

Schlussbericht

Vorhabenbezeichnung:

Nachhaltiges Wassermanagement in einer globalisierten Welt

Förderkennzeichen: 01UN1009

Zuwendungsempfänger:

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) e.V., Postfach 601203, 14412 Potsdam

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2010 – 31.06.2013

Verbundpartner:

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Internationaler Agrarhandel und Entwicklung (HUB)

Hochschule für Philosophie München, Institut für Gesellschaftspolitik (IGP)

Projektleiter:

Dr. Anne Biewald (PIK)

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

Die nachhaltige Nutzung der globalen Süßwasserressourcen ist eine der größten wirtschaftlichen, technischen und ethischen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Vielfach ist die Wurzel der Wasserknappheit jedoch nicht der physische Mangel an Wasservorkommen, sondern es sind schlechtes Wassermanagement, sowie fehlende ökonomische Anreize zur effizienten Nutzung des Wassers.

Ziel dieses Projektes war es, die zukünftige globale Wasserknappheit abzuschätzen und in dieser Hinsicht besonders problematische Regionen zu identifizieren. Diese Abschätzung sollte verschiedene wichtige Faktoren der zukünftigen Wasserverfügbarkeit und des Verbrauchs von Wasser berücksichtigen, wie z. B. den Klimawandel oder globale und regionale sozioökonomische Veränderungen. Vor diesem Hintergrund war zu analysieren, wie virtueller Wasserhandel und Verbesserungen in der Infrastruktur zur Bereitstellung von Bewässerungswasser lokale Wassersituationen verbessern können. Weil die Nutzung und Übernutzung von Oberflächengewässern oder Grundwasser auch ökologische Auswirkungen hat, sollten außerdem die verschiedenen Wirkungen von Wasserschutzmaßnahmen analysiert werden. Knappe Wasserressourcen, besonders im Kontext von landwirtschaftlicher Produktion, sind zwar ein globales Problem, können aber nur lokal gelöst werden. Deswegen war es auch Aufgabe des Projekts, Herausforderungen und Lösungen der Wasserproblematik für die drei Fallregionen Australien, Ostafrika und China zu untersuchen, welche in Zukunft sehr wahrscheinlich mit einer extremen Verknappung ihrer Wasserressourcen rechnen müssen, aber sehr verschiedene ökonomische und politische Hintergründe haben. Ein weiterer wichtiger Teil des Projekts bestand in der Analyse der ethischen Implikationen verschiedener Management- und Politikstrategien.

2. Voraussetzung

Die wichtigsten Werkzeuge im Rahmen des Projekts am PIK waren das Landnutzungsmodell MAGPIE ("Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment") sowie das Vegetations- und Wasserhaushaltsmodells LPJmL (Lund Potsdam Jena managed Land). Im Rahmen des Projekts wurden beide Modelle gemäß der Aufgabenstellung weiterentwickelt. Bei MAGPIE handelt es sich um ein Kostenminimierungsmodell des Agrarsektors, das auf der Basis von ökonomischen Eingangsdaten (Bevölkerungsentwicklung, Einkommen, landwirtschaftliche Kostenstrukturen) und biophysikalischen Informationen (potentielle Erträge von Nutzpflanzen, Verfügbarkeit von Land und Wasser) räumlich explizite Landnutzungsmuster generiert. Die biophysikalischen Inputs gehen als Nebenbedingungen in das Optimierungsmodell ein, so dass hierfür im Falle von regionaler Ressourcenknappheit positive Schattenpreise generiert werden. Das Dynamische Globale Vegetationsmodell LPJ berechnet unter Vorgabe von Klima- und Bodeninformationen die geographische Verbreitung und anteilmäßige Aufteilung verschiedener funktionaler Vegetationstypen. Dies geschieht auf einem globalen Raster von ca. 50 x 50 km unter expliziter Berücksichtigung der relevanten ökologischen und hydrologischen Prozesse (Pflanzenwachstum, Kohlenstoffallokation, Konkurrenz zwischen Pflanzentypen, Verdunstung, Abflussbildung und -akkumulation im Flussnetz) und ihrer Interaktionen.

Außerdem wird in dem erweiterten Modell LPJmL die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf die globalen biogeochemischen und hydrologischen Kreisläufe prozessbasiert modelliert (LPJmL-Modell, wie in Bondeau et al. 2007 beschrieben).

Wesentliche Grundlagen für dieses Projekt wurden im Rahmen des BMBF- WiN-Projekts „Preis des Wassers: Quantifizierung und Bewertung globaler Wasserressourcen“ gelegt. Darin wurden LPJmL und MAgPIE so weiterentwickelt, dass sie zur Anwendung auf relevante Fragestellungen wie Ermittlung der Wasserknappheit, des virtuellen Wasserhandels und Auswirkungen verschiedenen Wassermanagementmaßnahmen auf Wasserknappheit geeignet sind. Bei der Integration von ethischer und ökonomischer Betrachtung konnte auf Vorarbeiten aus dem gemeinsamen Projekt "Klimawandel und Gerechtigkeit" von PIK und IGP zurückgegriffen werden. Dies galt besonders für die Erarbeitung eines auf den Menschenrechten basierenden Gerechtigkeitskonzepts, das die wechselseitigen Verknüpfungen zwischen Klimawandel und globaler Armut systematisch berücksichtigt. Das Projekt konnte auf spezifische Arbeiten vom IGP zurückgreifen, die explizit die Bedeutungsvielfalt von Wasser berücksichtigt, aber auch auf solche, die sich mit der Ethik der Weltwirtschaft im Allgemeinen und mit der Ethik des Welthandels im Besonderen beschäftigen.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt war in verschiedene Arbeitspakete geteilt, die von den Partnern einzeln oder zusammen erarbeitet wurden. Im ersten Arbeitspaket wurde vom IGP die Literatur zur Wasserethik gesichtet und in einem Review-Artikel zusammengefasst (*Kowarsch 2011*). Basierend auf dieser Arbeit und auf John Deweys philosophischem Pragmatismus wurde ein eigener wasserethischer Ansatz entwickelt. Ein am IGP zuvor erarbeitetes Gerechtigkeitskonzept (*Kowarsch/Gösele 2012*) wurde weiter ausgeführt und mit diesen pragmatistischen Überlegungen sowie konkreteren ethischen Fragen des Wassermanagements zusammengebracht. Zeitgleich dazu wurden vom PIK im Arbeitspaket 2 und mit Hilfe zweier globaler Modelle zukünftige regionale Brennpunkte der Wasserknappheit identifiziert und verschiedene soziökonomische Maßnahmen zur Lösung dieser Wasserproblematik untersucht. Diese Simulationen wurden zum einen mit dem biophysikalischen Modell LPJmL und zum anderen mit dem ökonomischen Agrarsektormodell MAgPIE durchgeführt. Im Arbeitspaket 3 und 5 wurden dann für die drei Fallregionen regionalspezifische Maßnahmen untersucht, um die lokale Wasserproblematik zu erfassen und mögliche Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Für Ostafrika und China wurden dazu eine jeweils regionalisierte Version des Land- und Wassernutzungsmodells MAgPIE benutzt, in der die betreffenden Regionen besonders fein aufgelöst analysiert wurden, während die räumlichen Einheiten (Gitterzellen) im Rest der Welt in größeren Aggregaten zusammengefasst wurden. Für die Fallstudien Australien und Südsudan wurden explorative Interviews geführt, um die lokale Problematik der Wasserverfügbarkeit zu erfassen. Im Fall von Australien wurden die Ergebnisse dieser Interviews als Grundlage für das an der HUB entwickelte, regionale Mehrmarktmodell WatIM verwendet. Im vierten Arbeitspaket wurde im globalen Kontext untersucht, welche technischen Möglichkeiten zur Verfügung stehen um zusätzliches Bewässerungswasser nachhaltig zur Verfügung zu stellen. Dazu wurden die modellbasierten Wasserschattenpreise benutzt um die Maßnahmen ökonomisch zu bewerten.

Im Arbeitspaket 5 wurde eine Fallstudie zum Südsudan durchgeführt, um die ethischen Bewertungen in einem konkreten Kontext anzuwenden. In enger Zusammenarbeit zwischen

PIK und IGP wurden Regional-Szenarien erarbeitet, die explizit ethische Zielkonflikte (hier: zwischen Umweltschutz und Armutsbekämpfung im Wassermanagement) adressieren. Diese Zielkonflikte wurden dann ethisch bewertet. Bei einem vom IGP organisierten internationalen Expertenworkshop 2011 in der Schweiz wurden unter anderem solche wasserethischen Fragen disziplinenübergreifend diskutiert. In diesem Arbeitspaket wurde auch ein konzeptueller Rahmen für Werturteile in ökonomischen Modellen entwickelt (*Biewald/Kowarsch 2013*), basierend auf einem normativen Modell der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Politik (*Edenhofer/Kowarsch 2013*).

4. Wissenschaftlich- und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der Anteil blauen und grünen Wassers am gesamten landwirtschaftlichen Wasserverbrauch, die Wasserverfügbarkeit pro Person, sowie der virtuelle Wassergehalt (die zum Wachstum einer konsumierten Biomasseeinheit benötigte Wassermenge) einzelner Agrarsysteme konnten im Rahmen des WiN-Projekts "Der Preis des Wassers" erstmals umfassend quantifiziert werden. Die durchschnittliche, benötigte Menge Wasser beträgt 1300 m³ Wasser pro Kopf und Jahr und entspricht einem groben globalen Mittelwert, der von der regionalen hydroklimatischen Situation, den vorherrschenden Wassermanagementstrukturen und letztlich den Ernährungsgewohnheiten abhängt.

Die führenden Klimamodelle zeigen fast einheitlich, dass bereits heute wasserknappen Regionen in Zukunft noch weniger Niederschläge erhalten werden. Darüber hinaus wird sich im Zuge von Bevölkerungswachstum und Wirtschaftsentwicklung die zukünftige Nachfrage nach Wasser in den meisten Regionen der Erde und in praktisch allen wasserabhängigen Sektoren deutlich erhöhen. Vor allem die ärmsten Länder in Afrika und Südasien werden sowohl von einem starken Anstieg der Bevölkerungszahl als auch zunehmender Trockenheit betroffen sein. Die Konkurrenz um Wasser zwischen der Landwirtschaft und anderen gesellschaftlichen Verwendungen dürfte sich somit in größeren Gebieten verschärfen, so dass immense Anstrengungen bezüglich einer effizienteren Nutzung und gerechteren Verteilung vorhandener Wasserressourcen notwendig sind.

Um den bereits zu beobachtenden und zukünftig wahrscheinlich noch verschärften Wasserknappheitssituationen zu begegnen, gibt es eine Reihe erprobter Technologien zur Wasser- und auch Bodenbewirtschaftung. Durch technologische Verbesserungen ist es gelungen, die landwirtschaftlichen Erträge pro Flächeneinheit in den letzten vier Jahrzehnten im globalen Durchschnitt um 1-2% pro Jahr zu steigern, so dass die weltweite landwirtschaftliche Produktion bislang mit dem Bevölkerungswachstum Schritt halten konnte. Allerdings scheint der Trend der Ertragssteigerung derzeit rückläufig zu sein, u. a. weil die Zuchtziele kaum auf die Verringerung des virtuellen Wassergehalts ausgerichtet sind. Durch eine konsequente Fokussierung auf die Optimierung des Wasserverbrauchs können noch erhebliche Ertragssteigerungen erzielt werden. Mittels geeigneter Anbautechniken und grünem Wassermanagement kann insbesondere in wasserarmen Gebieten durch Umleitung eines erheblichen Teils des verfügbaren Bodenwassers von der unproduktiven Evaporation in die pflanzlich produktive Transpiration ("vapour shift") sowie durch Auffangen von Regenwasser ("water harvesting") die landwirtschaftliche Produktion erhöht werden. Dies ist besonders für ärmere Regionen, z.B. in den trockenen Regionen Afrikas relevant. Auch in der künstlichen Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen gibt es noch ein großes Potential für Effizienzgewinne, da in vielen Bewässerungssystemen nur etwa 25-30% des zugeführten blauen

Wassers auch tatsächlich die relevanten Nutzpflanzen erreichen.

Der Wert des internationalen Agrarhandels hat sich von 1950 bis 1980 nahezu alle sieben Jahre verdoppelt und betrug um die Jahrtausendwende etwa 500 Mrd. US\$.¹² Mit dem raschen Wachstum des internationalen Agrarhandels nahm auch die Bedeutung des internationalen Handels mit virtuellem Wasser deutlich zu.¹³ Im Zeitraum 1997-2001 entfielen etwa 15% des von der Landwirtschaft verbrauchten Wassers auf Exporte.¹⁴ In manchen exportorientierten Ländern wie etwa Argentinien, Australien oder Kanada liegt der Anteil des für Exporte verwendeten Wassers bei über 50%. Andererseits schonen manche Länder ihre Wasservorräte, indem sie Agrargüter importieren, statt sie selber zu produzieren. Hierzu zählen etwa Länder im Mittleren Osten, Nordafrika, Südafrika oder Mexiko und Japan. Es konnte gezeigt werden, dass der internationale Agrarhandel zu einer Einsparung des globalen Wasserverbrauchs führen kann, wenn wasserintensiv produzierte Agrargüter von Ländern produziert und exportiert werden, die sich durch hohe Effizienz des Wassereinsatzes auszeichnen und umgekehrt Länder mit geringer Wassereffizienz solche Agrargüter importieren.

Geeignete institutionelle und politische Rahmenbedingungen sind die wichtigsten Bausteine für ein verbessertes Wassermanagement. Wasser ist gerade in der landwirtschaftlichen Produktion in vielen Regionen stark unterbewertet oder wenig reguliert, was ein Hauptgrund für Übernutzung und Verschwendung ist. Vielerorts fehlen klar geregelte Nutzungsrechte oder diese werden nicht konsequent durchgesetzt. Handelbare Nutzungsrechte sowie preisbasierte Anreizmechanismen für Bewässerungswasser zeigen einen möglichen Weg zu einer angemessenen Bewertung knapper Wasserressourcen. Im australischen Murray-Darling-Einzugsgebiet werden diese Instrumente seit den 1990er Jahren eingesetzt, wodurch die Wassernutzung effizienter geworden ist. Gleichzeitig sind die gesamten Ausgaben für Wassernutzung zum Teil deutlich gefallen, da die Landwirte vermehrt in wassersparende Technologien investiert haben. Australien bietet sich daher als Fallstudie für die Anwendung innovativer institutioneller Lösungen im Wassermanagement, vor allem auch hinsichtlich der Übertragbarkeit auf andere Regionen, an.

Angesichts der sich verschärfenden Diskrepanz zwischen Angebot und Nachfrage nach Wasser und der damit verbundenen Verteilungsprobleme wird der Bedarf einer ethischen Reflexion der Problematik offenkundig. Eine solche Reflexion kann auf aktuelle umweltethische Debatten zurückgreifen, wenngleich die Wasserproblematik im Vergleich zu anderen Umweltproblemen wichtige Spezifika aufweist, wie z.B. die in mehrerer Hinsicht grundlegende Bedeutung des Wassers für menschliches Leben. Eine große Herausforderung besteht darin, angemessene ethische Prinzipien für den Umgang mit Wasser zu begründen, die dem Spannungsfeld von Wasser als grundlegendem Lebensmittel und ökonomischem Gut gerecht werden. Dabei ist gleichzeitig immer auch die Nachhaltigkeit der Wassernutzung zu sichern, um nicht zukünftigen Generationen den Zugang zu ausreichend Süßwasser zu verwehren. Ethische Reflexionen werden immer von einem moralischen Standpunkt aus angestellt. Ein solcher Standpunkt sollte die verschiedenen ethischen Implikationen der Problemstellung gleichermaßen in den Blick nehmen können. Als Ausgangspunkt für die ethische Bewertung des Umgangs mit Wasser werden häufig die Menschenrechte gewählt, da sie Ausdruck einer universalen Moral sind und in der Weltpolitik eine zentrale Orientierungsfunktion einnehmen. So ist in der Allgemeinen Erklärung der Menschenrechte zumindest implizit ein Menschenrecht auf Wasser enthalten.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen eines GTZ-Projekts (PIK zusammen mit dem SEI und der Humboldt-Universität zu Berlin) wurden landwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen an Wasserknappheit für Tansania und Äthiopien entwickelt, die im hier vorgeschlagenen Projekt in die Szenarienbildung und Bewertung einbezogen wurden.

In Rahmen des Projektes konnten wir erfolgreich zusammenarbeiten mit Institutionen wie IFPRI, Earth Institute Columbia University, FAO, OECD, JRC und IIASA. Mit Hilfe der laufenden Projektarbeiten war es auch möglich, verschiedene internationale Modell-Vergleichsprojekte zu unterstützen. Im Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) wurden 10 verschiedene globale Agrarmodelle hinsichtlich ihrer Weltmarktpreis-Projektionen unter verschiedenen Zukunftsszenarien verglichen.

II. Eingehende Darstellung

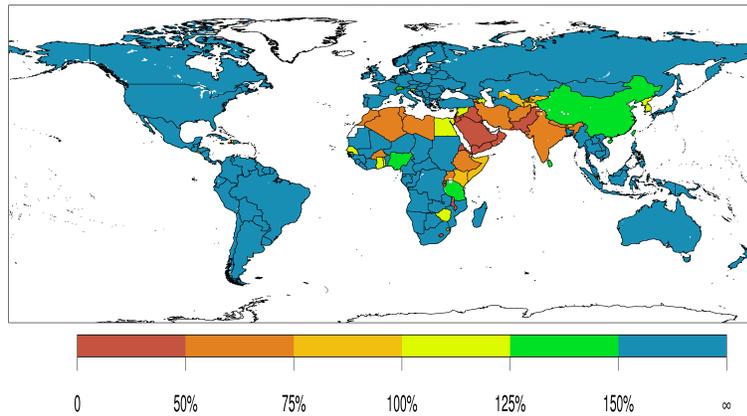
1. Verwendung der Zuwendung und erzielten Ergebnisse im Einzelnen

In diesem Projekt wurden mit Hilfe des biophysikalischen Modells LPJmL und des agrarökonomischen Modells MAGPIE lokale gegenwärtige und zukünftige Wasserknappheit identifiziert und Maßnahmen untersucht um dieser Wasserknappheit zu begegnen. Zum einen wurden globale Maßnahmen untersucht wie zum Beispiel Handel und seine mögliche Ausweitung, zum anderen wurden auf globaler Ebene lokale Maßnahmen analysiert, wie „rain water harvesting“ oder Grundwasserentnahme. Aber auch lokal spezifische Maßnahmen wie eine gesetzliche Regulierung der vorhandenen Wasservorräte (Australien, Südafrika) oder Handel in einem Land (China) wurden beleuchtet und konkrete Handlungsvorschläge gemacht. Blaues Wasser ist eine knappe, lebensnotwendige Ressource, dass führt natürlich zu Zielkonflikten. Ein wichtiger Konflikt besteht zwischen der Nutzung des Wassers für die Landwirtschaft und seiner essentiellen Bedeutung für die Umwelt. Dieser ethische Konflikt wurde untersucht und seine Auswirkungen besonders auf arme Menschen identifiziert. Damit Forschung dazu beitragen kann richtige Politikentscheidungen auf den Weg zu bringen, ist es entscheidend zu verstehen welche Implikationen die Forschungsergebnisse haben und welche Schwachstellen modellbasierte Forschung aufweist. Deswegen wurde in diesem Projekt anhand einer wasser-basierten Studie untersucht wie ein effizienter „science-policy dialog“ aussehen könnte.

