

Projektbericht

Aktuelle Forschungsfragen und Herausforderungen bei der Umsetzung des Integrierten Wasserressourcenmanagements unter Wasserknappheit

Einleitung

Die praktische Umsetzung eines Integrierten Wasserressourcen Managements (IWRM) stellt weltweit nach wie vor eine große Herausforderung für Praxis und Forschung dar. Die kürzlich verabschiedete Globale Nachhaltigkeitsagenda 2030 (UN GENERAL ASSEMBLY, 2015) macht dies mit ihren Unterzielen erneut deutlich und hebt zudem die Herausforderungen bei der Reduzierung der Zahl der unter Wasserknappheit leidenden Menschen hervor. Der Arbeitskreis (AK) „Integriertes Wasserressourcenmanagement unter Wasserknappheit“ der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft (DHG) befasst sich mit dieser Thematik und gibt in diesem Beitrag einen Überblick über aktuelle Forschungsfragen und Herausforderungen bei der Umsetzung des Integrierten Wasserressourcenmanagements unter Wasserknappheit. Zunächst werden einige IWRM-Forschungsprojekte, die von den AK-Mitgliedern aktuell in verschiedenen Ländern und Klimazonen durchgeführt wurden, vorgestellt und in Hinblick auf die dabei gewonnenen Erkenntnisse analysiert. Daraus werden anschließend einige wissenschaftliche und praktische Herausforderungen bei der Umsetzung von IWRM zusammenfassend diskutiert und zukünftige Forschungsperspektiven für den AK abgeleitet.

Schlagwörter: IWRM-Umsetzung, Wasserknappheit, DHG Arbeitskreis

Abstract

The practical implementation of Integrated Water Resources Management (IWRM) remains a challenge for practice and research. The recently adopted Agenda for Sustainable Development 2030 with its sub-targets accentuates this again and highlights the challenges of reducing the number of people suffering from water scarcity. The Working Group „Integrated Water Resources Management under Water Scarcity“ of the German Hydrological Society (DHG) deals with this topic and provides an overview of current research questions and challenges in the implementation of Integrated Water Resources Management under water scarcity. First, IWRM research projects carried out by the working group members in different countries and climates are presented and analyzed with regard to specific lessons learned. From this, principle scientific and practical challenges in the implementation of IWRM will be discussed and summarized. Finally, central research questions for a future research perspective of the working group are presented.

Keywords: IWRM implementation, water scarcity, DGH, working group

1 Motivation

Nach jahrelangen internationalen Verhandlungen verabschiedeten die Vereinten Nationen Ende September 2015 die sogenannte Globale Nachhaltigkeitsagenda 2030 (UN GENERAL ASSEMBLY, 2015). Das Kernstück sind 17 Ziele und 169 Unter-

ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs), die durch 304 Indikatoren bewertet (STATISTICAL COMMISSION OF THE ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL, 2016) und bis zum Jahr 2030 umgesetzt werden sollen. Die SDGs folgen auf die Millennium-Entwicklungsziele (Millennium Development Goals, MDGs) und sollen für alle Staaten gleichermaßen gelten. Dabei ist ein umfassendes Wasserziel (Ziel 6) verabschiedet worden, das die Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser als auch die Sanitärversorgung für alle gewährleisten soll. Die Reduzierung der Zahl der unter Wasserknappheit leidenden Menschen (Unterziel 6.4) und die Umsetzung einer integrierten Bewirtschaftung der Wasserressourcen auf allen Ebenen (Unterziel 6.5) bis zum Jahr 2030 stellen dabei wesentliche Herausforderungen dar. Dies wird besonders vor dem Hintergrund deutlich, dass die Implementierung des Konzepts integriertes Wasserressourcenmanagement (IWRM) viel weniger weit fortgeschritten ist, als ursprünglich auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 avisiert (UN WATER, 2012). Die Diskussion über die möglichen Ursachen hierfür zeigt, dass es zwar Einigkeit über die Notwendigkeit eines integrativen Ansatzes gibt, aber wenig Übereinstimmung darüber, was Integration genau bedeutet und wie ein integrativer Ansatz sektoren-, politik-, akteurs- und skalenübergreifend sowie kontextbezogen, effektiv und effizient umgesetzt werden kann (BISWAS & TORTAJADA, 2010; HERING & INGOLD, 2012; BUTTERWORTH et al., 2010). Eine bedeutende Umsetzungshürde ist mit Sicherheit die mit integrativen Ansätzen verbundene hohe Komplexität. HAMILTON et al. (2015) sehen für den Prozess der integrierten Modellierung und Bewertung beispielsweise zehn wesentliche Dimensionen, die beachtet werden sollten, welche die zu integrierenden methodischen Aspekte, die Treiber der Integration, sowie die zu integrierenden Systeme betreffen.

Der Arbeitskreis (AK) „Integriertes Wasserressourcenmanagement unter Wasserknappheit“ der DHG befasst sich mit den wissenschaftlichen und praktischen Herausforderungen bei der Umsetzung des Konzepts IWRM, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf die Situation in ariden Ländern gelegt wird. Hier sind die Bewirtschaftungsprobleme und Nutzungskonflikte um die Ressource Wasser besonders drängend. Der AK ist interdisziplinär zusammengesetzt und offen für WissenschaftlerInnen und PraktikerInnen.

Im Folgenden wird eine kurze Einführung in die Themenfelder IWRM und Wasserknappheit gegeben mit dem Ziel, die inhaltliche Ausrichtung des AK's zu bestimmen. Auf dieser Grundlage folgen in Abschnitt 3 eine Übersicht über ausgewählte IWRM-Forschungsprojekte, die von den AK-Mitgliedern in verschiedenen Ländern durchgeführt wurden. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse werden in Abschnitt 4 zusammenfassend diskutiert. Der Beitrag schließt in Abschnitt 5 mit einer Auslese an Forschungsfragen, die die AK-Mitglieder in Zukunft verstärkt in den Blick nehmen wollen.

2 Integriertes Wasserressourcenmanagement unter Wasserknappheit: Eine Einführung

Integriertes Wasserressourcenmanagement (IWRM)

Eine häufig verwendete IWRM-Definition der Global Water Partnership, eine für die Propagierung von IWRM eigens

gegründete Nichtregierungsorganisation, lautet: „IWRM ist ein Prozess, der die koordinierte Entwicklung und Bewirtschaftung von Wasser, Land und verwandten Ressourcen fördert, um die resultierende ökonomische und soziale Wohlfahrt in angemessener Weise zu maximieren ohne die Nachhaltigkeit wichtiger Ökosysteme zu gefährden.“ (GWP, 2000). IWRM ist als Leitmotiv für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Wasserressourcen im Rahmen der Dublin/Rio-Konferenzen (1992) und der Agenda 21 (1992) durch die internationale Staatengemeinschaft verabschiedet worden und seither in vielen Deklarationen und Konferenzen bestätigt. IWRM ist somit ein internationaler wasserpolitischer Konsens und Leitbild für alle Wasserfragen.

Die zentralen Prinzipien von IWRM sind (JØNCH-CLAUSEN & FUGL, 2001):

- Flusseinzugsgebiete sind Planungs- und Bewirtschaftungseinheiten, nicht administrative Einheiten
- Ökosystemarer Managementansatz: Wasserkörper und deren Nutzung werden integriert betrachtet (z. B. oberirdische – unterirdische Wasserkörper, grüne – blaue Wasserressourcen)
- Sektorenübergreifende Bewirtschaftung und Nutzungsbeachtung (z. B. Trinkwasser – Bewässerung),
- Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Aspekte (z. B. Wasser- und Stoffströme, Ober- und Unterlieger)
- Partizipative und teilweise dezentrale Kooperationsstrukturen anstelle von traditionellem „Top down“ und „Command and Control“.

In diesem und dem letzten Jahrzehnt wurde mit der Umsetzung von IWRM in einer Vielzahl von Ländern begonnen (UNEP, 2012). Dabei folgt die Umsetzung in die Praxis, insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern, oft einem gleichen Schema: (a) IWRM-Gesetzgebung sowie (b) Schaffung von (neuen) Institutionen und Organisationsstrukturen sowie (c) Aufstellen von Bewirtschaftungsplänen auf Einzugsgebietsebene (UNEP, 2012). Durch dieses Vorgehen werden wichtige Rahmenbedingungen geschaffen, dennoch gestaltet sich die Umsetzung von IWRM in der Praxis im Hinblick auf die damit verbundenen Integrationsaufgaben als äußerst komplex und anspruchsvoll. Eine besondere Schwierigkeit für die optimale Bereitstellung, Allokation und Nutzung begrenzt verfügbarer Wasserressourcen stellen Zielkonflikte dar, d. h. oftmals konkurrieren eine Vielzahl unterschiedlicher Interessen und Ansprüche untereinander oder stehen sich diametral gegenüber (HUPPERT, 2005). Die Lösung solcher Zielkonflikte durch Integration zeigt sich dabei in der IWRM-Umsetzung sektoriell und institutionell auf nationalstaatlicher Ebene durch die Schaffung von sektorenübergreifenden Institutionen (z. B. nationale Wasserbehörden oder –ministerien) und Gesetzgebungen mit dem Ziel einer integrierten Betrachtung bzw. Bearbeitung verschiedener Ressourcen- und Wassernutzungsbereiche im Sinne eines gemeinsamen, sektorenübergreifenden Managements. Mit der Dezentralisierung durch Vertretungen von Wasserbehörden als Einzugsgebietsorganisationen wird die Integration unterschiedlicher Entscheidungsebenen und administrativer Zuständigkeiten verfolgt. Gerade hierbei trifft die IWRM-Umsetzung in der Praxis auf große Herausforderungen (UNEP, 2012).

