



### 3.2.8 Globaler Wandel, extreme hydrologische Ereignisse und Strategien zum Umgang mit Hochwasser und Dürre

LUCAS MENZEL

*Global change, extreme hydrological conditions and strategies to combat floods and droughts: Floods and droughts are natural phenomena which have become more abundant and more destructive than ever in many regions of the globe. Increasing levels of exposure and insufficient adaptive capacity are among the factors responsible for the rising vulnerability. The climatic mechanisms influencing hydrological extremes, observed in some areas and expected in future, are: increase in temperature, decrease in snow cover and ice jams, rising precipitation intensities and in some areas a decrease in summer precipitation. A complex interrelationship between the socio-economic domain, human impact on terrestrial systems and adverse effects of climate change are likely to increase the future risk of floods and droughts. Hence increasing attention has to be paid to upgrading protection systems. As, typically, sufficient protection cannot be reached with the help of structural means only, such as levees, dams, etc., further loss reduction via non-structural measures is advisable. One of the most essential flood protection measures is illustrated by the slogans “keep water where it falls” and “give back rivers their floodplains”. Coping with drought involves not only water supply extension, but also curbing water demand. To reduce human vulnerability to floods and droughts, a general change of paradigms is needed, with a culture which is prepared to live with water-related extremes.*

**H**ochwasser und Dürren sind keine Phänomene der Neuzeit. Hydrologische Extreme begleiten die Menschheit seit Anbeginn der Zivilisation, ohne auch nur eine Generation vor Gefahren für Leib und Leben, menschlichen und materiellen Verlusten zu verschonen. In den 1990er Jahren beispielsweise, war weltweit ein Drittel der Menschheit, also ca. 2 Mrd. Menschen, von Naturkatastrophen betroffen, von denen etwa 86% auf Stürme, Dürren und Hochwasser zurückzuführen sind (www.emdat.be). Während die Schäden durch Hochwasser weiter stark zunehmen, wird das 21. Jahrhundert jetzt schon als Zeitalter des Wassermangels bezeichnet. Die Risiken für Extremsituationen, bei denen Wasser eine zentrale Rolle spielt, scheinen künftig also weiter zu steigen.

Eigentlich sind Hochwasser und Dürren vergleichsweise seltene Ereignisse, deren Auftreten einen scheinbar zufälligen Charakter trägt. Aufgrund natürlicher

Klimaschwankungen lassen sich in den Zeitreihen jedoch immer wieder Zyklen mit einer vergleichsweise dichten Abfolge extremer Ereignisse feststellen, die von Phasen relativer Ruhe abgelöst werden. Gemeinsam ist Hochwasser und Dürren auch, dass sie in nahezu allen Klimaregionen der Erde vorkommen und daher von globaler Relevanz sind.

Ein Hochwasser tritt auf, wenn infolge verschiedener meteorologischer Randbedingungen kurzzeitig derartige Wassermengen anfallen, dass sie von den oberirdischen Gewässern nicht mehr ausuferungsfrei abgeleitet werden können. Es tritt eine Überflutung angrenzender Auen oder sogar ganzer Flusstäler und Stromebenen ein. Auslöser für Dürre ist ein länger anhaltendes Niederschlagsdefizit, meist verbunden mit Wetterlagen, die eine intensive Verdunstung begünstigen, so dass die ohnehin reduzierte Wasserverfügbarkeit weiter eingeschränkt wird (Abb. 3.2.8-1). Dürren

können über Jahre oder sogar Jahrzehnte hinweg andauern. Im Vergleich zu Hochwasser zeichnen sich Dürren auch durch ihr großräumiges Auftreten aus, das bis hin zur sub-kontinentalen Skala reichen kann.

Obwohl bereits beträchtliche Mittel in den Hochwasserschutz und die Dürrebekämpfung investiert wurden, steigt die Exposition der Menschheit gegenüber hydrologischen Extremen stärker als ihr Anpassungspotential. Zur Bekämpfung der negativen Auswirkungen von Hochwasser und Dürre bedarf es daher noch umfassenderer Strategien. Diese beinhalten einen allgemeinen Bewusstseinswandel weg vom Sicherheitsdenken und hin zur Risikowahrnehmung mit einer Förderung privater Eigeninitiative. Darüber hinaus ist eine den jeweiligen, regionalen Besonderheiten angepasste Kombination von technischen Eingriffen und dezentralem Einzugsgebietsmanagement erforderlich. Im Vordergrund steht dabei die integrierte Betrachtung der einzelnen Maßnahmen hinsichtlich ihrer Effizienz bei der Minderung des Risikopotentials und ihrem Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung.

### Aspekte des Globalen Wandels

Hochwasser und Dürren können nicht als ausschließlich natürliche Phänomene betrachtet werden. Extreme hydrologische Bedingungen werden erst dann als Katastrophe wahrgenommen, wenn sie nachteilige Auswirkungen auf die Gesellschaft oder das unmittelbare Umfeld der Menschen haben. Die zunehmende Verwundbarkeit gegenüber Hochwasser und Dürren muss als komplexes Wechselspiel zwischen Klimavariabilität und Klimaänderung und einer immer größer werdenden Exposition gegenüber Naturgefahren, mit der Anpassungsmöglichkeiten nicht Schritt halten können, verstanden werden. Prozesse des Globalen Wandels

betreffen somit nicht nur die vom Menschen verursachte Klimaänderung, sondern auch eine Bevölkerungszunahme, den Verlust traditioneller Überlebens- und Anpassungsstrategien, Veränderungen im Siedlungsverhalten, z.B. durch die zunehmende Besiedlung hochwassergefährdeter und dürreanfälliger Gebiete, großräumige Landnutzungsänderungen mit Eingriffen in den Wasserhaushalt ganzer Regionen und nicht zuletzt technische Maßnahmen entlang der Flussläufe. Daher bergen zerstörerische Hochwasser und Dürren immer auch soziale und ökonomische Komponenten in sich.