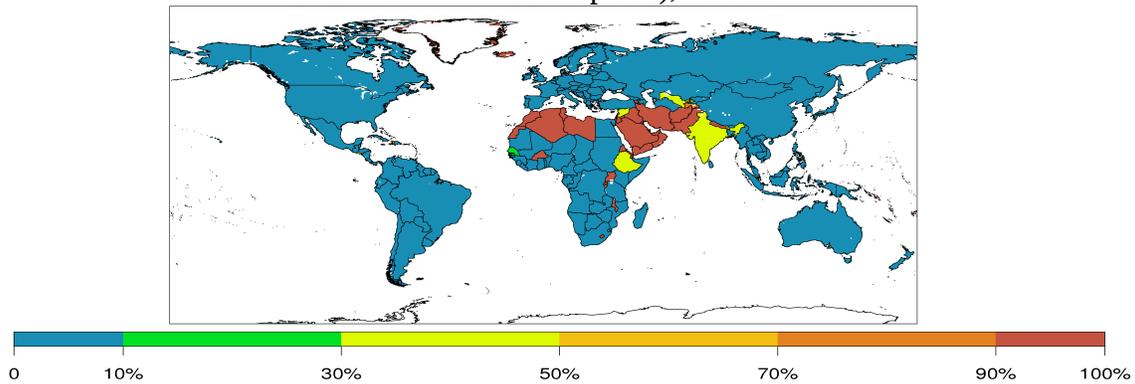
a.) Identifikation von lokalen Brennpunkten der Wasserknappheit

Die Identifikation von Wasserknappheit war ein zentraler Punkt des Projektes, wobei es entscheidend ist Wasserknappheit entsprechend der Fragestellung zu definieren. In Gerten et al. 2011 wurde die Knappheit des Wassers gemessen am grünen und blauen Wasserbedarf zur Produktion von 3000 kcal Nahrung pro Person und Tag. Daraus konnten Schwerpunkte der (mit dem neuartigen Indikator quantifizierten) Wasserknappheit abgeleitet werden, die derzeit insbesondere im Mittleren und Nahen Osten liegen und in Zukunft infolge der Kombination von Klimaänderung (19 Klimamodelle berücksichtigt), CO₂-Anstieg (mit Effekten auf Pflanzenwachstum und Wasserproduktivität) und vor allem Bevölkerungswandel eine Reihe weiterer Länder in Afrika und Asien betreffen wird (vgl. Abb. 1).

a. Heutige Wasserknappheit (<100%) bzw. heutiger Wasserreichtum (>100%) von Ländern, Mittelwert 1971–2000.



b. Wahrscheinlichkeit von Wasserknappheit unter Berücksichtigung von 19 Klimaszenarien (gemäß des SRES A2-Emissionspfads), Zeitraum 2070–2099



c. Wahrscheinlichkeit von Wasserknappheit unter Berücksichtigung der 19 Klimaszenarien und unter zusätzlichem Einbezug des SRES A2r-Bevölkerungsszenarios, Zeitraum 2070–2099

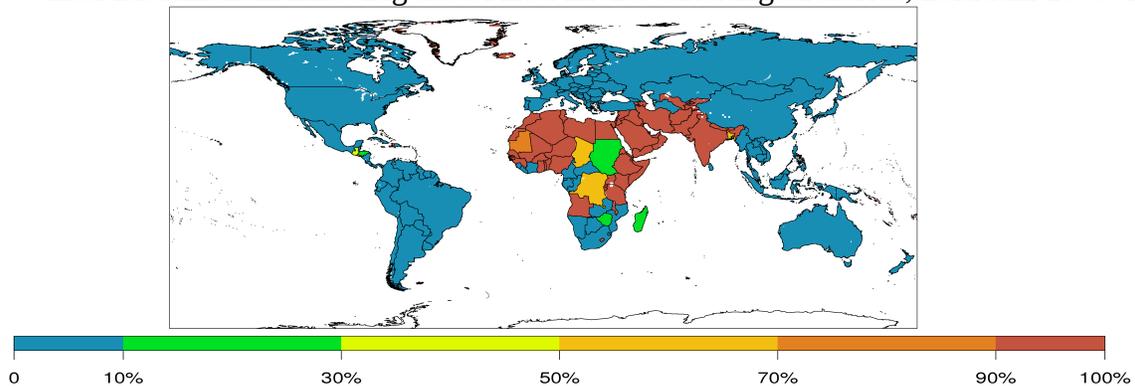
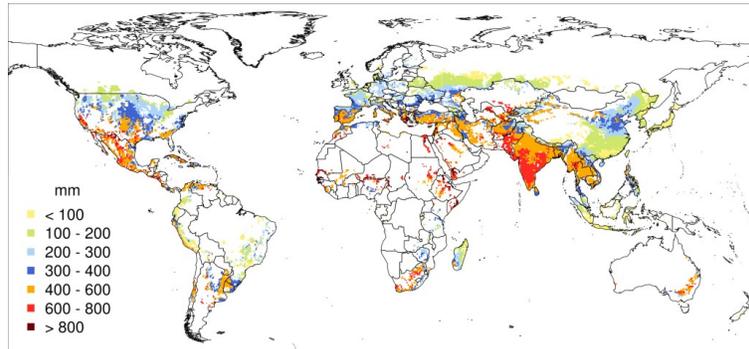


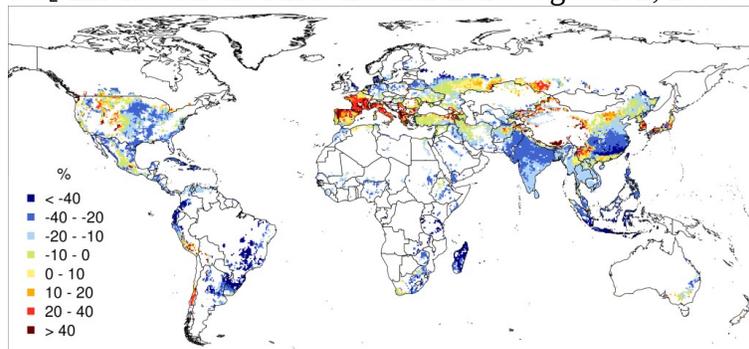
Abbildung 1: LPJmL-simulierte Wasserknappheit von Ländern (d.h. Verhältnis zwischen der Verfügbarkeit grünen und blauen Wassers im 30-Jahresmittel und dem Wasserbedarf zur Produktion von 3000 kcal / Person / Tag mit 20% Anteil fleischlicher Produkte). Virtueller Wasserhandel ist hier nicht berücksichtigt, Quelle: Gerten et al. 2011.

In einer Studie (Konzmann 2011; s. auch Gerten et al. 2011), sind dieselben Klimaszenarien ebenfalls mit dem LPJmL-Modell hinsichtlich der simulierten Änderungen des Bewässerungsbedarfs ausgewertet worden. Es zeigt sich, dass der Bewässerungsbedarf - unter Annahme gleichbleibender Wassernachfrage und unveränderten Bewässerungsflächen – in einigen Gebieten zunehmen, in anderen abnehmen wird, letzteres vor allem aufgrund des positiven Effekts des CO₂-Anstiegs auf die Wasserproduktivität der bewässerten Kulturen (Abb. 2).

a. Mittelwert 1971–2000



b. Zukünftige Änderung (Median von 19 Klimasimulationen) unter Berücksichtigung des direkten CO₂-Effekts auf die landwirtschaftliche Vegetation, 2070–2099



c. dito unter Ausschluss des CO₂-Effekts, Mittelwert 2070–2099

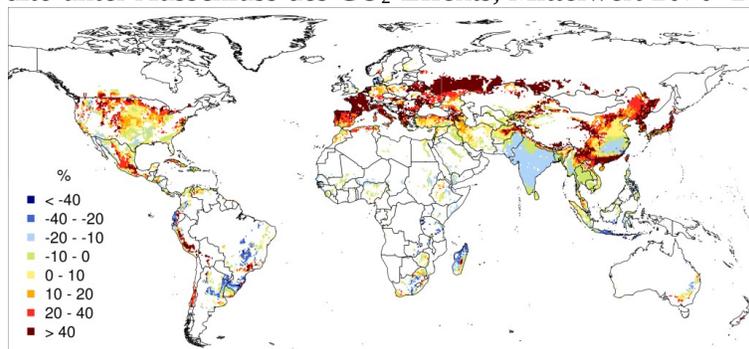


Abbildung 2: Simulierter derzeitiger Bewässerungsbedarf (mm/Jahr) und dessen Änderung (in %) auf heutigen Bewässerungsflächen, Quelle: Konzmann 2011.

Allerdings würde dies erfordern, dass auf allen Flächen einer (im Modell nicht berücksichtigten) Nährstofflimitation des Pflanzenwachstums durch entsprechende Düngung vorgebeugt wird. Simulationen ohne den CO₂-Effekt zeigen hingegen weitaus größere Gebiete mit steigendem Wasserbedarf bzw. insgesamt höheren Bedarf und auch global eine deutliche Zunahme, allerdings bzgl. der räumlichen Muster mit nennenswerten Unterschieden zwischen den verschiedenen Klimamodellen. Ferner betont die Studie, dass selbst wenn der ermittelte Bedarf zurückginge, ein großer Teil durch (z.T. fossiles und in seiner Zugänglichkeit schwer quantifizierbares) Grundwasser gedeckt werden müsste, auch und vor allem in Regionen, die bereits heute die erneuerbaren Grundwasservorräte übernutzen. Zusätzlicher Druck auf die blauen Wasserressourcen – hier nicht simuliert – ist durch das in *Gerten et al. (2011)* berücksichtigte Bevölkerungswachstum und die damit zusammenhängenden Änderungen der Ernährungsgewohnheiten zu erwarten. Die Arbeiten von *Konzmann (2011)*, bzw. *Konzmann et al. (2012)* schließen auch eine Revalidierung des Modells bzgl. der Abschätzung von Bewässerungsbedarf sowie Sensitivitätsanalysen v.a. bzgl. des besonders bedeutsamen CO₂-Effekts ein.

In einer Masterarbeit zum Thema „Global Agricultural Water Availability and Water Infrastructure Measures in East-Africa“ im Rahmen des Projekts wurde die Wassersituation in Ostafrika untersucht und dazu mögliche Maßnahmen diskutiert, wie man in besonders wasserknappen Gebieten Wasserknappheit mildern kann. Dazu wurden Ergebnisse verwendet, die mit einer neuen MAGPIE-Regional-Version für Ostafrika gerechnet wurden. Konkret hat die Arbeit anhand von modellbasierten Wasserschattpreisen besonders wasserknappe Gebiete in Ostafrika identifiziert und dann die Wasserknappheit in diesen Gebieten auf zwei verschiedenen Wegen bewertet. Zum einen wurde ein Bevölkerungsdatensatz so aufbereitet, dass man auf Zellebene vergleichen kann, wo viele Menschen leben und wo das Wasser deswegen besonders nötig ist (Wasserverfügbarkeit pro Kopf, Abb. 3). Zum anderen wurde die die Produktion in den verschiedenen Zellen mit der Wassersituation in diesen Zellen verglichen, um zu sehen wo das Wasser aus landwirtschaftlicher Sicht besonders wichtig ist (Abb. 3).

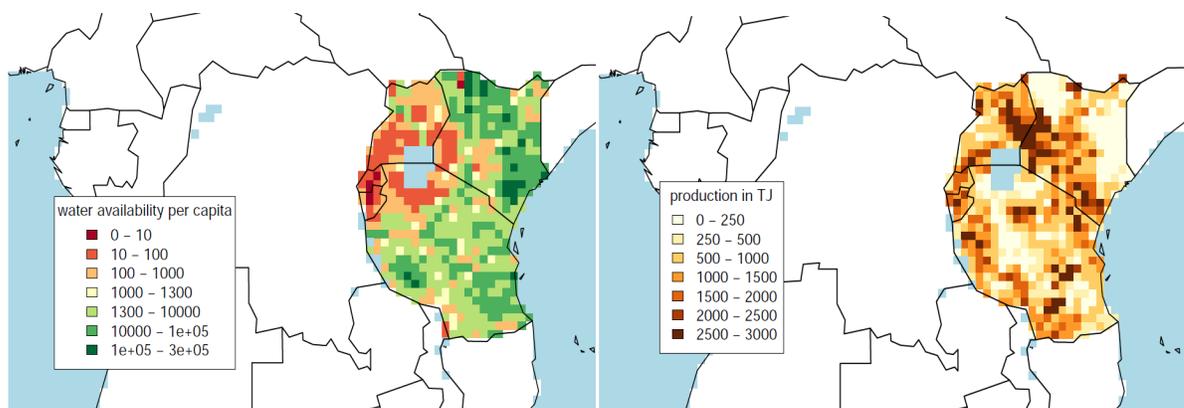


Abbildung 3: Wasserverfügbarkeit pro Kopf in Ostafrika, 2005, zellbasiert, m³/Person (links), Feldfruchtanbau in Ostafrika, 2005, zellbasiert, 10⁶ Joule (rechts). Quelle: Högner 2013.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die, aus Wassersicht, problematischsten Gebiete Ostafrikas in Burundi and Ruanda liegen. Dort gibt es die Gegenden in denen hohe

Wasserschattenpreise, eine hohe Bevölkerungsdichte und eine hohe landwirtschaftliche Produktion aufeinander treffen. Diese Gebiete würden von zusätzlichen Wasserinfrastrukturmaßnahmen besonders profitieren. Diese Problematik wird verstärkt durch die Tatsache, dass gerade in Burundi and Ruanda zwei Länder sind, in denen es keine großen Dämme und kaum Infrastruktur für Bewässerung gibt.

b.) Möglichkeiten des globalen Wassermanagements

Im Projekt wurde ein agro-ökonomische Wasserknappheitsindikator entwickelt (Abb. 4) (Schmitz et al. 2013). Mit diesem Indikator können explizite ökonomische Rahmenbedingungen der Nahrungsmittelproduktion berücksichtigt und zukünftige Einflüsse von Nahrungsmittelproduktion auf die Wasserknappheitssituation untersucht werden. Der Indikator basiert auf Wasserschattenpreisen, die durch die Kopplung des ökonomischen Landnutzungsmodell MAgPIE und des hydrologischen Vegetationsmodells LPJmL simuliert werden. Zusätzlich ist in dieser Studie die dynamische Bewässerungseffizienz in Abhängigkeit von wirtschaftlicher Entwicklung berücksichtigt. Durch die räumlich explizite Darstellung ist es möglich die heterogene Verteilung des Wasserangebots und der Wassernachfrage zu simulieren. Daraus lassen sich regionale Brennpunkte der Wasserknappheit und explizite Wasserschattenpreise ableiten. Für die Analyse haben wir verschiedene Szenarien bezüglich Handelsliberalisierung und einer veränderten Nachfrage nach tierischen Produkten entwickelt. All diese Szenarien führen zu einer veränderten regionalen Produktion und haben damit Auswirkungen auf die Wassernutzung. Die Resultate der Studie zeigen eine verstärkte regionale

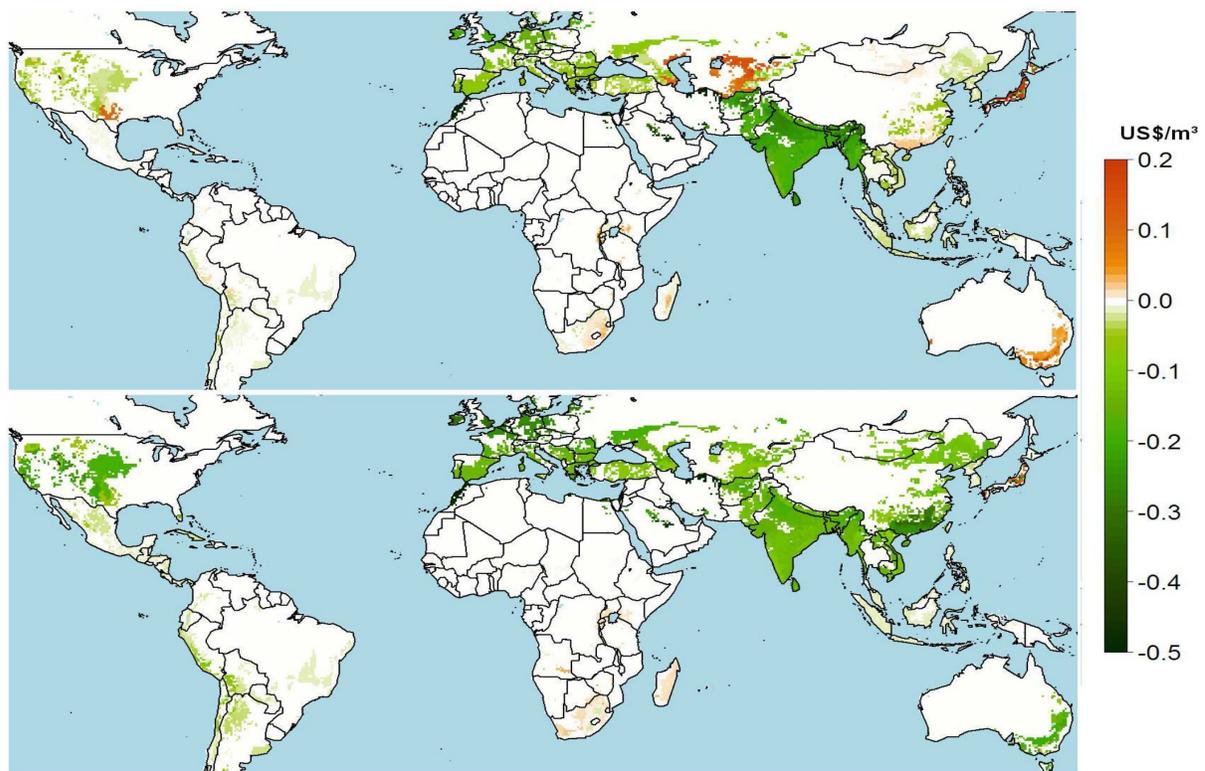


Abbildung 4: Differenz in zellspezifischen Wasserschattenpreisen (0.5°) im Jahr 2045 zwischen dem Referenzszenario und dem Handelsliberalisierungsszenario (oben) und dem Referenzszenario und dem Szenario mit verringertem Fleischkonsum (unten), Quelle: Schmitz et al. 2013.