Auf der Umsetzungsebene von IWRM, dem tatsächlichen Wasserressourcenmanagement, kommt zur sektoriellen und

institutionellen Integration auch noch die räumliche bzw. physiografische Integration in Bezug auf den natürlichen Bewirtschaftungsraum (i. d. R. Flusseinzugsgebiete) hinzu. Während die sektorielle und institutionelle Integration in Bezug auf den Bewirtschaftungsraum die Ziele der Dezentralisierung (Entscheidungsfindung auf der niedrigsten möglichen Ebene) und Partizipation verfolgen, wird mit der räumlichen Integration durch den ökosystemaren Managementansatz den naturräumlichen Ursache-Wirkungsbeziehungen Rechnung getragen (HACK, 2014). Die Interaktionen zwischen dem natürlichen System (Ressource) und dem sozialen System (Nutzern) sowie innerhalb der jeweiligen Systeme müssen dabei integrativ berücksichtigt werden. Durch den Mehrebenenansatz erfolgt eine sektorielle (horizontale) und institutionelle (vertikale) Integration auf verschiedenen politischen Entscheidungsebenen (HORNEMANN & DOMBROWSKY, 2012). Die horizontale sektorielle Integration beschreibt die sektorenübergreifende Zusammenarbeit (z. B. Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Industrie, Tourismus, Energiewirtschaft) auf einer politischen Entscheidungsebene, die vertikale Integration die Zusammenarbeit innerhalb eines Sektors auf verschiedenen politischen Entscheidungsebenen (z. B. nationaler, regionaler und Flusseinzugsgebietsebene).

Es lässt sich somit zwischen einem politischen IWRM-Prozess im Sinne einer integrierten Wasser-Governance auf nationaler oder subnationaler Ebene in Bezug auf eine integrierte Wasserpolitik und einem integrierten Wasserressourcenmanagement im Sinne von Entscheidungen auf Flusseinzugsgebietsebene unterscheiden. Ersteres umfasst den Politikzyklus in allen Phasen von der Problemwahrnehmung bis zur Policy-Reaktion und äußert sich durch die Regelsetzung in Form von Normen, Strategien, Strukturen, Kollaborationsformen und Politikinstrumenten. Letztgenanntes, häufig als Integrierte Flussgebietsbewirtschaftung (Integrated River Basin Management) bezeichnet, repräsentiert die sektorenübergreifende Bewirtschaftung von Wasser- und Landressourcen sowie alle damit in Verbindung stehenden Infrastrukturen als Gesamtsystem in einem Einzugsgebiet und umfasst den gesamten Bewirtschaftungszyklus: Strategieentwicklung, Maßnahmenplanung, Projektierung, Realisierung, Bewirtschaftung, Erfolgskontrolle sowie die Beteiligung der Öffentlichkeit (HACK, 2014). In der Umsetzung kann es sich dabei um ein konkretes Projekt, aber auch um eine zeitlich unbefristete Bewirtschaftungsaktivität oder Organisation der Bewirtschaftung in einem Einzugsgebiet handeln.

Wasserknappheit

In der internationalen Wassercommunity wird häufig vor einer bevorstehenden globalen Wasserkrise gewarnt, die das 21. Jahrhundert wesentlich prägen wird und v. a. in einer zunehmenden Wasserknappheit begründet liegt. Einige Autoren weisen darauf hin, dass bereits heute eine enorme Anzahl von Menschen unter Wasserknappheit und damit einhergehender Nahrungsmittelknappheit leidet und es keine Aussicht auf eine Verbesserung der Situation gibt (FALKENMARK, 2013; FOLEY et al., 2011; MEKONNEN & HOEKSTRA, 2016; SCHEWE et al., 2014). Aufgrund von Bevölkerungswachstum und Klimawandel ist zu erwarten, dass die Zahl der Regionen und Menschen, die unter den Folgen von Wasserknappheit zu leiden haben, in Zukunft ansteigen wird. Die Einleitung von Schadstoffen und die Verschlechterung des ökologischen Zustands vieler Gewässer tragen zusätzlich dazu bei, dass die Menge des global verfügbaren sauberen Wassers abnimmt.



Abbildung 1
Trockenperiode in Alcarria Baja (Zentralspanien) mit semi-aridem Klima. Aufnahme vom 20.10.2010 (Foto: Mariele Evers).
Dry period in Alcarria Baja (Central Spain) with semi-arid climate. Recording from 20.10.2010 (Image source: Mariele Evers).

Vor diesem Hintergrund wurden verschiedene Versuche unternommen, um Wasserknappheit näher zu bestimmen und geographisch zu verorten. Eine häufig zitierte Definition von Wasserknappheit lautet wie folgt (UN WATER, 2006; UN WATER & FAO, 2007):

„[Water scarcity is] the point at which the aggregate impact of all users impinges on the supply or quality of water under prevailing institutional arrangements to the extent that the demand by all sectors, including the environment, cannot be satisfied fully“.

Wasserknappheit tritt demnach dann auf, wenn der menschliche und ökosystemare Wasserbedarf die zur Verfügung stehende Menge an Wasser übersteigt. Offen bleibt bei dieser Definition zunächst, wie die Größen „supply“ und „demand“ bestimmt werden und ob es Grenzwerte gibt, die verschiedene Grade an Wasserknappheit anzeigen. Hier setzen die verschiedenen Wasserknappheits-Indikatoren an (BROWN & MATLOCK 2011), die es erlauben, globale Karten zu erstellen, anhand derer gefährdete Länder und Regionen identifiziert werden können. Die prominenteste Größe ist der *Falkenmark-Indikator*. Hier wird „supply“ mit der verfügbaren erneuerbaren Süßwassermenge übersetzt und die Bevölkerungszahl als Proxy für den „demand“ herangezogen. Der Quotient aus beiden Variablen sagt aus, wieviel Wasser in einem bestimmten Land pro Person und Jahr zur Verfügung steht.

Im Unterschied zum Falkenmark-Indikator bezieht der *Wasserstressindikator (WSI)* nach SMAKHTIN et al. (2004) zusätzlich den ökologischen Wasserbedarf in die Berechnung mit ein, wie es ja auch die o. g. Definition von Wasserknappheit impliziert. Dieser entspricht der Wassermenge, die für die Erhaltung von Ökosystemen bzw. die Erreichung eines vorgesehenen ökologischen Zustands notwendig ist. Mathematisch ist der WSI der Quotient aus der tatsächlichen Wasserentnahme und der Differenz aus mittlerem Jahresabfluss und ökologischem Wasserbedarf, der als Mindestprozentsatz vom langjährigen mittleren jährlichen Abfluss ausgedrückt wird (BROWN & MATLOCK, 2011). Abbildung 2 zeigt den WSI für Flusseinzugsgebiete weltweit. In Gebieten, die einen WSI-Indikator größer 0,6 aufweisen, treten häufig deutliche

Konflikte zwischen menschlicher Wassernutzung und ökologischem Wasserbedarf auf. Diese finden sich v. a. im Mittelmeerraum, in Nord-, Süd- und Ostafrika, im Nahen Osten, in Indien, in Zentralasien, im westlichen und zentralen Nordamerika und an der Westküste Südamerikas.

Ein ganz anderes Konzept als die physikalischen Wasserknappheits-Indikatoren verwenden Ökonomen bei der Definition von Wasserknappheit. Nach gängiger ökonomischer Lehrmeinung tritt Knappheit immer dann auf, wenn bei einem gegebenen Preis die angebotene Menge eines Gutes unter der Nachfragemenge bleibt. So verstandene ökonomische Wasserknappheit ist kein Ausnahmezustand, sondern ein weitverbreitetes Phänomen, und alltagssprachlich von Mangelzuständen zu unterscheiden.

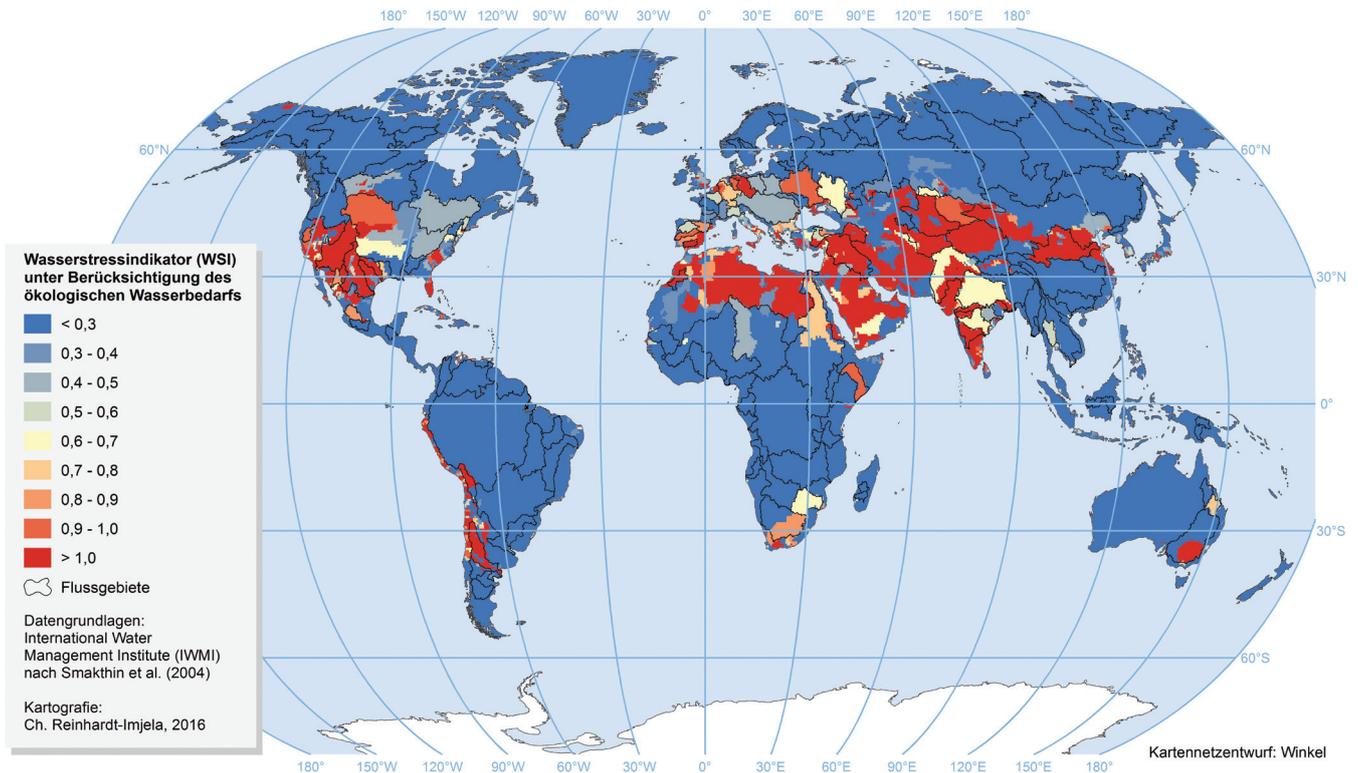
Generell ist bei der geographischen Verortung von Wasserknappheit zu berücksichtigen, dass es auf lokaler und regionaler Ebene erhebliche Unterschiede geben kann und dass für die tatsächliche Wasserversorgungssituation vor Ort nicht nur die physikalischen, sondern auch die politischen und sozioökonomischen Gegebenheiten, wie z. B. die Höhe der Investitionen in Wasserinfrastruktur, eine wichtige Rolle spielen. Die Einstufung ganzer Länder anhand von Wasserknappheits-Indikatoren ist somit immer unpräzise und interpretationsbedürftig.