Seit vielen Jahrhunderten siedelten Menschen bevorzugt in Flussnähe und profitierten dabei von den fruchtbaren Böden, dem für Ansiedlungen besonders geeigneten, ebenen Gelände und dem sicheren Zugang zu Trinkwasser. Steigende Bevölkerungszahlen und zunehmende Urbanisierung haben dort mittlerweile die Verwundbarkeit gegenüber Hochwasser ständig erhöht. In vielen Entwicklungsländern breiten sich ungeplante, nur mit einem Minimum an kommunaler Versorgung ausgestattete Siedlungen auf Schwemmebenen in alarmierender Weise aus. Zunehmende Vermögensdichten haben die Schadenspotentiale gegenüber Hochwasser in den reichen Industrienationen stark erhöht. In Japan beispielsweise befinden sich etwa 70% aller Sachvermögen in Flussebenen, die jedoch nur etwa 10% der Landesfläche einnehmen. Ein wichtiger Faktor sind in diesem Zusammenhang technische Maßnahmen des Hochwasserschutzes, wie etwa Deichbauten, die ein vermeintliches Gefühl von Sicherheit vermitteln.

Naturkatastrophen von besonderer Komplexität stellen Dürren dar. Abgesehen von ihrer schleichenden Entstehung und der langen zeitlichen Andauer sind sie häufig eng mit Wirtschaftskrisen oder sogar katastrophalen Ereignissen wie etwa Bürgerkriegen verknüpft.

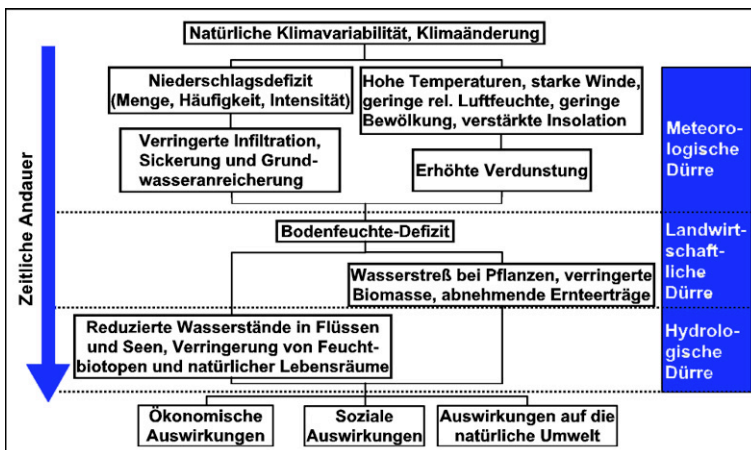


Abb. 3.2.8-1: Entwicklung und Auswirkung von Dürren. In Anlehnung an eine Darstellung des US National Drought Mitigation Centre.

In den hundert Jahren zwischen 1900 und 2000 stieg die Weltbevölkerung um den Faktor 3,6 während sich die Wasserentnahmemengen im gleichen Zeitraum etwa versechsfacht haben. Das verdeutlicht, dass Dürren oft nur Auslöser von Hungerkatastrophen sind. Die Übernutzung der Wasservorkommen und der Böden, den Klimabedingungen nicht angepasste Bewässerungstechniken und die oftmals unfreiwillige Sesshaftigkeit ehemals nomadischer Völker führen zu Wechselwirkungen zwischen den natürlichen Bedingungen und menschlichem Wasserverbrauch, die sich bei Auftreten einer Dürre besonders nachteilig auswirken.

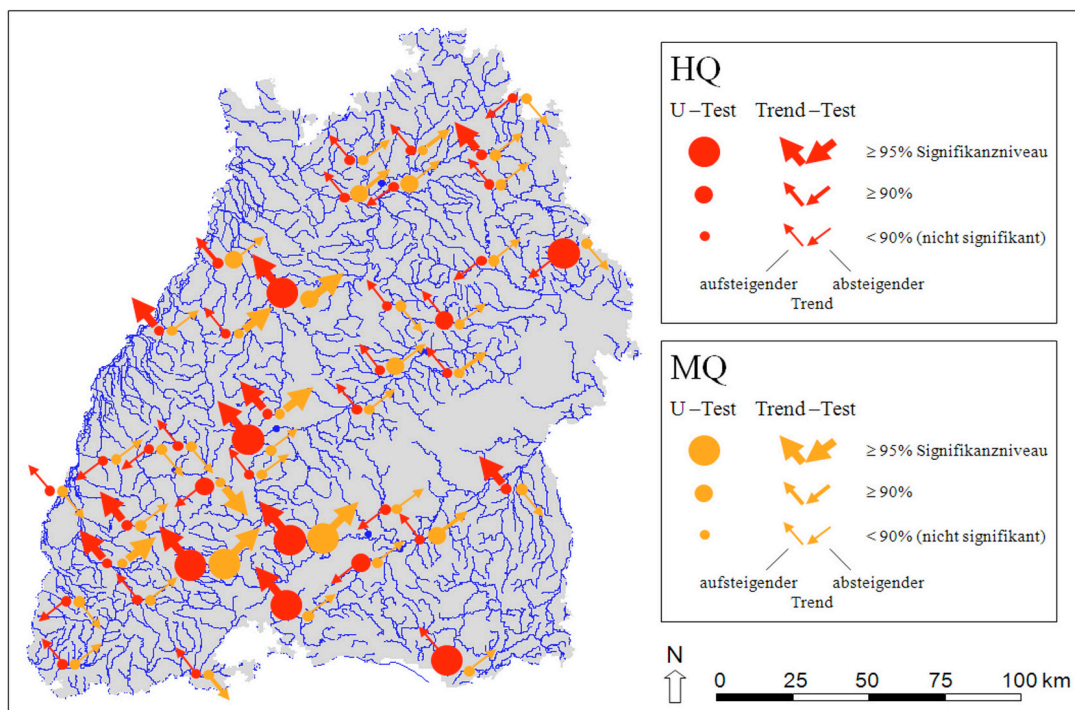
### **Klimaänderung und hydrologische Extreme**

