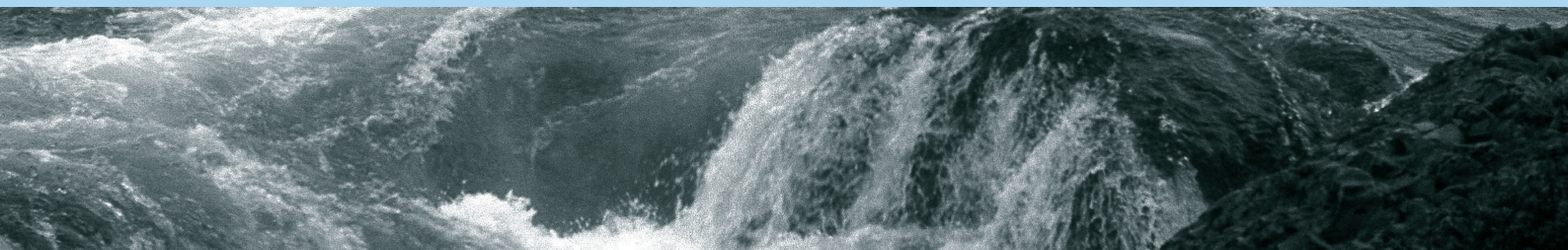


HEFT **37.16**



## Wasserressourcen – Wissen in Flussgebieten vernetzen

Beiträge zum Tag der Hydrologie am 17./18. März 2016 in Koblenz,  
ausgerichtet von der Hochschule Koblenz und der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Gabriele Wernecke, Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach, Yvonne Strunck,  
Lothar Kirschbauer, André Müller (Herausgeber)



**Hydrologische Wissenschaften**

Fachgemeinschaft in der DWA

## HEFT 37.16

### Wasserressourcen – Wissen in Flussgebieten vernetzen

Beiträge zum Tag der Hydrologie am 17./18. März 2016 in Koblenz,  
ausgerichtet von der Hochschule Koblenz und der Bundesanstalt für Gewässerkunde

Gabriele Wernecke, Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach, Yvonne Strunck,  
Lothar Kirschbauer, André Müller (Herausgeber)

#### Veranstalter:

- ≈ Hochschule Koblenz, Fachbereich Bauwesen
- ≈ Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
- ≈ Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften in der DWA (FgHW),  
Aachen, Hennef
- ≈ Hauptausschuss Hydrologie und Wasserbewirtschaftung der DWA

#### Mitveranstalter:

- ≈ Deutsche Hydrologische Gesellschaft (DHG)
- ≈ International Centre for Water Resources and Global Change,  
UNESCO Category II Centre



## Der Dürremonitor – Aktuelle Information zur Bodenfeuchte in Deutschland

Andreas Marx, Luis Samaniego, Rohini Kumar, Stephan Thober, Juliane Mai und  
Matthias Zink

### Zusammenfassung

Dürren, wie u.a. im Jahr 2003 in Mitteleuropa, haben gezeigt, dass die eingeschränkte Verfügbarkeit von Wasser zu messbaren negativen Effekten auf unsere Gesellschaft führen kann. Dazu zählen negative Auswirkungen wie die Reduktion der Pflanzenproduktivität z.B. in der Landwirtschaft oder das erhöhte Risiko von Sekundärschäden und Waldbränden in der Forstwirtschaft. Diese sind die Folgen sogenannter landwirtschaftlicher Dürren, einer Verknappung des verfügbaren Bodenwassers. Im Jahr 2015 hat die Trockenheit des Bodens in weiten Teilen Süd- und Ostdeutschlands zu Ertragsrückgängen z.B. beim Winterweizen geführt. Gegenüber dem Rekordjahr 2014 ist ein bundesweiter Rückgang von 12 % festgestellt worden, wobei regional Ertragsrückgänge von bis zu 40 % auftraten.

Am Umweltforschungszentrum (UFZ) wurde der deutsche Dürremonitor entwickelt, welcher hochaufgelöste Informationen zu Trockenheit und Dürre in fast-Echtzeit und leicht verständlich unter [www.ufz.de/duerremonitor](http://www.ufz.de/duerremonitor) frei zur Verfügung stellt. In einer Auflösung von 4x4 km<sup>2</sup> werden täglich flächendeckende Informationen zu Trockenheit bereitgestellt. Das operative Modellsystem besteht im Wesentlichen aus fünf Schritten: (1) der täglichen Aktualisierung der beobachteten meteorologischen Daten vom Deutschen Wetterdienst, deren Konsistenzprüfung und Interpolation, (2) Simulation der aktuellen Bodenfeuchte unter Verwendung des mesoskaligen Hydrologischen Modells mHM ([www.ufz.de/mhm](http://www.ufz.de/mhm)), (3) Berechnung des Perzentil-basierten Bodenfeuchteindex (SMI) auf der statistischen Basis des Zeitraumes 1953-2014, und (4) Klassifikation des SMI in fünf Dürre-Klassen von „ungewöhnlich trocken“ bis zu „außergewöhnliche Dürre“ und (5) Visualisierung und Veröffentlichung unter [www.ufz.de/duerremonitor](http://www.ufz.de/duerremonitor). Unsere Analyse zeigt, dass das Ereignis 2003 zwar unter den größten zehn Ereignissen in Deutschland rangiert, jedoch von anderen Dürren, z.B. in den 50er und 70er Jahren, übertroffen wurde. Auch das aktuelle Trockenereignis 2015 wird diskutiert, welches zeitweise bis zu 75 % Deutschlands betraf.