Der DHG-Arbeitskreis „IWRM unter Wasserknappheit“

Aufgrund der Schwierigkeiten bei der geographischen Verortung von Wasserknappheit verfolgt der AK keine Länderschwerpunkte, sondern befasst sich ganz allgemein mit Fragestellungen in Bezug auf Wasser(-knappheit) in einem bestimmten Land oder einer Region und beleuchtet sie vor dem Hintergrund des IWRM-Konzepts. Generell gilt, dass Wasserknappheit die vorhandenen Nutzungskonflikte um Wasser verschärft und damit die erfolgreiche Implementierung von IWRM erschwert, gleichzeitig aber auch notwendig macht, um knappe Wasserressourcen nachhaltig zu bewirtschaften. Eine wichtige Aufgabe von IWRM besteht deshalb in der Konzeption und Umsetzung von Strategien, die zur Bewältigung von Wasserknappheit beitragen. Da die AK-Mitglieder aus teils sehr unterschiedlichen Disziplinen kommen, wie z. B. der Geographie, Hydrologie, Umweltökonomie, Agrarwissenschaften oder Bauingenieurwesen, können sowohl die Probleme als auch die Lösungsansätze aus einer breiten Perspektive diskutiert werden.

3 Aktuelle IWRM-Forschungsprojekte der AK-Mitglieder und dabei gewonnene Erkenntnisse

Die im Folgenden dargestellten Forschungsprojekte der AK-Mitglieder erstrecken sich über den gesamten Globus, der Schwerpunkt liegt jedoch auf Regionen mit überwiegend äquatoriales und aridem Klima (Klimaklassifikation nach RUBEL & KOTTEK, 2010). Dazu gehören Regionen mit heißem Wüstenklima (Saudi Arabien, Jordantal) und andere winterkalte Regionen (Mongolei, Nordwest China) sowie Regionen mit tropischem und subtropischem Regenlima (Äthiopien, Myanmar, Nicaragua und Peru) und winterkaltem Steppenlima (High Plains Aquifer, USA). Gemäß WSI ist eine besonders hohe physikalische Wasserknappheit (WSI-Index > 1,0) in Saudi-Arabien, Jordantal und der Mongolei zu finden sowie in Teilen von Peru, Äthiopien und dem High Plains Aquifer in den USA. In den Regionen Nicaragua und Nordwest China ist der flussgebietsbezogene WSI zwar eher gering (WSI-Index < 0,3), Wasserknappheitsprobleme spielen aber, wie

**Abbildung 2**

Wasserstressindikator (WSI) nach SMAKHTIN et al. (2004) auf Basis von Flusseinzugsgebieten.
Water stress indicator (WSI) according to SMAKHTIN et al. (2004) on the basis of river basins.

aus den nachfolgenden Ausführungen hervorgeht, dennoch eine wichtige Rolle.

China: Hydrologisch-ökonomische Klima- und Landnutzungszenarien zur Unterstützung wasserwirtschaftlicher Entscheidungen

China ist durch besonders große hydrologische und ökonomische Gegensätze gekennzeichnet. In der autonomen Provinz Xinjiang im Nordwesten des Landes herrscht ein hyperarides Kontinentalklima vor. Durch die Zuflüsse aus den angrenzenden Berg- und Gletscherregionen ist es allerdings möglich, eine Intensivlandwirtschaft (insbesondere Baumwolle) in der trockenen Talebene (Tarimbecken) zu betreiben. Im Rahmen des Verbundprojektes SuMaRiO (Sustainable Management of River Oases along the Tarim River, Northwest China) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) wurde ein Entscheidungsunterstützungssystem (Decision Support System, DSS) für die Region entwickelt, welches die ökologisch-ökonomischen Konsequenzen von wasserwirtschaftlichen Entscheidungen nachvollziehbar und transparent abbildet. Dieses Managementwerkzeug basiert auf der Auswertung von Ökosystemfunktionen und -leistungen. Auf Grundlage von naturwissenschaftlich-mathematischen Modellen (Wasserhaushaltsmodelle, Klimamodelle, Pflanzenwachstumsmodelle, ökonomische Modelle), die im Hintergrund die quantitativen Berechnungen steuern, werden verschiedene Zielgrößen hinsichtlich ihrer Ökosystemleistungen gegliedert. Basierend auf ausgewählten Klima- und Managementszenarien können sowohl einzelne quantitative Werte (z. B. Tonnen Baumwollproduktion pro Ernte) als auch sogenannte

Nutzwerte, die einen zusammengefassten Zielerreichungsgrad zwischen 0 und 1 beschreiben, angegeben werden. Diese Nutzwerte sind sowohl für einzelne Ökosystemleistungen als auch für das Gesamtsystem abrufbar. Eine besondere Eigenschaft des DSS ist, dass verschiedene Interessengruppen (Stakeholder, Entscheidungsträger) gemeinsam Strategien entwickeln und das Ergebnis ihrer Szenarien unter Verwendung von Ökosystemleistungen evaluieren können. Dieses Vorgehen erleichtert die endgültige Entscheidungsfindung in einem transdisziplinären Prozess.

Weitere Informationen zu dem vom BMBF finanzierten Verbundprojekt finden sich unter www.sumario.de und in zahlreichen Veröffentlichungen (DISSE, 2016; RUMBAUR et al., 2015).

Gewonnene Erkenntnisse

Generell ist das Ziel des Verbundprojektes SuMaRiO, nachhaltige wasserwirtschaftliche Szenarien zu entwickeln, die ökologische, soziale und ökonomische Bedürfnisse in ausgewogener Weise berücksichtigen. Während die mathematische Beschreibung der hydrologischen Prozesse trotz schlechter Datenlage in der Regel lösbar ist, hapert es häufig an der praktischen Umsetzung der Maßnahmenvorschläge. Den Widerspruch zwischen Wissenschaft und Anwendung zu schließen erfordert eine neue Denkweise. Mit Hilfe eines transdisziplinären Ansatzes wird versucht, dass wissenschaftliche und anwendungsorientierte Sichtweisen gemeinsam voneinander lernen. Dazu werden sowohl Wissenschaftler, als auch Stakeholder (Behördenvertreter, Entscheidungsträger, Betroffene) zu gemeinsamen Diskussionsrunden eingeladen, um ihre gegenseitigen Vorstellungen, Erfahrungen und Ansichten auszutauschen. Während diese sogenannten

„Runden Tische“ sehr gut während der Projektlaufzeit funktionieren, tritt häufig nach Projektende Ernüchterung ein. Eine nachhaltige Verankerung der Forschungsergebnisse ist nur möglich, wenn die erzeugten Softwareinstrumente kontinuierlich angewandt und weiterentwickelt werden. Das kann am besten gewährleistet werden, wenn die an den wissenschaftlichen Projekten beteiligten Doktoranden aus dem jeweiligen Land stammen und nach ihrer Promotion dorthin zurückkehren, um ihre Erfahrungen und Erkenntnisse in ihrem Heimatland umzusetzen.

Oman: Der Einsatz von simulationsbasierte Optimierungsstrategien zur nachhaltigen Bewirtschaftung einer ariden Küstenregion

Die nachhaltige Nutzung der knappen Wasserressourcen in ariden Ländern erfordert Bewirtschaftungsmaßnahmen, die sowohl auf die Verbesserung der Wasserverfügbarkeit, als auch die Anpassung des Wasserbedarfes bzw. die gezielte Steuerung der Wassernachfrage zielen. Besonders gefährdet sind beispielsweise die Küstenregionen wie die Al-Batinah Ebene im Sultanat Oman. Dort übersteigt der Verbrauch der Bewässerungslandwirtschaft bei weitem das erneuerbare Wasserdargebot, trotz Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserverfügbarkeit wie das Anlegen von Dämmen zur Grundwasseranreicherung. In der Folge ist an der Küste ein stetig sinkender Grundwasserspiegel zu beobachten, was zum Eindringen von marinen Salzwasser in den Küstengrundwasserleiter und in der Folge zur irreversiblen Degradation küstennaher, landwirtschaftlich genutzter Böden führt (KACIMOV et al., 2009).