Ein Klimasignal in hydrologischen Extremwerten aufzuspüren ist eine schwierige Aufgabe: Extreme treten selten auf, so dass sehr lange Messreihen notwendig wären, um gesicherte statistische Untersuchungen durchführen zu können. Aufzeichnungen z.B. des Abflusses, die diesen Ansprüchen genügen, sind jedoch meist nicht vorhanden. Hinzu kommen hohe zeitliche Variationen in vielen hydrologischen Kennwerten, die an die natürliche Klimavariabilität gekoppelt sind und mögliche, langfristige Trends überdecken. Inhomogenitäten in den Messreihen werden häufig durch direkte menschliche Eingriffe in die Flüsse und ihre Einzugsgebiete verursacht und erschweren zusätzlich die Untersuchung zur hydrologischen Wirkung der Klimaänderung. Wichtig festzustellen ist auch, dass dem nahezu weltweit zu beobachtenden Erwärmungstrend bis in das ausgehende 19. Jahrhundert die sogenannte kleine Eiszeit, eine natürliche und sehr ausgeprägte Klima-anomalie voranging, so dass die hydrologischen Bedingungen durch zwei sehr unterschiedliche Klimaentwicklungen beeinflusst waren bzw. sind. Das hat beispielsweise zur Folge, dass sich in den Zeitreihen der Hochwasserabflüsse einiger mitteleuropäischer Flüsse abnehmende Trends zeigen, die auf weniger winterliche Eishochwasser zurückzuführen sind, also auch als ein Ergebnis der Temperaturzunahme aufgefasst werden können (KUNDZEWICZ & MENZEL 2005). Häufig sind auch entgegengesetzte Entwicklungen selbst in benachbarten Flussgebieten festzustellen, die teilweise mit regionalspezifischen, vom Klima unabhängigen Prozessen erklärbar sind. Am Beispiel von Baden-Württemberg (Abb. 3.2.8-2a und -2b) zeigt sich, wie schwierig es ist, selbst für ein vergleichsweise kleines Gebiet eindeutige Aussagen zur Entwicklung von Hoch- und Mittelwasserabflüssen treffen zu können. Lediglich in Teilen des Schwarzwaldes ergibt die statistische Analyse langjähriger Zeitreihen an Pegeln gemessener Durchflüsse,

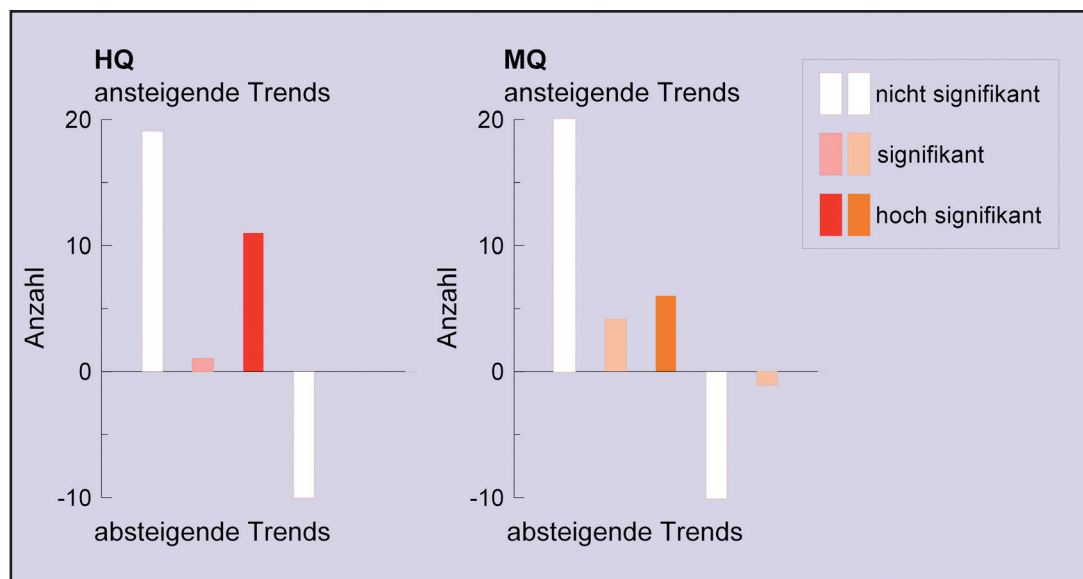
dass sich signifikante Veränderungen im Abflussverhalten und ansteigende Trends im Auftreten von Hochwasser ergeben. Dagegen zeigen sich – insbesondere in den östlichen Landesteilen – keine signifikanten Änderungen im Hoch- und Mittelwasserabfluss; teilweise treten sogar absteigende Trends auf.

Verallgemeinernd lässt sich sagen, dass eine wärmere Atmosphäre ein höheres Aufnahmevermögen für Wasserdampf besitzt. Tatsächlich lässt sich über vielen Regionen der Erde ein Anstieg im atmosphärischen Wasserdampfgehalt beobachten (TRENBERTH et al. 2007). Dies führte verbreitet zu einer Zunahme der Niederschlagsintensitäten und damit zu einer erhöhten Gefahr für die Entstehung von Hochwasser. Betroffen von dieser Entwicklung sind u.a. weite Gebiete Mittel- und Nordeuropas. Da bei all diesen Vorgängen die atmosphärische Dynamik dafür sorgt, dass der Luftmassenaustausch in großen räumlichen Skalen nicht einheitlich erfolgt, waren in den letzten Jahrzehnten auch großräumige Niederschlagsrückgänge zu verzeichnen, vor allem in den ohnehin trockenen und dürregefährdeten randtropischen Zonen der nördlichen Hemisphäre. Aber auch in Mitteleuropa sind die Sommer vielfach trockener geworden. Überdies kann selbst in jenen Regionen, in denen sich die jährlichen Niederschlagsmittel nicht änderten oder gar zurückgingen eine Zunahme extremerer Niederschläge festgestellt werden.

Dürren in Australien und Südostasien mit teilweise verheerenden Waldbränden sowie sintflutartige Regenfälle und Hochwasser im südlichen Afrika und in Südamerika gehen häufig einher mit sogenannten El Niño-Ereignissen, also Klima-anomalien, die auf eine starke Erwärmung oberer Wasserschichten des tropischen Ostpazifiks zurückzuführen sind (DIJKSTRA 2006). Seit Mitte der 1970er Jahre kann eine ungewöhnliche Häufung und Verstärkung dieses Phänomens beobachtet werden. Mit Hilfe von Klimasimulationen konnte gezeigt werden, dass zwischen der Zunahme von El Niño-Ereignissen und dem anthropogenen Treibhauseffekt möglicherweise ein enger Zusammenhang besteht (GERGIS & FOWLER 2006, CANE 2005). Ein weiteres großräumiges Zirkulationsmuster stellt die Nordatlantische Oszillation (NAO) dar, die insbesondere das Wetter in Europa beeinflusst. Beobachtungen zeigen, dass die sogenannte positive NAO-Phase mit einer eher nördlichen Komponente winterlicher Sturm-Zugbahnen in den letzten 30 Jahren sowohl in ihrer Häufigkeit als auch in ihrer zeitlichen Andauer deutlich zugenommen hat (HURRELL 1995). Das bedeutet mehr Niederschlag über Teilen Mittel- und Nordeuropas sowie trockene Bedingungen in Südeuropa. Tatsächlich lässt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen zu-



**Abb. 3.2.8-2a:** Ergebnis der Auswertungen an 40 Pegelstationen kleinerer Fließgewässer in Baden-Württemberg, die über Tageswerte des Durchflusses über jeweils mindestens 60 Jahre verfügen (bis einschließlich Jahr 2003): Für Hochwasser- (HQ) und Mittelwasserabflüsse (MQ) wurde sowohl getestet, ob sich die statistischen Eigenschaften der Zeitreihen (Mittelwert, Median u. a.) geändert haben (U-Test), und ob sich auf- oder absteigende Trends ergeben. Die Ergebnisse sind widersprüchlich: An vielen Pegelstationen traten keine signifikanten Änderungen im Hoch- und Mittelwasserverhalten auf. Hoch signifikante (Signifikanzniveau  $> 95\%$ ), ansteigende Trends im Auftreten von Hochwasser finden sich vor allem im Schwarzwald.



