

WASKlim - Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt am Beispiel der Wupper (NRW), der oberen Iller (Bayern) und der Salza (Sachsen-Anhalt)

Jörg Scherzer, Bernd Schultze, Jörg Niederberger, Hannaleena Pöhler
UDATA – Umweltschutz und Datenanalyse, Neustadt/Wstr., Bayreuth, www.udata.de
Kontakt: Dr. Jörg Scherzer, UDATA, Hans-Geiger-Str. 18, 67434 Neustadt,
Tel.: 06321 / 998944, email: scherzer@udata.de

Zusammenfassung

Eine zentrale Grundlage für das im Rahmen des WASKlim-Projektes entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem ist die zukünftige klimatische und hydrologische Belastung unter Berücksichtigung der Bandbreite der Unsicherheit des Klimawandels. Hierzu wurden für die drei mesoskaligen Testgebiete Obere Iller (Bayern), Wupper (Nordrhein-Westfalen) und Salza (Sachsen-Anhalt) mit dem Modell WaSiM-ETH prozessorientierte Modellsimulationen des Wasserhaushalts, einschließlich Szenariensimulationen bis zum Jahr 2100 durchgeführt. Die drei Untersuchungsgebiete unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer klimatischen und naturräumlichen Ausprägung sowie hinsichtlich der Intensität der Wassernutzung. Für das Wuppergebiet lassen die Klimaprojektionen einen gleichbleibenden bis leicht ansteigenden Niederschlag erwarten. Die Niederschlagsprojektionen für die Salza sind innerhalb eines Änderungsspektrums von 10% uneinheitlich und für die Iller wird ein signifikanter Rückgang des Jahresniederschlags erwartet. Bei den Mittelwasserabflüssen werden für die Wupper und die Salza zukünftig kaum signifikante Veränderungen projiziert. Im Bereich der oberen Iller lassen die Simulationsergebnisse für den Zeitraum 2071 - 2100 allerdings eine signifikante Abnahme des mittleren Abflusses v.a. im Sommerhalbjahr erwarten. Das heutige pluvio-nivale Abflussregime der Oberen Iller wird sich zu einem überwiegend pluvial geprägtem Regime entwickeln.

1 Einleitung

Aufgabe des WASKlim-Projektes (10/2007 – 09/2009) war es, für den Sektor Wasserwirtschaft eine konkrete, übertragbare Methode zur Bestimmung der Vulnerabilität und der Anpassungskapazität gegenüber dem Klimawandel zu entwickeln. Projektpartner von WASKlim waren UDATA (Wasserhaushaltssimulationen, Projektleitung), die Universität der Bundeswehr in München (Wasserwirtschaft / Prof. Dr. Disse, Raumplanung / Prof. Dr. Jacoby; Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems „EUS“) sowie die Dialogik gGmbH in Stuttgart (innovative Kommunikationsstrategien) unter der Leitung von Prof. Dr. Renn. Das Projekt wurde durch das Umweltbundesamt finanziert.

Eine der zentralen Grundlagen für das WASKlim-EUS ist die zukünftige klimatische und hydrologische Belastung unter Berücksichtigung der Bandbreite der Unsicherheit des Klimawandels. Hierzu waren für die drei mesoskaligen (600 – 1000 km²) Testgebiete Iller (Bayern, Alpen/Alpenvorland), Wupper (Nordrhein-Westfalen, dicht besiedeltes Mittelgebirge) und Salza (Sachsen-Anhalt, Trockengebiet) mit dem Modell WaSiM-ETH prozessorientierte Modellsimulationen des Wasserhaushalts, einschließlich Szenariensimulationen (ECHAM5/REMO,

ECHAM5/WETTREG) bis zum Jahr 2100 durchzuführen (Abbildung 1). Ziel der Modellierung war es, Ausmaß und Belastbarkeit von klimawandel-induzierten Veränderungen des Wasserhaushalts der Testgebiete aufzuzeigen.



Abb. 1: Lage der Testgebiete.

