

Döll, P., Vassolo, S. (2002): Klimabedingte Änderungen des hydrologischen Regimes im gesamten Einzugsgebiet der Elbe von 1900 bis 2100. In Geller et al. (eds.): Die Elbe – neue Horizonte des Flussgebietsmanagements. 10. Magdeburger Gewässerschutzseminar. Teubner, 323-326.

Klimabedingte Änderungen des hydrologischen Regimes im gesamten Einzugsgebiet der Elbe von 1900 bis 2100

Petra Döll, Sara Vassolo (doell@usf.uni-kassel.de)

Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung, Universität Kassel

1 Einleitung

Das globale Wassermengenmodell WaterGAP 2 berechnet mit einer Auflösung von 0.5° Wasserverfügbarkeit (als schneller Abfluss, Grundwasserneubildung und Durchfluss) und Wassernutzung (durch Haushalte, Industrie, Bewässerung und Vieh) sowohl für historische Perioden als auch für Zukunftsszenarien. Das hydrologische Modell von WaterGAP basiert auf einem globalen Rasterdatensatz mit Zeitreihen monatlicher beobachteter Klimavariablen zwischen 1901 und 1995 (New et al., 2000) und einer globalen Abflussrichtungskarte (Döll und Lehner, 2002). Mit einem Zeitschritt von einem Tag berechnet es die vertikale Wasserbilanz von Kronenraum, Boden und offenen Wasserflächen sowie den lateralen Wassertransport durch Grundwasser, Seen und Feuchtgebiete zur unterhalb gelegenen Zelle. Es simuliert auch die Durchflussreduzierung durch Wassernutzung. Durch Anpassung von nur einem Parameter wurde das Modell gegen Durchflusssmesswerte an 724 Stationen weltweit kalibriert (GRDC, Koblenz), so dass der simulierte langjährige Durchfluss innerhalb 1% des Messwerts fällt. Döll et al. (2001) beschreiben und überprüfen das hydrologische Modell, während Lehner et al. (2001) das gesamte Modell WaterGAP kurz beschreiben und seine Anwendung zur Erstellung von Szenarien der Wasserverfügbarkeit- und -nutzung, des Wasserkraftpotenzials sowie von Dürren und Hochwässern für Europa zeigen. Zudem werden die Ergebnisse für Elbe und Oder mit denen von mesoskaligen Modellen verglichen.

Hier benutzen wir die von WaterGAP berechneten Durchflüsse im Elbe-Einzugsgebiet (EZG), das durch 76 0.5° Zellen repräsentiert wird, um die klimabedingte Durchflussvariabilität innerhalb des EZG zu analysieren. Insbesondere betrachten wir die Unterschiede der langjährigen Mittelwerte und der 10% und 90% Perzentile der monatlichen Durchflüsse zwischen der Klimanormalen 1901-1930, 1931-1960 und 1961-1990, und die potentiellen Auswirkungen des Klimawandels in den 2020er und 2070er Jahren werden mit der historischen Variabilität verglichen.

2 Modellverhalten im Elbe-Einzugsgebiet

Im Elbe-EZG dienten die Durchflusssmesswerte in Decin und Neu-Darchau zur Modellkalibration. Darüber hinaus wurden die Messwerte der Saale in Calbe für eine Modellüberprüfung verwendet. Tabelle 1 zeigt quantitative Indikatoren der Modellgüte. Im Fall der Saale, wo der simulierte langjährige Durchfluss nicht auf den Meßwert gezwungen wurde, stimmt der berechnete Wert sehr gut mit dem gemessenen überein. An allen Stationen wird die interannuelle Variabilität gut getroffen, was der hohe Wert des Nash-

Sutcliffe-Koeffizienten für Jahreswerte AME ausdrückt. Die tatsächlichen Monatswerte werden nur unzureichend modelliert (kleine MME-Werte), was zurückzuführen ist auf 1) die global konstante laterale Transportgeschwindigkeit, 2) die Wirkung von Stauseebewirtschaftung und 3) den sehr einfachen Schneecalgorithmus in WaterGAP; Durchflüsse im Januar und Februar werden im allgemeinen durch zu geringes Schmelzen unterschätzt, während die Durchflüsse im März dann überschätzt werden. Die 10% und 90% Perzentile der monatlichen Durchflusswerte Q_{10} and Q_{90} werden jedoch gut simuliert (Q_{90} ist der Durchfluss, der in 90% aller Monate überschritten wird). Das deutet darauf hin, das WaterGAP zwar nicht den Durchfluss in einem bestimmten Monat verlässlich simulieren kann, jedoch in der Lage ist, das statistische Systemverhalten im Hinblick auf Bemessungsdurchflüsse (Niedrig- und Hochwasser) abzuschätzen.

Tab. 1. Vergleich von gemessenen und simulierten Durchflüssen im Elbe-EZG: langjährige Mittel, 90% (Q_{90}) und 10% (Q_{10}) Perzentile der monatlichen Durchflüsse, MME: Modelleffizienz (Nash-Sutcliffe-Koeffizient) für Monatwerte, AME: Modelleffizienz für Jahreswerte.