Wasserknappheit, vor allem in Südasien, dem Mittleren Osten und Nordafrika. Mit steigender Liberalisierung und geringerem Konsum tierischer Kalorien sinken Wasserschattenpreise fast überall mit unterschiedlichen regionalen Auswirkungen. Während in Süd-, Südostasien und dem Mittleren Osten, Wasserknappheit durch Handelsliberalisierung fast verschwindet, profitiert China, die EU, Australien und Japan vor allem durch den geringeren Fleischkonsum.

Durch die Einführung bilateraler Handelsströme in MAGPIE (Biewald et al. 2011) wurde es möglich, den Einfluß von Handel auf die landwirtschaftliche Produktion in der einzelnen Zelle zu bestimmen. Mit Hilfe dieser Information und virtuellen Wassergehalten aus LPJmL konnten wir, im Gegensatz zu bestehenden Studien, Blau- und Grünwassereinsparungen für jede Zelle und jedes landwirtschaftliche Gut bestimmen. Bestehende Studien zu virtuellen Wasserflüssen benutzen die Differenz aus potentielltem Wasserverbrauch des importierten und wirklichen Wasserverbrauch des exportierten Gutes zu Bestimmung der Wassereinsparungen; mit dieser Methode kann man aber nicht die Art das eingesparten Wasser bestimmen (Blau- oder Grünwasser).

Im Rahmen des Projektes wurde auch ein Indikator für die die Signifikanz von handelsbedingten Wassereinsparungen entwickelt (Biewald et al. 2011, 2013). Dazu wurde mit dem Modell MAGPIE berechnet, welche landwirtschaftlichen Produkte exportiert werden und wie viel weniger produziert werden muss, wenn importiert wird. Diese Informationen wurden dann mit zellspezifischen virtuellen Wassergehalten kombiniert um für jede Zelle und jedes landwirtschaftliche Gut die handelsbedingten Wasserveränderungen zu bestimmen. Da es aber nicht vordergründig wichtig ist, wie viel Wasser eingespart wird, sondern ob das Wasser aus wasserknappen Gegenden kommt, wurde diese Information mit dem modellierten Wasserschattenpreis gewichtet. Damit ist es jetzt auf subnationaler Ebene möglich, wasserarme Gegenden, die für den Export produzieren und solche, die importieren, weil sie wasserknapp sind, zu identifizieren (Abb. 5). Die Ergebnisse zeigen, dass Gegenden in den wasserarmen Ländern Ägypten, Marokko und Indien sehr davon profitieren, dass sie virtuelles Wasser importieren können, während Portugal, Spanien und die Türkei virtuelles Wasser von sehr wasserknappen Gegenden exportieren.

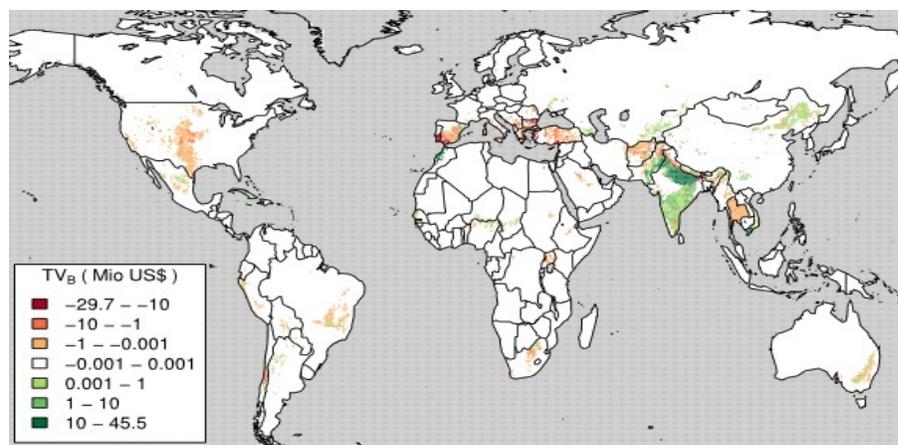


Abbildung 5: Der Indikator zeigt handelsbedingte negative und positive Blauwassereinsparungen und bewertet sie mit einem Wasserknappheitsindikator, grüne Zellen zeigen, dass virtuelles blaues Wasser auf wasserknappen Gebieten importiert wird, orange Zellen zeigen, dass virtuelles blaues Wasser aus wasserknappen Zellen exportiert wird, Quelle: Biewald et al. 2014.

Der internationale Güterhandel ermöglicht den Erwerb von Produkten, die anderweitig produziert worden sind und somit keine lokalen Land- und Wasserressourcen beansprucht haben. Folglich ist der Handel landwirtschaftlicher Güter implizit ein virtueller (d.h. nicht physikalischer) Handel dieser Land- und Wasserressourcen, die für die Produktion der Handelsware verbraucht wurden. Der im Vorbericht erwähnte Artikel zur Berechnung globaler grüner und blauer virtueller Wasserflüsse und der daran gekoppelten Wasserfußabdrücke ist inzwischen publiziert (Fader et al. 2011). Es handelt sich um die erste Studie, die mit einem prozessbasierten Modell (LPJmL) in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung diese Größen auf Grundlage datenbasierter, bilateraler Handelsströme berechnet. Die Hauptergebnisse zeigen, dass die Wasserfußabdrücke der meisten Länder – also der Wasserverbrauch für die im Land konsumierten, aber ggf. in anderen Ländern hergestellten Agrarprodukte – im Wesentlichen auf grünem Wasser (unbewässerter Landwirtschaft) beruhen. Ferner wird gezeigt, dass der virtuelle Wasserimport (also der externe grüne und blaue Wasserfußabdruck) vieler Länder zwar deutlich niedriger ist als der landesinterne Wasserfußabdruck, dass aber die hier berücksichtigten Produkte immerhin für eine globalen Wassereinsparnis von ca. einem Fünftel des derzeitigen globalen Bewässerungsverbrauchs verantwortlich sind. Diese Ergebnisse zeigen in bisher unerreichter Genauigkeit und Prozessdetailliertheit für den Agrarsektor, dass der virtuelle Wasserhandel eine (wenn auch oft nur implizite) bedeutende Maßnahme darstellt, regionale Wasserknappheit auszugleichen. Ferner quantifiziert die Studie erstmals – als Äquivalent zu der globalen Wassereinsparnis – die globale Einsparung von Ackerflächen durch den Handel mit Agrargütern, die mit etwa 5% der heutigen Gesamtackerfläche beziffert wird. Mit anderen Worten: ohne den internationalen Handel wären zusätzlich rund 263 km³ Wasser sowie 41 Mio. Hektar Land für Eigenproduktion notwendig (Abb.6).

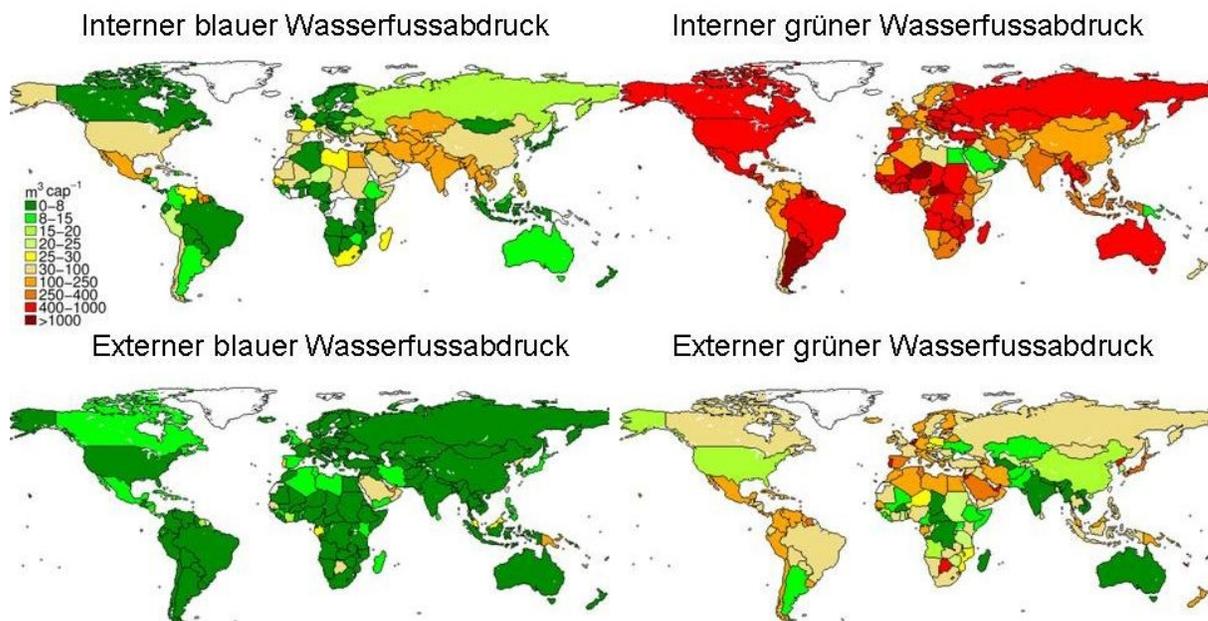


Abbildung 6: Der Wasser-Fußabdruck bestimmt die Menge an Bewässerungs- (blau) and Niederschlagswasser (grün), dass innerhalb und außerhalb des Landes verbraucht wird, damit der Konsum an landwirtschaftlichen Gütern (hier die wichtigsten 11 Feldfrüchte) pro Person gedeckt ist, Quelle: Fader et al. 2011.

In der inzwischen publizierten Studie von Fader et al. (2013) wurde die implizite Abhängigkeit der einzelnen Länder der Erde vom internationalen Handel mit Agrargütern quantifiziert. Dafür wurde mittels der aktuellsten Version des LPJmL-Modells analysiert, ob die importierten Agrargüter im jeweiligen Importland auf heutigen Landwirtschaftsflächen und mit derzeitigen Süßwasservorräten selbst hätten produziert werden. In zusätzlichen Szenarien wurde untersucht, ob regionale Maßnahmen, wie die Ausweitung der Ackerfläche, eine solche Selbstversorgung ermöglichen würde, wobei insbesondere Naturschutzgebiete und schützenswerte Gebiete aus dieser Berechnung herausgenommen wurden. Ferner wurden Szenarien berücksichtigt, in denen die regionale, landwirtschaftliche (Wasser-) Produktivität um verschiedene Stufen erhöht wurde, um den Zugewinn durch solche Produktivitätssteigerungen im Verhältnis zu den globalen Flächen- und Wasserlimitationen zu bilanzieren. Schließlich wurden alle Szenarien auf Grundlage der heutigen Bevölkerung sowie für verschiedene globale Bevölkerungsszenarien für 2050 ausgewertet (Abb. 7).

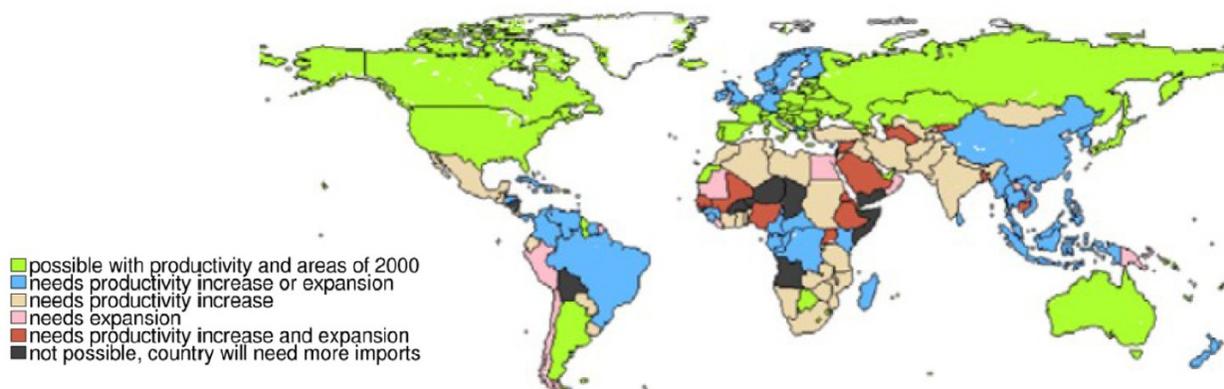


Abbildung 7: Länderspezifische Möglichkeiten zur Selbstversorgung mit Agrargütern um 2050, unter Annahme der jeweiligen heutigen Ernährungszusammensetzung und gemäß dem SRES A2r-Szenario steigender Bevölkerung, Quelle: Fader et al. 2013.

Die Autoren schlussfolgern, dass rund 16% der Weltbevölkerung (v.a. in Afrika, den Anden und dem Mittleren Osten) von externen Land- und Wasserressourcen abhängig sind, sie also vom internationalen Handel mit Nahrungsmitteln profitieren. Ein starkes Bevölkerungsszenario (SRES A2r) suggeriert, dass bis 2050 diese Zahl auf über 5 Milliarden steigen könnte (entsprechend der Hälfte der projizierten Weltbevölkerung) – dies allerdings nur, wenn keine Produktivitätssteigerungen auf den Ackerflächen stattfänden. Die Expansion landwirtschaftlicher Flächen, die Produktivitätssteigerung und letztlich (hier nicht bilanzierte) Veränderungen der Ernährungsweise würden diese Zahl indes deutlich verringern. Erhöhte Abhängigkeiten von externen Land- und Wasserressourcen – also von internationalem Handel – sind den Modellergebnissen zufolge vor allem in Ländern zu erwarten (selbst unter Annahme hoher Produktivitätssteigerungen und ausgedehnter Ackerflächen), deren heutige Kaufkraft verhältnismäßig gering ist.

c.) Möglichkeiten des lokalen Wassermanagements

Ein Bericht mit dem Titel “Regional Potential and Costs of Water Infrastructure Investments in East Africa, North China and South Australia“ beschäftigt sich mit der Literatur zum technischen Wassermanagement in den entsprechenden Regionen (Faul, 2013). Dem Bericht zu Folge ist die Region, die am meisten unter knappem Bewässerungswasser leidet und wo der „yield-gap“ als Folge dieses Wassermangels am größten ist, Ostafrika. Die vorherrschende und traditionelle Methode Bewässerungswasser bereitzustellen ist in dieser Gegend das Sammeln und Speichern von Regenwasser. Investitionen in größere Infrastrukturmaßnahmen, wie das Bauen von Dämmen und Reservoirs, fehlen weitgehend. Im Gegensatz dazu investieren China und Australien hauptsächlich in große Wasserinfrastrukturprojekte, zum Beispiel in riesige Wasserleitungen zwischen wasserarmen und wasserreichen Gebieten und in Entsalzungsanlagen. Für die großflächige Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen sind Entsalzungsanlagen aber nach wie vor zu teuer. Die aktuelle Literatur ist sich einig, dass in jeder der drei betreffenden Regionen eine Kombination von teuren großen und billigen kleinen Wasserinfrastrukturmaßnahmen am effektivsten ist, um den zukünftigen Wasserbedarf in der Landwirtschaft zu decken. Zusätzlich notwendig sind Wassereinsparmaßnahmen und effizientere Bewässerungsmethoden.

In einer Studie zu Water Footprints of Cities sind die Importwege landwirtschaftlicher Produkte und die damit verbundenen Mengen virtuellen Wassers detailliert (mit einer Auflösung von 5 arc Minuten) untersucht worden (Hoff et al. 2013). Dadurch wurde es möglich, ebenso hochaufgelöst die jeweiligen Exportregionen zu identifizieren und die zugehörigen Wasserknappheiten zu bestimmen. Dies ermöglicht zum ersten Mal echte „Footprints“ also lokale Einflüsse von Exporten virtuellen Wassers zu bestimmen. Am Beispiel von Deutschland bzw. Berlin konnte gezeigt werden, dass große Importmengen virtuellen Wassers z.B. mit Kaffee, Kakao oder Soja (als Futtermittel) zum Teil aus wasserknappen Regionen oder aus Regionen in denen die Ernährungssicherheit nicht gewährleistet ist, stammen. Da die Water Footprints sowohl von den Wasserproduktivitäten in den Exportregionen als auch von den Ernährungsgewohnheiten in den Importregionen abhängen, lassen sich aus dieser Studie Empfehlungen für eine nachhaltige Umgestaltung von Produktions- und Konsummustern ableiten.

Da in den nächsten Jahrzehnten die Nachfrage nach Nahrungsmitteln voraussichtlich deutlich steigen wird, ist es entscheidend, die landwirtschaftliche Produktion zu steigern und/oder die vorhandenen Ressourcen (wie Wasser) effizienter einzusetzen. Zu dem Portfolio an Maßnahmen gehört auch die Ausweitung der bewässerten oder der unbewässerten landwirtschaftlichen Fläche. In Ihrer Diplomarbeit hat Anna Schürkman, die potentiellen Kosten und Nutzen von neuen Bewässerungsmaßnahmen zur Bereitstellung blauen Wassers untersucht. In ihrer Arbeit „A global Approach to Estimating the Benefit-Cost Ratio of Water Supply Measures in the Agricultural Sector“ betrachtet sie dazu drei verschiedene Maßnahmen: Sammeln und Speichern von Regenwasser (Rainwater harvesting), Entsalzung und Grundwassernutzung. Die Durchführbarkeit und Kosten wurden für jeden Maßnahme einzeln betrachtet und geschätzt. Die Kosten von „rainwater harvesting“ wurden anhand der Arbeitskosten für das Bauen der Sammelbecken geschätzt, die Entsalzungskosten sind die Minimumkosten für den Bau einer solchen Anlage, Kosten für Grundwasserentnahme sind Literaturbasiert. Der potentielle Nutzen von zusätzlichen Bewässerungsanlagen wurde mit zellbasierten Wasserschatenpreisen bewertet, die zuvor mit dem Modell MAGPIE errechnet wurden. Basierend auf diesen zwei Faktoren wurde für jede Maßnahme das Verhältnis der Kosten zu den Nutzen berechnet. Dies

ermöglicht einen differenzierten Überblick über die Kosteneffizienz der Maßnahmen (Abb.8).

