

Forschungsthema des Monats Juni 2015: Topic 6
Modellierung und Verständnis extremer meteorologischer Ereignisse

Saisonale Dürrevorhersage in Europa

Hydrologische Extremereignisse stellen eine starke Bedrohung für die Lebensgrundlage des Menschen dar. Hierbei sind Hochwasser und Dürren diejenigen hydrologischen Extreme, welche auf dem gesamten Globus zu mehr Todesfällen führen, die höchsten wirtschaftlichen Verluste verursachen, und mehr Menschen betreffen als jede andere natürliche Gefahr (Sheffield und Wood, 2011). Hochwasser und Dürren sind sehr unterschiedlich in ihrer Natur. Ein Hochwasser ist ein sich schnell entwickelndes Ereignis, welches innerhalb von Tagen bis Wochen in einem Flusseinzugsgebiet auftritt. Im Gegensatz dazu ist eine Dürre ein langsames Ereignis, dass sich über Monate entwickelt und Jahreszeiten bis zu Jahren überdauert und ganze Regionen, Länder sowie Kontinente betrifft. Dürren sind definiert als ein Wasserdefizit im Vergleich zu normalen Bedingungen und treten in allen Teilen des Wasserkreislaufs auf, wie beispielsweise in der Atmosphäre (meteorologische Dürre), Flüssen und Grundwasser (hydrologische Dürren) und Böden (landwirtschaftliche Dürren).

Landwirtschaftliche Dürren führen zu hohen sozialen und wirtschaftlichen Schäden sowie humanitären Krisen (z.B. Hungersnöte), weil sie das Potential haben, Ernteerträge zu verringern. Die Europäische Dürre von 2003 verursachte beispielsweise allein in Deutschland sozio-ökonomische Schäden in Höhe von mehr als 1,5 Mrd. EUR (COPA_COGECA, 2003), während die 2010/11 Dürre am Horn von Afrika zu einer schweren humanitären Krise mit mehr als 12 Millionen betroffenen Menschen führte (Relief, 2011). Eine Rekonstruktion der Europäischen Dürre von 2003 ist exemplarisch in Abbildung 1 gezeigt. Diese basiert auf der

Methode von Samaniego et al. (2013), welche auch für den Dürremonitor Deutschland verwendet wird (www.ufz.de/duerremonitor). Dürreregionen sind als gelbe und orange Gebiete in dieser Darstellung gekennzeichnet. Im Februar 2003 lag in nahezu keiner Region eine Dürre vor. Die Dürre entwickelte sich dann im Mai 2003 zunächst in Osteuropa und Italien. Im August 2003 hatte die Dürre dann ihren Höhepunkt. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich weite Teile Mitteleuropas unter einer schweren Dürren (d.h. es lag eine niedrige Bodenfeuchte mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von weniger als 5% vor). Dies illustriert den saisonalen Entwicklungscharakter von landwirtschaftlichen Dürren. Daher kann ein saisonales Dürrevorhersagesystem, das diese Ereignisse einige Monate im Voraus prognostiziert, dazu beitragen, sich auf diese Extremereignisse vorzubereiten und ihre Auswirkungen abzumildern.

Am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ wurde daher ein saisonales Dürrevorhersagesystem für Europa entwickelt. Dieses Vorhersagesystem basiert auf meteorologischen Prognosen des nordamerikanischen Multi-Modell Ensemble (NMME) (Kirtman et al., 2014), das verwendet wird, um das mesoskalige Hydrologische Modell (mHM) anzutreiben (Samaniego, 2010). Hierbei wurden neuartige Methoden angewandt, um die maximale Vorhersagegüte dieses Ensembles zu ermitteln (Thober und Samaniego, 2014) und die zeitliche Auflösung dieses Datensatzes für die hydrologische Modellierung zu erhöhen (Thober et al., 2014). Der NMME-Datensatz wird in dieser Studie betrachtet, da er ein relativ großes Ensemble von 101 monatlichen Niederschlags- und Temperaturvorhersagen beinhaltet und ein einfacher Datenzugriff gewährleistet ist.