**Abb. 3.2.8-2b:** Zusammenfassender Überblick zu den in Abb. 3.2.8-2a dargestellten Einzelergebnissen. Jeweils für Hochwasser- (HQ; links) und Mittelwasserabflüsse (MQ; rechts) ist die Anzahl der Pegelstationen dargestellt, die im mindestens 60-jährigen Auswertzeitraum für unterschiedliche Signifikanzniveaus an- oder absteigende Trends aufweist.

nehmenden Winterniederschlägen und einem auffälligen Anstieg jährlicher Maximalabflüsse z.B. im Rhein feststellen (BENDIX 1997).

MILLY et al. (2002) untersuchten Hochwasserereignisse mit Wiederkehrzeiten von mehr als 100 Jahren in 29 großen Flussgebieten der Erde und stellten fest, dass sich die Häufigkeit dieser Hochwasser im Laufe des 20. Jahrhunderts deutlich erhöhte. Gestützt wird dies durch Zahlen von BERZ (2001), die belegen, dass in den neun Jahren zwischen 1990 und 1998 die Anzahl besonders schwerer Hochwasser weltweit höher war als in den dreieinhalb Jahrzehnten zwischen 1950 und 1985. Diese Entwicklung hat sich im neuen Jahrhundert fortgesetzt, u.a. im Jahre 2002 mit verheerenden Ereignissen in China und mehreren europäischen Ländern, darunter auch dem Elbe-Hochwasser, den Fluten im pakistanischen Indusbecken 2009 oder den großräumigen und ungewöhnlich lange andauernden Überschwemmungen in Australien im Jahre 2010. Demgegenüber hat z.B. die extreme Hitze und Trockenheit im Sommer 2003 in weiten Teilen Europas zu hohen gesundheitlichen Belastungen, erheblichen wirtschaftlichen Einbußen und großflächigen Waldbränden geführt.

### Was wird uns die Zukunft bringen?

Bei allen Aussagen zum künftigen Klimawandel und dessen Einfluss auf hydrologische Extreme muss einschränkend hinzugefügt werden, dass Klimaszenarien

nicht als Vorhersagen gedeutet werden dürfen. Bei der Berechnung von Klimaszenarien spielen Annahmen zum Bevölkerungswachstum, zur ökonomischen Entwicklung und zum künftigen Ausstoß von Treibhausgasen eine entscheidende Rolle. Hinzu kommen Unterschiede zwischen den Ergebnissen der eingesetzten Klimamodelle, die zum Teil recht groß sind (Abb. 3.2.8-3).

Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist zu erwarten, dass als Folge einer weiteren Erderwärmung auch die Klimavariabilität zunimmt, was sich u.a. in einer Häufung extremer Bedingungen zeigen könnte. Eine Reihe von Studien geht davon aus, dass sich die bereits beobachtete Zunahme der Winterniederschläge in den feuchtgemäßigten Breiten der Nordhemisphäre auch in Zukunft fortsetzt (PALMER & RÄISÄNEN 2002). Zusammen mit einer geringer werdenden Bedeutung von Schneeschmelze und Eisgang für die Hochwasserentstehung würde die Periode größter Hochwassergefahren in Teilen Europas und Nordamerikas vom Frühjahr in den Winter verschoben, bei gleichzeitig wachsendem Hochwasserrisiko (Abb. 3.2.8-3). Szenarien von CHRISTENSEN & CHRISTENSEN (2002) zeigen für weite Teile Europas zunehmend trockenere Bedingungen während der Sommermonate. Gleichzeitig nehmen dort ihren Simulationen zufolge sommerliche Starkniederschläge zu, so dass die Hochwassergefahr auch im Sommer steigen könnte (KUNDEWICZ et al. 2005).

Eine sich fortsetzende Erhöhung oberflächennaher

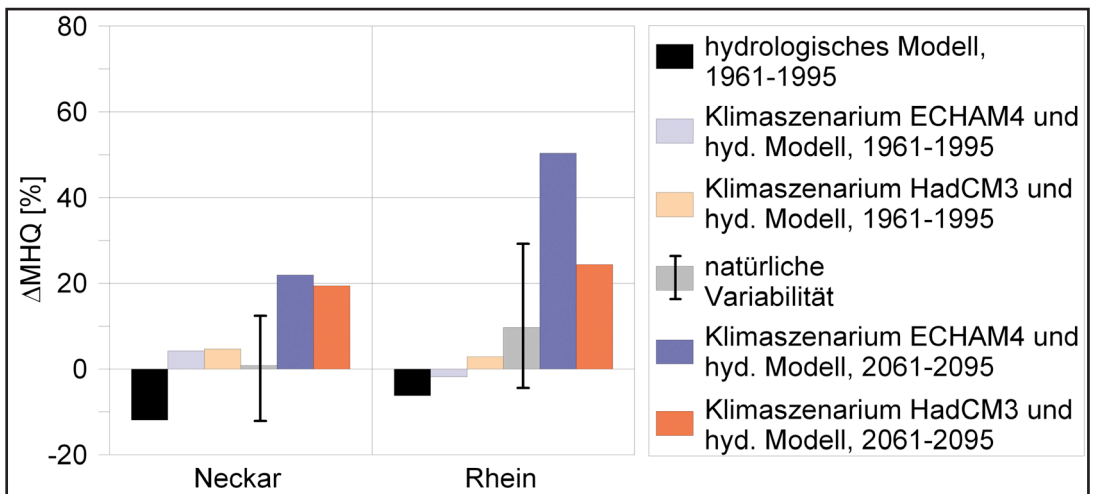


Abb. 3.2.8-3: Abweichungen (in %) vom Mittleren Hochwasser MHQ des Zeitraumes 1961–1995, dargestellt für den Neckar (Pegel Plochingen) und den Rhein (Pegel Köln). Die drei jeweils linken Säulen jeder Teilgrafik geben Modellunsicherheiten für den Referenzzeitraum wieder, die beiden jeweils rechten Säulen zeigen die Ergebnisse zweier unterschiedlicher Klimamodelle für den Szenarienz Zeitraum 2061–2095. Das Ergebnis der Analysen besagt, dass sich trotz hoher Unsicherheiten, die sich aus der natürlichen Variabilität der Durchflüsse (mittlere, graue Säule) und einer Reihe von Modellfehlern ergeben, die mittleren Hochwasser im Szenarienz Zeitraum im Vergleich zu 1961–1995 höher ausfallen. Aus MENZEL et al. (2006), verändert.