2 Methoden

Um die Auswirkungen von klimatischen Veränderungen auf Wasserhalt und Abflussgeschehen abschätzen zu können, bedarf es des Einsatzes von flächendetaillierten numerischen Einzugsgebietsmodellen, die auf physikalischer Grundlage auch für größere Gebiete oder Regionen Aussagen zum bisherigen und zum zukünftigen hydrologischen Regime treffen können. Das im Rahmen von WASKlim verwendete Modellsystem WaSiM-ETH (SCHULLA & JASPER 1998, SCHULLA & JASPER 2007) erfüllt diese Voraussetzungen. WaSiM-ETH wurde in den letzten 10 Jahren bereits in zahlreichen vergleichbaren Projekten eingesetzt (u.a. KLIWA, KliWEP, EMTAL), verfügt über eine große Anzahl an Referenzen (u.a. SCHULLA et al. 1999, KLEINN 2002, PÖHLER 2006, PÖHLER et al. 2008) und wird von einer umfangreichen Nutzergemeinschaft angewendet. WaSiM-ETH ist sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache dokumentiert und wird kostenfrei zur Verfügung gestellt (<http://www.wasim.ch/>).

Als Grundlage für die Wasserhaushaltssimulationen dienten tägliche Klima-, Niederschlags- und Abflussmesswerte des Deutschen Wetterdienstes und der jeweiligen Pegelbetreiber (u.a. Wupperverband, LANUV NRW, LfU Bayern, LHW Sachsen-Anhalt) aus dem Zeitraum 1971 – 2007. Der Bandbreite der Unsicherheit des zukünftigen Klimawandels wurde durch die Verwendung von Projektionsdaten unterschiedlicher Emissionsszenarien (A1B, B2 und A1) und durch die Berücksichtigung sowohl des statistischen Downscaling-Verfahrens WETTREG- als auch des dynamischen Ansatzes REMO (REMO-Daten winddriftkorrigiert; CERA-Datenstand vom 21.11.2008) Rechnung getragen. Die Bandbreite unterschiedlicher Globalmodelle (z.B. KRAHE et al. 2009) wurde nicht berücksichtigt. Als Projektionszeiträume wurden 2021 – 2050 (nahe Zukunft, „Z1“) und 2071 – 2100 (ferne Zukunft, „Z2“) betrachtet. Zur Prüfung der Signifikanz der Unterschiede (Vergleich Messzeitraum mit Kontrolllauf Klimaszenario, Vergleich Kontrolllauf mit Klimaprojektion) wurde ein T-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,05$ durchgeführt. Insbesondere in den Einzugsgebieten von Wupper (Talsperren) und Salza (Bergbau) ist der Wasserhaushalt stark wasserwirtschaftlich überprägt. Für die Prognosezeiträume liegen allerdings in der Regel weder Daten zur Steuerung von Talsperren, noch zu relevanten Wasseraus-, -über- und -einleitungen vor. Wasserwirtschaftliche Zukunftssimulationen unter Einschluss von Klimaprojektionen sind somit nicht ohne weiteres realisierbar. Für die drei Testgebiete wurde daher jeweils der potenziell-natürliche Wasserhaushalt berechnet und projiziert.

Als digitales Höhenmodell wurde das SRTM-3 Oberflächenmodell (z.B. CZEKKA et al. 2005) benutzt. Datengrundlage für die Landnutzungsparameter waren die CORINE Land Cover 2000 - Vektordatensätze des DLR (KEIL et al. 2005). Bodendaten wurden aus der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1000000 („BÜK 1000“) über Pedotransferfunktionen nach AG BODEN (2005) abgeleitet. Die Modellkalibrierung erfolgte an den Ganglinien von einem oder mehreren Durchflusspegeln, deren Einzugsgebiet keine markante wasserwirtschaftliche Überprägung aufweist, sowie für das Gesamtgebiet (Bilanz). Das Wasserhaushaltsmodell wurde für den Zeitraum 1977 – 1985 kalibriert und für den Zeitraum 1991 - 2000 und validiert. Die Plausibilität der verwendeten Klimaszenarien für die relevanten Eingangs- (Lufttemperatur, Niederschlag) und Zielgrößen (Hoch-, Mittel-, Niedrigwasserabfluss, Verdunstung, Grundwasserneubildung) wurde für den Zeitraum 1971 - 2000 untersucht.