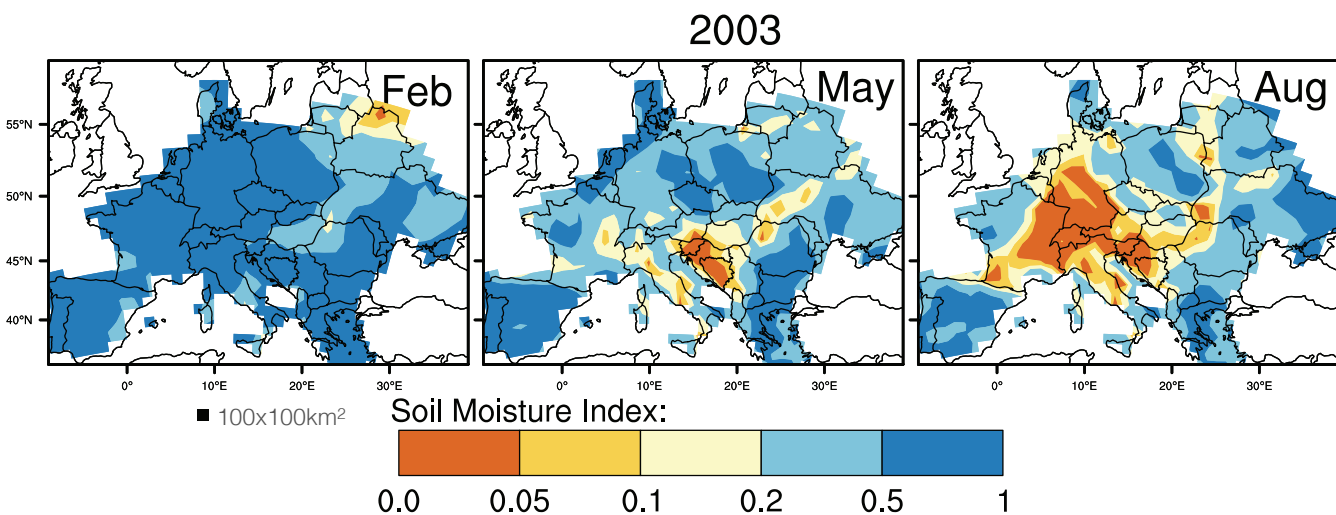


Abb. 1: Die Entwicklung der Europäischen Dürre von 2003 ist exemplarisch anhand des Ausmaßes von Dürreregionen im Februar, Mai und August 2003 dargestellt. Eine Dürre tritt in einer Region auf, wenn der Bodenfeuchteindex (soil moisture index, SMI) niedriger als 0.2 ist: Dies bedeutet, dass die berechnete Bodenfeuchte eine Eintrittswahrscheinlichkeit von weniger als 20% hat, bzw. in weniger als 20% der Fälle aufgetreten ist. Diese Felder des Bodenfeuchteindex wurden durch den Antrieb des mesoskaligen Hydrologischen Modells (mHM) mit dem beobachtungsbasierten E-OBS Datensatz gewonnen.