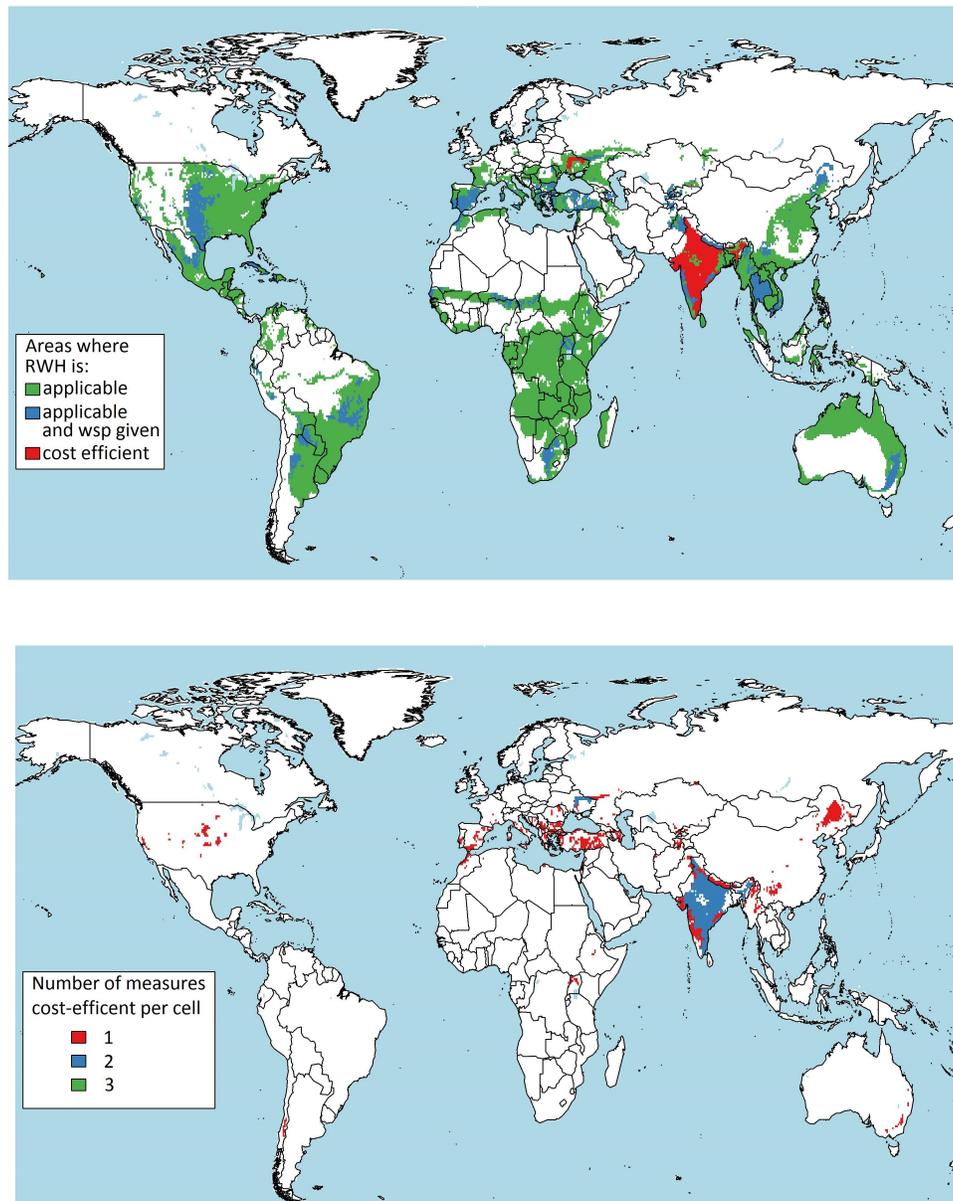


Abbildung 8: Die Möglichkeit (grün), die Notwendigkeit (blau, Wasserknappheit) und Profitabilität (rot) von Regenwassersammelanlagen (links) Kosteneffiziente, globale zusätzliche Bewässerungsmaßnahmen, die Zahl in der Legende gibt an wieviele der drei Maßnahmen kosteneffizient sind, zellbasiert, 2005 (rechts), Quelle: Schürkmann et al. 2013.

Die Ergebnisse zeigen, dass, global gesehen, die Nutzung von Grundwasser die kosteneffizienteste Variante zur Ausweitung der Bewässerung wäre. „Rainwater harvesting“ erweist sich hauptsächlich in Indien als kosteneffizient, wohingegen Meerwasserentsalzung oftmals als Methode zur Bereitstellung von Bewässerungswasser zu teuer ist. Auf 152.5 Mha

der globalen landwirtschaftlichen Fläche scheint es sich den ökonomischen Betrachtungen zufolge zu lohnen, zusätzlich Grundwasser zu nutzen, während auf 61.5 Mha „rainwater harvesting“ die rentablere Alternative ist. Grundwasser wird allerdings schon jetzt in weiten Teilen der Welt zu Bewässerung benutzt, in vielen Gegenden über den erneuerbaren Anteil hinaus. Diese Maßnahme kann deswegen nicht bedingungslos empfohlen werden und erfordert ökonomische, soziale, technische und ethische Abwägungen vor Ort.

Im Rahmen seiner Promotion hat Markus Bonsch untersucht, wie sich der Schutz von Wasserflußsystemen auf die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Fläche auswirkt. Dazu hat er 3 verschiedene, literaturbasierte ökologischen Minimalanforderungen an Flußsysteme im Wasser- und Landnutzungsmodell MAGPIE implementiert und untersucht wie sich so ein zusätzlicher Schutz auf die landwirtschaftliche Nutzung auswirkt (Abb. 9). Er hat herausgefunden, dass Wasser aus natürlichen Flußsystemen an vielen Orten der Welt übernutzt wird, besonders in Indien, den USA, China, Afrika und Südamerika. Wenn diese Flußsysteme so geschützt werden, dass das Wasser nicht mehr übernutzt werden kann, würden 560-820 km³ der bewässerten Landwirtschaft nicht mehr zu Verfügung stehen, was zu einem massiven Rückgang der bewässerten Landwirtschaft führt. Um trotzdem die Ernährungssicherheit für die globale Bevölkerung zu gewährleisten muss auf der einen Seite die landwirtschaftliche Fläche ausgedehnt werden und auf der anderen Seite in Forschung und Entwicklung investiert werden um eine Erhöhung des Ertrages zu gewährleisten.

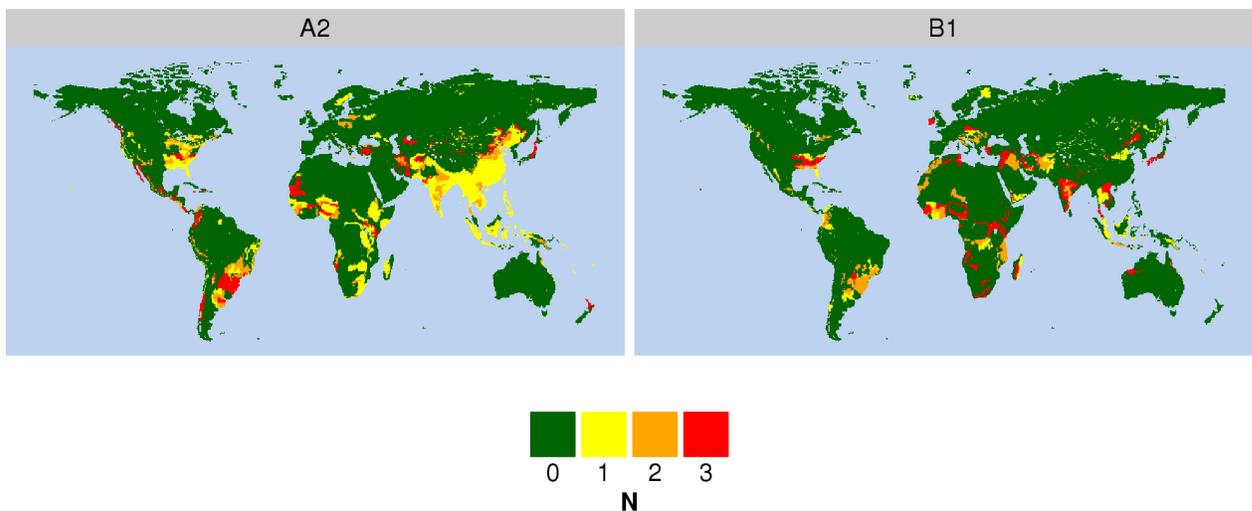


Abbildung 9: Die Karte zeigt wo der Schutz der Flußsysteme zur Ausdehnung der Ackerlandfläche führt. Die Legende zeigt wieviele der literaturbasierten ökologischen Minimalanforderungen verletzt werden, (zellbasiert, 2045), Quelle: Bonsch et al. 2013.

Fallstudie Australien

Australien ist ein Land mit extremen Klimabedingungen. Um den daraus folgenden häufigen Wasserengpässen Rechnung zu tragen, wurden und werden von der Regierung Maßnahmen eingeführt, um die knappen Wasserressourcen nachhaltig zu nutzen. In diesem Projekt wurden Auswirkungen von drei verschiedenen Wasserregulierungsmaßnahmen auf die bewässerte,

landwirtschaftliche Produktion im Murray-Darling Basin mithilfe des eigens dafür entwickelten WatIM-Modells untersucht (Burdack 2013). Das WatIM-Modell ist ein Mehrmarktmodell welches bewässerte Feldfrüchte hinsichtlich der Intensität des Bewässerungswasserverbrauchs einstuft und diese separat voneinander betrachtet. Extremwetterlagen kommen in Australien häufig vor, weshalb eine Differenzierung zwischen trockenen und feuchten Jahren in den Szenario-Analysen notwendig ist.

Mittels der Szenario-Analysen, werden die Auswirkungen der vier ausgewählten Wasserregulierungsmaßnahmen (Strategien der Wasserverteilungspläne (water sharing plans), des Wasserrechtehandels mit Rückkaufstrategien der Regierung (buyback program) sowie zwei Wasserbepreisungsstrategien (Kostendeckungsansatz und Besteuerung) auf die landwirtschaftliche Produktion im Murray-Darling Basin untersucht. Dieser quantitative Forschungsansatz gibt Aufschlüsse über mögliche Anbaukulturen unter Einführung diverser Wasserregulierungsmaßnahmen.

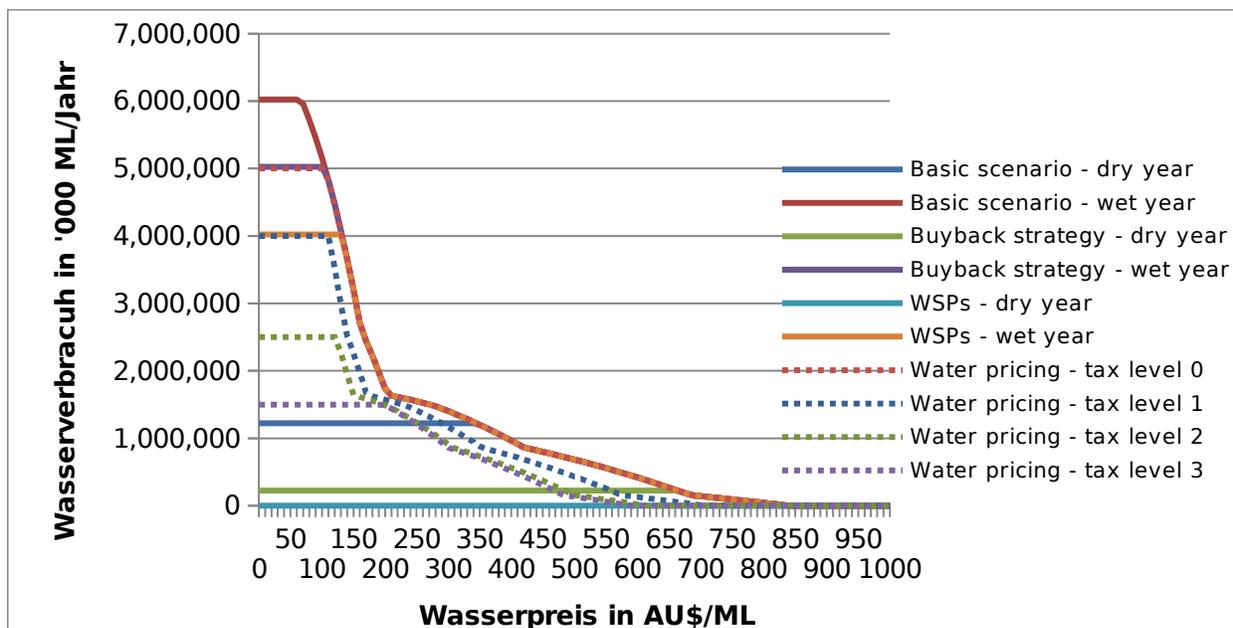


Abbildung 10: Auswirkungen der Einführung von Wasserregulierungsstrategien auf den nachhaltigen Gesamtwasserverbrauch bei diversen Wasserpreisen, Quelle: Burdack 2013.

Auch wenn die vier ausgewählten Wasserregulierungsmaßnahmen verschiedene Wirkungsmechanismen haben, sind die Effekte bezüglich der Veränderung der landwirtschaftlichen Produktion und Einsparung von Bewässerungswasser ähnlich. In den Szenarien sind alle vier Maßnahmen wirkungsvoll, zeigen also die gewünschten Veränderungen hin zu einem nachhaltigen Level an Wasserverbrauch mit der Folge, dass eine Umverteilung des Wassers erfolgt. Diese Umverteilung geschieht von weniger wasserproduktiven Feldfrüchten hin zu wasserproduktiveren Feldfrüchten. Der Grad der Auswirkungen der Wasserregulierungsmaßnahmen hängt von der Intensität der Veränderung ab. Mit der Einführung des Wasserrechtehandels mit Rückkaufstrategien der Regierung (buyback program) sind vor allem während Trockenzeiten die größten Einschnitte erkennbar: so würde bei einem Wegfall von 1.000 GL keine landwirtschaftliche Bewässerung während Trockenzeiten mehr möglich sein mit der Folge, dass auch mehrjährige Pflanzen wie z.B. Wein oder diverse Früchte nicht mehr erhalten werden könnten. Während feuchten Jahren wäre die Einführung von

Wasserverteilungsplänen (water sharing plans) am gravierendsten, da damit statt 6.024 GL nur 4.024 GL Bewässerungswasser zur Verfügung stehen würde und entsprechend weniger Feldfrüchte mit intensivem Bewässerungsbedarf angebaut werden könnten. Wie unterschiedlich der nachhaltige Gesamtwasserverbrauch in den Szenarien ausfällt zeigt Abb. 10.

Prinzipiell werden Feldfrüchte mit höheren Wasserproduktivitäten und niedrigerem Wasserverbrauch bevorzugt nach Einführung der Wasserregulierungsmaßnahmen angebaut. Auch wenn die Wasserpreise sehr hoch sind, können diese Feldfrüchte noch angebaut werden. Durch die Einführung der Wasserregulierungsmaßnahmen verschiebt sich auch die Wasserpreisgrenze, von der an keine Produktion mehr stattfindet, weil das Wasser zu teuer wird. Je größer und einschneidender die Veränderung der Wasserregulierungsmaßnahmen ist, desto niedriger ist die Wasserpreisgrenze.

Weiterhin sind in den Ergebnissen Unterschiede zwischen einjährigen und mehrjährigen Pflanzen zu erkennen. Diese Unterschiede stehen in engem Zusammenhang mit dem Wasserverbrauch und der Wasserproduktivität. So haben die Produktionen von den einjährigen Feldfrüchten Reis und Baumwolle die größten Produktionseinbußen zu verzeichnen, sind aber auch zeitgleich die Feldfrüchte mit der geringsten Wasserproduktivität bei gleichzeitig hohem Wasserverbrauch.

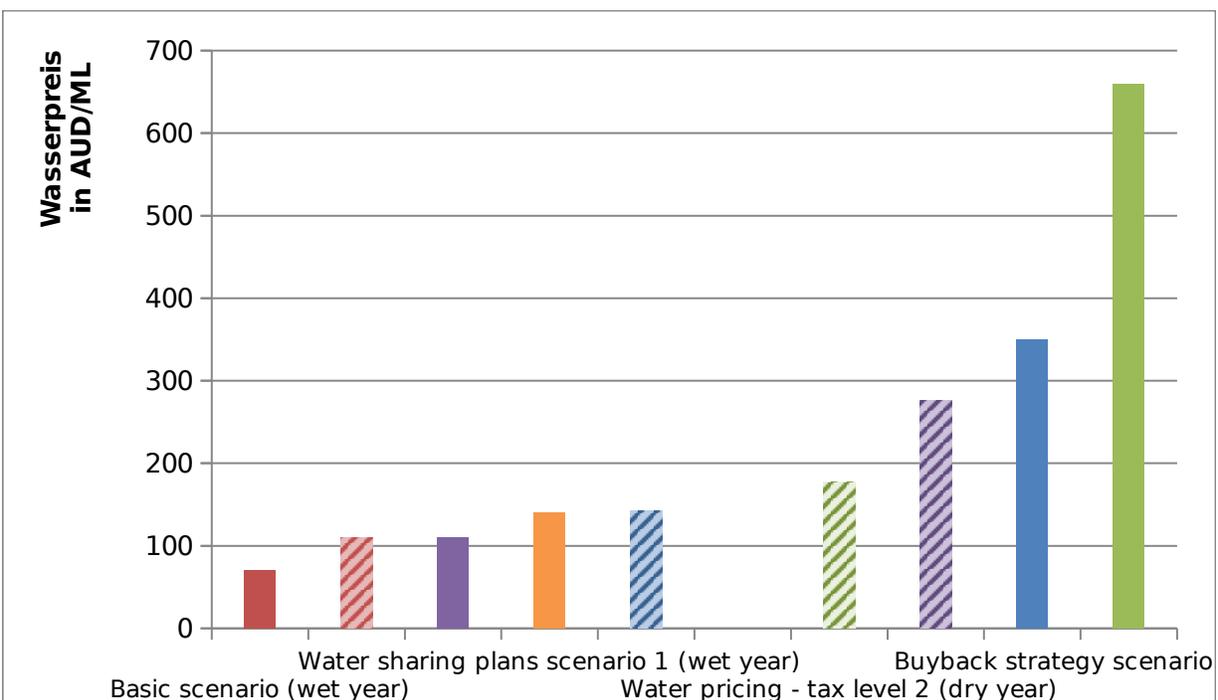


Abbildung 11: Minimaler nachhaltiger Wasserpreis, Quelle: Burdack 2013.