	A ^a [1000 km ²]	Zeit	Langjähriges Mittel		Mon. Q_{90}		Mon. Q_{10}		MME	AME
			[km ³ /Monat]		[km ³ /Monat]		[km ³ /Monat]			
			Gem.	Sim.	Gem.	Sim.	Gem.	Sim.		
*										
Elbe at Decin ^b	52	61-84	0.83	0.83	0.36	0.24	1.54	1.70	-0.28	0.81
Elbe at Neu-Darchau ^b	133	65-88	2.04	2.04	0.93	0.99	3.60	3.49	0.13	0.78
Saale at Calbe ^c	23	81-95	0.32	0.34	0.16	0.17	0.53	0.55	0.31	0.65

* Datenquellen: Elbe: GRDC, Saale: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

^a Einzugsgebietsgröße nach der globalen Durchflussrichtungskarte DDM30, in WaterGAP verwendet.

^b Kalibrierungsstation, für die langjähriges Mittel an Messwert angepasst wurde

^c Validierungsstation ohne Modellanpassung

3 Methodik und Ergebnisse

Das hydrologische Modell von WaterGAP wurde mit der historischen Zeitreihe der klimatischen Monatswerte von Januar 1901 bis Dezember 1995 angetrieben. Zusätzlich wurde der Einfluss des Klimawandels auf den Durchfluss unter Verwendung von Klimaszenarien der 2020er und 2070er Jahre simuliert. Dazu wurden die gemessenen Monatswerte von Niederschlag und Temperatur für jedes Jahr der Klimanormalen 1961-90 mit den Änderungen skaliert, wie sie durch zwei globale Klimamodelle (GCM), das ECHAM4 und das HadCM3 Modell, für das IPCC IS92a Emissionsszenario berechnet wurden. Dann wurde WaterGAP mit diesen 30 Klimajahren angetrieben und die Ergebnisse gemittelt. Es ist notwendig, zumindest die Klimaszenarien zweier GCM zu analysieren, da sie im allgemeinen für dasselbe Emissionsszenario stark unterschiedliche Niederschlagsänderungen berechnen. Im Falle der Temperatur wird der Messwert skaliert, indem die Differenz der GCM-Werte für zukünftige (Dekadenmittelwerte 2020-29 oder 2070-79) und heutige (Mittelwert 1961-90) Bedingungen zu zum Messwert addiert wird. Die skalierten 30-Jahre-Zeitreihen des Niederschlags werden durch Multiplikation der Messwerts mit dem Verhältnis von zukünftigem zu heutigem GCM-

Niederschlag berechnet. Die so erzeugten Klimaszenarien berücksichtigen nicht den wahrscheinlichen Anstieg der Klimavariabilität aufgrund des Klimawandels, da GCM diesen Anstieg nicht verlässlich berechnen können.

Abb. 1 zeigt, wie sich die Durchflusskennwerte langjähriger Mittelwert, monatlicher Q_{90} und monatlicher Q_{10} an den drei Stationen der Tabelle 1 zwischen den drei Klimanormalen des 20. Jahrhunderts geändert haben, und wie diese Werte sich aufgrund des Klimawandels bis zu den 2020er und 2070er Jahren ändern könnten. Die historischen langjährige Mittelwerte ebenso wie Q_{90} (mit Ausnahme von Decin) variieren um weniger