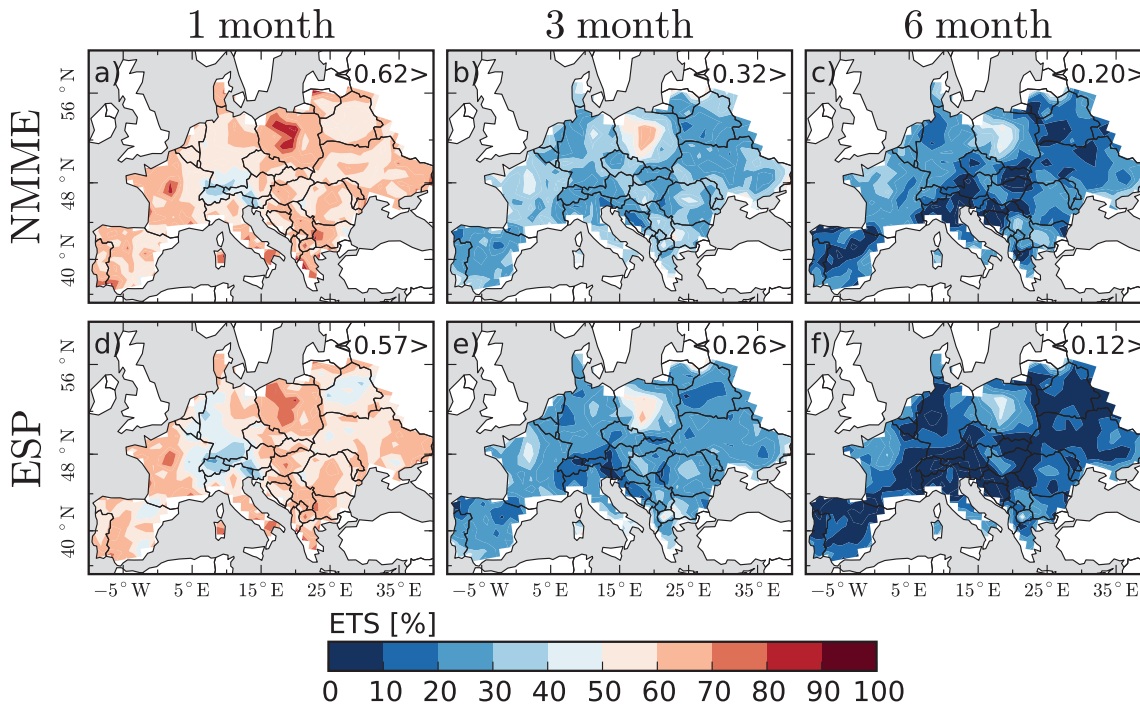


Abb. 2: Der Equitable Threat Score (ETS) für Dürreprognosen verschiedener Vorhersagezeiten (d.h. 1-, 3- und 6-monatige Vorhersagen), die auf dem nordamerikanischen Multi-Modell Ensemble (NMME) und dem Ensemble Streamflow Prediction (ESP) Ansatz beruhen.

Die Prognosen des saisonalen Dürrevorhersagesystems wurden mit denen einer einfachen statistischen Methode verglichen, die auf dem Ensemble Streamflow Prediction (ESP) Ansatz basiert (Wood und Lettenmaier, 2008). Dieser statistische Ansatz benutzt meteorologische Beobachtungen aus der Vergangenheit zur Erstellung eines Vorhersageensembles für den Antrieb von mHM. Die Vorhersagen dieses Verfahrens basieren somit nur auf klimatologischen Informationen und enthalten keine Kenntnis über die tatsächliche Entwicklung des Erdsystems.

Der Bewertungszeitraum des Dürrevorhersagesystems reicht von 1983 bis 2009 mit monatlichen Vorhersagen, beginnend am Anfang eines jeden Monats und Vorhersagezeiten von bis zu sechs Monaten. Das Simulationsgebiet umfasst große Teile Kontinentaleuropas. Um die Vorhersagegüte zu bewerten, wird in dieser Arbeit der Equitable Threat Score (ETS) Ansatz verwendet (Wilks, 2011), der die Trefferquote und die Falsch-Positiv-Rate in einem Bewertungsmaß zusammenfasst. Referenzwerte für die Bodenfeuchte wurden mit Hilfe eines frei verfügbaren Klimabeobachtungs-Datensatz für Europa (E-OBS) ermittelt (Haylock et al., 2008).

Der Equitable Threat Score (ETS) ist erwartungsgemäß höher für niedrige Vorhersagezeiten im Vergleich zu längeren Vorhersagezeiten (Abbildung 2). Dies gilt für die Bodenfeuchteprognosen, die auf dem nordamerikanischen Multi-Modell Ensembles (NMME) basieren, wie auch für jene, die auf dem Ensemble Streamflow Prediction (ESP) Ansatz beruhen. Die NMME-basierenden Vorhersagen zeigen über das gesamte Studiengebiet hinweg und für alle Vorhersagezeiten (d.h. 1-, 3- und 6-monatige Vorhersagen) jedoch eine höhere Vorhersagegüte als ESP-basierte Prognosen.

Die dabei beobachteten Differenzen des ETS sind statistisch signifikant (5% Signifikanzlevel).

Des Weiteren zeigen die Ergebnisse in Abbildung 2, dass es eine substantielle räumliche Variabilität in der Vorhersagegüte von bis zu 30% gibt. So ist beispielsweise der ETS in den Alpen für 1-monatige NMME-basierte Prognosen niedriger als 50%, während der ETS derselben Vorhersagen in Polen bis zu 80% beträgt. Es ist auffällig, dass die räumliche Verteilung der Vorhersagegüte für NMME- und ESP-basierte Vorhersagen ähnlich ist. Es konnte gezeigt werden, dass die Vorhersagegüte für beide Prognoseverfahren in denjenigen Regionen höher ist, in denen die Referenzbodenfeuchte selbst eine hohe Persistenz aufweist. Eine hohe Persistenz bedeutet, dass die initialen hydrologischen Bedingungen einen längeren Zeitraum überdauern. Die perfekte Kenntnis der initialen hydrologischen Bedingungen in den Prognosen führt dann zu einer hohen Vorhersagegüte in diesen Regionen. Das Auftreten von Dürren ist somit sehr stark vom Dürrezustand zu Beginn der Prognose abhängig, welcher in den initialen Bedingungen enthalten ist.