3 Ergebnisse

Für das Gebiet der Wupper konnten für den Kalibrierpegel Neumühle (große Dhünn; 20,6 km²) R^2 -Werte von 0,84 (log) bzw. 0,82 (lin) erreicht werden. Im Validierungszeitraum beträgt die Modellierungsgüte R^2 (lin) = 0,78 bzw. R^2 (log) = 0,82. Für den Gebietsauslass, welcher sich aus den Pegeln Leverkusen-Opladen (Wupper), Manfort (Dhünn) und den Ausleitungen des Klärwerks Leverkusen in den Rhein zusammensetzt, beträgt die Abflussspende simuliert 758 mm/a und gemessen 753 mm/a. Die Kalibrierung des Abflussregimes der Iller erfolgte für den Gebietsauslasspegel Kempten (R^2 (lin) = 0,68 bzw. R^2 (log) = 0,75). Die Abflussspende der Oberen Iller liegt bei 1556 mm/a (gemessen) bzw. 1607 mm/a (simuliert). Für die Salza (Pegel Stedten / Weida) konnten keine Modellierungsgüten berechnet werden, da der zeitweise treppenförmige Verlauf der Pegelganglinie auf Messfehler hinweist. Die Bilanz

für das Gesamtgebiet (Pegel Zappendorf / Salza) ist hier insgesamt nahezu ausgeglichen (gemessene Abflussspende: 55,7 mm/a, simulierte Abflussspende: 58,5 mm/a).

Für Temperatur und Niederschlag ist die Szenarioplausibilität (nicht grafisch dargestellt) für WETTREG auf der Zeitskala von Jahren vollständig und auf der Skala von Monaten weitestgehend gewährleistet, während bei REMO in allen Einzugsgebieten teilweise erhebliche signifikante Abweichungen auftreten. Analoges gilt für den mittleren Abfluss. Hinsichtlich der Extremwerte für Hoch- und Niedrigwasserabfluss ist die Szenarioplausibilität allerdings auch mit WETTREG nur mit Einschränkung gegeben.

Die Ergebnisse der Projektionsrechnungen zeigen, dass die Lufttemperatur bis zum Ende des 21. Jahrhunderts in allen drei Testgebieten signifikant gegenüber dem IST-Zustand ansteigt. Am stärksten ausgeprägt ist die mit WETTREG projizierte Temperaturzunahme bis zum Jahr 2100 mit 2,6 K für das Gebiet der Wupper (Iller: + 2,3 K, Salza: + 2,1 K): Bei Anwendung von REMO ist der Temperaturerhöhung am stärksten im Einzugsgebiet der Iller ausgeprägt (Iller: + 3,4 K, Wupper: + 2,5 K, Salza: + 2,7 K). Die Bandbreite der Unsicherheit bei der Temperaturzunahme liegt im Bereich von ca. +/- 1 K.

Für das Wuppergebiet lassen die Klimaprojektionen einen gleichbleibenden bis leicht ansteigenden Niederschlag erwarten. Die Niederschlagsprojektionen für die Salza sind innerhalb eines Änderungsspektrums von 10% uneinheitlich und für die Iller wird ein signifikanter Rückgang des Sommerniederschlags um ca. 10 % (200 mm/a) bis 2100 erwartet (Abbildung 2).