### 1. Einleitung

Ein Dürreereignis ist ein natürliches Phänomen, das aufgrund von Niederschlagsdefiziten auftritt (WILHITE 2005). Dies kann sich übersetzen in Wasserknappheit, einer Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Bedarf und der entsprechenden Verfügbarkeit von Wasser (sowohl ökologisch als auch nach gesellschaftlichen Bedürfnissen). Dürren entwickeln sich oft sehr langsam über Jahre hinweg und können dabei nationale und kontinentale räumliche Ausdehnungen erreichen (SHEFFIELD UND WOOD 2011, SAMANIEGO et al. 2013). Damit weisen Dürren im Vergleich zu anderen Naturkatastrophen die größte räumliche Ausdehnung und die längste Dauer auf (SHEFFIELD UND WOOD 2011). Zwischen 1950 und 2014 waren nach der EM-DAT-Datenbank (GUHA-SAPIR et al. 2015) 2.2 Milliarden Menschen weltweit von Dürren betroffen. Damit betreffen Dürren nach Hochwassern mit 3,6 Milliarden die meisten Menschen. In Europa lagen die Kosten pro Dürreereignis in diesem Zeitraum bei 621 Millionen €. Damit sind Dürren die teuersten Naturkatastrophen in dieser Region (GUHA-SAPIR et al. 2015). Auswirkungen lassen sich auf viele gesellschaftliche Bereiche und Sektoren wie Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Energieerzeugung und Gesundheit feststellen. Dabei gibt es direkte und indirekte Auswirkungen (WILHITE et al. 2007). Direkte Auswirkungen sind beispielsweise reduzierter Ernteertrag oder Beeinflussung der Nettoprimärproduktivität von natürlichen und gemanagten Systemen, erhöhte Waldbrandgefahr, reduzierte Flusswasserstände oder erhöhte Sterblichkeit von Nutz- und Wildtieren oder Fischen. Sie können in der Regel quantifiziert werden, während die Bewertung der indirekten Auswirkungen häufig schwierig ist. Beispiele für die indirekten Auswirkungen sind variable Nahrungs-

mittelpreise aufgrund von Markteffekten im Bereich der Landwirtschaft. Infolgedessen ist es schwierig, die Gesamtkosten und Verluste auf regionaler und nationaler Ebene zu schätzen. Es wird davon ausgegangen, dass indirekte Auswirkungen von Dürren auf regionaler Ebene größer als die direkten Auswirkungen sein können (WILHITE et al. 2007). Aus ökonomischer Sicht betreffen Dürren vor allem Landwirtschaft, Ernährung, Energieerzeugung, Binnenschifffahrt und Tourismus. Dabei sind die agrarökonomischen Auswirkungen in der Regel am größten. Beeinträchtigungen in der Energiewirtschaft treten vor allem dann auf, wenn die Wassertemperatur über einen kritischen Schwellenwert steigt und folglich die Verfügbarkeit von Kühlwasser für Kraftwerke begrenzt ist. Ökonomisch können Sekundäreffekte auftreten. So haben großräumige und lang anhaltende Dürreereignisse nicht nur Auswirkungen auf die regionale Landwirtschaft, sondern auch Auswirkungen auf die internationalen Rohstoffpreise und die Ernährungssicherheit (VANNEUVILLE et al. 2012).

Nach Angaben der Europäischen Kommission hat sich die Häufigkeit von Dürren seit 1980 erhöht und wird zukünftig wahrscheinlich weiter ansteigen (EEA 2012). 11 % der europäischen Bevölkerung und 17 % der Fläche der EU waren dabei bereits von Wasserknappheit betroffen (EC 2007, EC 2010). Die Dürre 2003 hat zum Beispiel in Deutschland allein ca. 7.000 zusätzliche Todesfälle gefordert und einen agrarökonomischen Verlust von 1,5 Mrd. EUR verursacht. Auf europäischer Ebene wird von 70.000 Todesopfern (ROBINE et al. 2008) und wirtschaftlichen Verlusten in Höhe von 15 Mrd. EUR (COPA-COGECA 2003) für die Dürre 2003 ausgegangen. Die aktuelle Bodentrockenheit im Jahr 2015 in Deutschland verursachte regional unterschiedliche Verluste im Ernteertrag und ein erhöhtes Waldbrandrisiko.

Eine präzise und allgemein gültige Definition von Dürre gibt es nicht (WILHITE 2005), weil Dürren sektoral- und regionalspezifische Auswirkungen haben. Zum Beispiel würde ein Landwirt ein Dürreereignis in einer anderen Weise als ein Wasserressourcenmanager interpretieren (z.B. WMO 2006). MISHRA & SINGH (2010) untergliedern vier verschiedene Arten von Dürren: die meteorologische, hydrologische, landwirtschaftliche und sozioökonomische Dürre. Darüber hinaus weisen VAN LANEN & PETERS (2000) und KUMAR et al. (2015) auf die Bedeutung von Grundwasserdürren auf längeren Zeitskalen hin. Die meteorologische Dürre entsteht durch ein Niederschlagsdefizit bezogen auf einen Referenzzeitraum. Sie wird häufig durch den Standardized Precipitation Index (SPI) (MCKEE et al. 1993) oder den Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) unter zusätzlicher Abschätzung der potentiellen Verdunstung beschrieben. Die hydrologische Trockenheit bezieht sich auf die Verfügbarkeit von oberirdischem Wasser. Grundwasserdürren werden durch außergewöhnlich niedrige Grundwasserspiegel oder der Grundwasserneubildung und dem Basisabfluss quantifiziert.

Nach der Definition der WMO bezieht sich die landwirtschaftliche Dürre auf die Bodenwasserverfügbarkeit. Einschränkungen in der Menge von pflanzenverfügbarem Bodenwasser können sich auf die photosynthetische Leistung und Nettoprimärproduktion von Vegetation und den landwirtschaftlichen Ernteertrag auswirken. Darüber hinaus kann die sozioökonomische Dürre durch alle vorgenannten Dürretypen ausgelöst werden. Durch Wassermangel werden dabei monetäre Verluste verursacht. Meteorologische Dürren dauern in der Regel am kürzesten an, gefolgt von der landwirtschaftlichen und der hydrologischen Dürre sowie der Grundwasserdürre.

Eine Dürremonitoringsystem, das zeitnah Informationen über den Beginn von Ereignissen liefert sowie Umfang, Dauer und Intensität bewerten kann, ist geeignet, ökonomische und ökologische Schäden zu begrenzen (WILHITE 1993). Wir betrachten in dieser Studie die landwirtschaftlichen oder Bodenfeuchtedürren auf Grund ihres besonderen Gefahrenpotenzials für die Gesellschaft. In-situ-Bodenfeuchtebeobachtungen sind in der Regel auf regionaler oder nationaler Ebene kaum verfügbar. Fernerkundungsprodukte liefern flächenhafte Informationen, sind aber oft unsicher, decken nur den Überflugzeitpunkt ab und sind nicht über lange Zeiträume verfügbar (SHEFFIELD et al. 2014). Vor diesem Hintergrund stellt diese Studie einen Dürremonitor auf der Basis von mesoskaligen hydrologischen Modellsimulationen vor.