Weiterhin kann beobachtet werden, dass die Reaktion der Wassernachfrage auf die Einführung von Wasserregulierungsmaßnahmen und auf eine Erhöhung des Wasserpreises größer bei einjährigen als bei mehrjährigen Pflanzen sind. Grund dafür ist die größere Flexibilität bei der Entscheidung, ob die einjährige Feldfrucht angebaut wird und entsprechend viel Wasser konsumiert oder nicht. Mehrjährige Pflanzen, die teilweise mehrere Jahre benötigen, um die maximale Ertragsleistung zu erreichen und während Trockenzeiten auf zusätzliches

Bewässerungswasser angewiesen sind, sind weniger flexibel was die Entscheidung für den Wasserkonsum angeht. Die Reaktion der mehrjährigen Pflanzen war demnach geringer, da die Wassernachfrage weniger flexibel ist.

Die Szenarien unterliegen einem Wasserreduzierungsmechanismus auf ein nachhaltiges Level, falls der Wasserkonsum (bei einer gewinnmaximierenden Produktion) das für agrarwirtschaftliche Bewässerung zur Verfügung stehende Wasser übersteigt. Da der Wasserpreis in enger Verbindung zum Wasserverbrauch steht, müsste der Wasserpreis ein entsprechendes Level erreichen, um den Wasserverbrauch auf ein nachhaltiges Niveau „zu drosseln“. Der minimale, nachhaltige Wasserpreis entspricht diesem nachhaltigen Level und unterscheidet sich zum Teil erheblich in den jeweiligen Szenarien (Abb. 11).

Hieran wird ersichtlich, dass nicht-preisliche Mengenbegrenzungen des Wasserverbrauchs immer auch einen entsprechenden Wasserpreis berücksichtigen müssen.

Großer Vorteil der Untersuchungen mit dem WatIM-Model ist, dass diverse Wasserregulierungsmaßnahmen im gleichen Simulationsumfeld untersucht wurden und somit Ergebnisse direkt miteinander vergleich- und kombinierbar sind. Solch eine vergleichende Studie gab es vorher noch nicht für das Flusseinzugsgebiet des Murray-Darling Basins. Neben den tatsächlich für dieses Gebiet vorgesehenen Wasserregulierungsmaßnahmen des Wasserrechtshandels mit Rückkaufstrategien der Regierung (buyback program) und der Wasserverteilungspläne (water sharing plans), wurden auch fiktiv mögliche Wasserbepreisungsmaßnahmen (water pricing) betrachtet. In dem Kostendeckungsansatz wurde der Wasserpreis den Wasserproduzentenkosten gleichgesetzt. Somit würden die hohen Subventionen, die vorher bis zu einem Drittel der Kosten übernahmen, wegfallen. Folglich müsste der Wasserverbraucher die weggefallenen Subventionen durch einen bis zu 50%-igen Preisanstieg für Wasser decken. Die größten Folgen wurden in wasserknappen Jahren verzeichnet, wobei auch wieder weniger wasserproduktive Feldfrüchte von Anbaurückgängen betroffen waren.

Die zweite Wasserbepreisungsmaßnahme ist die Einführung einer Umweltkompensationssteuer (*environment compensating irrigation tax*), die das Ziel hat, externe Kosten in den Wasserpreis zu internalisieren und die Rate der Wasserproduktivität zu erhöhen sowie Umweltschäden zu minimieren. Die degressive Steuer steigt mit sinkender Wasserverfügbarkeit. Dies ist ein marktnaher Ansatz, der eine Motivation für Bauern für ein wassersparenden Umgang mit der knappen Ressource darstellt. Die WatIM-Model Ergebnisse zeigen, dass je nach Steuersatz und Wasserverfügbarkeit unterschiedliche Reaktionen der landwirtschaftlichen Produktion auftreten. Je höher die zweckgebundene Umweltkompensationssteuer ist und je niedriger die verfügbaren Wassermengen sind, desto stärker ist der Produktionsrückgang der wasserunproduktiveren Feldfrüchte. Diese Pigousteuer ist folglich ein wirksames Instrument, um Umweltschäden, die wegen Wasserübernutzungen in Trockenzeiten in der Vergangenheit vorkamen, vorzubeugen und ökonomische Anreize für eine wassereffiziente Verwendung der knappen Ressource zu bereitzustellen.

Fallstudie China

China ist nicht nur ein Land mit einer Bevölkerung von mehr als 1,3 Mrd. Menschen und einer enorm schnell wachsenden Wirtschaft, es ist auch gekennzeichnet von extremer, lokaler Wasserknappheit. Diese Wasserknappheit stellt ein Problem dar, wenn es um die landwirtschaftliche Produktion und die Ernährung der Bevölkerung geht. Mit einer regionalisierten Version des Modells MAgPIE wurde der Handel von virtuellem Wasser in

landwirtschaftlichen Gütern innerhalb Chinas untersucht. Mit einer speziell für dieses Problem entwickelten Methode konnten wir, basierend auf zell- und pflanzenspezifischen Wasserproduktivitäten, erstmals blaue und grüne virtuelle Wasserströme berechnen. Ergebnisse dieser Berechnung zeigen, dass der wasserreiche Norden Chinas landwirtschaftliche Produkte mit einem virtuellen Wasser-Netto-Volumen von 20.18 km³ aus dem wasserarmen Süden importiert. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit der Literatur und gut zu erklären, wenn man bedenkt, dass im Süden viele Menschen wohnen und deswegen das Land dort knapp und teuer ist, während im Norden Platz für Landwirtschaft ist. Dabei konnte gezeigt werden, dass das virtuelle Wasser überwiegend vom wasserarmen Norden in den wasserreichen Süden fließt, wobei der Handel mit virtuellem blauem Wasser nahezu ausgeglichen ist. Auf der anderen Seite konnte mit Hilfe von MAgPIE auch gezeigt werden, dass im wasserreichen Süden das Land knapp und teuer ist (Abb.12).

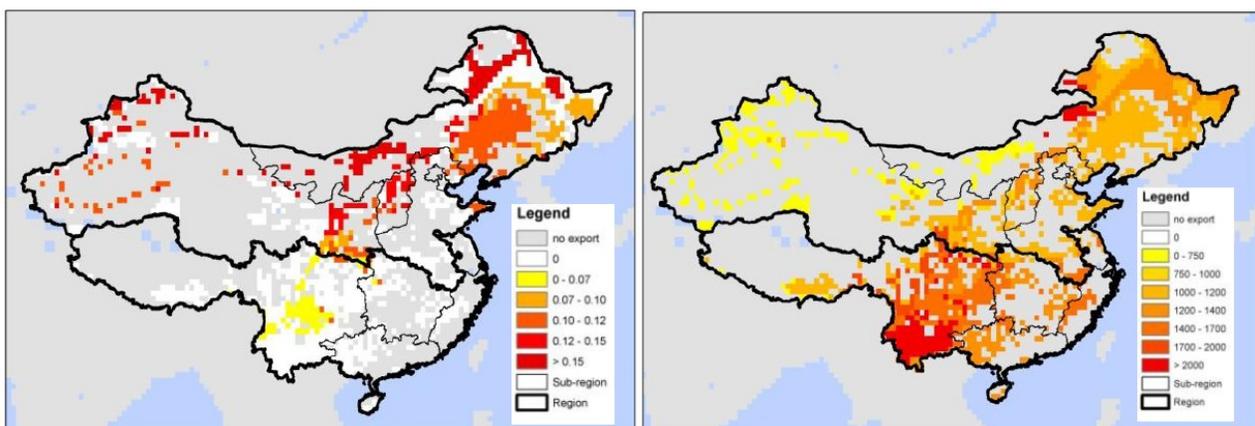


Abbildung 12: Wasserschatenpreis der exportierenden Zellen (US\$/m³, links) und Landschatenpreis der exportierenden Zellen (US\$/ha, rechts) in China, Quelle: Rothe 2011.

d.) Ethische Vorüberlegungen zum Wassermanagement

Um die Ergebnisse von Wasserknappheit und möglichen Wassermanagementfragen im Kontext von ethischen Fragestellung zu reflektieren war es wichtig folgende Leitfragen zu beantworten: (A) Was sind die Ergebnisse und Argumentationen der bisherigen Literatur zu Wasserethik? (B) Was sind ein adäquater Gegenstandsbereich und vor allem eine angemessene Methodik für ethische Überlegungen zum Wassermanagement? (C) Welche allgemeineren ethischen Anforderungen an und Leitlinien für Wassermanagement lassen sich mit einem solchen Ansatz begründen?

Der Reviewartikel zu wasserethischer Literatur (Kowarsch und Ismar, 2013) kam im Wesentlichen zu folgenden Ergebnissen: (1) Die gerade im letzten Jahrzehnt sehr zahlreichen Publikationen zu Wasserethik behandeln jeweils sehr verschiedene Einzelaspekte, die allesamt eine deutlich stärkere Rolle spielen sollten bei Überlegungen zu integriertem Wassermanagement. (2) Zu bemängeln ist jedoch, dass wasserethische Publikationen meist entweder (a) zu wenig ethische Reflexion beinhalten bezüglich ihrer konkreten normativen Aussagen und Leitlinien, oder aber (b) sehr von starren, abstrakten ethischen Prinzipien geleitet sind. Letzteres hat zur Folge, dass es sowohl an einfacher Anwendbarkeit auf spezifische

Kontexte mangelt es auch am Einbezug sämtlicher gesellschaftlich wichtiger wasserethischer Aspekte. Eine Vielzahl der wasserethischen Veröffentlichungen wird folglich aus unserer Sicht den komplexen ethischen Herausforderungen des Wassermanagements nicht hinreichend gerecht. (3) Als Ausblick wird vorgeschlagen, diese Einseitigkeit und teilweise ungenügende ethische Reflexion dadurch zu überwinden, dem pragmatistischen Wasserethikkonzept zu folgen.

Wesentliches Ergebnis bezüglich eines adäquaten Rahmens für wasserethische Studien ist die Entwicklung einer neuen, auf John Deweys und Hilary Putnams Philosophie basierender Methodik zur ethischen Bewertung von Wassermanagementoptionen: Statt auf allgemeine, starre ethische Prinzipien zu verweisen (a priori Argumentation) oder rein situative, bloß diskursiv-formale oder quasi relativistische Wasserethiken zu vertreten, setzt die hier gewählte pragmatistische Methodologie darauf, dass alternative Ziele (inklusive ethischer Werte und Prinzipien) des Wassermanagements im Lichte der vielfältigen praktischen Konsequenzen ihrer Mittel evaluiert werden. Wenn das für die Realisierung eines bestimmten Ziels notwendige Mittel starke Nebenwirkungen aufweist, so ist das Ziel (und damit eventuell die ethischen Wertvorstellungen) zu revidieren. Wesentlich für Wasserethik wäre also die Exploration von alternativen gangbaren Pfaden des Wassermanagements mit all ihren jeweiligen ethischen und damit gesellschaftlich relevanten praktischen Implikationen. Dabei geht es um eine umfassende Analyse der ökonomischen, sozialen, kulturellen, politischen, ökologischen und anderen Implikationen von Wassergovernanceoptionen. Mit einer solchen Methodik sind wasserethische Überlegungen zwar meist kontextspezifisch und stets fallibel (d.h., absolute ethische Wahrheiten gibt es demnach nicht), jedoch können sie in einem bestimmten Sinne und unter Umständen sehr wohl objektiv und verlässlich (d.h., in vielen Fällen bezüglich der praktischen Konsequenzen bewährt) sein. Durch die Entwicklung eines solchen umfassenden, weit reichenden ethischen Frameworks, das wohl nicht nur philosophisch, sondern auch für Praktiker/-innen des Wassermanagements attraktiv sein könnte, unterscheidet dieses Projekt von vielen anderen wasserethischen Studien.

Basierend auf diesem methodischen Ansatz wurde in verschiedenen Publikationen Stellung genommen zu konkreteren ethischen Fragen des Wassermanagements. Zum Beispiel wurde argumentiert, dass Wasserbepreisung unter bestimmten Umständen durchaus sinnvoll sein kann und nicht prinzipiell im Widerspruch zu einem Menschenrecht auf Wasser stehen muss (Kowarsch 2011). Als ein grundsätzlicherer moralischer Standpunkt, von dem aus konkretere wasserethische Fragen beleuchtet werden können, wurde für eine bestimmte allgemeine Gerechtigkeitsvorstellung argumentiert: das „Dreieck der Gerechtigkeit“ (Kowarsch und Gösele 2012). Sie gründet in einer Interpretation der weithin anerkannten Menschenrechte und besagt, dass die drei wesentlichen Dimensionen der Gerechtigkeit, die es gleichwertig zu beachten gilt (global und generationenübergreifend), folgende sind: (1) Grundbedürfnisbefriedigung, (2) ausreichende Chancen, (3) faire Verfahren. Die Forderung nach ausreichenden Chancen inkludiert dabei (a) den Zugang zu sozio-ökonomischen, politischen und kulturellen Prozessen und Ämtern, (b) Zugang zu Bildungsmöglichkeiten sowie (c) den Zugang zu für das Leben vieler Menschen wichtigen natürlichen Ressourcen, inklusive sauberes Wasser. Der menschenrechtliche Diskurs der vergangenen Jahre zeigte, dass die Befolgung dieser Leitlinien zu einer Welt führen könnte, die für sehr viele Menschen als moralisch akzeptabel empfunden wird. Diese Gerechtigkeitskonzeption stellt jedoch wiederum kein absolut gültiges Werkzeug zur moralphilosophischen a priori Argumentation dar, sondern vielmehr kumulierte Erfahrungen vieler Menschen. Zukunftsszenarien möglicher Wassernutzungen müssen gemäß diesem Gerechtigkeitsstandpunkt insbesondere auf ihre Implikationen für die ganz Armen sowie für die

Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen hin kritisch geprüft werden. In einer weiteren Projektphase ging es um die ethische und wissenschaftstheoretische Begleitung der Szenarienbildung im Projekt. Anhand des Beispiels einer Wassermanagementstudie mit dem Agrarsektormodell MAGPIE wurde in einem Artikel (Biewald/Kowarsch et al. 2013) konkret gezeigt, dass in solchen Modellen und den damit entwickelten Szenarien viele Werturteile verborgen sein können. Dies kann starke Implikationen für die Interpretation der Modellergebnisse haben.

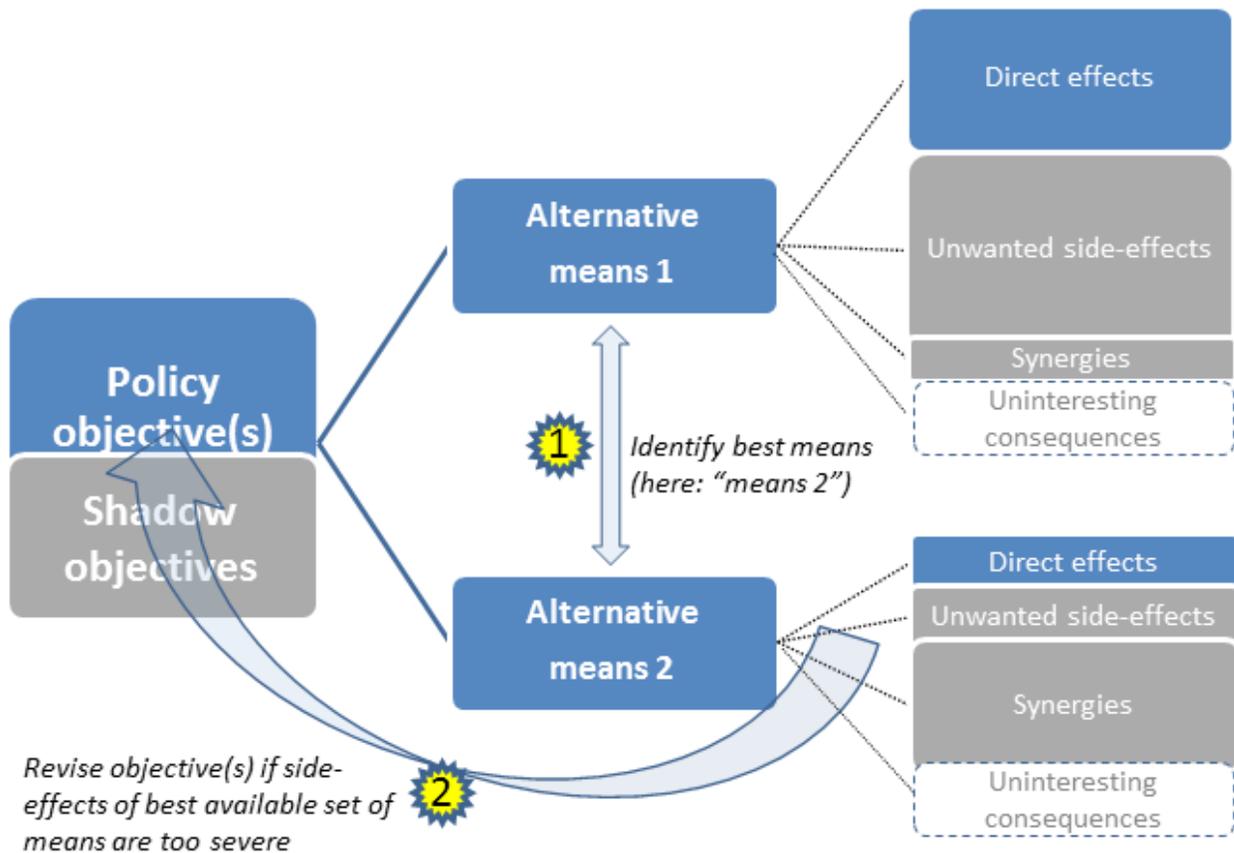


Abbildung 13: Dieses Schaubild zeigt schematisch, wie Wassermanagementstudien konstruktiv zur Bewertung alternativer Ziele und ethischer Wertvorstellungen des Wassermanagements beitragen können. Entscheidend ist die Identifikation und Evaluation von möglichen praktischen Konsequenzen (direkte Effekte, unerwünschte Nebenwirkungen sowie Synergieeffekte) der Mittel zur Erreichung der Wassermanagementziele. Beim Vergleich solcher Konsequenzen, die über quantitative Kosten-Nutzen-Rechnungen hinausgehen und daher interdisziplinäre Kooperation erfordern, erscheinen bestimmte Mittel (z.B. Wasserbepreisung in einer bestimmten Weise) besser als andere. Jedoch können die Nebenwirkungen selbst der besten verfügbaren Mittel manchmal so gravierend sein, dass sogar eine Revision der ursprünglichen Ziele nötig ist, Quelle: Biewald/Kowarsch et al. 2013.