Im Projekt der Internationale WasserforschungsAllianz Sachsen im Oman (IWAS-OMAN) stand vor allem die Bewältigung der technischen Herausforderungen einer integrierten Optimierung von Wasserdargebot und Wassernachfrage einer landwirtschaftlich genutzten Küstenregion im Vordergrund. Diese ergeben sich insbesondere, wenn die relevanten Hydrosysteme (u. a. Grundwasser und landwirtschaftliche Betriebe) durch integrierte Prozessmodelle abgebildet werden, die auch in der Zukunft zu erwartende veränderte Randbedingungen (Klima, globaler Wandel) berücksichtigen. Die Herausforderungen steigen nochmals mit der Nutzung von Methoden der numerischen Optimierung zur Maximierung des Gesamtnutzens der Küstenregion, weil der Ansatz des IWRM zu multi-kriteriellen Optimierungsproblemen führt, deren Lösung, u. a. wegen dem Einsatz integrierter Prozessmodellierung, einen extrem hohen Berechnungsaufwand erfordert.

Im Rahmen von IWAS-OMAN wurden technische Lösungsstrategien wie die Meta-Modellierung und die Dekomposition von Optimierungsproblemen entwickelt, die die automatische Berechnung effektiver Maßnahmen für das IWRM in kurzer Zeit ermöglichen (GRUNDMANN & SCHÜTZE, 2015). Dies betrifft gleichzeitig Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserdargebots, der Wasserverteilung und der Wassernutzung. Im Ergebnis des Projekts konnten Lösungsstrategien (einschl. Pläne zu deren Implementierung) wie Grundwasseranreicherung, eine zentralisierte Grundwasserentnahme und -verteilung sowie die Defizitbewässerung für die Küstenregion der Al-Batinah vorgeschlagen werden, die zu einer langfristig nachhaltigen Nutzung des in diesem Gebiet vorhandenen erneuerbaren Wasserdargebots führen.

Gewonnene Erkenntnisse

Obwohl im Projekt IWAS-OMAN Entscheidungshilfesysteme sowie Implementierungshandbücher für unterschiedliche Entscheidungsträger und Nutzer im Oman entwickelt wurden, ist der Stand der Umsetzung von geeigneten Maßnahmen in der Al-Batinah Ebene unbefriedigend. Dies liegt u. a. an den fehlenden institutionellen Voraussetzungen, unklaren Zuständigkeiten und fehlenden Regeln für die Entnahme von Grundwasser. Daher ist u. a. die Untersuchung der Interessen und Erwartungen der beteiligten Akteure Gegenstand der gegenwärtigen Forschung (GRUNDMANN et al., 2016).

Peru: Der Beitrag dezentraler Wasserrückhaltmaßnahmen zum IWRM in Cajamarca (nördliche Anden)

Das Wasserdargebot der Region Cajamarca in den nördlichen Anden Perus wird durch ein saisonales Niederschlagsregime gesteuert. Einem Überangebot der Ressource Wasser während der Regenzeit steht eine ausgeprägte Wasserknappheit während der Trockenzeit gegenüber. Verteilungskonflikte finden Ausdruck in sozialen Unruhen und gewalttätigen Auseinandersetzungen (BURY, 2005; TRISCRITTI, 2013).

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Conservación del Agua y Suelo de las Cuencas de Chetillano y Ronquillo en la Sierra Norte del Perú“ (CASCUS) wurde exemplarisch für das Einzugsgebiet des Ronquillo (49 km²) der Einfluss von bodenkonservierenden und wasserrückhaltenden Maßnahmen (Terrassen- und Erdwallsysteme, Waldmehrung und Check dams in Tiefenlinien) auf die Einzugsgebietshydrologie und das Wasserdargebot mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell NASIM quantifiziert (KROIS & SCHULTE, 2013). Vorab wurde eine multikriterielle räumliche Eignungsklassifizierung vorgenommen und Maßnahmenzenarien daraus abgeleitet (KROIS & SCHULTE, 2014). Die hydrologische Modellierung zeigte, dass infiltrationsfördernde Maßnahmen die Bildung erosiver Oberflächenabflüsse und die Hochwasserspitzen im Einzugsgebiet reduzieren. Im Einzugsgebiet erhöht sich dabei die Wasserspeicherung und folglich die Wasserverfügbarkeit, sodass sich die landwirtschaftlichen Nutzungsbedingungen verbessern. Gleichzeitig verringern sich aufgrund erhöhter Evapotranspiration die jährlichen Abflussvolumina am Gebietsauslass. Die Minderung der Abflussvolumina variiert in Abhängigkeit der Implementierungsszenarien und fällt in der Regenzeit am stärksten aus (bis zu 12 %). In der Trockenzeit, in der Wasser eine knappe Ressource darstellt, ist eine Minderung von bis zu 8 % zu beobachten (KROIS & SCHULTE, 2013).

Gewonnene Erkenntnisse

Aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten in den nördlichen Anden Perus bilden die oberstrom gelegenen Einzugsgebiete das natürliche Wasserreservoir für die Unterlieger. Das Wasserretentionsvermögen dieser Gebiete wirkt der hohen saisonalen Variabilität der Niederschläge entgegen und gewährleistet ganzjährig Abfluss. Die im Rahmen des Forschungsprojektes CASCUS durchgeführten Studien belegen, dass infiltrationsfördernde Maßnahmen prinzipiell geeignet sind, das lokale Wasserdargebot im Einzugsgebiet des Ronquillo zu erhöhen. Aufgrund der Minderung der Abflussvolumina verschiebt sich jedoch das ursprüngliche Problem der Wasserknappheit zu Ungunsten der Unterlieger flussabwärts. Durch die Implementierung wasserrückhaltender Maßnahmen im Oberlauf wären die stärker landwirtschaftlich genutzten und gleichzeitig auch bevölkerungsreicheren Gebie-

te des Mittel- und Unterlaufes hinsichtlich des trockenzeitlichen Wasserdargebotes benachteiligt. Hieraus ergibt sich, den Prinzipien des integrierten Wasserressourcenmanagements entsprechend, dass für eine nachhaltige Implementierung wasserrückhaltender Maßnahmen eine hydrologisch-fachliche Begleitung unabdinglich ist. Erst dadurch können potentielle negative Auswirkungen auf die Unterlieger bereits im Planungsprozess erkannt werden. Den Entscheidungsträgern vor Ort ermöglicht eine hydrologisch fundierte Wechselwirkungsanalyse eine Beurteilung, in welchem Ausmaß es im Interesse einer nachhaltigen Ressourcennutzung gerechtfertigt ist, das Wasserdargebot für die Unterlieger einzuschränken. Hierfür ist eine enge Abstimmung zwischen Ober- und Unterliegern erforderlich.

Saudi Arabien und High Plains Aquifer (USA): Räumliche Analyse des Wasserverbrauchs in der Landwirtschaft

Der Anspruch an Entscheidungsträger ist hoch, wenn Wassermangel in einem Gebiet vorherrscht. Gilt es doch verschiedene Lösungswege (z. B. Landnutzungsverteilungen, Bewässerungstechnologien) unter Einbezug von lokalen Bedingungen (Klima, Boden, Wasserqualität) zu vergleichen, um Wasserknappheit entgegen zu wirken. Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS) sind in diesem Rahmen hilfreiche Werkzeuge, z. B. zum Vergleich verschiedener Lösungswege. Durch Integration in ein geographisches Informationssystem (GIS) können die Effekte auf regionaler und nationaler Ebene ausgewertet werden.

Die Software SPARE:WATER (www.uni-giessen.de/cms/hydro/download) ist ein solches GIS-gestütztes DSS zur Bilanzierung des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs sowie zum Vergleich von alternativen Landnutzungsverteilungen und Bewässerungsstrategien. Die Software wurde in Zusammenarbeit der Justus-Liebig Universität Gießen (JLU) und der King Abdulaziz City for Science and Technology (KACST) entwickelt, in erster Instanz zur Analyse des Wasserfußabdruckes von Saudi Arabien. Ziel des Projektes war die Bereitstellung eines wissenschaftlich basierten Werkzeuges, welches sowohl von Experten aus der Wissenschaft als auch von administrativen Steuerorganen wie Behörden genutzt werden kann. Dies wurde durch eine Teilung der Nutzeroberfläche in einen Modus für GIS-Experten und Entscheidungsträger erreicht.

Die Bilanzierung ist an das Konzept des Wasserfußabdruckes angelehnt. Auf Basis von lokalen Informationen zum Klima, zu den Böden, zur Landnutzung und zum Bewässerungsmanagement wird der Verbrauch von grünem (Bodenwasser), blauem (Oberflächen- und Grundwasser zur Bewässerung) und grauem (Wasser zur Auswaschung von Salzen aus der Wurzelzone) Wasser berechnet. Zur Simulation der Pflanzenwasserbilanz wird ein etablierter Ansatz der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen verwendet.

Eine umfassende Fallstudie für den Agrar-Sektor von Saudi-Arabien ergab (MULTSCH et al., 2016a), dass der jährliche Wasserverbrauch um 17 % seit dem Jahr 2000 zurückgegangen ist, was vor allem auf eine nahezu doppelt so große Verringerung der Erntefläche von - 33 % zurückzuführen ist. Der Grund für den unterproportionalen Rückgang des Wasserverbrauchs ist der steigende Anbau von Futterpflanzen mit einem hohen Wasserbedarf, wie z. B. der Luzerne. Szenarien zeigen, dass eine Verringerung um 32 % des nationalen Wasserverbrauchs der Landwirtschaft

möglich ist, und zwar - 15 % durch Landnutzungsänderung und - 17 % durch verbesserte Bewässerungstechnologie.