### **1.1 Bestehende Dürrebeobachtungssysteme**

Für große Teile der Welt sind bereits Dürremonitore für die Öffentlichkeit frei verfügbar. Auf dem kontinentalen Maßstab existieren Dürreüberwachungs- oder Prognosesysteme für Nordamerika (LAWRIMORE et al. 2002), Europa (HORION et al. 2012) und Afrika (SHEFFIELD et al. 2014). Auf nationaler Ebene gibt es Online-Plattformen für Indien (SHAH & MISHRA 2015), Tschechien (TRNKA et al. 2014) oder die Vereinigten Staaten von America (SVOBODA et al. 2002, WOOD 2008). Diese Monitore unterscheiden sich in ihren Eingabedaten, räumlicher und zeitlicher Auflösung und den verwendeten Trockenheitsindizes. Das am längsten bestehende System ist der US-Dürre-Monitor aus dem Jahr 1999. Die wöchentlich veröffentlichte Karte ist eine Kombination aus verschiedenen Indizes basierend auf dem standardisierten Niederschlagsindex, dem Palmer Drought Severity Index, Bodenfeuchteperzentilen aus hydrologischen Modellsimulationen und Expertenwissen (SVOBODA et al. 2002). Sektorale Experten z.B. aus Landwirtschaft und Wasserressourcenmanagement speisen zusätzliche Informationen ein und überprüfen die wöchentlichen Dürrekarten. Der nordamerikanische Dürre-Monitor wurde im Jahr 2002 auf der Grundlage der Erfahrungen der US-Dürre-Monitor implementiert (LAWRIMORE et al. 2002). Er beinhaltet eine Vergrößerung des untersuchten Raumes um Kanada und Mexiko und stellt monatliche Dürrekarten zur Verfügung. Die Dürremonitore der Universität Washington (WOOD 2008) und der Princeton University (LUO UND WOOD 2007) decken ebenfalls die Vereinigten Staaten ab und zeigen Simulationen und Prognosen der Bodenfeuchte, von Schnee und Abfluss auf Basis des Variable Infiltration Capacity (VIC) Modell (LIANG et al. 1994). Systeme für Indien (SHAH 2015) und Afrika (SHEFFIELD ET AL 2014) basieren aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit von Bodenbeobachtungen auf Bias-korrigierten Satellitenniederschlagsdaten. Diese Systeme laufen auf einer räumlichen Auflösung von 0,25 Grad und beinhalten Indizes zum Niederschlag, zur Bodenfeuchte und zum Abfluss aus dem VIC Modell. Der Tschechische Dürre-Monitor (TRNKA et al. 2014) basiert auf der modellierten Bodenfeuchte der Wurzelzone, die aus lokalen meteorologischen Beobachtungen abgeleitet werden. Karten sind wöchentlich mit einer räumlichen Auflösung von 500 m verfügbar. Auf kontinentaler Ebene zeigt der European Drought Monitor (EDO) den aktuellen Dürrestatus für zehntägige Intervalle. Dazu werden ein kombinierter Dürreindikator aus dem standardisierten Niederschlagsindex (SPI) sowie Bodenfeuchte aus dem hydrologischen Modell LISFLOOD (DE ROO et al. 2000) und Vegetationsbedingungen (photosynthetisch aktiver Strahlungsanteil aus ENVISAT Satelliten-

daten) genutzt (HORION et al. 2012). Für Bodenfeuchte und Vegetationsstatus werden Anomalien (Abweichung vom langjährigen Mittel bezogen auf die Standardabweichung) berechnet. Die dazu genutzten Bezugszeiträume sind 1981-2010, 1990-2010 und 1997-2010. Die räumliche Auflösung liegt bei 25 km für den Niederschlag, 5 km für die Bodenfeuchte und 1 km für FAPAR.

## 2. Der Deutsche Dürremonitor

In unserer Arbeit im Mitteldeutschen Klimabüro mit regionalen Akteuren vor allem aus der Land- und Forstwirtschaft hat sich der Wunsch der Anwender nach einem hochauflösenden regionalen Dürremonitor gezeigt. Unser System basiert auf meteorologischen Stationsdaten des DWD und somit den dichtesten und zuverlässigsten, verfügbaren Daten.

