model-based assessment of European water resources and hydrology in the face of global change*. Kassel World Water Series 5, Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany. (<http://www.usf.uni-kassel.de/usf/archiv/dokumente.de.htm>)
- NAKICENOVIC, N. & R. SWART (HRSG.) (2000): *Emission Scenarios*. IPCC Special Report on Emission Scenarios. Cambridge University Press. (<http://www.ipcc.ch>)
- NEW, M., M. HULME & P.D. JONES (2000): Representing twentieth century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Climate*, 13, 2217-2238.

Petra Döll, Martina Flörke, Michael Märker und Sara Vassolo
Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung, Universität Kassel, Kurt-Wolters-
Str. 3, 34109 Kassel, e-mail: doell@usf.uni-kassel.de