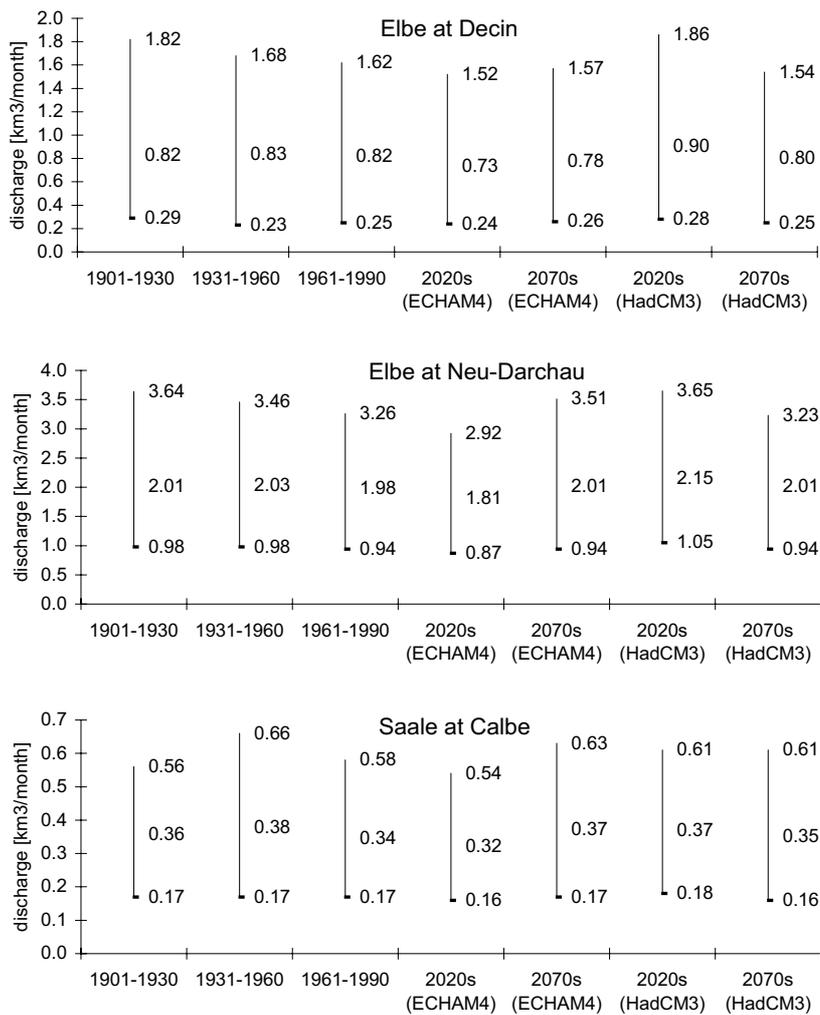


Abb. 1. Einfluss der langfristigen historischen Klimavariabilität und des zukünftigen Klimawandels auf das hydrologische Regime an drei Punkten im Elbe-EZG. In jedem Graphen sind oben die monatlichen Q_{10} -Werte, in der Mitte die langjährigen Mittelwerte des Durchflusses und unten die monatlichen Q_{90} -Werte angegeben.

als 5%. Die Variabilität von Q_{10} ist etwas größer, und eine negativer Trend ist im Hauptfluss erkennbar. Mit dem ECHAM4 Klimaszenario sind alle Durchflusskennwerte an allen drei Stationen in den 2020ern kleiner als die kleinsten Werte im 20. Jahrhundert (mit Ausnahme von Q_{90} in Decin). Das HadCM3 Klimaszenario führt zum gegenteiligen Ergebnis, mit höheren Durchflusskennwerten an allen Stationen. Für die 2070er ergeben die beiden Klimaszenarien ähnliche Werte, die denen der 1961-90 Klimanormalen ähnlich sind. Betrachtet man die über 30 Jahre gemittelten Monatsabflüsse, so zeigt sich, dass bei allen Szenarien außer dem HadCM3 2020er Szenario die Durchflüsse in den Monaten Juli bis November zurückgehen.

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die berechneten Auswirkungen des Klimawandels auf die Durchflusskennwerte sind für die 2020er stärker als die der langfristige Klimavariabilität während des 20. Jahrhunderts. Dies gilt nicht für die 2070er. Aufgrund der gegensätzlichen Trends für die 2020er, die aus der Nutzung zweier Klimamodelle resultieren, können jedoch keine Schlussfolgerungen für das Wassermanagement gezogen werden. Es ist zu erwarten, dass aufgrund der wahrscheinlich steigenden Klimavariabilität sich die Spannen zwischen Q_{10} and Q_{90} erhöhen (was zur Zeit noch nicht quantitativ abgeschätzt werden kann).

Ein globales hydrologisches Modell wurde angewendet, um den Einfluss von Klimavariabilität und Klimawandel auf das hydrologische Regime im Elbe-EZG zu analysieren. Dabei wurden nur globalskalige Informationen verwendet. Soweit den Autorinnen bekannt, ist dies die erste modellbasierte Abschätzung des Einflusses von Klimavariabilität und -wandel im Elbe-EZG. Der Einfluss des Klimawandels kann nur mit einem Modell für das gesamte EZG berechnet werden, und momentan gibt es nur mesoskalige hydrologische Modelle für Teile des Elbe-EZG. Sinn und Zweck eines globalen Modells wie WaterGAP, das mit groben und global verfügbaren Daten auskommt, ist es jedoch nicht, optimale Ergebnisse für einzelne EZG zu berechnen, sondern eine konsistente vergleichende Analyse von verschiedenen EZG zu ermöglichen. Daher werden wir ähnliche Analysen für andere Flussgebiete weltweit durchführen, um eine verbesserte globale Perspektive der Auswirkungen von Klimavariabilität und Klimawandel auf den Durchfluss (insbesondere Niedrig- und Hochwasser) zu erhalten.

Literatur

- Döll, P., Lehner, B. (2002) Validation of a new global 30-min drainage direction map. *Journal of Hydrology*, 258(1-4), 214-231
- Döll, P., Kaspar, F., Lehner, B. (2001) A calibrated global hydrological model for deriving water availability indicators (eingereicht bei *Journal of Hydrology*)
- Lehner, B., Henrichs, T., Döll, P., Alcamo, J. (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.en.htm>)
- New, M., Hulme, M., Jones, P.D (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