Die Studie zeigte, dass ein konstruktiver und für Politik und Öffentlichkeit fruchtbarer sowie demokratisch legitimer Umgang mit solchen Werturteilen in wissenschaftlichen Studien möglich ist, wenn zwei Dinge beachtet werden. Erstens ist eine hinreichende Transparenz von

Werturteilen nötig. Dafür benötigen Modellierer jedoch zunächst einmal ein Framework, mit Hilfe dessen sie überhaupt solche Werturteile in ihren Studien entdecken können, da nicht alle Werturteile offensichtlich sind. Die oben beschriebene wasserethische Methodologie wurde genutzt, um eine Kategorisierung von möglichen Werturteilen in solchen Studien zu entwickeln, die hilfreich für deren Identifikation ist. Zweitens ist es jedoch, wie in dem Artikel argumentiert wurde, nicht prinzipiell verwerflich, wenn Studien Werturteile enthalten. Vielmehr können Studien, wenn sie die oben geschilderte Methodik der Exploration verschiedener alternativer Wertvorstellungen im Wassermanagement und derer konkreten, praktischen Implikationen befolgen, konstruktiv zur besseren Lösbarkeit von Werte- und Zielkonflikten im Wassermanagement beitragen (Abb.13).

e.) Globale ethische Aspekte des Wassermanagements

Im Rahmen dieses Projektes wurde untersucht wie sich verschiedene lokale Umweltmaßnahmen in der Zukunft auf die Wasserknappheit, gemessen in Wasserschattenpreisen, auswirken wird (*Biewald et al. 2013*). Zusätzlich wurde ein Indikator entwickelt, mit dem gemessen werden kann, wie sich die veränderte Wasserverfügbarkeit besonders auf arme Menschen auswirken. Diese Studie war motiviert durch den ethischen Zielkonflikt, der dadurch entsteht, dass besonders die Gesellschaften in den entwickelten Ländern Umweltschutzmaßnahmen befürworten und mit finanziellen Mitteln unterstützen, dass aber durchaus Arme in den ärmsten Ländern der Welt von diesen Maßnahmen negativ betroffen sind. Deswegen ist es nötig eventuelle negative Auswirkungen solcher Maßnahmen zu identifizieren und Lösungen zu diskutieren. Die Umweltmaßnahmen, die wir hier untersuchen, betreffen den Schutz der Flüsse und der Wälder. Für den Wasserschutz haben wir angenommen, dass bestimmte Wassermengen im Fluss verbleiben müssen, um das mit dem Fluss verbundene Ökosystem zu schützen. Für den Waldschutz haben wir ein Szenario entwickelt in welchem wir die intakten und unbewirtschafteten Wälder vor landwirtschaftlicher Nutzung schützen. Die Umweltmaßnahmen, die wir hier untersuchen, betreffen den Schutz der Flüsse und der Wälder. Für den Wasserschutz haben wir angenommen, dass bestimmte Wassermengen im Fluss verbleiben müssen, um das mit dem Fluss verbundene Ökosystem zu schützen. Für den Waldschutz haben wir ein Szenario entwickelt in welchem wir die intakten und unbewirtschafteten Wälder vor landwirtschaftlicher Nutzung schützen.

Weitergehend zu der Frage wie sich Wasser- und Waldschutz auf die Wasserknappheit auswirken, ist es entscheidend zu wissen ob und wieviel arme Menschen von diesen Maßnahmen betroffen sind. Dazu haben wir einen Datensatz mit zellbasierter Bevölkerung vom „Center for International Earth Science Information Network“ (CIESIN) kombiniert mit dem Hungerindex des „International Food Policy Research Institutes“ (IFPRI). Diesen Indikator haben wir dann verbunden mit den Ergebnissen der Wasserschattenpreisszenarien. In diesem Kontext erhalten wir nicht nur Information darüber welche Menschen von den Umweltschutzmaßnahmen getroffen werden (nämlich die besonders Armen), sondern auch wieviel Arme betroffen sind (Abb. 14).

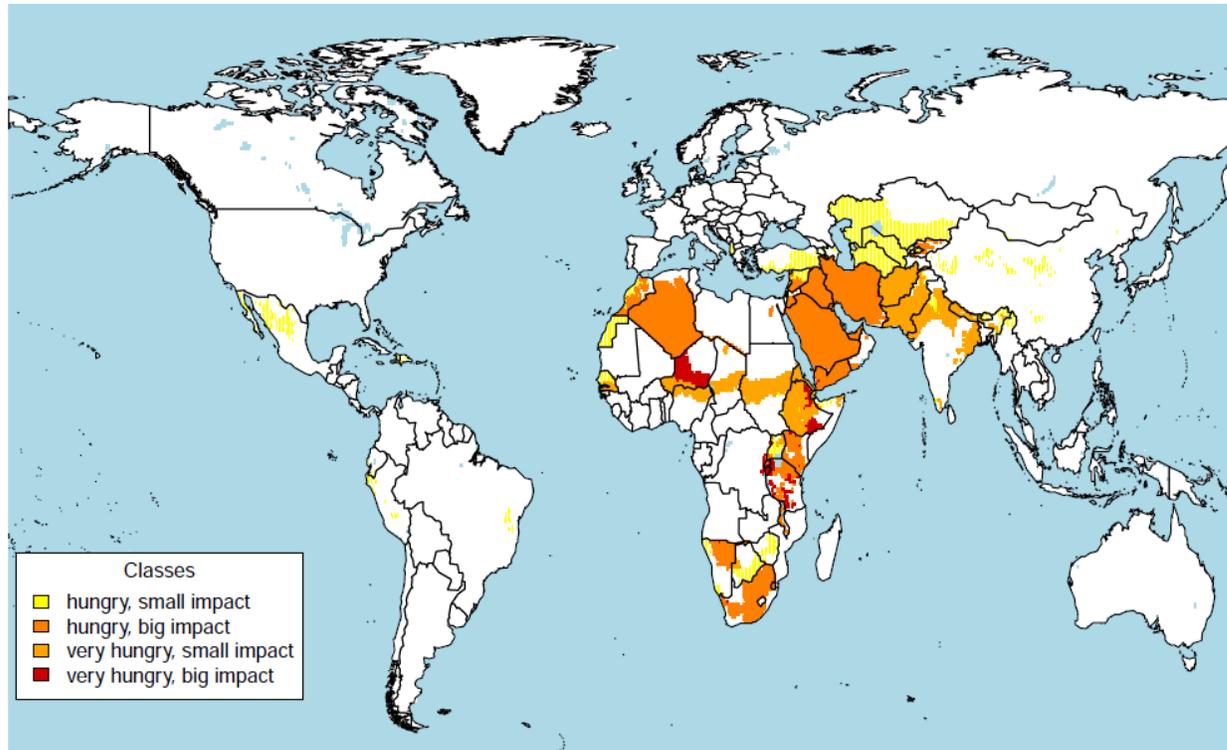


Abbildung 14: Globale Auswirkungen von Wasser- und Waldschutz auf arme Menschen. Die Veränderung des Wasserpreises in Folge von zwei Umweltschutzmaßnahmen kombiniert mit einem Armutsindikator. Der Armutsindikator kombiniert den Global Hunger Index mit einem Bevölkerungsdatensatz, Quelle: Biewald et al. 2013.

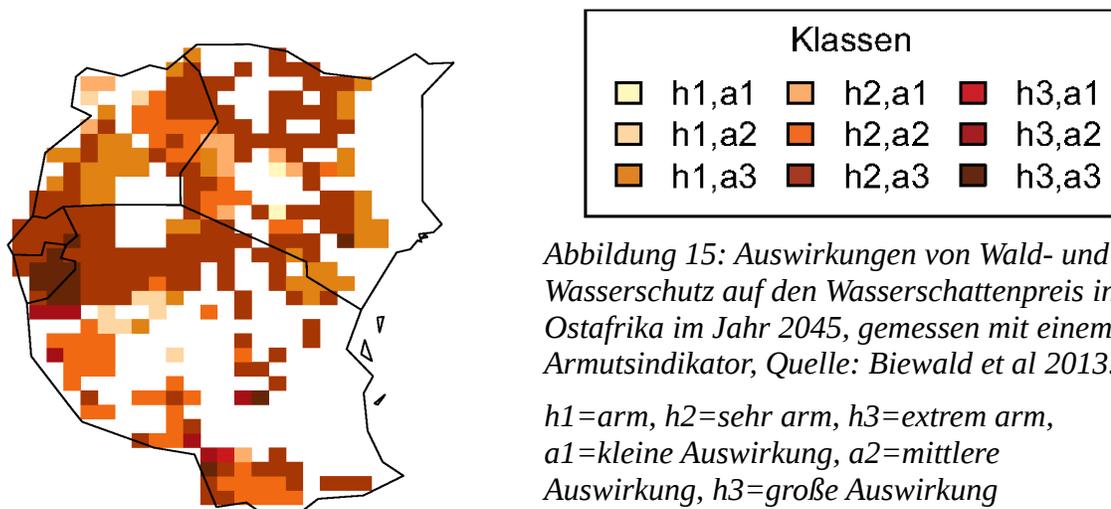
f.) Lokale ethische Aspekte des Wassermanagements

Fallstudie Ostafrika

In einigen Regionen Ostafrikas wirkt sich Wasserknappheit oft besonders gravierend auf die Bevölkerung in ruralen Gegenden aus, weil es hier oft nicht möglich ist, teure Technik einzusetzen, um Bewässerungswasser bereitzustellen. Ein weiteres Problem besteht darin, dass Bewässerungswasser für die Landwirtschaft für die lokale Bevölkerung zwar entscheidend ist, die intensive Entnahme aus Oberflächengewässern aber eine Beeinträchtigung des Ökosystems darstellen kann. Dies ist auch ein ethisches Problem, stellt es die Verantwortlichen doch vor die Frage ob die Verbesserung der lokalen Lebensbedingungen vor dem Schutz der Umwelt Vorrang hat. Vor diesem Hintergrund wurde untersucht, wie sich der Schutz von Oberflächengewässern (durch Einhaltung bestimmter Grenzen der Wassernutzung) und das Verbot der Abholzung von intakten Wäldern auf die Lebensbedingungen der Bevölkerung auswirken würde (Biewald et al. 2013a). Um diesen Einfluß bemessen zu können, wurde die Wasserverfügbarkeit für die Bevölkerung, der Wasserschatenpreis und die Produktionskosten

für Nahrungsmittel zellbasiert betrachtet. Als zweiter Schritt wurden diese Simulationsergebnisse mit einem ebenfalls zellbasierten Indikator für Armut kombiniert, um zu bestimmen welche Menschen von den Maßnahmen betroffen sind.

In beiden Schutzszenarien steigen Wasserschatenpreise und Produktionskosten in der Landwirtschaft bis zum Jahr 2045 an, wobei der Schutz der Wäldern einen größeren negativen Einfluß auf die Bevölkerung hat als der Wasserschutz. Regional ergeben sich innerhalb Ostafrikas deutliche Unterschiede. Die Wasserschatenpreise steigen in der Simulation vor allem in Burundi und Ruanda an, wo sich auch der ärmste Teil der Bevölkerung Afrikas befindet, sowie rund um den Victoriasee (Abb. 15). Die Produktionskosten der Nahrungsmittel steigen fast in der gesamten Region als Folge der Schutzmaßnahmen an. Besonders betroffen wäre in diesen Szenarien die Menschen in Ruanda und im Süden Tansanias. Da Ruanda und Burundi auch die am stärksten bevölkerten Länder der Region sind, treffen die Schutzmaßnahmen dort besonders viele Menschen, darunter viele Arme. Aus der Perspektive der in diesem Projekt entwickelten Wasserethik sind solche Fragestellungen besonders relevant, weil sie Kernforderungen der Gerechtigkeit betreffen.



In der Masterarbeit von Bues (2011) wurde darüberhinaus die Frage bearbeitet, wie ausländische Agrardirektinvestitionen auf die lokalen Institutionen für Wassermanagement wirken, wie sich diese verändern und warum es zu Konflikten zwischen Investoren und lokaler Bevölkerung kommen kann. Als Fallbeispiel diente ein Bewässerungssystem in Äthiopien, wo internationale Investoren Blumen- und Gemüsefarmen für den Export errichtet haben, die mit den ansässigen Kleinbäuerinnen und -bauern um die begrenzten Wasserressourcen konkurrieren. Semi-strukturierte Interviews mit 70 Kleinbäuerinnen und -bauern, 10 Regierungsangehörigen und 6 Investoren der Fallregion bilden den Kern der Arbeit. Im Ergebnis der Studie hat sich gezeigt, dass sich die lokalen Wasserrechte zugunsten der Investoren verändern und dies mit den drei unterschiedlichen Machtressourcen Unterstützung durch die Regierung, Ausbildung und Wissen sowie Abhängigkeit von der Ressource erklärt werden kann.

Fallstudie Südsudan

Der Südsudan verfügt über weitreichende Wasserressourcen, die bisher kaum entwickelt und genutzt wurden. Trotz dieses hohen Potenzials haben rund 50% der Bevölkerung keinen Zugang zu Trinkwasser und nur 10 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche wird bewässert. Die Regierung wie auch internationale Experten sind sich einig, dass sich eine ökonomische Diversifizierung vor allem auf den landwirtschaftlichen Sektor stützen soll und muss, da es hier durch Bewässerung ein großes Steigerungspotenzial gäbe, belegt durch zahlreiche Studien (JICA Agricultural Assessment).

Aufgrund der andauernden politischen Instabilität und fragilen politischen Institutionen wird die Bereitstellung von Trinkwasser derzeit vor nachhaltigem Wassermanagement priorisiert. Nachhaltige Planung findet derzeit keine Finanzierungsquellen und Versuche der Regierung, in diesem Bereich aktiv zu werden entbehren jeder Basis an notwendigen Daten (Wasserverfügbarkeit, Niederschläge, landwirtschaftliches Potenzial). Aufbauend auf den allgemeinen Überlegungen zur Wasserethik wurde diese Fokussierung auf extraktive Interventionen in den politischen Kontext gesetzt und hinterfragt. Der Wassersektor wurde als Linse genutzt, um die Rolle und die Kapazität des neuen Staates zu beleuchten. Durch die Frage nach der moralischen und ethischen Grundlage staatlicher und internationaler Interventionen wurde der Bogen zu den allgemeinen wasserethischen Überlegungen geschlagen.

Das starke Ungleichgewicht der Interventionen und Investitionen im extraktiven Bereich gegenüber nachhaltigem Wassermanagement seitens der Regierung als auch der internationalen Gemeinschaft wurde durch eine Analyse der Strategiepapiere und Finanzierungsströme belegt. Neben den Finanzierungsströmen wurden auch die Informationsströme untersucht. Darüber konnte sowohl eine Verlagerung zugunsten der internationalen Organisationen aufgezeigt werden, d.h. ein zuweilen gar strategisches Umgehen der staatlichen Strukturen.

In Anbetracht der aktuellen politischen und humanitären Lage ist es offensichtlich, dass der Staat nicht als Hauptakteur fungieren kann. Die Beschränkung auf den auf Menschenrechte fokussierten Diskurs verhindert allerdings auch die Argumentation für nachhaltiges Wasser-Management, Datenerhebung, einen Aufbau einer Datenbank über Verfügbarkeit und Nachfrage und einen Aufbau und Förderung von bewässerter Landwirtschaft.

Eine Parallele wurde zur Situation im Sudan und Darfur gezogen: eine Region, die sich ebenfalls seit vielen Jahren in einer humanitären Krise befindet, in der langfristige und nachhaltige Planungen lange Zeit als administrativ und auch logistisch als unmöglich akzeptiert wurde. Die sehr knappen Wasserressourcen im Norden haben die Argumentation der unverhandelbaren und unbedingten Menschenrechte entkräftet, da viele Brunnen trocken liefen. Die immensen Grundwasserreserven im Südsudan werden wohl ein Umdenken aufgrund von absoluter Knappheit unnötig machen. Die Fokussierung auf Akteure im humanitären, und somit extraktiven, Bereich verhindert aber eine institutionelle Weiterentwicklung und nachhaltige Planung. Somit wird die Rolle des Staates als regulierendes Moment unter Rückgriff auf humanitäre und menschenrechtliche Argumentationen ausgehöhlt und eine nachhaltige Ressourcenpolitik verhindert. Dies steht in Konflikt mit der international unterstützten Ambition des Staates, sich als effektiver und verantwortungsvoller Vertreter der Interessen seines Volkes zu etablieren und schränkt seine Souveränität weiter ein. Die institutionelle Trennung von Trinkwasser und Wasser für landwirtschaftliche Zwecke, ohne eine übergreifende Institution die Angebot und Nachfrage strategisch und auch politisch koordiniert, verhindert eine kooperative Planung der beiden Sektoren und setzt diese in Konkurrenz zueinander. Der 2013 überarbeitete Natural Resources Act erkennt das Problem der fehlenden Koordination, eine Änderung ist

jedoch aufgrund politischer und finanzieller Gründe unwahrscheinlich.

Die Studie ist eine Anwendung der wasserethischen Überlegungen des IGP, und baut auf der normativen Diskussion zwischen menschenrechtlichen Standards und Nachhaltigkeit auf. Die Rolle des Staates und die Frage nach der Verantwortung für Ressourcennutzung stehen dabei im Mittelpunkt. Die Studie hat demnach einen starken Anwendungsbezug und hohe Relevanz für die Akteure im Wassersektor im Südsudan sowie in anderen Postkonflikt Staaten, wie auch für den Diskurs um Ressourcenmanagement und –nutzung in fragilen Staaten.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Dieser Punkt wurde von der Verwaltung schon bearbeitet und die Ergebnisse schon im September übermittelt.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Projekt durchgeführten umfassenden globalen Simulationen, die regionalen Detailstudien (Modellierung, Literatur- und Datenbankauswertungen, Feldstudien) sowie die ethisch-philosophischen Studien erwiesen sich, wie geplant, als notwendig zur Durchführung der interdisziplinären, integrativen und multiskaligen Arbeiten. Daher erachten wir die Methodenwahl und den Arbeitsaufwand insgesamt als notwendig und angemessen.

4. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Projekt stellt einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung von regionalen Wassermanagementstrategien im Kontext einer globalisierten Wirtschaft dar. Es wurden regionale und globale, technische, ökonomische und politische Maßnahmen aufgezeigt, um zukünftigem Wassermangel in der Landwirtschaft zu begegnen und knappe Wasserressourcen nachhaltig zu nutzen. Die Studien, die im Laufe dieses Projektes bereits publiziert wurden und in naher Zukunft noch publiziert werden, sind ein wichtiger Beitrag zur Literatur, weil sie in umfassendem Maße verschiedene Aspekte des Wassermanagements aus der Sicht verschiedener Disziplinen betrachten. In diesem Sinne können aus diesen Studien wissenschaftlich begründete, unter Berücksichtigung der besten verfügbaren Datensätze und Prozesskenntnis quantitativ untermauerte Vorschläge für eine globale und eine regionale Wasserpolitik abgeleitet werden. Einige der Ergebnisse (aus Konzmann et al. 2013) finden voraussichtlich auch Eingang in den kommenden Bericht des IPCC (Working Group II). Mit Hilfe der Arbeiten im Projekt war es auch möglich, verschiedene internationale Modell-Vergleichsprojekte zu unterstützen. Im Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) wurden 10 verschiedene globale Agrarmodelle hinsichtlich ihrer Weltmarktpreis-Projektionen unter verschiedenen Zukunftsszenarien verglichen. Die Ergebnisse werden in einem Special Issue in Agricultural Economics veröffentlicht und werden sehr wahrscheinlich Eingang in den fünften Sachstandsbericht des IPCC finden. Außerdem wurden umfassende Beiträge zum Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISI-MIP) geleistet. Hier wurden globale, modellbasierte Klimawirkungsanalysen in verschiedenen Sektoren (Landwirtschaft, Wasser, Ökosysteme, Gesundheit) harmonisiert und für verschiedene Integrationsstudien genutzt. Die Ergebnisse

werden in einem Special Issue bei PNAS erscheinen und ebenfalls im IPCC AR5 Berücksichtigung finden. Damit sind gute Voraussetzungen für eine Nutzung der Projekt-Ergebnisse für verschiedene Entscheidungsträger geschaffen.

Unter Mitarbeit von Projektmitgliedern konnte ein Artikel veröffentlicht werden, der technisch erklärt wie es möglich ist komplexe und räumlich explizite Modelle zu lösen indem man kleine Zelleinheiten auf Cluster aufaggregiert (*Dietrich et al., 2013*).

Besonders hervorzuheben ist auch das Arbeitspapier von *Biewald/Kowarsch et al. (2013)*, in dem konkret und politikrelevant aufgearbeitet wurde, welche Werturteile in ökonomischen Modellen verborgen sein können und wie man mit diesen konstruktiv umgehen kann. Durch die ethische Begleitung der Szenarienbildung wurden auch Gerechtigkeitsaspekte betrachtet, die oft in der disziplinären Forschung zu kurz kommen und gesellschaftlichen Akteuren helfen können schwierige Entscheidungen zu treffen. Nichtsdestotrotz ist es entscheidend die Forschung in diesem Bereich voranzutreiben.

Die inhaltliche Diskussion über virtuelles Wasser, welches von den zwei Diskussionsartikeln Biewald (2011), Biewald und Rolinski (2012) angestoßen wurde, hat die Stellung des Konzeptes des virtuellen Wasserhandels in der Literatur nochmal gestärkt und ist auf großes Interesse in der Öffentlichkeit und der Politik gestoßen.

5. Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Gefördert von der italienischen Regierung wurde im Jahr 2013 ein großes Forschungsprojekt begonnen, mit dem Titel „The global virtual-water network: social, economic, and environmental implications“.

Das IIASA in Österreich hat über die letzten Jahre stark an der Entwicklung eines globalen agrarökonomischen Modells gearbeitet, das ähnliche Eigenschaften aufweist wie MAgPIE und daher ähnliche Themen bearbeitet. Wichtige Neuerscheinungen mit Simulationen dieses Modells waren: *Valin, H., Havlik P., Mosnier, A., Herrero, M., Schmid, E., Obersteiner, M. (2013) Agricultural productivity and greenhouse gas emissions: Trade-offs or synergies between mitigation and food security? Environmental Research Letters, 8(3):035019 (July 2013)* und *Havlik P, Valin H, Mosnier A, Obersteiner, M., Baker, J.S., Herrero, M., Rufino, M.C., Schmid, E. (2013) Crop productivity and the global livestock sector: Implications for land use change and greenhouse gas emissions American Journal of Agricultural Economics, 95(2):442-448*

Im Rahmen des Global Trade Analysis Project wurde das bestehende Wassermodell GTAP-W erweitert um die entscheidende Komponente, dass Wasser jetzt ein expliziter Produktionsfaktor ist. Die technische Beschreibung der Modellerweiterung wurde veröffentlicht in: *Calzadilla, A., Rehdanz, K., Tol, R. (2011): "The GTAP-W model: accounting for water use in agriculture", Kiel Working Papers 1745, Kiel Institute for the World Economy.*

6. Projektveröffentlichungen

Peer-reviewed

Biemans, H., Speelman, L., Ludwig, F., Moors, E., Wiltshire, A.J., Kumar, P., Gerten, D., Kabat, P. (2013): Future water resources for food production in five South Asian river basins and potential of adaptation options – a modelling study. Science of the Total Environment (im

Druck).

Biewald, A. (2011): Give Virtual Water a Chance! An attempt to rehabilitate the concept, *GAIA* 20/3, 168-170.

Biewald, A., Rolinski, S. (2012): The Theory of Virtual Water - Why It Can Help to Understand Local Water Scarcity, *GAIA* 21(2), 88-90.

Bossio D., Erkossa T., Dile Y., McCartney M., Killiches F., **Hoff H.** (2012): Water implications of foreign direct investment in Ethiopia's agricultural sector, *Water Alternatives*, 5, 2, 223-242

Bues, A., Theesfeld, I. (2012): Water Grabbing and the Role of Power: shifting Water Governance in the Light of Agricultural Foreign Direct Investment. *Water Alternatives* 5(2): 266 – 283.

Burdack, D. (2011): The Economic Impact of Water Restrictions on Water-Dependent Business in South East Queensland, Australia, in *Finanzwissenschaftliche Diskussionsbeiträge, Diskussionsbeitrag 65*, Publ. Prof. Dr. Hans-Georg Petersen, ISSN 0948 – 7549.

Dietrich, J.P., Schmitz, C., Müller, C., **Fader, M., Lotze-Campen, H., Popp, A.** (2012): Measuring agricultural land-use intensity - A global analysis using a model-assisted approach. *Ecological Modelling* 232: 109-118.

Dietrich J.P., Popp A., **Lotze-Campen H.** (2013): "Reducing the loss of information and gaining accuracy with clustering methods in a global land-use model". *Ecological Modelling*, Volume 263, Pages 233-243, ISSN 0304-3800, 10.1016/j.ecolmodel.2013.05.009

Edenhofer, O., **Wallacher, J., Lotze-Campen, H.,** Reder, M., Knopf, B., Müller, J. (Hrsg.) (2012): *Climate Change, Justice and Sustainability - Linking Climate and Development Policy.*

Edenhofer, O., **Lotze-Campen, H., Wallacher, J.,** Reder, M. (Hrsg.) (2010): *Global, aber gerecht: Klimawandel bekämpfen, Entwicklung ermöglichen.* Beck Verlag.

Fader, M., Gerten, D., Thammer, M., Heinke, J., **Lotze-Campen, H.,** Lucht, W., Cramer, W. (2011): Internal and external green-blue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade. *Hydrology and Earth System Sciences* 15, 1641–1660.

Fader, M., Gerten, D., Krause, M., Lucht, W., Cramer, W. 2013: Spatial decoupling of agricultural production and consumption: quantifying dependence of countries on food imports due to domestic land and water constraints. *Environmental Research Letters* 8, 014046.

Gerten, D., Heinke, J., **Hoff, H.,** Biemans, H., **Fader, M.,** Waha, K. (2011): Global water availability and requirements for future food production. *Journal of Hydrometeorology* 12, 885-899.

Gerten, D. (2013): A vital link: water and vegetation in the Anthropocene. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 10, 4439–4462.

Hoff H., Gerten D., Waha K. (2012): Green and Blue Water in Africa - How foreign direct investment can support sustainable intensification, in: *Handbook on land and water grabs in Africa*, Allan J.A., Keulertz M., Sojamo S., Warner J. (Hrsg.), Routledge, London.

Hoff, H., Döll, P., Fader, M., Gerten, D., Hauser, S., Siebert, S. (2013): Water footprints of cities – indicators for sustainable consumption and production. *Hydrology and Earth System*

Sciences Discussions 10, 2601–2639.

Ismar, J. (2013): Who is to Govern the Rush for Land and Water in Africa? in: Handbook on land and water grabs in Africa, Allan J.A., Keulertz M., Sojamo S., Warner J. (Hrsg.), Routledge, London.

Keys P., van der Ent R., Gordon L., **Hoff H.**, Nikoli R., Savenije H. (2012): Analyzing precipitationsheds to understand the vulnerability of rainfall dependent regions, Biogeosciences, 9, 733-746

Konzmann, M., Gerten, D., Heinke, J. (2013): Climate impacts on global irrigation requirements under 19 GCMs, simulated with a vegetation and hydrology model. Hydrological Sciences Journal 58, 1–18.

Kowarsch, M. (2011): Rezension zu “Corporate Water Strategies“ (W. Sarni), Ökologisches Wirtschaften 3, S. 53-54.

Kowarsch, M. (2012): Wie sollte die Nutzung des knappen Gutes Süßwasser geregelt werden? In Maring, M. (Hrsg): Globale öffentliche Güter in interdisziplinären Perspektiven, ZTWE Reihe Vol 5, Karlsruhe 2012, S. 161-178.

Kowarsch, M., Gösele, A. (2012): Triangle of Justice, in Edenhofer, O., **Wallacher, J., Lotze-Campen, H.,** Reder, M., Knopf, B., Müller, J. (Hrsg): Climate Change, Justice and Sustainability: Linking Climate and Development Policy, Dordrecht: Springer, pp. 73-90.

Krause, M., **Lotze-Campen, H.,** Popp, A., Dietrich, J.-P., Bonsch, M. (2012): Conservation of undisturbed natural forests and economic impacts on agriculture, Land Use Policy 30:344-354.

Kundzewicz, Z.W., **Gerten, D.:** Grand challenges related to assessment of climate change impacts on freshwater resources. Journal of Hydrological Engineering (im Druck).

Müller, C., **Lotze-Campen, H.** (2012): Integrating the complexity of global change pressures on land and water. Global Food Security 1(2): 88-93.

Popp, A., **Lotze-Campen, H.,** Bodirsky, B. (2010): Food consumption, diet shifts and associated non-CO2 greenhouse gases from agricultural production. Global Environmental Change 20: 451–462.

Popp, A., Dietrich, J.P., **Lotze-Campen, H.,** Klein, D., Bauer, N., Krause, M., Beringer, T., Gerten, D., Edenhofer, O. (2011): The economic potential of bioenergy for climate change mitigation with special attention given to implications for the land system.

Popp, A., Krause, M., Dietrich, J.P., **Lotze-Campen, H.,** Beringer, T., Leimbach, M. (2012): Additional CO2 emissions from land use change - forest conservation as a precondition for sustainable bioenergy production, Ecological Economics 74: 64-70.

Rockström, J., Vohland, K., Lucht, W., **Lotze-Campen, H.,** von Weizsäcker, E.U., Banuri, T. (2010): Making progress within and beyond borders. In: Schellnhuber, H.J., M. Molina, N. Stern, V. Huber, and S. Kadner (Eds.): Global Sustainability, A Nobel Cause. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 33-48.

Schmitz, C., **Biewald, A., Lotze-Campen, H.,** Popp, A., Dietrich, J.P., Bodirsky, B., Krause, M., Weindl, I. (2012): Trading more Food - Implications for Land Use, Greenhouse

Gas Emissions, and the Food System. *Global Environmental Change* 22(1): 189–209.

Schmitz, C., **Lotze-Campen, H., Gerten, D.,** Dietrich, J.P., **Biewald, A.,** Bodirsky, B. (2014): Blue water scarcity and the economic impacts of future agricultural trade and demand. *Water Resources Research* (im Druck).

Schürkmann, A., Biewald, A., Rolinski S., A Global Approach to Estimating the Benefit-Cost Ratio of Water Supply Measures in the Agricultural Sector

Lotze-Campen, H. (2010): Global aber gerecht – Klimawandel bekämpfen, Entwicklung ermöglichen. 10 politische Botschaften. *Ländlicher Raum*, 61(3): 5-6.

Konferenzartikel und Proceedings

Burdack, D. (2011): “The Australian water trade, in: Kowarsch, M. (Hrsg.) *Water management options in a globalised world - Workshop proceedings*.

Biewald, A., Rolinski, S., **Lotze-Campen, H.,** Schmitz, S. (2012): Global valuation of agricultural, virtual blue water trade measured on a local scale. 10th Annual Meeting of the International Water Resource Economics Consortium, Stockholm, Schweden.

Biewald, A., Rolinski, S., **Lotze-Campen, H.,** Schmitz, C. 2011: The effect of oil price increases on agricultural trade: Simulations with a global landuse model. Konferenzartikel, EAAE Congress 2011, August, Zürich.

Burdack, D., Baldwin, C., **Lotze-Campen, H., von Witzke, H., Biewald, A.** (2011). The Impact of Water Management Policies on Agricultural Production in Australia - An Economic Analysis. 55th Australian Agricultural and Resource Economics Society (AARES) Conference, Melbourne, Australien.

Gerten, D., Heinke, J., **Hoff, H.** (2010): Estimating green-blue water availability and needs for global food production. Konferenzband: “The Global Dimension of Change in River Basins”, 66–72. GWSP IOP, Bonn.

Gerten, D., Hagemann, S., Biemans, H., Saeed, F., Konzmann, M. (2011): Climate Change and Irrigation: Feedbacks and Impacts. WATCH Technical Report No. 47, CEH Wallingford, UK.

Gerten, D. 2011: Klimawandel und Dürren. *Energiezukunft* 10, 26–27.

Gerten, D. 2011: Kapitel 1: Water availability and scarcity: now and future trends, in Kowarsch, M. (Hrsg): *Water management options in a globalised world. Proceedings of an international scientific workshop*, Bad Schönbrunn, online veröffentlicht September.

Gerten, D. (2011): Water availability and scarcity: now and future trends, in: **Kowarsch, M.** (Hrsg): *Water management options in a globalised world - Workshop proceedings*.

Gerten, D. (2013): Global climate change impacts on freshwater availability – an overview of recent assessments. In: Boegh, E., Blyth, E., Hannah, D.M., Hisdal, H., Kunstmann, H., Su, B., Koray, K. (Hg.): *Climate and Land Surface Changes in Hydrology*. IAHS Publ. 359, 47–52.

Kowarsch, M. (Hrsg.) (2011b): *Water management options in a globalised world - Workshop proceedings*.

Kowarsch, M. (2011c): Ethical targets and questions of water management, in: Kowarsch, M. (Hrsg.) Water management options in a globalised world - Workshop proceedings.

Ismar, J. (2011): How does water flow into politics? Scrutinizing the water/conflict nexus in South Sudan, in: Kowarsch, M. (Hrsg.) Water management options in a globalised world - Workshop proceedings.

Lotze-Campen, H., Gerten, D., Schmitz, C. (2010): The role of trade and technological change in agriculture for coping with future water scarcity. Paper presented at the International Society for Ecological Economics (ISEE) 2010 Conference, Oldenburg, 23 August 2010.

Arbeitspapiere und eingereichte Artikel

Biewald, A., Rolinski, S., Lotze-Campen, H., Schmitz, C., Dietrich, J. (2013): Valuing the impact of trade on local blue water (under revision in Ecological Economics).

Biewald, A., Bonsch, M., Scheiffele, L., Rolinski, S., Lotze-Campen, H. (2013a): The impact of environmental protection of forests and water on the local population in East Africa.

Biewald, A./Kowarsch, M. (equal contribution), **Lotze-Campen, H., Gerten, D.** (2013): Ethical aspects in economic modelling of water policy options.

Bonsch, M., Popp, A., **Biewald, A., Dietrich, J., Heinke, J., Bodirsky, B., Rolinski, S., Lotze-Campen, H.** (2013): Implementing water management policies – possible caveats and leakage effects.

Burdack, D., Biewald, A., Lotze-Campen, H. (2013): Trading water rights: A way out of Australia's rural water problems?.

Faul, F. (2012): Regional Potential and Costs of Water Infrastructure Investments in East Africa, North China and South Australia .

Kowarsch, M./Schröer, K. (2011): What should water ethics be about? The problem with identifying problems.

Kowarsch, M. (2011a): Diversity of water ethics – a literature review.

Kowarsch, M. (2011b): From Human Rights to Water Management. A General Water Ethical Framework.

Kowarsch, M./Ismar, J. (2013): Diversity of water ethics - a literature review.

Edenhofer, O./ **Kowarsch, M.** (equal contribution) (2013): A Pragmatist Concept of Scientific Policy Advice. Working Paper (eingereicht).

Abschlussarbeiten, Dissertationen, Habilitationen

Bues, A. (2011): Agricultural Foreign Direct Investment, Water Rights and Conflict – an Institutional Analysis from Ethiopia. Masterarbeit an der Humboldt-Universität zu Berlin, Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau.

Burdack, D.: Water Management Policies and its Impacts on Agricultural Production in the

Murray-Darling Basin, Australia. Dissertation an der Humboldt Universität Berlin, Landwirtschaftliche Fakultät (in Bearbeitung).

Fader, M. (2011): Flows of virtual land and water through global trade of agricultural products. Dissertation an der Universität Potsdam, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät.