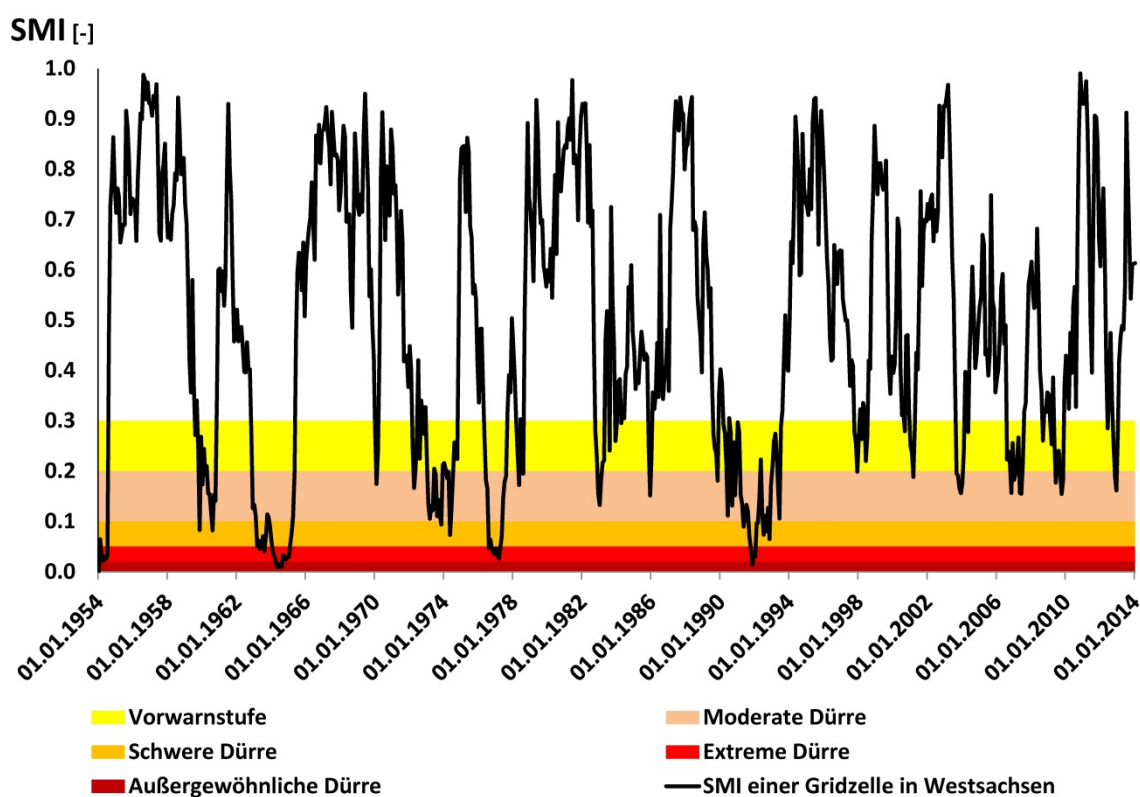


Abb.1: Bodenfeuchteindex (SMI) einer Gitterzelle in Westsachsen über den 60-jährigen Referenzzeitraum. Für jede Gitterzelle wurden monatliche kumulierte Häufigkeitsverteilungen berechnet, auf deren Basis der SMI berechnet wird. Farblich gekennzeichnet sind die Trockenklassen von der Vorwarnung (gelb) bis hin zur außergewöhnlichen Dürre (rotbrau).

Aufgrund der langfristigen Verfügbarkeit von meteorologischen Daten in hoher räumlicher Auflösung seit 1951 können wir einen 60-jährigen Referenzzeitraum für die statistische Basis der Dürreindizes verwenden. Dies ist wesentlich länger als in anderen für Deutschland bestehenden Systemen. Die Schätzung der Dürreindizes basiert auf Perzentilen der simulierten monatlichen Bodenfeuchte für jede 4x4 km<sup>2</sup> Gitterzelle (Bsp. SMI siehe Abbildung. 1). Damit ist neben der Angabe über den aktuellen Bodenfeuchtezustand auch eine Quantifizierung von Dürren in Bezug auf zeitliche Andauer und räumliche Ausdehnung möglich.

## 2.1 Operationeller Rahmen für den Dürremonitor

Der Deutsche Dürremonitor (GDM) schätzt Trockenheit basierend auf near-realtime Beobachtungen von meteorologischen Daten ab.

Diese treiben das hydrologische Modell mHM (SAMANIEGO et al. 2010, KUMAR et al. 2013a) an und liefern Bodenfeuchte in drei Bodenschichten. Als Benchmark für die Abschätzung der Trockenheit werden kumulative Häufigkeitsverteilungen aus 60-jährigen Simulationen für den Zeitraum von 1954 bis 2013 genutzt. Die Bodenfeuchteperzentile liegen dabei für jede Gitterzelle und jeden Monat des Jahres vor. Auf Basis der Clustermethode nach (SAMANIEGO et al. 2013) kann die räumliche und zeitliche Ausdehnung von Ereignissen bestimmt werden, welche auch in THOBER et al. (2015) verwendet wurde. Des Weiteren wird eine Dürreklassifizierung durchgeführt.

Das operationelle System besteht im Wesentlichen aus vier Schritten (siehe Abbildung 2):

1. **Meteorologische Datenbasis herstellen:** Abrufen der täglichen Wetterdaten beim Climate Data Center (CDC) des DWD, die Qualitätskontrolle, die Interpolation der Stationsdaten mit External Drift Kriging auf ein 4x4 km<sup>2</sup> Gitter und die Berechnung der potentiellen Evaporation. Derzeit fließen etwa 1.700 Niederschlags- und 500 Klimastationen, welche minimale, maximale und durchschnittliche tägliche Temperaturen messen, in den Dürremonitor ein. Die Daten sind beim CDC mit einer Verzögerung von 4 Tagen flächendeckend verfügbar – daher liefert der Dürremonitor ein „near-realtime“ Produkt mit einer Verzögerung von 4 Tagen. Bei der Interpolation wird ein Höhenmodell als externe Drift verwendet.
2. **Hydrologische Simulationen mit mHM:** Das hydrologische Modell mHM ist ein Prozess-basiertes räumlich verteiltes Modell, bei dem Schneeakkumulation und Schmelze, Interzeption, Infiltration, Interflow und Grundwasserneubildung berücksichtigt sind. Es berechnet für jede Zelle Direktabfluss, Basisabfluss sowie langsamen und schnellen Interflow, die nach der Aggregation mit Muskingum-Cunge geroutet werden (TODINI 2007). Durch die Verwendung der Multiskalen-Parameter Regionalisierung (MPR; SAMANIEGO et al. 2010, KUMAR et al. 2013a) kann die subskalige Variabilität abgebildet werden. Die Modellparameter werden in einem ersten Schritt auf der niedrigsten möglichen Eingangsaufösung mit 100x100 m geschätzt und im zweiten Schritt auf die Zielaufösung 4x4 km<sup>2</sup> transferiert (KUMAR et al. 2013a). Das Modell wurde auf einer breiten Palette von Einzugsgebieten mit Größen zwischen 4 und 530.000 km<sup>2</sup> in klimatisch sehr unterschiedlichen Regionen (Deutschland, Europa, USA, Indien) eingesetzt (SAMANIEGO et al. 2011, KUMAR et al. 2013a, SAMANIEGO et al. 2013, RAKOVEC et al. 2016, THOBER et al. 2015). Das hydrologische Modell wurde 1954 initialisiert und die Zustandsvariablen am Ende der Referenzperiode (31.12.2013) gespeichert. Die operationellen hydrologischen Simulationen lesen diese Daten ein und starten am 01.01.2014. Als Ergebnis liegen u.a. Bodenfeuchtfelder in drei Schichten vor. Die Dicke der oberen zwei Schichten betragen 5 cm und 20 cm. Die Mächtigkeit der dritten Schicht ist räumlich variabel in Abhängigkeit von der Bodenart.