Gewonnene Erkenntnisse

Ausschlaggebend für die Entwicklung von SPARE:WATER war ein Auftrag der KACST. Auf dieser Basis konnte in Zusammenarbeit von JLU und KACST ein umfassendes DSS entwickelt werden, welches alle Ansprüche eines wissenschaftlichen Instruments erfüllt. Zur weiteren Verbreitung von SPARE:WATER wurde ein Workshop in Saudi Arabien abgehalten, an welchem neben Wissenschaftlern auch Vertreter der Agrar- und Wasserbehörden teilgenommen haben. Die einfache Veranschaulichung von Wassereinsparungspotentialen durch Bewässerungstechnologie und Landnutzungsänderung wurde von allen Teilnehmern begrüßt. Derzeit wird die weitere Verbreitung von SPARE:WATER seitens der JLU vorangetrieben, z. B. innerhalb von Projekten in Zentralasien und dem Nil-Einzugsgebiet, wo eine erfolgreiche Anwendung von SPARE:WATER in der Beratung von Wassermanagementinstitutionen möglich war. Des Weiteren konnte für die High Plains Aquifer Region (USA) gezeigt werden, wie eng der Verbrauch von grünem und blauem Wasser in der Landwirtschaft mit der enormen Abnahme der Grundwasserstände zusammenhängt (MULTSCH et al., 2016b).

Myanmar: Herausforderungen und Forschungsbedarf für die praktische Umsetzung von IWRM in einer Trockenzone

Das südostasiatische Myanmar ist ein Land mit reichlichen Wasserressourcen. Allerdings stellen die klimatischen Bedingungen zentrale Herausforderungen an das Wassermanagement dar. Myanmar liegt - mit Ausnahme des äußersten Nordens - im Einflussbereich des Indischen Monsuns. Durch das Relief bedingt variiert der jährliche Niederschlag zwischen 500 bis 1000 mm in der zentralen Trockenzone (ZTZ), und bis zu 4.000 bis 6.000 mm an der Westküste (JOHNSTON et al., 2013). Etwa 90 % der verfügbaren Wasserressourcen werden im Agrarsektor genutzt. Die ZTZ ist eine der am dichtesten besiedelten Regionen des Landes, in der mehr als 14 Mio. Menschen leben (JOHNSTON et al., 2013). Einkommen, Gesundheit, Schiffbarkeit des Ayeyarwady Flusses und Ökosysteme werden nachhaltig durch hohe zeitliche und räumliche Niederschlagsvariabilitäten und Wassernutzung beeinflusst. Eine Zunahme klimatischer Extremereignisse (Dürren, Überschwemmungen, Zyklone) in Frequenz und Ausmaß sind prognostiziert (IPCC, 2014). Auf dem globalen Klimarisiko-Index nimmt das Land bereits jetzt den zweiten Platz ein (KREFT et al., 2016). Darüber hinaus wird die Bewässerungslandwirtschaft ausgebaut (WORLDBANK, 2014). Durch die zunehmende Inbetriebnahme von Pumpstationen in den letzten Jahren sind bereits deutliche Grundwasserabsenkungen in der ZTZ zu verzeichnen (JOHNSTON et al., 2013).

Für ein IWRM wurde im Jahr 2013 das National Water Resources Committee etabliert, das die Zusammenarbeit zwischen wasserbezogenen Ministerien und Behörden sowie die Erstellung eines River Basin Management Planes für den Ayeyarwady koordiniert. Seit der politischen und wirtschaftlichen Öffnung des Landes im Jahr 2011 erfolgte eine gravierende Beschleunigung der wirtschaftlichen Entwicklung durch ausländische Investoren und politische Einflussnahmen. Die Erfassung zentraler Einflussfaktoren für ein IWRM in Myanmar ist elementar, um ein Systemverständnis für die Prozesse im Flusseinzugsgebiet des Ayeyarwady und insbesondere die Landnutzung in der ZTZ zu erhalten und

holistisch und integrativ zu betrachten. Folgende Einflussfaktoren konnten bisher identifiziert werden (TAFT & EVERS, 2016): Die Intensivierung der Bewässerungslandwirtschaft, Urbanisierungsprozesse, die Expansion von Industriezonen und der damit verbundene steigende Wasser- und Energiebedarf führen zum vermehrten Bau von Wasserkraftwerken und Staudämmen, zur verstärkten Entnahme von Grundwasser und potenziell zunehmender Verschmutzung der Wasserressourcen.

Gewonnene Erkenntnisse

Das Beispiel Myanmar zeigt die Relevanz der Betrachtungsskalen; wird die globale bzw. überregionale Skala – hier die Landesebene – über das gesamte Jahr betrachtet, verfügt das Land über ausreichende Wasserressourcen (WSI für Myanmar, Abb. 2). Auf der regionalen Skala werden die zeitlichen und räumlichen Differenzen deutlich, die sich hinsichtlich mangelhafter Wasserressourcen während der Trockenzeit insbesondere in der ZTZ zeigen. Nur auf der lokalen Ebene können wiederum die Adaptionsmechanismen und -maßnahmen an die hydro-meteorologischen Herausforderungen, wie beispielsweise die vermehrte Nutzung der Flussauen und Sandbänke für die Landwirtschaft, analysiert werden. Ein zentrales Problem besteht jedoch in der mangelnden Datenverfügbarkeit und -qualität, insbesondere auf regionaler und lokaler Maßstabsebene. Unterschiedliche Zielvorstellungen und Zuständigkeiten, ausgeprägte hierarchische Ebenen und mangelnde Kooperation zwischen den zuständigen Ministerien sowie mangelnde finanzielle und personelle Kapazitäten erschweren die Implementierung eines kohärenten und nachhaltigen IWRM in Myanmar (OO, 2015).

Unteres Jordantal: Kosten-Nutzen-Analysen von IWRM-Strategien

Eine weitere Aufgabe des IWRM ist es, innerhalb eines vorgegebenen Planungszeitraums Wasserprojekte so aufeinander abzustimmen, dass sie unter Berücksichtigung ökologischer Vorgaben zu einer Verbesserung der Wasserversorgung von Bevölkerung, Landwirtschaft und Industrie beitragen. Besondere Herausforderungen stellen sich in Regionen, wo die verfügbaren Wasservorkommen nicht ausreichen, um den steigenden Wasserbedarf zu decken. Bei der Beurteilung von IWRM-Strategien spielt die ökonomische Bewertung von Wasserprojekten eine wichtige Rolle: Übersteigt der Nutzen die Kosten, ist dies ein sicheres Indiz dafür, dass das Projekt vorzugswürdig ist, da es einen gesellschaftlichen Mehrwert verspricht (*value added*). Abgesehen von der Frage, inwieweit die hydrologischen und ökologischen Wirkungen von Wasserprojekten einer Kosten-Nutzen-Analyse zugänglich sind, ergeben sich auch bei der ökonomischen Bewertung von Wasserprojekten erhebliche methodische Probleme. Wie vorliegende Untersuchungen aber zeigen, können unter bestimmten Voraussetzungen hierzu Wasserpreise als Näherungsgrößen herangezogen werden (HEINZ et al., 2011; KLINGER et al., 2015). Allerdings decken Wassertarife oft nicht vollständig die Kosten von Anlagen (*cost recovery*), zudem spiegeln sie nur selten den tatsächlichen ökonomischen Wert knapper Wasserressourcen wider (*scarcity value*) (HEINZ, 2009). Im unteren Jordantal, das besonders unter Wassermangel leidet und wo vor allem die Grundwasserressourcen übernutzt werden, stellen inadäquate Wasserpreise ein Haupthindernis für eine nachhaltige Verbesserung der Wassersituation dar, weil durch sie Anreize für eine übermäßige Wasserförderung gesetzt werden.

Als Fallbeispiel dient das Einzugsgebiet der Stadt Jericho in Palästina, wo es in den letzten Jahren aufgrund des steigenden Wasserbedarfs zu Engpässen in der Wasserversorgung gekommen ist. In dem Forschungsprojekt ‚SMART – IWRM: Integrated Water Resources Management in the Lower Jordan Rift Valley‘ (KLINGER et al., 2015) wurden die Kosten und Nutzen verschiedener Projekte berechnet, wie unter anderem die Speicherung von Regenniederschlägen, die Entsalzung von Brackwasser und effizientere Bewässerungstechnologien. Darauf aufbauend wurde die zeitliche Abfolge von Wasserprojekten bis zum Jahr 2030 mit dem größtem Nettonutzen bestimmt (KLINGER et al., 2015). Eine weitere IWRM-Strategie zielt auf die Verwendung von aufbereitetem Abwasser in der Landwirtschaft ab: Dadurch können die für die Bewässerung bislang genutzten Wasservorkommen für die Trinkwasserversorgung freigesetzt werden. Sind die Wasserpreise hinreichend hoch, ist zumeist der Nutzen höher als die Kosten der Abwasseraufbereitung und des Wassertransports. Beispiele eines solchen ‚Wassertauses‘ zwischen Kommunen und Landwirten finden sich in Spanien und Mexiko (HEINZ et al., 2011).

Gewonnene Erkenntnisse

Sowohl in der Theorie als auch in der Praxis ist es nicht einfach, den tatsächlichen ökonomischen Wert von knappen Wasserressourcen (*scarcity value*) zu bestimmen. Infolgedessen werden die Vorteile eines sektorenübergreifenden IWRM – wie zum Beispiel das Abwasserrecycling und der Wassertausch zwischen Kommunen und Landwirten – häufig unterschätzt.

Zudem scheidet die Umsetzung von IWRM-Strategien oft an fehlenden finanziellen Mitteln. Daher müssen Lösungen gefunden werden, wie Projekte, die zur Verringerung der Wasserknappheit beitragen, am besten finanziert werden können (zinsgünstige Darlehen, Subventionen, Built Operate Transfer, etc.). Außerdem mangelt es an geeigneten hydrologisch-ökonomischen Modellen, die Kosten-Nutzen-Analysen und die Optimierung von IWRM-Strategien insbesondere in Gebieten mit Wasserknappheit erlauben.

Nicaragua: Beiträge von Zahlungssystemen für hydrologische Ökosystemleistungen zur Umsetzung von IWRM in der Praxis

Seit der Jahrtausendwende wurden in einer Vielzahl von Ländern Maßnahmen auf nationaler Ebene zur IWRM-Umsetzung „IWRM-konforme“ Wassergesetze verabschiedet, sektorenübergreifende Institutionen und Organisationsstrukturen entworfen. Zentrale Umsetzungsinstrumente sind dabei Flussgebietsbewirtschaftungspläne und dezentrale Vertretungen der nationalen Institutionen. Die Organisationsstrukturen erstrecken sich in der Regel lediglich auf die großen Flusseinzugsgebiete als zusammengefasste Bewirtschaftungseinheit. Aufgrund „neuer“ Bewirtschaftungsgrenzen und partizipativer, sektorenübergreifender Kooperation entsteht ein hoher Koordinationsaufwand.