Wassertemperaturen der Ozeane führt möglicherweise zu verstärkten El Niño-Phasen und anhaltend positivem NAO-Index, mit den bereits beschriebenen Folgen für das Auftreten von Hochwasser und Dürre. MILLY et al (2002) zeigen, dass bei einer starken Erhöhung atmosphärischer Treibhausgaskonzentrationen in einigen der untersuchten Flussgebiete die Häufigkeit extremer Hochwasser enorm steigen würde, so dass ein heutiges 100-jährliches Ereignis künftig alle 2 bis 5 Jahre auftreten könnte. Der bereits im 20. Jahrhundert beobachtete Meeresspiegelanstieg – vor allem als Konsequenz der thermischen Ausdehnung des Meerwassers – wird sich bei einer andauernden Erwärmung weiter fortsetzen und zu zusätzlichen Gefahren durch Sturmfluten in Küstenebenen führen. Die Zunahme der potentiellen Verdunstung aufgrund ansteigender Temperaturen und die gleichzeitige Abnahme der Sommerniederschläge dürfte die Gefahr von Dürren und Hitzewellen im Zentrum der großen Landmassen erhöhen.

**Vorwarnung von Extremereignissen**

Eine notwendige Strategie zur Risikoverringerung bei extremen hydrologischen Ereignissen besteht im grundlegenden Wandel von reagierendem zu vorsorgendem Handeln. Dazu gehört die Einrichtung eines effizienten Beobachtungs- und Vorwarnsystems als Teil eines integrierten Katastrophenvorsorge und -vermeidungskonzepts. Mit einer verbesserten Vorhersage des zeitlichen und räumlichen Auftretens sowie des Ausmaßes eines Ereignisses und der frühzeitigen Warnung können rechtzeitig Maßnahmen der Katastrophenabwehr getroffen werden. Die Kurzfrist-Wettervorhersage und vor allem die quantitative Niederschlagsprognose sollten insbesondere in Hochwasserentstehungsgebieten, in denen sich rasch Sturzfluten ausbilden können, weiter verbessert werden. Neben der Weiterentwicklung von Modellen und deren Einsatz im operationellen Betrieb besteht

eine künftige Herausforderung darin, gekoppelte Wetter-Hydrologie-Hydraulik-Modelle zu entwickeln, die vor und im Verlauf extremer Ereignisse mit hoher zeitlicher Auflösung und ausreichenden Vorwarnzeiten die Entwicklung von Pegelständen vorhersagen.

Dürren können sehr lange andauern und sich großräumig auswirken. Zu ihrer Bekämpfung gehört daher eine besonders umfassende Vorplanung und Katastrophenbewältigung. Da die Entstehung von Dürren häufig mit Anomalien von Meeresoberflächentemperaturen und großräumigen Veränderungen des Luftdruckes korreliert, besteht hier ein Potential zur Entwicklung von Langfristvorhersagen. Zur vorausschauenden Planung von Vermeidungs- und Anpassungsstrategien gehört auch ein langfristiger Blick in die Zukunft, der mit herkömmlichen Vorhersagemethoden nicht mehr realisiert werden kann. Simulationsstudien mit der Berücksichtigung klimatischer Entwicklungstendenzen und die daran gekoppelte Untersuchung von Veränderungen in der regionalen Hydrologie sollten als notwendige Ergänzung eines umfassenden und langfristig angelegten Vorsorgekonzeptes angesehen werden.

**Möglichkeiten der Hochwasservorsorge**

Die extremen Hochwasser der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass ein Sicherheitsanspruch, der sich an den Belangen der technischen Machbarkeit orientiert, heute nicht mehr zeitgemäß ist. Es ist vielmehr eine gesellschaftlich tragfähige Risikokultur zu entwickeln, die die dauernde Gefahr durch Hochwasser ins Bewusstsein rückt. Neben verbesserten Möglichkeiten der Hochwasservorhersage und -warnung sowie einer koordinierten Katastrophenbewältigung gehört dazu eine moderne Hochwasservorsorge, die im Wesentlichen auf drei Säulen beruht (KUNDZEWICZ & MENZEL 2005):

- Dezentrale Maßnahmen beinhalten Vorhaben zur Steigerung des Wasserrückhaltes in der Fläche und

**Tab. 3.2.8-1:** Übersicht zu dezentralen und technischen Möglichkeiten der Hochwasservorsorge. Einzelne der genannten Vorhaben sind nicht eindeutig einer Kategorie zuzuordnen.

<b>Dezentrale Maßnahmen</b>	<b>Technischer Hochwasserschutz</b>
- Bodenschonende Verfahren in der Land- und Forstwirtschaft (Verbesserung des Infiltrationsvermögens)	Bau von Deichen und Hochwassermauern
- Entsiegelung bebauter Flächen (zusätzliche Versickerung von Niederschlagswasser)	Begradigung von Fließgewässern
- Reaktivierung ehemaliger Ausuferungsflächen entlang von Flussläufen	Anlage von Rückhaltebecken und Talsperren
- Nutzungsänderungen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten	Schaffung von Poldern
- Renaturierung geradlinig ausgebauter Wasserläufe	Deichrückverlegungen

verfolgen die Leitsätze »Wasser rückhalten« und »Raum für den Fluss« (IKSR 1998) (Tab. 3.2.8-1). Diese Form des vorbeugenden Hochwasserschutzes wirkt sich zudem positiv auf den Landschaftswasserhaushalt aus. Allerdings sind die Maßnahmen meist nur bei kleinen Hochwasserereignissen und auf regionaler Ebene erfolgversprechend. DKKV (2003) gibt in diesem Zusammenhang eine Wirksamkeit bei Wiederkehrzeiten von unter 10 Jahren an. Bei lang anhaltenden Niederschlägen ist die Aufnahmefähigkeit der Böden für Wasser nicht mehr gegeben (natürliche Versiegelung) und das Potential der natürlichen Rückhalteräume entlang der Fließgewässer ist rasch erschöpft.