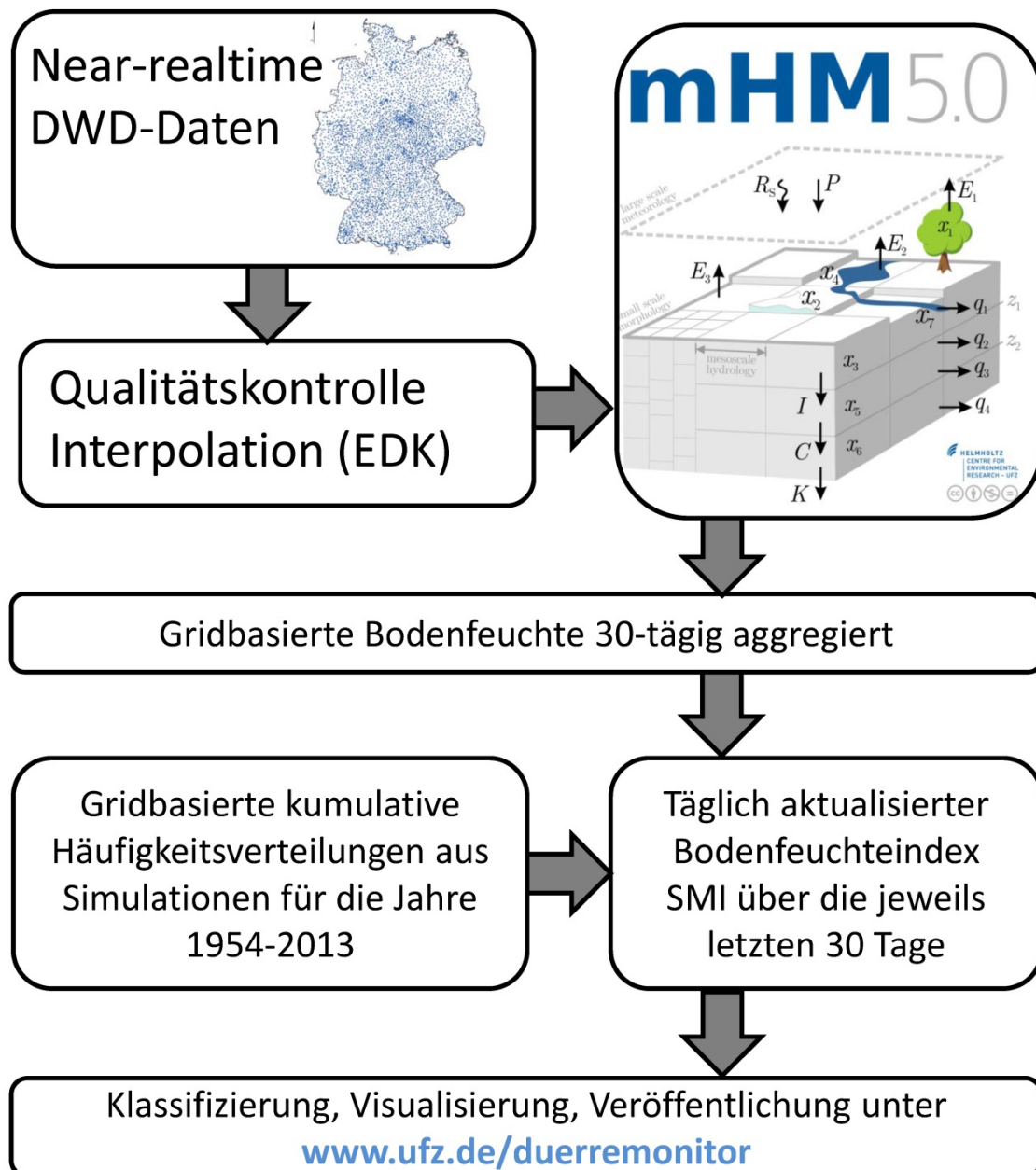


Abb.2: Schema des operationellen Ablaufes des Dürremonitors, das jeweils nachts um 2 Uhr CET gestartet wird.

3. **Berechnung des standardisierten Bodenfeuchte Index (SMI):** Auf Basis einer 60-jährigen Referenzsimulation 1954-2013 wird unter Verwendung eines nicht-parametrischen Kerns eine kumulative Verteilungsfunktion für einen über 30 Tage gemittelten Bodenfeuchtwert bestimmt. Diese Verteilungsfunktion wird für jede Gitterzelle und für jeden Tag des Jahres bestimmt. Die Berechnung des SMI ist vergleichbar mit anderen Indizes wie dem Standardisierten Niederschlagsindex SPI (MCKEE et al. 1993).



4. **Klassifikation, Visualisierung und Veröffentlichung:** Schließlich wird der SMI basierend auf den Erfahrungen des US Drought Monitors (SVOBODA et al. 2002) klassifiziert. Vier Klassen definieren verschiedene Stufen von Trockenheit mit moderaten Auswirkungen auf die Vegetation ( $\text{SMI} < 0.2$ ) bis zur hohen Wahrscheinlichkeit des Verlustes von Kulturpflanzen und hoher Waldbrandgefahr ( $\text{SMI} < 0.02$ ). Die extremste Stufe bildet eine Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 50 Jahren ab. Eine fünfte Stufe dient der Vorwarnung. Die resultierenden Karten veröffentlichen wir täglich gegen 2.30 Uhr für die obersten 25 cm und den Gesamtboden unter [www.ufz.de/duerremonitor](http://www.ufz.de/duerremonitor).

### 3. Dürreereignis 2015

Deutschland erlebte bereits zwei Trockenphasen seit der Umsetzung des GDM im Jahr 2014.