Die für die IWRM-Umsetzung notwendige Anpassung von Institutionen¹ (als Problem of Fit bezeichnet; YOUNG, 2008; MOSS & NEWIG, 2010) an Ökosystemeigenschaften (hier Flussgebietsgrenzen) sowie die Organisation des Zusammenspiels von Institutionen (Problem of Interplay, YOUNG, 2008) unterschiedlicher Sektoren werden in der Praxis auf nationaler Ebene in Ent-

¹ Institutionen: Gesetze, Organisationen, formelle u. informelle Regeln, Prozesse der Entscheidungsfindung

wicklungs- und Schwellenländern oft nacheinander gelöst und ohne konkreten Problemkontext-Bezug (HACK, 2015). Dies führt häufig zu komplexen Organisationsstrukturen und unklaren Zuständigkeiten. Oftmals wird die zur Lösung von spezifischen Wasserproblemen bestgeeignete Umsetzungsebene dabei verfehlt und nicht alle relevanten Akteure in die Lösungsfindung mit eingebunden. Darüber hinaus zeigen sich häufig charakteristische Probleme, welche aufgrund fehlender finanzieller und personeller Ressourcen sowie nicht vorhandener Messdaten zu einer unzureichenden Umsetzung von IWRM auf lokaler und regionaler Ebene führen. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Meta-Studie zu global umgesetzten Zahlungssystemen für hydrologische Ökosystemleistungen (Ökosystemleistungen, die im wesentlichen Zusammenhang mit dem hydrologischen Kreislauf stehen wie zum Beispiel die Versorgung mit Frischwasser, Erosionsschutz, Schutz vor Klimaextremen) wurde deren typische Implementierungsform und funktionelle Rolle im Hinblick auf Synergien mit dem IWRM-Prozess auf Flusseinzugsgebietsebene untersucht. In einer detaillierten Projektstudie in Nicaragua im Rahmen des Programms „Manejo Sostenible de los Recursos Naturales y Fomento de Competencias Empresariales“ (MASRENACE) der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) zeigten sich Zahlungssysteme für hydrologische Ökosystemleistungen als geeignetes Instrument zur IWRM-Umsetzung „von unten“, angepasst an spezifische Wassernutzungsprobleme (HACK, 2010, 2015).

Gewonnene Erkenntnisse

Es konnte festgestellt werden, dass das Instrument „Zahlungssysteme für hydrologische Ökosystemleistungen“ die Lösung von Fit und Interplay-Problemen in gegenseitiger Wechselwirkung ermöglicht und so durch die spezifische problemkontext-bezogene Identifikation einer geeigneten Bewirtschaftungsebene und durch den Einbezug relevanter Akteure eine bessere Umsetzung von IWRM in der Praxis fördert. Durch die Identifikation von potentiellen Bereitstellungsflächen für hydrologische Ökosystemleistungen, den Landnutzern sowie den potentiellen Begünstigten werden zum einen wichtige Stakeholder sektorenübergreifend für eine integrierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen auf Einzugsgebietsebene bzw. die für die jeweilige Problemsituation relevante Entscheidungsregion festgestellt. Zum anderen werden bei der Erfassung des Status quo der Bereitstellung von Ökosystemleistungen und der Aushandlung von Kompensationsleistungen wichtige Informationen erhoben und Regeln gesetzt, die für eine Bewirtschaftungsplanung ebenfalls notwendig sind (aktive und partizipative Politikgestaltung, Etablierung von Organisationsstrukturen). Von besonderer Bedeutung für eine erfolgreiche Umsetzung des Konzeptes hydrologischer Ökosystemleistungen sind zahlungsbereite von Ökosystemleistungen Begünstigte sowie von allen Beteiligten akzeptierte Vermittler zwischen den Zahlern und Empfängern von Kompensationsleistungen.

Mongolei: Integrierte Sanitärversorgung in peri-urbanen Siedlungen

Das BMBF-Verbundprojekt „Integriertes Wasserressourcenmanagement in Zentralasien: Modellregion Mongolei (MoMo) – Phase II“² (Laufzeit: 2010 bis 2013) hatte zum Ziel, einen Beitrag zur

2 Nähere Informationen zum IWRM-Projekt MoMo und zum beschriebenen Teilprojekt s. <http://www.iwrm-momo.de> und <http://www.ipit.eu/index.html>

Umsetzung von IWRM in der Mongolei im Flusseinzugsgebiet des Kharaa zu leisten. Ein wesentlicher Baustein hierfür ist die Verbesserung der Sanitärversorgung in peri-urbanen Siedlungen. Etwa die Hälfte der städtischen Bevölkerung der Mongolei lebt in diesen teils informellen Siedlungen, die aufgrund von Zuwanderung rasant anwachsen. Als Unterkunft dienen traditionelle mongolische Filzzelte, sogenannte Jurten, und/oder einfache Holzhäuser. Da es in der Regel keinen Anschluss an das zentrale Leitungsnetz gibt, beziehen die Menschen ihr Trinkwasser meist von Wasser-kiosks. Als Toilette dienen einfache, abgedichtete Latrinen auf dem Grundstück. Dies führt nicht nur zur Verschmutzung von Boden und Grundwasser, sondern häufig auch zu wasserbürtigen Krankheiten wie Diarrhö oder Hepatitis A.

Für das Teilprojekt „integrierte Sanitärversorgung in peri-urbanen Siedlungen der Mongolei“ wurde ein transdisziplinärer Forschungsansatz gewählt. Das bedeutet, dass Lösungsansätze im Rahmen eines partizipativen Planungsprozesses gemeinsam mit mongolischen Stakeholdern erarbeitet und ausgewählt wurden. Als exemplarische Fallstudie diente eine peri-urbane Jurten-siedlung in der Stadt Darkhan, der zweitgrößten Stadt der Mongolei im Flusseinzugsgebiet des Kharaa. Unter Einbezug aller relevanten Stakeholder wurde in drei Planungsschritten eine abgedichtete Pilottoilette mit getrennter Sammlung und Entsorgung von Urin und Fäzes entwickelt, gebaut und getestet. Dieses Toiletten-system ist Bestandteil eines umfassenderen, integrierten Sanitär-systems für die gesamte Stadt Darkhan. Parallel dazu wurden verschiedene ingenieurwissenschaftliche und sozioökonomische Detailfragen erforscht wie z. B. die Frage, welche Bedürfnisse die Bewohner hinsichtlich einer Verbesserung der Sanitärsituation haben (SIGEL et al., 2012). Auch die Wirksamkeit des partizipativen Prozesses wurde wissenschaftlich reflektiert (SIGEL et al., 2014a; SIGEL et al., 2014b).

Gewonnene Erkenntnisse

Die intensive Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen und mongolischen Stakeholdern ermöglichte über die gesamte Projektlaufzeit hinweg einen sehr fruchtbaren Lernprozess. Vermeintlich getrennte Probleme wie die Entsorgung von Müll und Fäkalien konnten integriert betrachtet und angegangen werden. Auf lokaler Ebene wurde der Forschungs- und Planungsprozess aktiv von mongolischen Stakeholdern unterstützt. Nur so konnten die zwölf Pilottoiletten an die lokalen Bedingungen und die Bedürfnisse der Nutzer angepasst und weiterentwickelt werden. Von nationaler Ebene kam deutlich weniger Unterstützung, was in Hinblick auf eine zukünftige nachhaltige Implementierung von Sanitärmaßnahmen im größeren Maßstab, d. h. über die Pilotebene hinaus, ein großes Problem darstellt. Mit Projektende blieb somit auch offen, ob die entwickelten Lösungsansätze einen Tages Eingang in die mongolische Wasserpolitik finden werden – ein Dilemma vieler anwendungsbezogener IWRM-Forschungsprojekte.

4 Zusammenfassende Diskussion: Was sind die wissenschaftlichen und praktischen Herausforderungen bei der Umsetzung von IWRM?

Die IWRM-Umsetzung stellt sowohl für Wissenschaftler als auch für Praktiker eine große Herausforderung dar. Aus den in Abschnitt 3 dargestellten Forschungsarbeiten geht hervor, wie sich diese Herausforderungen aus Sicht der AK-Mitglieder darstellen und welche Empfehlungen sie daraus für zukünftige IWRM-

(Forschungs-)projekte ableiten (Abb. 3).