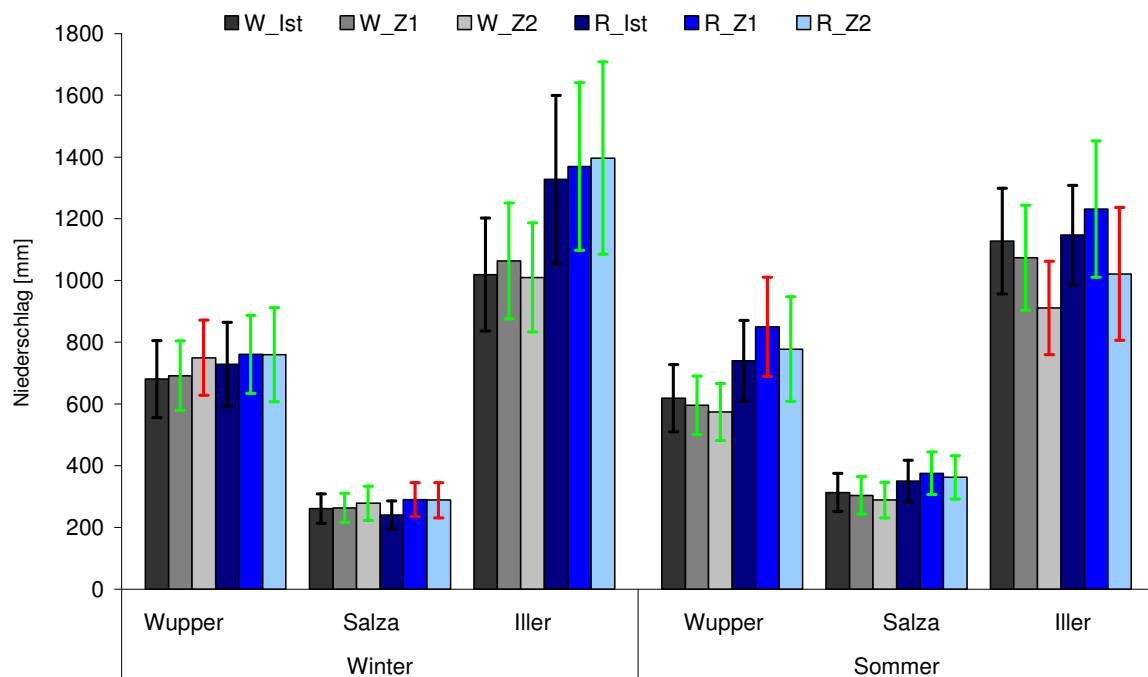


Abb. 2: Gebietsniederschläge für Wupper, Salza und obere Iller separat für Winter- und Sommerhalbjahr. Fehlerbalken: Standardabweichung; grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf und Projektionszeitraum; „W“: WETTREG; „R“: REMO; „IST“: 1970 – 2000; „Z1“: 2021 – 2050; „Z2“: 2071 – 2100.

Die Jahressumme der Evapotranspiration (nicht dargestellt) wird in WETTREG für das Gebiet der Salza annähernd unverändert und für Wupper und Iller signifikant ansteigend projiziert, bei REMO steigt sie in allen drei Projektgebieten signifikant an. Hinsichtlich der Mittelwasserabflüsse sind für die Wupper im Winterhalbjahr bei einer Bandbreite der Unsicherheit von bis zu +/- 46% (REMO, 2071 - 2100) keine eindeutigen (signifikanten) Veränderungen zu erwarten (Abbildung 3). Für das Sommerhalbjahr zeichnet sich bis zum Ende des Jahrhunderts hier allerdings ein signifikanter Rückgang der potenziell-natürlichen Abflüsse um 22% (WETTREG) bis 33% (REMO) ab. Dieses zukünftige Wasserdefizit kann möglicherweise durch den Wasserrückhalt in den zahlreichen Talsperren des Wuppergebietes kompensiert werden. Für das Gebiet der Salza lassen sich für den Mittelwasserabfluss bei einer hohen Bandbreite der Unsicherheit von bis zu +/- 47% (REMO, 2071 – 2100, Sommer) keine signifikanten Veränderungen des Wasserhaushalts ableiten. Im Bereich der oberen Iller weisen die Simulationsergebnisse für den Zeitraum 2071 - 2100 auf eine signifikante Abnahme des mittleren Sommerabflusses um ca. 32% (REMO) bis 41% (WETTREG) hin. Die Bandbreite der Unsicherheit für diese Aussage ist mit ca. +/- 25% relativ niedrig. Die mittleren Hochwasserereignisse (Bezugsgröße: Gesamtgebiet, Tageswerte) werden bei Verwendung der WETTREG-Projektionen in allen drei Testgebieten (nicht dargestellt) zukünftig niedriger liegen als heute, während sie bei Anwendung der REMO-Projektionen im Einzugsgebiet der Salza und der Iller leicht ansteigen. Das heutige pluvio-nivale Abflussregime der Oberen Iller mit Abflussmaximum im Mai/Juni wird sich bis zum Ende des Jahrhunderts zu einem überwiegend pluvial geprägtem Regime mit Maximalabfluss in den Wintermonaten Dezember bis Februar entwickeln (Abbildung 4).