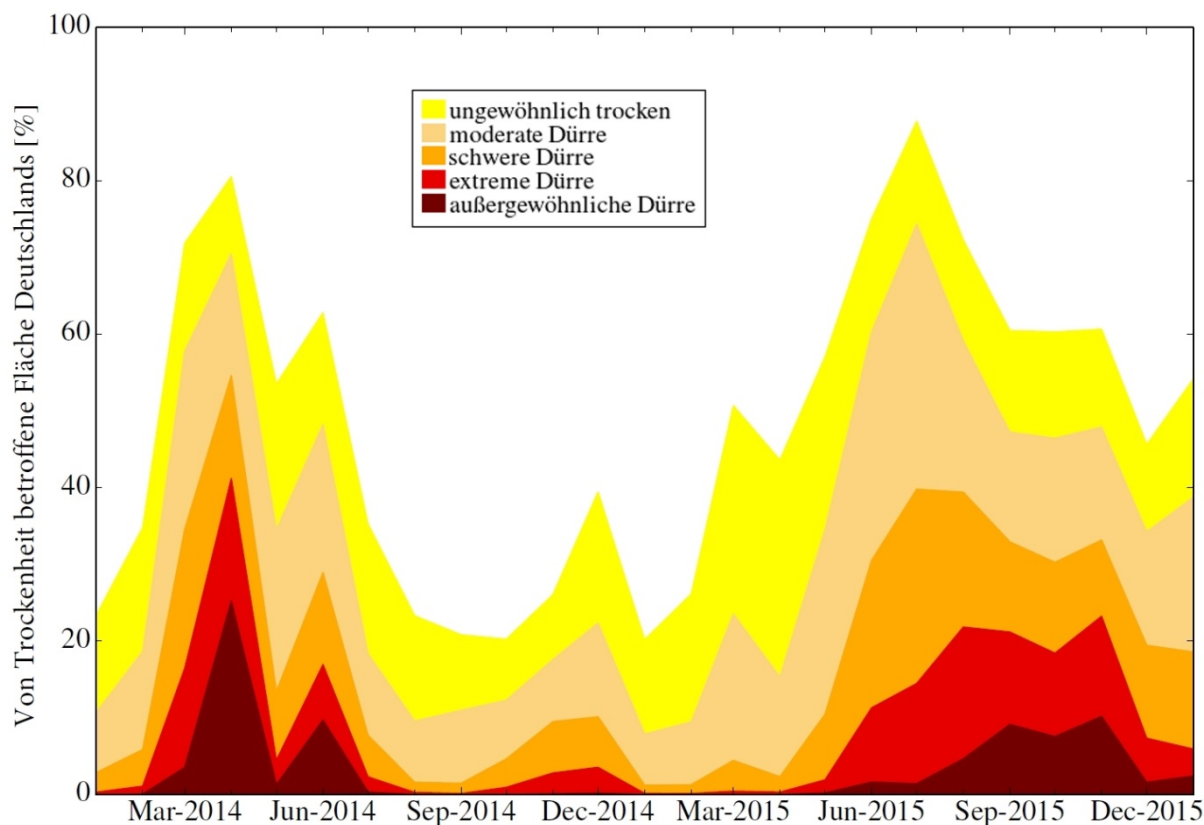


Abb.3: Flächenhafte Entwicklung der Trockenereignisse seit Januar 2014.

Die erste fand im Frühjahr 2014 statt. Der April war außergewöhnlich trocken mit 70 % der Fläche Deutschlands unter Dürrebedingungen mit einem  $\text{SMI} < 0,2$  (Abbildung 3). Eine außergewöhnliche Dürre ( $\text{SMI} < 0,02$ ) lag auf 25 % der Gesamtfläche vor. Die Situation entspannte sich im Mai aufgrund der überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen. Als Folge konnten die Vegetation und insbesondere landwirtschaftliche Nutzpflanzen ausreichend mit Wasser versorgt werden, vor allem während der Wachstumsphase nach der Aussaat im April und im Mai. Obwohl der Juni wieder sehr trocken war, konnten für einige landwirtschaftliche

Kulturen Rekorderträge gemeldet werden (BMEL 2014). Im Jahr 2015 war die Dürresituation anders. Die Frühjahrstrockenheit hielt in einigen Regionen Deutschlands bis zum Spätsommer an. Das Wachstum von einigen Kulturpflanzen wurde bereits durch Wasserknappheit im Mai verzögert (BMEL 2015). Daraus resultierten in Deutschland beim Mais Ertragsrückgänge um 22 % im Vergleich zum Durchschnitt 2009-2014. Zusätzlich traten Verluste im Grünland auf.

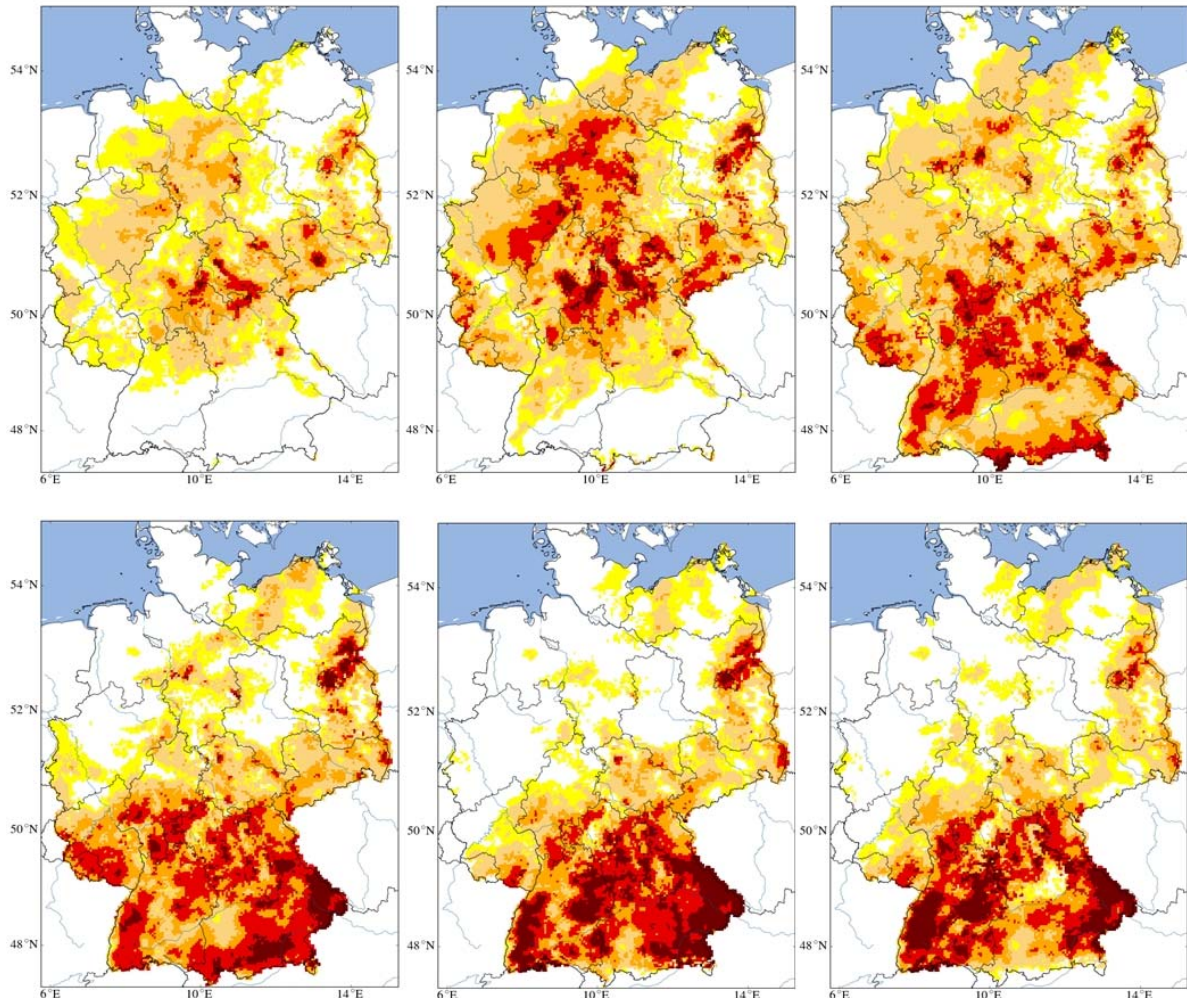


Abb.4: Entwicklung der Trockenheit von Mai-Juli (oben) und August-Oktober 2015 (unten). Die Legende zur Farbkodierung findet sich in Abbildung 3.