- Zum Schutz von Menschenleben und hochwertiger Sachgüter sind technische Maßnahmen des Hochwasserschutzes unverzichtbar (Tab. 3.2.8-1). Häufig zu vernehmende Kritikpunkte bei dieser Form der Hochwasservorsorge sind die Verlagerung des Hochwasserproblems zum Unterlieger, die nachteiligen ökologischen Auswirkungen sowie die Vermittlung eines vermeintlichen Sicherheitsgefühls bei den Anwohnern. Allerdings fallen unter diese Kategorie auch Maßnahmen mit positiver Wirkung: Viele Tal Sperren dienen nicht nur der Vorhaltung zusätzlicher Hochwasserschutzräume sondern auch der Trinkwasserversorgung. Mit hochwassertolerantem Grünland extensiv bewirtschaftete Polder können durchaus für die Belange des Naturschutzes interessant sein.
- Flankierende Maßnahmen sollen vor allem dazu dienen, das Hochwasserbewusstsein in der Bevölkerung zu stärken. Dazu gehört die Erarbeitung und Publikation von Risikokarten für hochwassergefährdete Gebiete und als mögliche Konsequenz daraus die Vergabe von Baugenehmigungen nur unter bestimmten Auflagen (z.B. hochwasserangepasste Bauweisen) oder die Verhängung von Bauverboten. Auch Versicherungen können mit Prämien oder speziellen Produkten die private Eigenvorsorge unterstützen. Die »Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz« der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 1995) sowie DKKV (2003) gehen umfassend auf diese Thematik ein.

Keine der Säulen kann für sich alleine eine ausreichende Hochwasservorsorge bieten. Erst die für den jeweiligen Einzelfall ausgewogene Kombination von Optionen aus allen drei Handlungsbereichen (KUNDZEWICZ et al. 2002), die klare Definition von Schutzziele und ein integriertes Handeln können zu einem erfolgreichen Hochwasserschutzkonzept führen.

## Dürrebekämpfung

Dürren entwickeln sich meist aus der Wechselwirkung sich gegenseitig beeinflussender Prozesse mit einem ausgeprägten und länger andauernden Niederschlagsdefizit als häufigstem Auslöser. Eine zu intensive Land- und Wassernutzung (z.B. die übersteigerte landwirtschaftliche Bewässerung bei allgemein geringem Wasserangebot, Überweidung, das Abbrennen der Vegetationsdecke, großflächige Entwaldungen und weitere menschliche Eingriffe) kann die Auswirkungen von Dürren deutlich verstärken und zu Desertifikation, also einer irreversiblen Bodenverarmung, Bodenversalzung und Erosion, führen. Es wäre eine Fehleinschätzung, die Dürreproblematik ausschließlich mit Entwicklungsländern in Zusammenhang zu bringen. In den USA verursachen regelmäßig auftretende Dürren Ernteauffälle in Milliardenhöhe. Die Entwicklung am Aral-See mit einer durch intensive Bewässerungslandwirtschaft herbeigeführten Dürre wird häufig als Paradebeispiel einer Umweltkatastrophe aufgeführt (s. Kap. 2.11). Auch weite Teile Europas waren im Sommer 2003 von mehrmonatiger und außergewöhnlicher Hitze und Trockenheit betroffen.

Die große Komplexität von Dürren erfordert der jeweiligen Situation angemessene Vorsorge- und Anpassungsstrategien (KUNDZEWICZ et al. 2002). Oft werden im Verlauf einer Dürre große Wassermengen über teilweise weite Entfernungen dem Krisengebiet zugeleitet. Auch der Wasserrückhalt in künstlich angelegten, oberflächlichen Reservoirs unterschiedlicher Größe wird häufig praktiziert. Dabei sind jedoch hohe Verdunstungsverluste in Kauf zu nehmen. Große Stauseeprojekte stoßen zudem immer mehr auf Umweltbedenken. Intensive Wasserentnahmen aus dem Grundwasser stellen ebenfalls keine nachhaltigen Lösungen dar, sei es weil damit fossile, nicht mehr erneuerbare Ressourcen verbraucht werden (z.B. in den »Aquifères du Sahara« in Nordafrika), durch Übernutzung Salzwasser in die Grundwasserkörper eindringt (z.B. im sogenannten Küstenaquifer in Israel) oder starke Bodenabsenkungen auftreten (u.a. in China, Mexiko und den USA). In Entwicklungsländern werden häufig sehr kostengünstige aber arbeitsintensive Methoden zur Wassergewinnung angewandt, wie etwa das »rainwater harvesting«, also das Auffangen und Sammeln von Regen und Tau oder der Rückhalt von oberflächlich abfließendem Wasser in Tanks und unterirdischen Reservoirs.

Moderne Dürre-Aktionspläne propagieren einen Wandel vom Angebots- zum Bedarfsmanagement. Dies beinhaltet Einschränkungen der Wassernutzung im Agrarbereich, höhere Wasserpreise, die Streichung von Zuschüssen und die Rationierung von Wasser. Be-

gleitet werden diese Maßnahmen oft von Technologien zur Aufbereitung und Wiedernutzung von Brauchwasser, z.B. in Israel. Ähnlich wie bei der Hochwasservorsorge kommt einem verbesserten Wasserrückhalt in der Fläche große Bedeutung bei der Dürrebekämpfung zu. Dieser kann über adäquate Formen der Landnutzung und -bearbeitung (z.B. nachhaltiges Weidemanagement, Aufforstung, Erosionsbekämpfung) erzielt werden. Auch der Anbau dürrerotoleranter Sorten in der Landwirtschaft hat sich als eine erfolgreiche Option erwiesen. Schließlich gehört die qualifizierte Beratung der betroffenen Bevölkerung vor Ort und deren Unterstützung bei der Suche nach praktikablen Problemlösungen insbesondere in Entwicklungsländern zu den vordringlichen Maßnahmen der Dürrebekämpfung.