Die Hydrologie kann einen zentralen Beitrag hierzu leisten, indem sie die hydrologischen Prozesse und die Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen Land- und Wassernutzungen beschreibt und ggf. damit einhergehende Nutzungskonflikte aufzeigt. Ein wichtiges Instrument hierbei ist die hydrologische Modellierung. Diese wird v. a. dann zu einer besonderen Herausforderung, wenn die Datenlage schlecht ist (vgl. Äthiopien) und mit Fernerkundungs- und Satellitendaten gearbeitet werden muss. Als Bestandteil von Entscheidungsunterstützungssystemen (DSS) können hydrologische Modelle dabei helfen, verschiedene Entwicklungsszenarien und Planungsvarianten zu berechnen und zu bewerten (vgl. Peru). In manchen transdisziplinär ausgerichteten Forschungsprojekten werden Modelle und DSS zum Teil von Anfang an unter Einbindung der späteren Nutzer entwickelt (vgl. Äthiopien und China). So

soll erreicht werden, dass die entwickelten Modelle und Systeme auch über die Projektlaufzeit hinaus in der Praxis eingesetzt werden. Tatsächlich gestaltet sich dieser Transfer aber oftmals als schwierig (vgl. Saudi-Arabien). Als besonders vorteilhaft hat sich erwiesen, wenn ausländische Projektmitarbeiter, in der Regel Doktoranden, nach ihrer wissenschaftlichen Ausbildung in die Praxis ihrer Heimatländer zurückkehren (Ministerien, öffentliche Ämter, Wirtschaftsunternehmen, etc.), die entwickelten Modelle und Systeme weiter betreuen und für deren praktische Anwendung sorgen (vgl. Äthiopien, China und Saudi-Arabien). Hierdurch kann wesentlich zu einer nachhaltigen Nutzung der entwickelten Produkte beigetragen werden. Die Zusammenarbeit mit Stakeholdern gestaltet sich in der Regel dort als besonders fruchtbar, wo ein echtes Interesse an Veränderung besteht. Dies gilt häufig für direkt betroffene Stakeholder auf lokaler Ebene. Für die erfolgreiche Umsetzung von IWRM bedarf es jedoch auch einer umfassenden sozialwissenschaftlichen Forschung, denn Wasserprobleme sind immer auch Governance-Probleme, d. h. eine Folge schlechten Managements, schwacher Institutionen und fragmentierter, ineffektiver Politikansätze (GWP, 2003; UN WATER, 2006). Vor allem, wenn es darum geht, technische und nicht-technische Lösungen nachhaltig zu implementieren, ist es notwendig, die sozioökonomischen Rahmenbedingungen zu kennen (vgl. Peru, Mongolei). Auch für die Übertragbarkeit von Lösungen auf andere Regionen und eine hochskalige Umsetzung von Maßnahmen (upscaling)

spielen die Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle (vgl. Nicaragua). Die Forschungsarbeiten machen auch deutlich, dass IWRM ein kontinuierlicher Lernprozess ist, der stark von den konkreten Problemkontexten geprägt ist (vgl. Nicaragua, Mongolei). Die Anpassung von Maßnahmen und Instrumenten an die lokalen Bedürfnisse und Bedingungen hat häufig Pilot-Charakter und erfordert neben der wissenschaftlichen Expertise auch interkulturelle Kompetenzen. Hinsichtlich der Anpassung des IWRM-Konzeptes an lokale Rahmenbedingungen stellt sich die Frage der am besten geeigneten Umsetzungsebene. In diesem Zusammenhang haben Untersuchungen ergeben, dass das Konzept der Ökosystemleistungen zur Identifikation einer geeigneten IWRM-Umsetzungsebene in Abhängigkeit von natürlichen und sozialen Systemen geeignet ist. Als Managementinstrument in Form von Zahlungssystemen für (hydrologische) Ökosystemleistungen kann eine aktive und partizipative Politikgestaltung und eine Etablierung von Organisationsstrukturen auf der lokalen Umsetzungsebene erreicht werden (vgl. Nicaragua). Ein wichtiger Aspekt für die Umsetzung von IWRM in der Praxis sind auch die verfügbaren finanziellen Mittel. Zusätzliche Koordinierungsaufgaben und neue Organisationsstrukturen bedürfen in der Regel eines zusätzlichen Budgets. Hier könnten ökonomische Kosten-Nutzen-Analysen von verschiedenen IWRM-Strategien und Maßnahmen dazu beitragen, dass knappe finanzielle Ressourcen effizienter eingesetzt werden (vgl. Jordantal).



Abbildung 3
 IWRM Forschungsansätze und -methoden sowie Erfolgsfaktoren für die praktische Umsetzung von IWRM.
IWRM research approaches and methods as well as success factors for the practical implementation of IWRM.

5 Forschungsperspektiven des DHG-Arbeitskreises

Die zuvor beschriebenen Herausforderungen und Erfolgsfaktoren bei der praktischen Umsetzung von IWRM, die immer auch die Bewältigung von Wasserknappheit mit beinhalten, können dabei helfen, Fragestellungen für zukünftige Weiterentwicklung von IWRM abzuleiten. Die Mitglieder des AK's wollen sich in naher Zukunft vor allem mit folgenden Forschungsfragen verstärkt auseinandersetzen:

- Wie kann durch IWRM den Bedrohungen durch den Klimawandel begegnet werden?
- Wie können universelle IWRM-Ansätze und -Prinzipien an lokale Bedingungen angepasst und im Sinne eines stetigen und systematischen Lernprozesses weiterentwickelt werden („adaptives IWRM“)?
- Wie können naturräumliche (z. B. hydrologische) und gesellschaftliche (z. B. politische oder wirtschaftliche) Grenzen für die IWRM-Umsetzung in der Praxis miteinander in Einklang gebracht werden?
- Wie verhält sich das IWRM-Konzept zu anderen Konzepten des Wasserressourcenmanagements wie z. B. dem „Water Security“-Konzept oder dem „Water-Energy-Food-Nexus“?
- Wie können Ansätze und Methoden transdisziplinärer Forschung wirkungsvoll für die praktische Umsetzung von IWRM eingesetzt werden?
- Wie können ökonomische Kompensationssysteme zu einer möglichst konfliktfreien und effizienten Nutzung knapper Wasser- und Landressourcen beitragen?

Gegenwärtig wird innerhalb des Arbeitskreises über gemeinsame Forschungsperspektiven diskutiert, die die genannten Fragen adressieren und miteinander in Verbindung bringen. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Dafür bietet der AK eine optimale Grundlage: Im konstruktiven Fach- und Erfahrungsaustausch kann einfach und unkompliziert voneinander gelernt und so manche (sprachliche) Brücke zwischen den Disziplinen geschlagen werden. Die vielfältigen länderspezifischen Erfahrungen können ggf. bei der Konzipierung und Umsetzung neuer Projekte sinnvoll einfließen.

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. Jochen Hack
Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
Franziska-Braun-Str. 7
64287 Darmstadt
j.hack@ihwb.tu-darmstadt.de

Dr. Katja Siegel
Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ Leipzig
Department Ökonomie
Permoserstr. 15
04318 Leipzig
katja.siegel@ufz.de

Prof. Dr. Markus Disse
Technische Universität München
Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement
Arcisstraße 21
80333 München
markus.disse@tum.de

Prof. Dr. Mariele Evers
Dr. Linda Taft
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Geographisches Institut
Arbeitsgruppe Öko-Hydrologie und Wasserressourcenmanagement
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn
mariele.evers@uni-bonn.de
ltaft@uni-bonn.de

Dr. Ingo Heinz
Technische Universität Dortmund
Institute of Environmental Research (INFU)
Otto-Hahn-Straße 6
44227 Dortmund (i. R.)
Ingo.Heinz@uni-Dortmund.de

Prof. Dr. Achim Schulte
Dr. Christian Reinhardt-Imjela
Dr. Joachim Krois
Freie Universität Berlin
Fachrichtung Angewandte Geographie, Umwelthydrologie und Ressourcenmanagement
Malteserstraße 74 – 100
12249 Berlin
achim.schulte@fu-berlin.de,
christian.reinhardt@fu-berlin.de
krois@zedat.fu-berlin.de

Prof. Dr. Lutz Breuer
Dr. Sebastian Multsch
Justus Liebig University Giessen
Institute for Landscape Ecology and Resources Management (ILR),
Research Centre for BioSystems, Land Use and Nutrition (IFZ)
Heinrich-Buff-Ring 26-32
35392 Giessen
lutz.breuer@umwelt.uni-giessen.de
sebastian.multsch@umwelt.uni-giessen.de

Prof. Dr. Nils Schütze
Technische Universität Dresden
Institut für Hydrologie und Meteorologie
Bergstr. 66
01069 Dresden
ns1@rcs.urz.tu-dresden.de

Literaturverzeichnis

- BISWAS, A. K., & TORTAJADA, C. (2010). Future Water Governance: Problems and Perspectives. *International Journal of Water Resources Development*, 26(2), 129–139. DOI: 10.1080/07900627.2010.488853
- BROWN, A., & MATLOCK, M. D. (2011). A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies (The Sustainability Consortium White Paper No. 106).
- BURY, J. (2005). Mining mountains: neoliberalism, land tenure, livelihoods, and the new Peruvian mining industry in Cajamarca. *Environment and Planning A*, 37(2), 221–239. DOI: 10.1068/a371
- BUTTERWORTH, J., WARNER, J., MORIARTY, P., & BATCHELOR, C. (2010). Finding Practical Approaches to Integrated Water Resources Management. *Water Alternatives*, 3(1), 68–81.