Auswirkungen gab es auch auf andere Sektoren. So wurde z.B. aufgrund der geringen Wasserpegel die Binnenschifffahrt auf der Elbe zeitweise eingestellt. Ein anderes Beispiel für sehr trockene Bedingungen war Berlin, wo Bäume bereits Mitte August mit Blattverfärbung und Blattwurf einsetzten. Im späteren Verlauf des Sommers fand sich dieser Effekt in Bayern wieder, wo die Trockenheit erst im September ihren Höhepunkt erreichte (siehe Abbildung 4). In der Studie von SAMANIEGO et al. (2013) wurde eine Klassifikation von Dürreereignissen in Deutschland seit 1951 durchgeführt. Dazu wurde die betroffene Fläche, die Andauer der Trockenheit mit  $SMI < 0.2$  und die absolute Trockenheit genutzt, um eine dimensionslose Zahl zu berechnen. Nach diesem Verfahren liegt das Ereignis 2015 auf dem neunten Platz

aller Ereignisse seit 1951. Zum Vergleich rangiert das Ereignis 2003 auf Platz 7. Die vier größten Dürreereignisse in Deutschland seit 1951 fanden vor 1977 statt.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Der hier vorgestellte Deutsche Dürremonitor (GDM) bietet eine einfache Möglichkeit der Information zu landwirtschaftlicher Dürre, die den Bodenfeuchtezustand beschreibt. Seit 2014 ist der Dürremonitor online verfügbar. Sein Einsatz soll eine Entscheidungsunterstützung für regionale Akteure liefern. Aus den Reaktionen und Anfragen der letzten beiden Jahre hat sich herauskristallisiert, dass Land- und Forstwirtschaft sowie Vertreter von Behörden und Ämtern die Hauptnutzergruppe darstellen.

Auf der Basis der engmaschigen meteorologischen Beobachtungen in Deutschland wird erst die hochaufgelöste Simulation der aktuellen Bodenfeuchte in einer räumlichen Auflösung von 4×4 km<sup>2</sup> möglich. Da diese Datenbasis ab 1951 verfügbar ist, konnten die dem Bodenfeuchteindex zugrunde liegenden kumulativen Häufigkeitsverteilungen für jede Gitterzelle in Deutschland über einen 60-jährigen Zeitraum berechnet werden. Die Operationalisierung des Systems ermöglicht Schätzungen der Bodenfeuchte auf einer täglichen Basis. Sie deckt den Zeitraum der jeweils letzten 30 Tage ab. Eine resultierende, leicht verständliche Dürre-karte für Deutschland ist für die Öffentlichkeit frei online verfügbar ([www.ufz.de/duerremonitor](http://www.ufz.de/duerremonitor)).

Die Einordnung von Dürreereignissen und der Vergleich mit vergangenen Ereignissen helfen, ihre möglichen Auswirkungen abzuschätzen. Obwohl unser Fokus auf der Bodenfeuchte liegt, streben wir eine kollaborative Arbeit mit Agraringenieuren, Wasserressourcen-Managern, Hydrologen, politischen Entscheidungsträgern und Interessengruppen an, um die Nützlichkeit des Produktes zu verbessern, die Zuverlässigkeit der Dürreinformationen zu erhöhen und die Akzeptanz zu stärken.

### **Danksagung**

Wir danken dem Deutschen Wetterdienst (DWD), dem Joint Research Center (JRC) der Europäischen Kommission, der Europäischen Umweltagentur (EEA), der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), dem European Water Archive und die Global Runoff Data Center (GRDC) für die Bereitstellung der Daten. Diese Arbeit wurde unterstützt durch die "Helmholtz-Allianz Fernerkundung und Earth System Dynamics" und ist Teil der Helmholtz Klimainitiative REKLIM.

### **Literatur**

- COPA-COGECA (2003): Assessment of the impact of the heat wave and drought of the summer 2003 on agriculture and forestry. Tech. rep., Committee of Agricultural Organisations in the European Union.
- DE ROO, A. P. J., C. G. WESSELING & W. P. a. VAN DEURSEN (2000): Physically based river basin modelling within a GIS: the LISFLOOD model. Hydrological Processes, 14 (11-12), 1981–1992, doi:10.1002/1099-1085(20000815/30)
- EUROPEAN COMMISSION (2007): Water Scarcity and Droughts - In-Depth Assessment. Tech. rep., 1–93 pp.