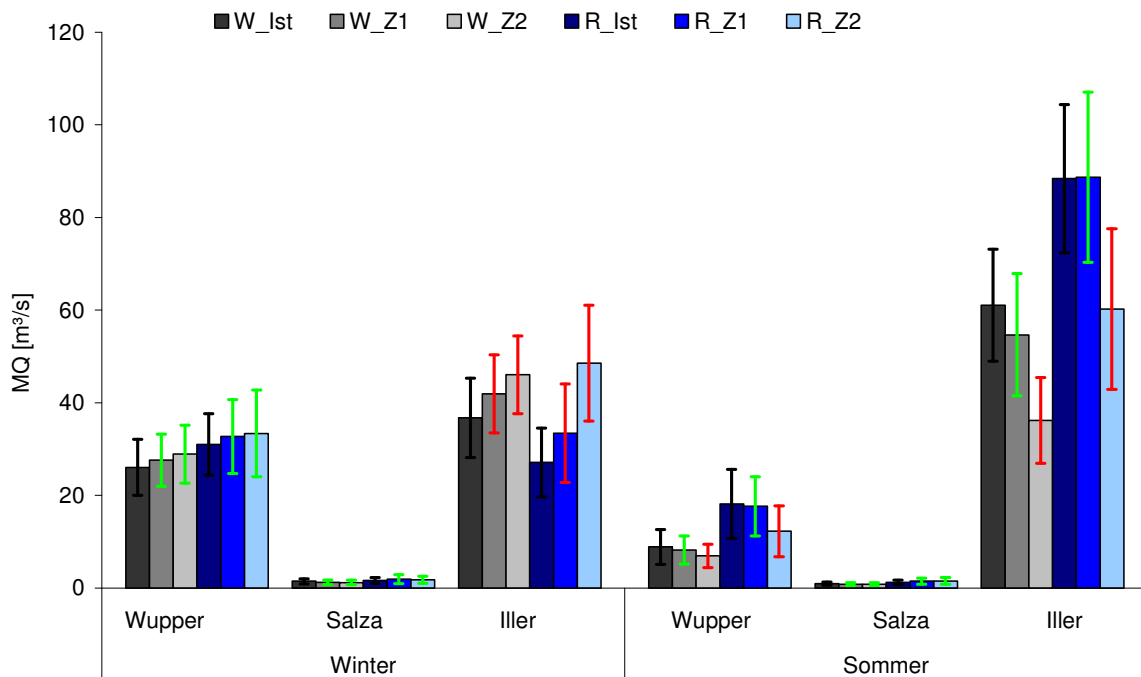


Abb. 3: Mittelwasserabfluss der Wupper, Salza und oberen Iller separat für Winter- und Sommerhalbjahr. Fehlerbalken: Standardabweichung; grün: nicht signifikanter, rot: signifikan-

ter Unterschied zwischen Kontrolllauf und Projektionszeitraum; „W“: WETTREG; „R“: REMO; „IST“: 1970 – 2000; „Z1“: 2021 – 2050; „Z2“: 2071 – 2100.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass für das wasserreiche Einzugsgebiet der oberen Iller die eindeutigsten Veränderungen des Wasserhaushalts durch den Klimawandel projiziert werden: Der Abfluss wird signifikant abnehmen und es wird eine jahreszeitliche Verschiebung erfolgen. Im Bereich des Trockengebietes Salza sind die projizierten Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung am größten. Unsere Ergebnisse hinsichtlich der zukünftigen klimatischen und hydrologischen Belastung sind eine wesentliche Säule des im Rahmen des WASKlim-Projektes entwickelten Entscheidungsunterstützungssystems (Scherzer et al. 2010).