Gerten, D. (2013): Water and Vegetation in the Anthropocene – Vital Links Modelled at Global Scale, Habilitation an der Humboldt-Universität zu Berlin, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II.

Högner, K. (2013): - Improving the methodology for global agricultural water availability and identifying hot spots for potential dam sites in East-Africa. Masterarbeit an der Universität Oldenburg.

Reichhardt, M. (2011): Adoption Constraints of Rainwater Harvesting Technologies in Southern African Rural Areas - A Review of Conservation Farming in Zambia, Masterarbeit an der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde.

Rothe, P. (2011): Estimation of blue and green virtual water flows in China. Masterarbeit an der Humboldt Universität Berlin.

Schürkmann, A. (2013): Estimating the benefit-cost ratio of infrastructural measures to increase water supply for irrigation on a global scale. Diplomarbeit an der Universität Potsdam.

Andere Aktivitäten

Biewald, A. und Lotze-Campen, H. (2010): Organisers of an international workshop „Sustainable Water Management: Linking Regional and Global Options“, PIK, 08-09.07.2010, Potsdam.

Lotze-Campen, H., Popp, A., Obersteiner, M., Antle, J., Märkl, M. (2012): Pressures on agriculture from increased bioenergy demand and biospheric carbon management. Organized session at Planet under Pressure 2012 Conference, London, 26-29.3.2012.

Hoff, H.: Co-Organisation und Durchführung eines Workshops zum Wasserbedarfs aquatischer Ökosysteme („environmental flows“), mit dem Ziel diese in LPJmL und andere globale Wassermodelle zu integrieren: Global Water Systems Project – Global Water Needs Initiative (co-chair), Kick-off-Workshop, November 2011, Bonn.

Kowarsch, M. 2011: Organisation und Leitung des internationalen wissenschaftlichen Workshops „Water management options in a globalised world. Promoting a dialogue between economics, ethics and other disciplines“ (20.-23.06.2011 im Lassallehaus, Bad Schönbrunn, Schweiz). Hierbei auch Vortrag zu „Water Ethics: From Human Rights to Water Management“. Verfassen mehrerer Presse- und Online-Berichte zum Workshop.

Schlussbericht - Kurzdarstellung

Vorhabenbezeichnung: Nachhaltiges Wassermanagement in einer globalisierten Welt

Förderkennzeichen: 01UN1009

Zuwendungsempfänger:

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) e.V., Postfach 601203, 14412 Potsdam

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2010 – 30.06.2013

Projektleiter: Dr. Anne Biewald (PIK)

In diesem Projekt wurde gegenwärtige und zukünftige globale Wasserknappheit abgeschätzt und in dieser Hinsicht besonders problematische Regionen zu identifiziert. Es wurde analysiert, wie virtueller Wasserhandel und Verbesserungen in der Infrastruktur zur Bereitstellung von Bewässerungswasser lokale Wassersituationen verbessern können. Weil die Nutzung und Übernutzung von Oberflächengewässern oder Grundwasser auch ökologische Auswirkungen hat, wurde außerdem die verschiedenen Wirkungen von Wasserschutzmaßnahmen analysiert. Knappe Wasserressourcen, besonders im Kontext von landwirtschaftlicher Produktion, sind zwar ein globales Problem, können aber nur lokal gelöst werden. Deswegen war es auch Aufgabe des Projekts, Herausforderungen und Lösungen der Wasserproblematik für die drei Fallregionen Australien, Ostafrika und China zu untersuchen.

Mit dem MAGPIE-basierten agro-ökonomischen Wasserknappheitsindikator konnten erstmals global explizite ökonomische Rahmenbedingungen der Nahrungsmittelproduktion berücksichtigt und zukünftige Einflüsse von Nahrungsmittelproduktion auf die Wasserknappheitssituation untersucht werden. Das Ergebnis dieser Analyse zeigt, dass durch Handelsliberalisierung und geringerem Konsum tierischer Kalorien Wasserschatenpreise fast überall sinken. Während in Südasien, Südostasien und dem Mittleren Osten Wasserknappheit durch Handelsliberalisierung fast verschwindet, profitieren China, die EU, Australien und Japan vor allem durch den geringeren Fleischkonsum .

Neben einem ökonomischen Wasserknappheitsindikator wurde Wasserknappheit auch anhand des tatsächlichen Wasserbedarf zur Erzeugung land- und viehwirtschaftlicher Produkte ermittelt. Mittels des neuen Indikators wurde die mögliche zukünftige Entwicklung der weltweiten Wasserknappheitssituation unter Zugrundelegung von 17 Klimamodellen und verschiedenen Emissions- und Bevölkerungsszenarien quantifiziert. Die Studie zeigt, dass zum Ende des Jahrhunderts einige Länder aufgrund von Wasserknappheit – als Folge des Klimawandels und steigender Bevölkerung – nicht (mehr) in der Lage sein werden, ausreichend Nahrungsmittel für ihre Einwohner zu produzieren, was eine verstärkte Abhängigkeit von internationalem Handel impliziert (Abb. 1).

Die selben Klimaszenarien wurden mit dem LPJmL-Modell hinsichtlich der simulierten Änderungen des Bewässerungsbedarfs ausgewertet. Es konnte gezeigt werden, dass sich der Bewässerungsbedarf regionalspezifisch verändert. Die Abnahme des Bedarfs kann vor allem mit dem positiven Effekt des CO₂-Anstiegs auf die Wasserproduktivität begründet werden. Simulationen ohne den CO₂-Effekt zeigen hingegen größere Gebiete mit steigendem Wasserbedarf bzw. einen global erhöhten Wasserbedarf, allerdings bzgl. der räumlichen Muster mit nennenswerten Unterschieden zwischen den verschiedenen Klimamodellen.

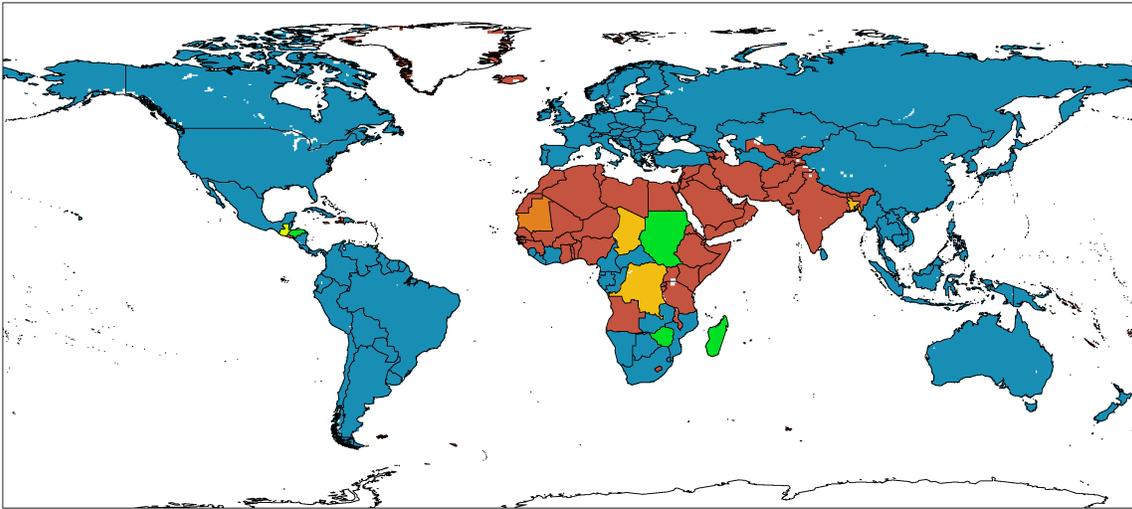


Abbildung 1: Wahrscheinlichkeit von Wassermangel im Zeitraum 2070–2099. Wasserknappheit ist hier definiert als das Verhältnis zwischen der verfügbaren Menge grünen und blauen Wassers im 30-Jahresmittel und dem Wasserbedarf zur Produktion von 3000 kcal/ Person/ Tag), Quelle: Gerten et al. 2011.

Der internationale Handel ermöglicht den Import von landwirtschaftlichen Produkten, die anderweitig produziert worden sind und somit keine lokalen Ressourcen beanspruchen. Folglich ist der Handel landwirtschaftlicher Güter implizit ein virtueller Handel von Land- und Wasserressourcen. Im Rahmen dieses Projekts wurde deswegen mit dem prozessbasierten Modell LPJmL in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung diese Ressourcen auf Grundlage datenbasierter, bilateraler Handelsströme berechnet. Die Hauptergebnisse zeigen, dass die Wasserfußabdrücke der meisten Länder – also der Wasserverbrauch für die im Land konsumierten, aber ggf. in anderen Ländern hergestellten Agrarprodukte – im Wesentlichen auf grünem Wasser (unbewässerter Landwirtschaft) beruhen. Ferner wird gezeigt, dass der virtuelle Wasserimport (also der externe grüne und blaue Wasserfußabdruck) vieler Länder zwar deutlich niedriger ist als der landesinterne Wasserfußabdruck, dass aber die hier berücksichtigten Produkte immerhin für einen globalen Wasserersparnis von ca. einem Fünftel des derzeitigen globalen Bewässerungsverbrauchs verantwortlich sind.

Außerdem wurde die implizite Abhängigkeit der einzelnen Länder der Erde vom internationalen Handel mit Agrargütern quantifiziert. Dafür wurde mittels des LPJmL-Modells analysiert, ob die importierten Agrargüter im jeweiligen Importland auf heutigen Landwirtschaftsflächen und mit derzeitigen Süßwasservorräten selbst hätten produziert werden können. Rund 16% der Weltbevölkerung (v.a. in Afrika, den Anden und dem Mittleren Osten) sind von externen Land- und Wasserressourcen abhängig.

Bei der Betrachtung virtuellen Wassers ist es entscheidend zu wissen, ob das gehandelte Wasser aus wasserarmen oder wasserreichen Gegenden stammt, deswegen wurde erstmals der Einfluß des Handels auf den zellbasierten landwirtschaftlichen Grün- und Blauwasserverbrauch untersucht und mit einem Wasserknappheitsindikator bewertet. Mit diesem Indikator ist es auf subnationaler Ebene möglich, wasserarme Gegenden, die für den Export produzieren und solche,

die importieren, weil sie wasserknapp sind, zu identifizieren (Abb. 2) Die Ergebnisse zeigen, dass Gegenden in den wasserarmen Ländern Ägypten, Marokko und Indien sehr davon profitieren, dass sie virtuelles Wasser importieren können, während die wasserknappen Länder Portugal, Spanien und die Türkei ihre landwirtschaftlichen Produkte exportieren.

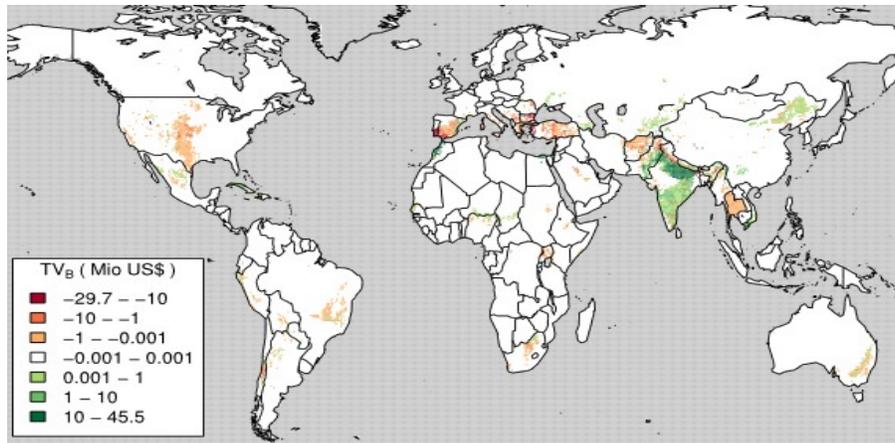


Abbildung 2: Handelsbedingte negative und positive Blauwassereinsparungen, bewertet mit einem Wasserknappheitsindikator. Grüne Zellen zeigen, dass blaues Wasser in wasserarmen Gegenden durch Importe gespart wird; orange Zellen zeigen, dass netto blaues Wasser aus wasserknappen Zellen exportiert wird, Quelle: Biewald et al. 2014.

Da in den nächsten Jahrzehnten die Nachfrage nach Nahrungsmitteln steigen wird, ist es entscheidend, die landwirtschaftliche Produktion zu steigern. Die Ausweitung der bewässerten landwirtschaftlichen Fläche durch die Bereitstellung von zusätzlichem Bewässerungswasser ist dafür eine wichtige Möglichkeit. In dem Projekt wurden die potentiellen Kosten und Nutzen von drei Bewässerungsmaßnahmen untersucht: Sammeln und Speichern von Regenwasser (Rainwater harvesting), Meerwasser-Entsalzung und Grundwassernutzung. Die Ergebnisse zeigen, dass, global gesehen, die Nutzung von Grundwasser die kosteneffizienteste Variante zur Ausweitung der Bewässerung wäre. „Rainwater harvesting“ erweist sich hauptsächlich in Indien als kosteneffizient, wohingegen Meerwasserentsalzung oftmals als Methode zur Bereitstellung von Bewässerungswasser zu teuer ist. Auf 152.5 Mha der globalen landwirtschaftlichen Fläche scheint es sich den ökonomischen Betrachtungen zufolge zu lohnen, zusätzlich Grundwasser zu nutzen, während auf 61.5 Mha „rainwater harvesting“ die rentablere Alternative ist.

Australien ist ein Land mit extremen Klimabedingungen. Um den daraus folgenden häufigen Wasserengpässen Rechnung zu tragen, wurden und werden von der Regierung Maßnahmen eingeführt, um die knappen Wasserressourcen nachhaltig zu nutzen. In diesem Projekt wurden Auswirkungen von drei verschiedenen Wasserregulierungsmaßnahmen auf die bewässerte, landwirtschaftliche Produktion im Murray-Darling Basins untersucht. Neben den tatsächlich für dieses Gebiet vorgesehenen Wasserregulierungsmaßnahmen, dem Wasserrechtehandel mit Rückkaufstrategien der Regierung und den Wasserverteilungsplänen, wurden auch Wasserbepreisungsmaßnahmen betrachtet. Alle drei Maßnahmen bewirken eine nachhaltigere Nutzung des Wassers durch eine Umverteilung (auf Feldfrüchte die weniger Wasser brauchen) oder Nichtnutzung des Bewässerungswassers. Wasserrechtehandels mit Rückkaufstrategien der Regierung zu großen Einschnitten in der Produktion führen. Durch alle Maßnahmen wird der

Wasserverbrauch auf ein nachhaltiges Level beschränkt.

Wasserknappheit *Ostafrika* wirkt sich besonders gravierend auf die Bevölkerung in ruralen Gegenden aus, weil es hier noch keine Bewässerungsinfrastruktur existiert, aber auch keine Mittel da sind, um diese bereitzustellen. Ein weiteres Problem besteht darin, dass Bewässerungswasser für die Landwirtschaft für die lokale Bevölkerung zwar entscheidend ist, die intensive Entnahme aus Oberflächengewässern aber eine Beeinträchtigung des Ökosystems darstellen kann. Dies ist auch ein ethisches Problem, stellt es die Verantwortlichen doch vor die Frage ob die Verbesserung der lokalen Lebensbedingungen vor dem Schutz der Umwelt Vorrang hat. Vor diesem Hintergrund wurde untersucht, wie sich der Schutz von Oberflächengewässern und das Verbot der Abholzung von intakten Wäldern auf die Lebensbedingungen der Bevölkerung auswirken würde. Beide Schutzmaßnahmen führen zu einem Anstieg der Wasserschattenpreise und Produktionskosten in der Landwirtschaft im Jahr 2045. Regional ergeben sich innerhalb Ostafrikas aber deutliche Unterschiede. Die Wasserschattenpreise und die Produktionskosten der Nahrungsmittel steigen am stärksten in den sehr wasserknappen Ländern Burundi und Ruanda an, wo sich auch der ärmste Teil der Bevölkerung Afrikas befindet. Aus der Perspektive der in diesem Projekt entwickelten Wasserethik sind solche Fragestellungen besonders relevant, weil sie Kernforderungen der Gerechtigkeit betreffen.

China ist nicht nur ein Land mit einer Bevölkerung von mehr als 1,3 Mrd. Menschen und einer enorm schnell wachsenden Wirtschaft, es ist auch gekennzeichnet von extremer, lokaler Wasserknappheit. Diese Wasserknappheit stellt ein Problem dar, wenn es um die landwirtschaftliche Produktion und die Ernährung der Bevölkerung geht. In dem Projekt wurde Handel von virtuellem Wasser innerhalb Chinas untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass der wasserreiche Norden Chinas landwirtschaftliche Produkte mit einem virtuellen Wasser-Nettovolumen von 20.18 km³ aus dem wasserarmen Süden importiert, weil im Süden viele Menschen wohnen und deswegen das Land dort knapp und teuer ist, während im Norden Platz für Landwirtschaft ist.

Wesentliches Ergebnis der wasserethischen Studien des Projekts ist die Entwicklung einer Methodik zur ethischen Bewertung von Wassermanagementoptionen: Statt auf allgemeine, starre ethische Prinzipien zu verweisen oder rein situative und relativistische Ethiken zu versuchen, setzt die pragmatistische Methodik darauf, dass alternative Ziele des Wassermanagements im Lichte der vielfältigen praktischen Konsequenzen ihrer Mittel evaluiert werden. Dabei geht es um eine umfassende Analyse der ökonomischen, sozialen, kulturellen, politischen, ökologischen und anderen Implikationen von Governance-Optionen. Wasserbepreisung kann unter bestimmten Umständen durchaus sinnvoll sein kann und muss nicht im Widerspruch zu einem Menschenrecht auf Wasser stehen. Im Gegensatz zum hier verfolgten Ansatz wurde gezeigt, dass viele wasserethische Veröffentlichungen der komplexen ethischen Herausforderungen des Wassermanagements nicht gerecht werden kann. Bezüglich der ethischen und wissenschaftstheoretischen Begleitung der wasserrelevanten Szenarienbildung im Projekt, wurde anhand einer Wassermanagementstudie des Agrarsektormodells MAgPIE gezeigt, welche Werturteile in solchen Modellen und den damit entwickelten Szenarien verborgen sein können und welche Implikationen das für die Interpretation der Ergebnisse hat. Die Studie zeigte, dass ein konstruktiver und für Politik und Öffentlichkeit fruchtbarer Umgang mit solchen Werturteilen möglich ist.