- EUROPEAN COMMISSION (2010): Water Scarcity and Drought in the European Union. URL <http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/brochure.pdf>, 4 pp.
- EUROPEAN COMMISSION (2012): Final Report Gap Analysis of the Water Scarcity and Droughts Policy in the EU European Commission. Tech. rep., 1–206 pp.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) (2012): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012: an indicator-based report. EEA Report, (12), 304, doi:10.2800/
- FEDERAL MINISTRY OF FOOD AND AGRICULTURE (BMEL) (2014): Rekordergebnis bei den Hektarerträgen: Kartoffelernte 2014 übertrifft mehrjährigen Durchschnitt deutlich.
- FEDERAL MINISTRY OF FOOD AND AGRICULTURE (BMEL) (2015): Erntebericht 2015 : Mengen und Preise. Tech. Rep. August, 29 pp.
- GUHA-SAPIR, D., R. BELOW & P. HOYOIS (2015): EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. Universite Catholique de Louvain ([www.emdat.be](http://www.emdat.be))
- HORION, S., A. SINGLETON, P. BARBOSA & J. VOGT (2012): JRC experience on the development of Drought Information Systems. Tech. rep. doi:10.2788/15761.
- KUMAR, R., B. LIVNEH & L. SAMANIEGO (2013): Toward computationally efficient large-scale hydrologic predictions with a multiscale regionalization scheme. *Water Resources Research*, 49 (9), 5700–5714, doi:10.1002/wrcr.20431
- KUMAR, R., MUSUUZA, J. L., VAN LOON, A. F., TEULING, A. J., BARTHEL, R., TEN BROEK, J., MAI, J., SAMANIEGO, L., and ATTINGER, S. (2015): Multiscale evaluation of the standardized precipitation index as a groundwater drought indicator, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 12, 7405–7436, doi:10.5194/hessd-12-7405-2015, 2015.
- LAWRIMORE, J., R. R. HEIM, M. SVOBODA, V. SWAIL & P. J. ENGLEHART (2002): Beginning a new era of drought monitoring across North America., 1191–1192 pp., doi:10.1175/1520-0477(2002)083(1191:BANEOD)2.3.CO;2.
- LIANG, X., D. P. LETTENMAIER, E., F. WOOD & S. J. BURGESS (1994): A simple hydrologically based model of land surface water and energy flux for general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, 99 (D7), 14 415–14 428, doi:10.1029/94JD00483
- LUO, L. UND E. F. WOOD (2007): Monitoring and predicting the 2007 U.S. drought, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L22702, doi:10.1029/2007GL031673.
- MCKEE, T. B., N. J. DOESKEN & J. KLEIST (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology*, American Meteorological Society
- MISHRA, A. K. & V. P. SINGH (2010): A review of drought concepts. Elsevier B.V., URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- RAKOVEC, O., R. KUMAR, J. MAI, M. CUNTZ, S. THOBER, M. ZINK, S. ATTINGER, D. SCHÄFER, M. SCHRÖN, L. SAMANIEGO (2016): Multiscale and Multivariate Evaluation of Water Fluxes and States over European River Basins, *Journal of Hydrometeorology*, 17(1): 287–307.
- ROBINE, J., S. L. K. CHEUNG, S. LE ROY, H. VAN OYEN, C. GRIFFITHS, J.-P. MICHEL & F. R. HERRMANN (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 331 (2), 171–178, doi:10.1016/j.crvi.2007.12.001, URL

- SAMANIEGO, L., R. KUMAR & S. ATTINGER (2010): Multiscale parameter regionalization of a grid-based hydrologic model at the mesoscale. *Water Resources Research*, 46 (5), n/a–n/a, doi:10.1029/2008WR007327, URL <http://www.agu.org/pubs/>
- SAMANIEGO, L., R. KUMAR & C. JACKISCH (2011): Predictions in a data-sparse region using a regionalized grid-based hydrologic model driven by remotely sensed data. *Hydrology Research*, 42 (5), 338–355, doi:10.2166/nh.2011.156
- SAMANIEGO, L., R. KUMAR & M. ZINK (2013): Implications of Parameter Uncertainty on Soil Moisture Drought Analysis in Germany. *Journal of Hydrometeorology*, 14 (1), 47–68, doi:10.1175/JHM-D-12-075.1
- SHAH, R. D. & V. MISHRA (2015): Development of an Experimental Near-Real-Time Drought Monitor for India. *Journal of Hydrometeorology*, 16 (1), 327–345, doi:10.1175/JHM-D-14-0041.1
- SHEFFIELD J. & E. F. WOOD (2011): *Drought: Past Problems and Future Scenarios*. Earthscan, 210 pp.
- SHEFFIELD J., E.F. WOOD, N. CHANEY, K. GUAN, S. SADRI, X. YUAN, L. OLANG, A. AMANI, A. ALI, S. DEMUTH, L. OGALLO (2014): A Drought Monitoring and Forecasting System for Sub-Sahara African Water Resources and Food Security. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95 (6), 861–882, doi:10.1175/BAMS-D-12-00124.1
- SVOBODA, M. & COAUTHORS (2002): The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83 (8), 1181–1190, doi:10.1175/1520-0477(2002)083(1181:TDM)2.3.CO;2, URL <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477>
- THOBER, S., R. KUMAR, J. SHEFFIELD, J. MAI, D. SCHÄFER & L. SAMANIEGO (2015): Seasonal Soil Moisture Drought Prediction over Europe using the North American Multi-Model Ensemble (NMME). *Journal of Hydrometeorology*, doi:10.1175/JHM-D-15-0053.1
- TODINI, E. (2007): A mass conservative and water storage consistent variable parameter Muskingum-Cunge approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1645-1659, doi:10.5194/hess-11-1645-2007.
- TRNKA, M., HLAVINKA, P., SEMERÁDOVÁ, D., BALEK, J., MOŽNÝ, M., STĚPÁNEK, P., ZARADNÍČEK, P., HAYES, M., EITZINGER, J., ŽALUD, Z. (2014): Drought monitor for the Czech Republic - [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz). *MENDEL AND BIOCLIMATOLOGY*, 630–638.
- VAN LANEN, H. A. J. & E. PETERS (2000): Definition, effects and assessment of groundwater droughts. *Drought and Drought Mitigation in Europe*, J. V. Vogt, and F. Somma, Eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 49–61.
- VANNEUVILLE, W., B. WERNER, T. KJELDSSEN, J. MILLER, M. KOSSIDA, A. TEKIDOU, A. KAKAVA & CROUZET (2012): Water resources in Europe in the context of vulnerability: EEA 2012 State of water assessment. (11), doi:10.2800/65298
- WILHITE, D., M. SIVAKUMAR & D. WOOD (2000): Early warning systems for drought preparedness and drought management. 212 pp.
- WILHITE, D. A. (1993): *The enigma of drought. Drought assessment, management, and planning: Theory and Case Studies*, Springer US, Boston
- WILHITE, D. A., Ed. (2005): *Drought and Water Crisis: Science, Technology, and Management Issues*. Crc press ed., Boca Raton, 432 pp.

- WILHITE, D. A., M. D. SVOBODA & M. J. HAYES (2007): Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, 21 (5), 763–774, doi:10.1007/s11269-006-9076-5.
- WOOD, A. W. (2008): The University of Washington Surface Water Monitor: An experimental platform for national hydrologic assessment and prediction. 22nd conference on hydrology, New Orleans
- WMO, 2006: Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges. (1006), 24, URL <http://www.wamis.org/agm/pubs/brochures/WMO1006e.pdf>