### Zunehmende Trockenheit und Gefahr von Waldbränden

Die dominierenden klimatischen Größen im Zusammenhang mit Waldbränden sind die Lufttemperatur und die jahreszeitliche Niederschlagsverteilung. Trockene und warme Witterungsphasen mit hoher Verdunstung führen zu reduzierten Bodenfeuchten, einer Abtrocknung von Streuschicht und Vegetation und somit erhöhter Waldbrandgefahr. Steigen die Temperaturen in Zukunft wie erwartet an, wächst also auch das klimatische Waldbrandrisiko. Lang anhaltende Niederschlagsdefizite und Hitzewellen erhöhen diese Gefahr. Ein größeres Risiko muss jedoch nicht notwendigerweise eine Zunahme der Wald- und Buschbrände be-

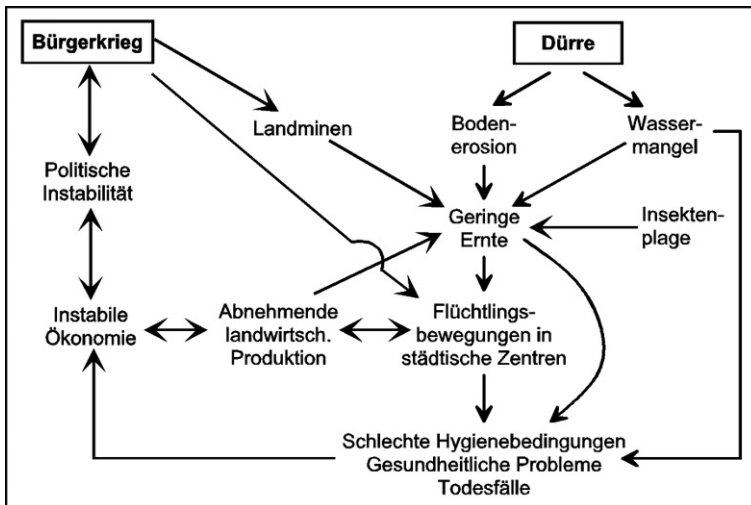


Abb. 3.2.8-4: Vereinfachte Darstellung der aktuellen Notsituation am Horn von Afrika.

Tab. 3.2.8-2: Auswirkung von wetterbedingten Katastrophen (Stürme, Hochwasser, Dürren, Erdbeben) auf die Länder Südasiens. Die mit Abstand größten Verluste wurden aus Bangladesch gemeldet und entstanden im Gefolge von Stürmen und Hochwasser. Quelle: INTERNATIONAL DISASTER DATABASE (WWW.EMDAT.BE)

Zeitraum	Anzahl Todesfälle	Anzahl betroffener Personen
1970–1989	389.950	311,2 Mio.
1990–2009	333.613	333,6 Mio.

Tab. 3.2.8-3: Anzahl von Dürre und Hochwasser betroffener Personen im Zeitraum 1980–2010 in Afrika. Quelle: INTERNATIONAL DISASTER DATABASE (WWW.EMDAT.BE)

Art des Extremereignisses	Anzahl Todesfälle	Anzahl Obdachloser als Folge der Ereignisse
Dürre	553.093	0
Hochwasser	17.553	5,6 Mio.



deuten. Untersuchungen belegen, dass die Häufigkeit von Bränden stark von der Rolle des Menschen abhängt (BADECK et al. 2004) und Faktoren wie Waldbewirtschaftung, Auswahl standorttypischer Baumarten, aber auch Vorsatz und Fahrlässigkeit einen oftmals größeren Einfluss auf die Feuergefahr ausüben als die Disposition aufgrund klimatischer Gegebenheiten. Sollte wie erwartet das klimatische Waldbrandrisiko künftig in vielen Regionen der Erde steigen, bliebe damit vielfach Spielraum für eine Reihe von Vorbeugungs- und Anpassungsmaßnahmen

### Problematik in Entwicklungsländern

Wenngleich extreme hydrologische Bedingungen sowohl industrialisierte Staaten als auch Entwicklungsländer gleichermaßen treffen, sind deren Auswirkungen doch sehr unterschiedlich. In den Industrienationen steigen die Schadenssummen teilweise dramatisch, während die Zahl der Todesfälle vergleichsweise gering ist. Dagegen sind die Verluste an Menschenleben und die Zahl betroffener Personen in Entwicklungsländern sehr hoch, wie das Beispiel von Südostasien deutlich zeigt (Tab. 3.2.8-2).

Die Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz gegen Hochwasser und Dürre erfordert beträchtliche finanzielle Mittel, die Entwicklungsländern entweder nicht zur Verfügung stehen oder die für den Wiederaufbau nach einem früheren Extremereignis eingesetzt werden müssen. Langfristige Schutzstrategien lassen sich in der Bevölkerung auch deshalb nicht durchsetzen, weil die Sorge nach ausreichender Versorgung mit Nahrungsmitteln und Wasser das tägliche Leben der Menschen bestimmt. Häufig sind Länder der Dritten Welt sowohl von Hochwasser als auch von Dürren betroffen (Tab. 3.2.8-3), was mögliche Anpassungsstrategien weiter erschwert.

Das folgende Beispiel soll exemplarisch darstellen, wie schwierig es gerade in Entwicklungsländern ist, steuernde Eingriffe im Verlauf einer komplexen Not-situation vorzunehmen, ohne die zugrundeliegenden Probleme weiter zu verschärfen. In den vergangenen Jahrzehnten ereigneten sich in den Ländern am Horn von Afrika sowohl mehrere, lang anhaltende Dürren als auch schwere politische Krisen, die bis heute andauern. Immer wieder aufflammende Bürgerkriege in Eritrea, Äthiopien und Somalia behindern den Aufbau verlässlicher politischer und ökonomischer Institutionen und Rahmenbedingungen. Durch Dürreereinwirkung wird häufig ein Großteil der Getreideernte vernichtet, und der Rest fällt immer wieder Insektenplagen zum Opfer (Abb. 3.2.8-4). Flüchtlinge in den urbanen Zentren Somalias und Eritreas leben unter mangelhaften hygi-

enischen Bedingungen, die zu Krankheit und Todesfällen, vor allem bei Kindern, führen. Wassermangel, Desertifikation und Landminen sorgen dafür, dass eine stabile landwirtschaftliche Produktion nicht möglich ist. Ein Großteil der Landbevölkerung, die früher einen wesentlichen Beitrag zur Nahrungsmittelproduktion leistete, ist nun abhängig von Hilfslieferungen der internationalen Nothilfeprogramme. Zur Bekämpfung der Dürreereinwirkung sind also weitreichende und gut aufeinander abgestimmte Lösungsansätze erforderlich, die weit über die hier vorgestellten Maßnahmen hinausgehen.