Zusammenfassend konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass die saisonalen meteorologischen Vorhersagen des nordamerikanischen Multi-Modell Ensemble eine höhere Vorhersagegüte von landwirtschaftlichen Dürren liefert, als ein einfacher statistischer Ansatz. Es wurde jedoch ebenfalls deutlich, dass die initialen hydrologischen Bedingungen und ihre Persistenz einen substantiellen Einfluss auf die Vorhersagegüte haben. Weitere Schritte zur Verbesserung des Vorhersageverfahrens umfassen die Untersuchung der Unsicherheit in den initialen hydrologischen Bedingungen mittels Sampling Methoden, wie dem Reverse-ESP Ansatz (Wood und Lettenmaier, 2008).

Kurzbiografie REKLIM Nachwuchswissenschaftlerinnen

Ansprechpartner:

Stephan Thober (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Leipzig)

Dr. Luis Samaniego (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Leipzig)

Referenzen:

COPA-COGECA (Committee of Professional Agricultural Organisations in the European Union-General Confederation of Agricultural Co-Operatives in the European Union) (2003): *Assessment of the Impact of the Heat Wave and Drought of the Summer 2003 on Agriculture and Forestry Report* (Brussels: COPA-COGECA), p.15 (available at www.copa-cogeca.be)

Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones, and M. New (2008): *A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006*. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D20). D20119, doi:10.1029/2008JD010201,

Kirtman, B.P. Dughong Min, J.M. Infanti, J.L. Kinter, D. A. Paolino, Q. Zhang, H. van den Dool, S. Saha, M. P. Mendez, E. Becker, P. Peng, P. Tripp, J. Huang, D.G. DeWitt, M.K. Tippett, A.G. Barnston, S. Li, A. Rosati, S. D. Schubert, M. Rienecker, M. Suarez, Z.E. Li, J. Marshak, Y.-K. Lim, J. Tribbia, K. Pegion, W.J. Merryfield, B. Denis, and E.F. Wood (2014): *The North American Multi-Model Ensemble (NMME): Phase-1 Seasonal to Interannual Prediction, Phase-2 Toward Developing Intra-Seasonal Prediction*. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 95, 585-60, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00050.1>

Relief. *Horn of Africa crisis: 2011-2012* (2011). <http://reliefweb.int/disaster/dr-2011-000029-ken>, last access: March 26th.

Samaniego, L., R. Kumar, and S. Attinger (2010). *Multi-scale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale*. *Water Resources Research*, 46(5), W05523..

Samaniego, L., R. Kumar, and M. Zink (2013): *Implications of parameter uncertainty on soil moisture drought analysis in Germany*. *Journal of Hydrometeorology*, 14(1), 47-68.

Sheffield, J. and E. F. Wood (2011): *Drought: Past Problems and Future Scenarios*. (Earthscan 2011).

Thober, S., J. Mai, M. Zink, and L. Samaniego (2014): *Stochastic temporal disaggregation of monthly precipitation for regional gridded data sets*. *Water Resources Research*, 50(11), 8714-8735.

Thober, S. and L. Samaniego (2014): *Robust ensemble selection by multivariate evaluation of extreme precipitation and temperature characteristics*. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(2), 594-613.

Wilks, D.S. (2011): *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, Amsterdam, 3rd edition.

Wood, A.W. and D.P. Lettenmaier (2008): *An ensemble approach for attribution of hydrologic prediction uncertainty*. *Geophysical Research Letters*, 35(14), L14401, doi:10.1029/2008GL034648.

Stephan Thober (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, UFZ)

Stephan Thober hat an der Universität Greifswald Mathematik mit dem Schwerpunkt Stochastik studiert. Nach seiner Diplomarbeit begann er im Januar 2011 als Doktorand am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung innerhalb des WESS-Projektes (www.wess.info) in der Arbeitsgruppe von Dr. Luis Samaniego und befasste sich dort zunächst mit der Auswertung und dem statistischen Herunterskalieren von Klimamodelldaten für die hydrologische Modellierung. Die dabei entwickelten Methoden konnte Stephan Thober dann im Rahmen des REKLIM-Projektes in Topic 6 „Modellierung und Verständnis extremer meteorologischer Ereignisse“ anwenden, um die Vorhersagegüte von saisonalen meteorologischen Prognosen in Bezug auf landwirtschaftliche Dürren zu untersuchen.

„Das Besondere an REKLIM ist für mich, dass es eine Plattform bietet, Ideen über Zentren Grenzen und Disziplinen hinweg auszutauschen.“
(Juni 2015)



(s. auch www.reklim.de/nachwuchswissenschaftler)