- DISSE, M. (2016). Sustainable land and water management of River Oases along the Tarim River. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 373, 25–29. DOI: 10.5194/piahs-373-25-2016
- FALKENMARK, M. (2013). Growing water scarcity in agriculture: future challenge to global water security. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(2002), 20120410–20120410. DOI: 10.1098/rsta.2012.0410
- FOLEY, J. A., RAMANKUTTY, N., BRAUMAN, K. A., CASSIDY, E. S., GERBER, J. S., JOHNSTON, M., MUELLER, N.D., O'CONNELL, C., RAY, D.K., WEST, P.C., BALZER, C., BENNETT, E.M., CARPENTER, S.R., HILL, J., MONFREDA, C., POLASKY, S., ROCKSTRÖM, J., SHEEHAN, J., SIEBERT, S., TILMAN, D. & ZAKS, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342. DOI: 10.1038/nature10452
- GRUNDMANN, J., AL-KHATRI, A., & SCHÜTZE, N. (2016). Managing saltwater intrusion in coastal arid regions and its societal implications for agriculture. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 373, 31–35. DOI: 10.5194/piahs-373-31-2016
- GRUNDMANN, J., & SCHÜTZE, N. (2015). Technisch-methodische Herausforderungen und Lösungsansätze für die optimale Bewirtschaftung gekoppelter Grundwasser-Landwirtschaft-Hydrosysteme in ariden und semiariden Küstenregionen. *Hydrologie Und Wasserbewirtschaftung*, 59(5), 240–246.
- GWP. (2000). *Integrated Water Resources Management (TAC Background Papers No. 4) (Vol. 4)*. Stockholm, Sweden.
- GWP. (2003). *Poverty Reduction and IWRM (TEC Background Papers No. 8)*.
- HACK, J. (2010). Payment schemes for hydrological ecosystem services as a political instrument for the sustainable management of natural resources and poverty reduction - a case study from Belén, Nicaragua. *Advances in Geosciences*, 27, 21–27. DOI: 10.5194/adgeo-27-21-2010
- HACK, J. (2011). La valoración de servicios ambientales hídricos como herramienta de la gestión integral de cuencas hidrográficas. *Spanish Journal of Rural Development*, 11(1), 25–36.
- HACK, J. (2014). *Payments for Hydrological Ecosystem Services in Integrated Water Resources Management*. Dissertation. TU Darmstadt, Darmstadt. 225 S.
- HACK, J. (2015). Application of payments for hydrological ecosystem services to solve problems of fit and interplay in integrated water resources management. *Water International*, 40(5–6), 929–948. DOI: 10.1080/02508060.2015.1096122
- HAMILTON, S. H., GUILLAUME, J., ELSAWAH, S., JAKEMAN, A. J., & PIERCE, S. A. (2015). Integrated assessment and modelling: overview and synthesis of salient dimensions. *Environmental Modelling and Software*, 64, 215–229.
- HEINZ, I. (2009). Water scarcity, wastewater reuse and the economic value of water. In *Water Resources Conservancy and Risk Reduction under Climatic Instability*. 7th International European Water Resources Association Conference (EWRA) (pp. 27–28). Limassol, Cyprus.
- HEINZ, I., SALGOT, M., & MATEO-SAGASTA DÁVILA, J. (2011). Evaluating the costs and benefits of water reuse and exchange projects involving cities and farmers. *Water International*, 36(4), 455–466. DOI: 10.1080/02508060.2011.594984
- HERING, J. G., & INGOLD, K. M. (2012). *Water Resources Management: What Should Be Integrated?* *Science*, 336(6086), 1234–1235. DOI: 10.1126/science.1218230
- HORLEMANN, L., & DOMBROWSKY, I. (2012). Institutionalising IWRM in developing and transition countries: the case of Mongolia. *Environmental Earth Sciences*, 65(5), 1547–1559. DOI: 10.1007/s12665-011-1213-7
- HUPPERT, W. (2005). Was ist IWRM? - Plädoyer für ein differenziertes Verständnis des Konzepts "Integriertes Wasserressourcen-Management." In S. Neubert, W. Scheumann, A. van Edig, & W. Huppert (Eds.), *Integriertes Wasserressourcen-Management (IWRM): Ein Konzept in die Praxis überführen (1st ed., pp. 15–30)*. Bonn: Nomos.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014 - Synthesis report*. Retrieved October 13, 2015, from http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- JOHNSTON, R., PAVELIC, P., SELLAMUTTU, S. S., & MCCARTNEY, M. (2013). *Water Management in the Dry Zone, Irrawaddy Basin, Myanmar (IWMI Dry Zone Study 2013)*. Retrieved from http://riversymposium.com/wp-content/uploads/2014/10/A3A_Robyn-Johnson.pdf
- JØNCH-CLAUSEN, T., & FUGL, J. (2001). Firming up the Conceptual Basis of Integrated Water Resources Management. *International Journal of Water Resources Development*, 17(4), 501–510. DOI: 10.1080/07900620120094055
- KACIMOV, A. R., SHERIF, M. M., PERRET, J. S., & AL-MUSHIKHI, A. (2009). Control of sea-water intrusion by salt-water pumping: Coast of Oman. *Hydrogeology Journal*, 17(3), 541–558. DOI: 10.1007/s10040-008-0425-8
- KLINGER, J., GOLDSCHIEDER, N., & HÖTZL, H. (2015). SMART – IWRM: Integrated Water Resources Management in the Lower Jordan Rift Valley. Karlsruhe, Germany: Project Report 2nd Phase - KIT Scientific Reports 7698.
- KREFT, S., ECKSTEIN, D., & MELCHIOR, I. (2016). *Global Climate Risk Index 2017. Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2015 and 1996 to 2015*. Retrieved from <https://germanwatch.org/en/download/16411.pdf>
- KROIS, J., & SCHULTE, A. (2013). Modeling the Hydrological Response of Soil and Water Conservation Measures in the Ronquillo watershed in the Northern Andes of Peru. In *Proceedings of the 6th ICWRER Conference* (pp. 147–184). Koblenz, Germany.
- KROIS, J., & SCHULTE, A. (2014). GIS-based multi-criteria evaluation to identify potential sites for soil and water conservation techniques in the Ronquillo watershed, northern Peru. *Applied Geography*, 51, 131–142. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.04.006
- MEKONNEN, M. M., & HOEKSTRA, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), e1500323–e1500323. DOI: 10.1126/sciadv.1500323
- MOSS, T., & NEWIG, J. (2010). Multilevel water governance and problems of scale: setting the stage for a broader debate. *Environmental Management*, 46(1), 1–6. DOI: 10.1007/s00267-010-9531-1
- MULTSCH, S., ALQUWAIZANY, A. S., ALHARBI, O. A., PAHLOW, M., FREDE, H.-G., & BREUER, L. (2016a). Water-saving strategies for irrigation agriculture in Saudi Arabia. *International Journal of Water Resources Development*, 1–18. DOI: 10.1080/07900627.2016.1168286
- MULTSCH, S., PAHLOW, M., ELLENSOHN, J., MICHALIK, T., FREDE, H.-G., & BREUER, L. (2016b). A hotspot analysis of water footprints and groundwater decline in the High Plains aquifer region, USA. *Regional Environmental Change*. DOI: 10.1007/s10113-016-0968-5
- OO, H. L. (2015). Case Study: Integrated Water Resources Management in Myanmar. In *UN-Water Annual International Zaragoza Conference: Water and Sustainable Development. From vision to action*. Zaragoza, Spain.
- RUBEL, F., & KOTTEK, M. (2010). Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 19(2), 135–141. DOI: 10.1127/0941-2948/2010/0430

- RUMBAUR, C., THEVS, N., DISSE, M., AHLHEIM, M., BRIEDEN, A., CYFFKA, B., DUETHMANN, D., FEIKE, T., FRÖR, O., GÄRTNER, P., HALIK, Ü., HILL, J., HINNENTHAL, M., KEILHOLZ, P., KLEINSCHMIT, B., KRYSANOVA, V., KUBA, M., MADER, S., MENZ, C., OTHMANLI, H., PELZ, S., SCHROEDER, M., SIEW, T. F., STENDER, V., STAHR, K., THOMAS, F. M., WELP, M., WORTMANN, M., ZHAO, X., CHEN, X., JIANG, T., LUO, J., YIMIT, H., YU, R., ZHANG, X., ZHAO, C. (2015). Sustainable management of river oases along the Tarim River (SuMaRiO) in Northwest China under conditions of climate change. *Earth System Dynamics*, 6(1), 83–107. DOI: 10.5194/esd-6-83-2015
- SCHEWE, J., HEINKE, J., GERTEN, D., HADDELAND, I., ARNELL, N. W., CLARK, D. B., ... KABAT, P. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3245–3250. DOI: 10.1073/pnas.1222460110
- SIGEL, K., ALTANTUUL, K., & BASANDORJ, D. (2012). Household needs and demand for improved water supply and sanitation in peri-urban ger areas: the case of Darkhan, Mongolia. *Environmental Earth Sciences*, 65(5), 1561–1566. DOI: 10.1007/s12665-011-1221-7
- SIGEL, K., HAGEMANN, N., LEIDEL, M., NIEMANN, S., & WEIGELT, C. (2014a). Insights Regarding Transdisciplinarity and Knowledge Transfer Gained from Two Case Studies on Integrated Water Resources Management in Ukraine and Mongolia. *Interdisciplinary Science Reviews*, 39(4), 342–359. DOI: 10.1179/0308018814Z.00000000096
- SIGEL, K., STÄUDEL, J., & LONDONG, J. (2014b). Experiences with stakeholder involvement in strategic sanitation planning: a case study of the city of Darkhan, Mongolia. *Water Science & Technology: Water Supply*, 14(3), 504. DOI: 10.2166/ws.2014.001
- SMAKHTIN, V., REVENGA, C., & DÖLL, P. (2004). A Pilot Global Assessment of Environmental Water Requirements and Scarcity. *Water International*, 29(3), 307–317. DOI: 10.1080/02508060408691785
- STATISTICAL COMMISSION OF THE ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL. (2016). Report of the Inter-Agency and Expert Group on Sustainable Development Goal Indicators.
- TAFT, L., & EVERS, M. (2016). A review of current and possible future human-water interactions in Myanmar's river basins. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–37. DOI: 10.5194/hess-2015-516
- TRISCRITTI, F. (2013). Mining, development and corporate-community conflicts in Peru. *Community Development Journal*, 48(3), 437–450. DOI: 10.1093/cdj/bst024
- UN GENERAL ASSEMBLY. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York, USA.
- UN WATER. (2006). Coping with Water Scarcity. A strategic issue and priority for system-wide action.
- UN WATER. (2012). Status Report on The Application of Integrated Approaches to Water Resources Management.
- UN WATER, & FAO. (2007). Coping with Water Scarcity: Challenge of the 21st century.
- UNEP. (2012). The UN-Water Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management. Nairobi.
- WORLDBANK. (2014). Myanmar essential health services access project. Retrieved from http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2014/09/25/000470435_20140925101652/Rendered/PDF/PAD10200PAD0P1010Box385323B000OU0090.pdf. Letzter Zugriff: 15.11.2016
- YOUNG, O. R. (2008). Institutions and Environmental Change : The Scientific Legacy of a Decade of IDGEC Research. In O. R. Young, L. A. King, & H. Schroeder (Eds.), *Institutions and environmental change: principal findings, applications, and research frontiers* (Vol. 1, pp. 3–45). MIT Press.