### Schlussbetrachtung

Die zunehmende Verwundbarkeit gegenüber Hochwasser und Dürren kann als Folge einer Überlagerung von klimatischen und sozialen bzw. ökonomischen Entwicklungen angesehen werden. Die Ereignisse der jüngsten Vergangenheit zeigen, dass die Exposition gegenüber Hochwasser und Dürre in einem stärkeren Maße stieg als Anpassungsmöglichkeiten genutzt wurden. Es gibt keine allgemeingültigen Empfehlungen zum Schutz vor Hochwasser und Dürre. In vielen Fällen wird jedoch eine Kombination aus dezentralen und technischen Maßnahmen bevorzugt (IKSR 1998). Neben der Effizienz verschiedener Vorsorgeoptionen sind auch Aspekte der nachhaltigen Entwicklung zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang wird unter Nachhaltigkeit ein Vorgehen bei der Katastrophenvorsorge verstanden, das sich nicht nachteilig auf künftige Generationen auswirkt. Diese sollen vielmehr die Möglichkeit haben, unabhängig von heutigen Entscheidungen die für sie geeignetsten Optionen der Hochwasser- und Dürreabwehr zu ergreifen. In diesem Sinne sind viele Maßnahmen der technischen Katastrophenvorsorge als nicht nachhaltig einzustufen. Um die Verwundbarkeit der Menschheit gegenüber Hochwasser und Dürren zu reduzieren, ist eine Kultur des Risikobewusstseins erforderlich. Die Hoffnung auf Systeme, die absolute Sicherheit garantieren, ist trügerisch. Maßnahmen der Hochwasser- und Dürreabwehr, die nie versagen (»fail-safe«) wird es auch künftig nicht geben. Was vielmehr benötigt wird, sind Vorsorgemöglichkeiten, die – unter extremen Bedingungen – in einer sicheren Weise versagen (»safe-fail«) (KUNDZEWICZ et al. 2002).

Es ist nach wie vor schwierig, ein Klimasignal in hydrologischen Extremen aufzuspüren und entsprechende Aussagen für die Zukunft zu treffen. Um sich daher auch auf langfristige Tendenzen der Klimaentwicklung und dem künftigen Auftreten hydrologischer Extreme vorzubereiten, ist die Verknüpfung von Klimaszenarien mit hydrologischen Analysen notwendig.

Diese Arbeiten sind laufend fortzuschreiben, um die Unsicherheiten, die sich aus der derzeit noch großen Bandbreite möglicher Entwicklungen ergeben, zu verringern. Daneben dient der Klimaschutz als unverzichtbare Vorsorge gegen künftige Gefahren. Viele Entwicklungsländer verfügen nicht über die notwendigen Mittel zur ausreichenden Vorsorge gegenüber Hochwasser und Dürre. Hier ist auch künftig die Mitarbeit und der Beistand der industrialisierten Länder erforderlich. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass extreme hydrologische Bedingungen in der Dritten Welt oft nur Teil wesentlich komplexerer Notsituationen sind, die sehr weitreichende Lösungsansätze erfordern.

## Literatur

- BADECK, F. W., P. LASCH, Y. HAUF, J. ROCK, F. SUCKOW & K. THONICKE (2004): Steigendes klimatisches Waldbrandrisiko. *AFZ – Der Wald*, 90–93.
- BENDIX J. (1997): Natürliche und anthropogene Einflüsse auf den Hochwasserabfluss des Rheins. *Erdkunde*, 51, 292-308.
- BERZ G. (2001): Climatic change: Effects on and possible responses by the insurance industry. In: LOZAN J. L., H. GRASSL & P. HUPFER (Hrsg.). *Climate of the 21st Century: Changes and Risks*. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 392-399.
- CANE, M. A. (2005): The evolution of El Niño, past and future. *Earth and Planetary Science Letters*, 230, 227-240.
- CHRISTENSEN J. H. & O. B. CHRISTENSEN (2002): Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421, 805-806.
- DIJKSTRA, H. A. (2006): The ENSO phenomenon: theory and mechanisms. *Advances in Geosciences*, 6, 3-15.
- DKKV (Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge; Hrsg.) (2003): Hochwasservorsorge in Deutschland. Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. Schriftenreihe des DKKV Nr. 29, Bonn, 144 pp.
- GERGIS, J. L. & A. M. FOWLER (2006): How unusual was late 20th century El Niño-Southern Oscillation (ENSO)? Assessing evidence from tree-ring, coral, ice-core and documentary paleoarchives, A.D. 1525-2002. *Advances in Geosciences*, 6, 173-179.
- HURRELL J. W. (1995): Decadal trends in the North Atlantic Oscillation regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676-679.
- IKSR (Internationale Kommission zum Schutze des Rheins; Hrsg.) (1998): Aktionsplan Hochwasser. Koblenz, 30 pp.
- KUNDZEWICZ Z. W., S. BUDHAKOONCHAROEN, A. BRONSTERT, H. HOFF, D. LETTENMAIER, L. MENZEL & R. SCHULZE (2002): Coping with variability and change: Floods and droughts. *Natural Resources Forum*, 26, 263-274.
- KUNDZEWICZ Z. W. & L. MENZEL (2005): Natural flood reduction strategies – a challenge. *International Journal of River Basin Management*, 3(2), 125-131.
- KUNDZEWICZ Z. W., U. ULBRICH, T. BRÜCHER, D. GRACZYK, A. KRÜGER, G. C. LECKEBUSCH, L. MENZEL, I. PINSKWAR, M. RADZIEJEWSKI & M. SZWED (2005): Summer floods in Central Europe – climate change track? *Natural Hazards*, 36, 165-189.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser; Hrsg.) (1995): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Hochwasser – Ursachen und Konsequenzen, Stuttgart, 24 pp.
- MENZEL L., A. H. THIEKEN, D. SCHWANDT & G. BÜRGER (2006): Impact of climate change on the regional hydrology – scenario based modelling studies in the German Rhine catchment. *Natural Hazards*, 38, 45-61.
- MILLY P. C. D., R. T. WEATHERALD, K. A. DUNNE & T. L. DELWORTH (2002): Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, 415, 514-517.
- PALMER T. N. & J. RÄISÄNEN (2002): Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, 415, 512-514.
- TRENBERTH, K.E. et al. (2007): Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

*Prof. Dr. Lucas Menzel  
Universität Heidelberg  
Geographisches Institut  
Im Neuenheimer Feld 348 - 69120 Heidelberg  
lucas.menzel@geog.uni-heidelberg.de*