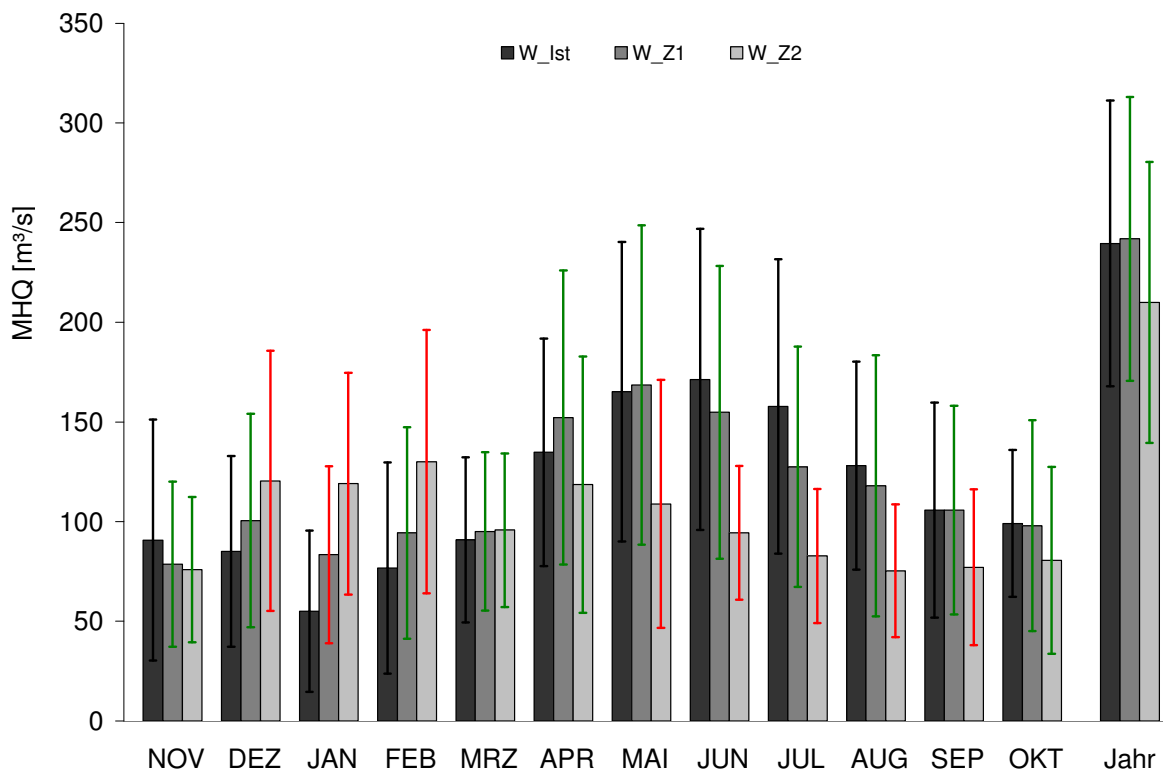


Abb. 4: Mittlerer Hochwasserabfluss der oberen Iller, Monats- und Jahreswerte. Fehlerbalken: Standardabweichung; grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf und Projektionszeitraum; „W“: WETTREG; „IST“: 1970 – 2000; „Z1“: 2021 – 2050; „Z2“: 2071 – 2100.

4 Literatur

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 5. Aufl., 438 S., Hannover.

CZEGKA, W., S. BRAUNE & K. BEHRENDTS (2005) Validierung der freien C-Band SRTM Höhendaten in Hinblick auf Anwendungsmöglichkeiten in den Geo- und Umweltwissenschaften. In: STROBL, J., T. BLASCHKE & G. GRIESEBNER (Hrsg.) Angewandte

- Geoinformatik 2005. Beiträge zum 17. AGIT Symposium Salzburg 2005. Seiten 106-111
- KEIL, M., R. KIEFL & G. STRUNZ (2005): CORINE Land Cover 2000 - Europaweit harmonisierte Aktualisierung der Landnutzungsdaten für Deutschland. Abschlussbericht zum F+E Vorhaben UBA FKZ 201 12 209, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum Oberpfaffenhofen, Mai 2005
- KLEINN, J. (2002): Climate change and runoff statistics in the Rhine basin: a process study with a coupled climate-runoff model. - PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Diss. 14663, Zürich.
- KRAHE, P., E. NILSON, M. CARAMBIA, T. MAURER, L. TOMASSINI, K. BÜLOW, D. JACOB, & H. MOSER (2009): Wirkungsabschätzung von Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen – Auswertung eines Multimodell-Ensembles für das Rheingebiet; Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 5/2009.
- PÖHLER, H. (2006): Anpassung von WaSiM-ETH und die Erstellung und Berechnung von Landnutzungs- und Klimaszenarien für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung am Beispiel des Osterzgebirges. Dissertation, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, TU Bergakademie Freiberg.
- PÖHLER, H., M. MÜLLER, K. JASPER & J. SCHERZER (2008): KliWEP - Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt im Parthe-Einzugsgebiet - Abschlussbericht. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Nr. 13-0345.42/312
- SCHERZER, J., M. DISSE, C. JACOBY, T. HEINISCH, G. GRIGORYAN, B. SCHULTZE, V. STADELBACHER, J. NIEDERBERGER & H. PÖHLER (2010): WASKlim - Entwicklung eines übertragbaren Konzeptes zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft. Climate Change (Umweltbundesamt), in Druck.
- SCHULLA, J. & K. JASPER (1998): Modelbeschreibung WaSiM-ETH. - Technischer Bericht, Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich.
- SCHULLA, J. & K. JASPER (2007): Model description WaSiM-ETH. – http://www.wasim.ch/downloads/doku/wasim/wasim_2007_en.pdf
- SCHULLA, J., K. ZÖLLMANN & W. KINZELBACH (1999): Sustainable agriculture and water management in semi arid regions. - 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water, 1-3 September 1999, Lausanne.

Dank

Für die Finanzierung danken wir dem Umweltbundesamt (Förderkennzeichen UFOPLAN: 3707 41 105). Datenbereitstellung und Support erfolgte u.a. durch den Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, das Landesamt für Umwelt Bayern, das Wasserwirtschaftsamt Kempten, den Wupperverband, das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, den Deutschen Wetterdienst und die Service Gruppe Anpassung des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg.