

## 4.7 Mehr Nahrungsmittel mit weniger Wasser erzeugen: Effizienzgewinne, Lebensstile, Handel

HERMANN LOTZE-CAMPEN & MARTIN WELP

*Producing more food with less water: efficiency gains, lifestyles, trade: Global food demand will strongly rise over the next decades, due to population growth, average in-come increases, and trends towards higher consumption of animal products. Agricultural and food production already account for 70 percent of total freshwater withdrawals. In addition, future water demand from private households, industry and for environmental purposes will also rise. Over the next 40 years global agricultural production has to be increased by about 70 percent, while reducing water use to avoid water scarcity for other purposes. This will only be achieved through a smart combination of efficiency gains in agricultural production and irrigation, institutional and policy reforms, changes in dietary habits, and virtual water trade between nation states. However, due to conflicting interests many of these options face serious barriers and water crises with global implications are not very unlikely to occur in many vulnerable regions.*

Die Weltbevölkerung wird nach verschiedenen Schätzungen bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts auf ca. 9 Mrd. Menschen ansteigen und sich auf diesem Niveau stabilisieren (LUTZ et al. 2004). Durch stetiges Wirtschaftswachstum werden die Menschen in den meisten Regionen im Durchschnitt ein deutlich höheres Einkommen zur Verfügung haben als heute. Dies wird mit einem Anstieg des Verbrauchs von Gütern und Dienstleistungen einhergehen. Mit höherem Einkommen, sich ändernden Lebensstilen und veränderten Lebensbedingungen, z.B. durch zunehmende Verstädterung, verändern sich auch die Ernährungsgewohnheiten. Zum einen steigt der gesamte Verzehr von Nahrungsmitteln, gemessen in Energieeinheiten, an. Im Jahr 2007 lag die durchschnittliche Verfügbarkeit von Nahrungsenergie weltweit bei 2.798 kcal pro Kopf und Tag. Die Spanne reicht von durchschnittlich 1.605 kcal in der Demokratischen Republik Kongo bis zu 3.819 kcal in Österreich (FAO 2011). Außerdem er-

höht sich auch der relative Anteil tierischer Produkte in der Ernährung. Es ist zu vermuten, dass sich Ernährungstrends, wie sie in den letzten Jahrzehnten in den Industrieländern zu beobachten waren, in Zukunft auch in vielen Entwicklungsländern wiederholen werden (Tab. 4.7-1).

### Nahrungsmittelverbrauch und Nachfrage nach Wasser

Menge und Zusammensetzung der menschlichen Ernährung haben einen unmittelbaren Einfluss auf den Ressourcenverbrauch, der mit der Erzeugung und Verarbeitung der Nahrungsmittel einhergeht. Im globalen Maßstab hat die Landwirtschaft einen erheblichen Anteil an der gesamten Land- und Wassernutzung. Etwa 40% der Landoberfläche entfallen auf landwirtschaftliche Flächen. Etwa 70% des Süßwasserverbrauchs fließen in die Landwirtschaft, vor allem für die künstliche Bewässerung in regenarmen Gebieten. Bewässerungslandwirtschaft trägt zwei Drittel zur weltweiten Produktion von Reis und Weizen bei (ROSEGRANT et al. 2002). Der Verzehr von Fleisch und Milchprodukten führt zu einem erhöhten Bedarf an Land und Wasser zur Erzeugung der benötigten Futtermittel. Die durchschnittliche tägliche Nahrungsversorgung mit einem Fleischanteil auf amerikanischem Niveau erfordert etwa 5.400 Liter Wasser (in Form von Verdunstung und Transpiration) zur Erzeugung der entsprechenden

**Tab. 4.7-1:** Anteile verschiedener Rohprodukte an der gesamten Nahrungsaufnahme, gemessen in Energieeinheiten (1994) (BENDER & SMITH 1997).

Produktgruppe	Industrieländer	Entwicklungsländer
Getreide	31 %	56 %
Fleisch und Milch	28 %	12 %
Pflanzenöle/Süßstoffe	23 %	17 %
Wurzeln/Knollen	4 %	5 %



Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3.Auflage (2011)  
- Hrsg. Lozán, J. L. H., Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese

Rohprodukte. Eine vergleichbare vegetarische Tagesration reduziert diesen Verbrauch auf etwa die Hälfte. Verschiedene landwirtschaftliche Früchte haben unterschiedliche Wasseransprüche. Während Kartoffeln und Gemüse etwa 200 Liter Wasser pro kg Erntegut verbrauchen, sind es bei Weizen und Reis über 1.000 Liter pro kg. Allerdings schwanken diese Werte stark entsprechend der regionalen Gegebenheiten und zwischen verschiedenen Sorten (HOEKSTRA & HUNG 2002).

Die Landwirtschaft konkurriert mit anderen Wirtschaftszweigen um die verfügbaren erneuerbaren Wasserressourcen. Im Zuge der allgemeinen Wirtschaftsentwicklung wird sich in Zukunft auch der Wasserverbrauch in privaten Haushalten und der Industrie erhöhen. Obwohl in den reichen Ländern der industrielle Wasserverbrauch zum Teil stark gesenkt werden konnte, wird in den Entwicklungsländern der industrielle Wasserverbrauch weiterhin ansteigen. Dasselbe trifft für die privaten Haushalte zu. Obwohl in den USA bereits eine Abkoppelung des Wasserverbrauchs von der Einkommensentwicklung zu beobachten ist, wird der Wasserbedarf für Haushalte in den stark wachsenden Megastädten im Süden weiter ansteigen. Damit wird sich auch die Konkurrenz um Wasser verschärfen. Die Landwirtschaft steht in den nächsten 40 Jahren vor der großen Herausforderung, die weltweite Nahrungsproduktion um ca. 70% zu erhöhen, bei gleichzeitig knapper werdenden Wasserressourcen (LOTZE-CAMPEN et al. 2008).

Zusätzlich werden die Wasseransprüche von Umweltsystemen, wie z.B. Feuchtgebiete und Flüsse, stärker artikuliert werden und in der Wasserallokation Berücksichtigung finden müssen, nicht zuletzt aus Gründen des Biodiversitätsschutzes. Dies wird zu einer zusätzlichen Verschärfung der Situation führen. ROSEGRANT et al. (2002) haben anhand von drei Modellszenarien ermittelt, wie sich die geschilderte Konkurrenz um Wasser bis 2025 auf das Verhältnis zwischen Wasserverbrauch und erneuerbarer Wasserverfügbarkeit (Kritikalitätsindex bzw. »Criticality ratio«) sowie die Nahrungsmittelpreise auf den Weltmärkten auswirken könnte (Tab. 4.7-2).

Im »Business-as-usual«-Szenario (BAU) wird eine moderate Verbesserung des Wassermanagements und eine nur leichte Erhöhung der Investitionen in wassersparende Technologien angenommen. Daneben werden ein Krisenszenario (CRI) sowie ein nachhaltiges Szenario (SUS) bezüglich der weltweiten Anstrengungen für eine effizientere Wassernutzung untersucht.

**Wasserverfügbarkeit und Klimawandel**

Die Wasserverfügbarkeit für die Nahrungsmittelerzeugung wird im Wesentlichen von den Niederschlägen

bestimmt. Dabei kommt es nicht nur auf die gesamte Niederschlagsmenge in einer Wachstumsperiode an, sondern auch sehr stark auf die zeitliche Verteilung und Variabilität innerhalb der Wachstumsperiode und zu kritischen Zeitpunkten der Pflanzenentwicklung. Auch wenn zunehmend auf Grundwasser, Stauseen und fossile Wasservorkommen als Quellen für Bewässerungswasser zurückgegriffen wird, so wird die regionale landwirtschaftliche Erzeugung in vielen Regionen stark von den natürlichen Niederschlägen und der Bodenfeuchte beeinflusst.

Der Klimawandel wird zu veränderten Niederschlagsverteilungen führen, deren Ausmaß für weite Teile der Welt noch mit starken Unsicherheiten behaftet ist (IPCC 2007). In Europa z.B. werden feuchtere Winter erwartet, wobei im Sommer in Südeuropa verstärkt Trockenheit prognostiziert wird, während in Nordeuropa feuchtere Bedingungen herrschen werden. Die Ergebnisse von Klimasimulationen mit verschiedenen Modellen ergeben bislang zum Teil widersprüchliche Aussagen. Während die Modellrechnungen für einige Regionen recht gut übereinstimmen, zeigen sie für wichtige Agrarproduktionsstandorte, z.B. Nord-

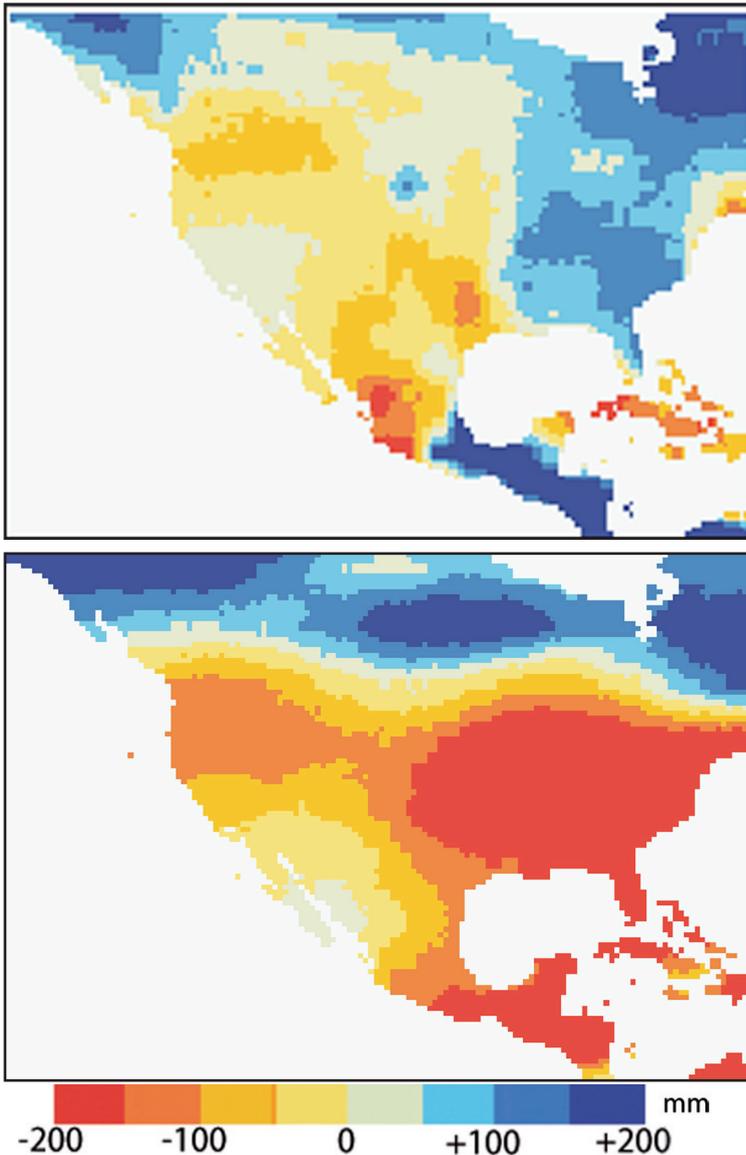
**Tab. 4.7-2: Kritikalitätsindex und Weltmarktpreise für Nahrungsmittel (Modellrechnungen für 1995 und 2025) (ROSEGRANT et al. 2002).**

	Referenz 1995	Projektion 2025		
<b>Kritikalitätsindex I</b>				
<b>Region</b>		<b>BAU</b>	<b>CRI</b>	<b>SUS</b>
China	0,26	0,33	0,38	0,25
Indien	0,30	0,36	0,39	0,26
Südostasien	0,04	0,05	0,06	0,04
Lateinamerika	0,02	0,03	0,03	0,02
Sub-Sahara-Afrika	0,02	0,04	0,05	0,03
Westasien/Nordafrika	0,69	0,90	0,88	0,61
Industrieländer	0,09	0,10	0,10	0,08
Entwicklungsländer	0,08	0,10	0,11	0,08
Welt insgesamt	0,08	0,10	0,11	0,08
<b>Mittlere Weltmarktpreise (US\$/Tonne)</b>				
<b>Produkt</b>		<b>BAU</b>	<b>CRI</b>	<b>SUS</b>
Reis	285	221	397	215
Weizen	133	119	241	111
Mais	103	104	224	98
Sojabohnen	247	257	422	253
Kartoffeln	209	180	317	166
Süßkartoffeln	134	90	233	77
<sup>1</sup> Kritikalitätsindex = Verhältnis zwischen Wasserverbrauch und erneuerbarer Wasserverfügbarkeit BAU: Business-as-usual-Szenario CRI: Krisenszenario SUS: Nachhaltiges Wassernutzungsszenario				

amerika, teilweise gegenläufige Trends. Während z.B. das ECHAM4-Szenario voraussagt, dass es im Durchschnitt der Jahre 2070–2100 im östlichen Teil Nordamerikas verglichen mit dem Zeitraum 1970–2000 feuchter wird, sagt das CCSR-Szenario ein tendenziell trockeneres Klima voraus (IPCC Data Distribution Centre 2004) (Abb. 4.7-1). Es ist zu erwarten, dass die Niederschlagsverteilung in wichtigen Agrarregionen einen deutlichen Einfluss auf die Weltagarmärkte haben wird.

Neben direkten Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit beeinflussen steigende Temperaturen und steigende  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen auch wichtige pflanzliche Stoffwechselprozesse, die relevant für den Wasserhaushalt sind. So verringert sich im Allgemei-

nen bei erhöhtem  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft der spezifische Wasserverbrauch der Pflanze pro Einheit erzeugter Kohlenhydrate. Allerdings kann der Klimawandel auch zu veränderter Bodenfruchtbarkeit, Bodenerosion, verstärktem Druck von Pflanzenkrankheiten sowie einer Häufung von klimatischen Extremereignissen wie tropische Stürme, Überschwemmungen und Dürreperioden führen. Mögliche Beeinträchtigungen der Produktqualität, z.B. Gehalt an Inhaltsstoffen, und direkte Auswirkungen von höheren Temperaturen auf die Tierproduktion sind weitere wichtige Aspekte. Vor allem auch die Wechselwirkungen zwischen diesen sehr verschiedenen Einflüssen auf die Nahrungsmittelproduktion sind bislang noch völlig unklar. Ärmere Länder in



**Abb. 4.7-1:** Szenarien der Niederschlagsveränderung in Nordamerika aufgrund von Klimawandel. Durchschnitt im Zeitraum 2070–2100 verglichen mit Zeitraum 1970–2000. ECHAM4 (oben) und CCSR (unten) (IPCC Data Distribution Centre 2004).

tropischen Regionen, die oft nur geringere Anpassungsmöglichkeiten an diese Veränderungen haben, werden möglicherweise stark vom Klimawandel betroffen sein (IPCC 2007, LOTZE-CAMPEN & SCHELLNHUBER 2009).

## **Mögliche Auswege aus der drohenden Krise**

### **Effizienzgewinne**

Durch technologische Verbesserungen vor allem in der Pflanzenzüchtung ist es gelungen, die landwirtschaftlichen Erträge pro Flächeneinheit in den letzten vier Jahrzehnten kontinuierlich um 1–2% pro Jahr zu steigern, so dass die weltweite landwirtschaftliche Produktion bislang mit dem Bevölkerungswachstum Schritt halten konnte. Allerdings waren die Zuchtziele dabei vor allem auf Ertragssteigerung und weniger auf die Verringerung des Wasserverbrauchs ausgerichtet. Für die Zukunft stellt sich die Frage, in welchem Maße die bisherigen Ertragssteigerungen aufrecht zu erhalten sind und welche Beschränkungen sich bezüglich der Ressourcenverfügbarkeit ergeben. Durch eine konsequente Fokussierung auf die Optimierung des Wasserverbrauchs sind in diesem Bereich sicher noch Fortschritte zu erzielen. So können z.B. neuere Reissorten mit demselben Wasserverbrauch in Form von Evapotranspiration bis zu vier Mal so viel Korntrag wie alte Sorten erreichen (SMIL 2000). Allerdings erfordern diese technologischen Verbesserungen kontinuierliche Investitionen im Bereich Forschung und Entwicklung. Dies ist aber vor allem im Bereich der internationalen Agrarforschung zunehmend in Frage gestellt, da deren Finanzierung in den letzten Jahren nicht kontinuierlich gesteigert wurde (ALSTON et al. 2009).

Etwa 60% der globalen Agrarproduktion findet ohne künstliche Bewässerung statt. In wasserarmen Gebieten wie z.B. Sub-Sahara-Afrika kann eine bessere Nutzung des anfallenden Regens durch einfache, kostengünstige Maßnahmen erzielt werden. Auf kleinskaliger Ebene kann durch Regenwassersammeln (»Rainwater harvesting«), verbessertes Landmanagement und gemischte Land-Forstwirtschaft die Nahrungsmittelsicherheit verbessert werden (ROCKSTRÖM et al. 2003).

Auch in der künstlichen Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen gibt es noch ein großes Potenzial für Effizienzgewinne. In vielen Bewässerungssystemen erreichen nur etwa 25–30% des zugeführten Wassers auch tatsächlich die relevanten Nutzpflanzen. Der Rest verdunstet und versickert an verschiedenen Stellen des Systems. Diese Rate kann mit moderner Technologie, z.B. »Drip irrigation«, auf 75–90% gesteigert werden. Trotz möglicher Wassereinsparung an spezifischen Stellen der Bewässerungskette muss allerdings bedacht

werden, dass sich damit nicht automatisch die gesamte Wassernutzungseffizienz im Bereich eines ganzen Flusseinzugsgebietes verbessert. Ein erheblicher Teil des Wassers, das heute durch oberflächlichen Abfluss an einer Stelle verloren geht, wird oft an tiefer gelegenen Stellen noch genutzt. In jedem Fall sind auch für die Steigerung der Bewässerungseffizienz erhebliche Investitionen in neue Technik erforderlich. Daneben erhöht sich in der Regel der Energiebedarf für die Bewässerung (SMIL 2000, RELLER et al. 2002).

Bei der Einführung neuer Technologien sind vor allem in ärmeren Entwicklungsländern zwei große Einschränkungen gegeben. Zum einen können in der Regel die erforderlichen Investitionsmittel nicht aufgebracht werden. Zum anderen kann es durch eine schlechte Einbettung neuer Produktionsmethoden in die regionalen Gegebenheiten zu erheblichen negativen Wirtschafts- und Umwelteffekten kommen, z.B. durch Übernutzung, Versalzung, Bodenerosion oder fehlgeleitete Großprojekte. Diese Effekte werden im Rahmen der Syndromforschung gut beschrieben (WBGU 1997, LUEDEKE et al. 2004).

### **Infrastrukturverbesserungen**

In der Vergangenheit wurde oft versucht, lokaler Wasserknappheit durch eine verbesserte Wasserzufuhr zu begegnen. Groß angelegte Staudämme und Kanalsysteme sollten die Wasserversorgung regulieren und stabilisieren. In vielen Fällen haben diese Maßnahmen zu einer Erhöhung oder Stabilisierung der landwirtschaftlichen Produktion geführt. Allerdings wird die Nachhaltigkeit dieser Effekte inzwischen sehr kontrovers diskutiert. Viele der weltweit ca. 45.000 großen Staudämme weisen technische Probleme, z.B. durch Verschlammung, auf, und die langfristige Kosten-Nutzen-Relation fällt ex post oft wesentlich schlechter aus als ursprünglich geplant. Umweltauswirkungen, ökonomische Risiken sowie soziale Folgen der Umsiedlungen haben auch die Sicht der Weltbank und anderer internationaler Geldgeber in den letzten zwei Jahrzehnten geändert (POSTEL 1999, WCD 2000). Dennoch werden auch weiterhin große Infrastrukturprojekte für den Wassertransport über weite Entfernungen, z.B. in Spanien oder China, geplant und durchgeführt.

### **Institutionelle Reformen**

Institutionelle und politische Rahmenbedingungen sind weitere wichtige Bausteine für ein verbessertes Wassermanagement. Wasser ist gerade in der landwirtschaftlichen Produktion in vielen Regionen stark unterbewertet, was ein Hauptgrund für Übernutzung und Verschwendung ist. Vielerorts fehlen klar geregelte Nutzungsrechte oder diese werden nicht konsequent

durchgesetzt. Die kostenlose oder stark subventionierte Wassernutzung ist in vielen Ländern fester Bestandteil der staatlichen Unterstützung landwirtschaftlicher Einkommen und wird dementsprechend hart verteidigt. Die Preisgestaltung für Wasser kann also nicht losgelöst von anderen politökonomischen Einflüssen betrachtet werden (ROTHENBERGER & TRUFFER 2002). Handelbare Nutzungsrechte für Bewässerungswasser zeigen einen möglichen Weg zu einer angemessenen Bewertung knapper Wasserressourcen. Im australischen Murray-Darling-Basin wird dieses Instrument seit den 1990er Jahren eingesetzt. Erste Erfolge sind zu beobachten: inzwischen erfolgt tatsächlich ein Handel mit diesen Nutzungsrechten, die Preise für die Wasserlizenzen sind deutlich gestiegen, und die Wassernutzung im gesamten Einzugsgebiet ist effizienter geworden. Gleichzeitig sind die gesamten Ausgaben für Wassernutzung zum Teil deutlich gefallen, da die Landwirte vermehrt in wassersparende Technologien investiert haben. Es bleibt allerdings abzuwarten, ob dieses System auch langfristig den Herausforderungen von Klimawandel und Bodenversalzung gewachsen ist (QURESHI et al. 2009). Außerdem ist fraglich, ob kostendeckende Preissteigerungen für Wasser in vielen ärmeren Ländern angemessen und politisch durchsetzbar sind.

Über die reine Preisgestaltung hinaus spielt die Zusammenarbeit zwischen der Vielzahl von Behörden sowie die Einbeziehung der Wassernutzer in die Entscheidungsfindung eine Schlüsselrolle in der Verbesserung von Wassermanagement. Das Konzept des integrierten Flussgebietsmanagement könnte diese Zusammenarbeit verbessern und institutionalisieren (WELP 2002). Dabei gilt es, sowohl eine horizontale Integration zwischen sektoralen Behörden als auch eine vertikale Integration zwischen den Ebenen der Verwaltung zu erzielen. Oftmals verfolgen verschiedene Behörden Ziele, die schlecht abgestimmt sind oder sogar im direkten Konflikt zueinander stehen. Vor allem im Hinblick auf den Einfluss des Klimawandels können Anpassungsoptionen entwickelt und entstehende Nutzungskonflikte im Vorfeld gelöst werden. Jedoch könnten in einigen Regionen die Grenzen der Anpassungsmöglichkeiten erreicht werden.

## Lebensstiländerungen

Ein möglicher Weg zur Verminderung des Wasserverbrauchs könnte über die Verringerung des Konsums von tierischen Nahrungsmitteln, vor allem Fleisch, führen. Eine fleischarme Lebensweise ist grundsätzlich ohne große Probleme möglich, und ein internationaler Vergleich zeigt, dass der Anteil tierischer Kalorien an der gesamten Nahrungsaufnahme selbst in Ländern

mit ähnlichem Einkommensniveau zum Teil sehr unterschiedlich ist. Der Fleischkonsum wird nicht nur durch das Einkommen, sondern auch durch kulturelle Aspekte und die Wahl bestimmter Lebensstile beeinflusst. So führt zum Beispiel die zunehmende Verstädterung selbst in ärmeren Ländern zu einer schnellen Zunahme des Verbrauchs von tierischen Fetten und Süßstoffen (POPKIN 1999, GLEICK 2000, LOTZE-CAMPEN et al. 2003).

Eine Änderung der Ernährungsgewohnheiten wäre aus Sicht des Ressourcenverbrauchs und der Treibhausgasemissionen empfehlenswert (POPP et al. 2010). Aber auch aus Gesundheitsgründen sollte der Konsum von tierischen Produkten reduziert werden. Das stark zunehmende Auftreten von krankhaftem Übergewicht führt bereits jetzt in den meisten Industrieländern zu erhöhten Kosten im Gesundheitssystem. In Deutschland werden zurzeit ca. 60 kg Fleisch pro Kopf und Jahr verzehrt. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung hält dagegen im Rahmen einer gesunden Ernährung weniger als 30 kg Fleisch pro Kopf und Jahr für ausreichend (DGE 2011). Allerdings ist die Beeinflussung dieser Lebensstiländerungen schwierig und müsste konsequent, dauerhaft und flächendeckend bereits in der frühkindlichen Erziehung ansetzen.

## Virtueller Wasserhandel

Der internationale Güterhandel, insbesondere mit Agrarprodukten und dem darin enthaltenen »virtuellen« Wasser könnte eine wichtige Rolle in der Steigerung der globalen Effizienz in der Wassernutzung spielen. Wasserarme Regionen könnten vermehrt wasserintensive Produkte, wie z.B. Getreide, importieren, so dass mehr Wasser für nicht landwirtschaftliche Zwecke zur Verfügung stünde. Internationale Handelsströme richten sich vor allem nach ökonomischen Gesichtspunkten, so dass bei einer realistischen Preisgestaltung auch regionale Wasserknappheiten in das ökonomische Kalkül eingehen würden. Da es unwahrscheinlich ist, dass es weltweit gleichzeitig in mehreren wichtigen Anbauregionen zu Ernteausfällen durch Dürren oder Überschwemmungen kommt, dient ein gut funktionierendes Handelssystem auch als Instrument zur Risikoabsicherung. Dies könnte beim zu erwartenden Klimawandel von noch größerer Bedeutung sein als heute schon (YANG & ZEHNDER 2002, LOTZE-CAMPEN & GERTEN 2010).

Allerdings sollten diese Handelseffekte nicht überschätzt werden. Der weitaus größte Anteil des Welt Handels findet zurzeit zwischen den reicheren Ländern statt, die entweder keine Wasserknappheit zu befürchten haben oder über andere Anpassungsmöglichkeiten

verfügen. Außerdem ist vor allem der Weltagrarhandel sehr stark von politischen Einflüssen geprägt, die nur selten von Effizienzgesichtspunkten geleitet werden und sich erfahrungsgemäß nur sehr schwer verändern lassen. Außerdem stellt sich für ärmere Länder mit Wasserknappheit die Frage, wie zusätzliche Importe von Nahrungsmitteln bzw. virtuellem Wasser finanziert werden sollen. Der Aufbau von konkurrenzfähigen Exportsektoren wäre unabdingbar, aber gerade dies wird bereits in vielen Entwicklungsländern, vor allem in Afrika, im Rahmen der Entwicklungspolitik seit langem mit mäßigem Erfolg versucht (EDENHOFER et al. 2010).

Eine mögliche Vision für die Länder Nordafrikas könnte in einem Energiebündnis mit Europa bestehen, in dem Wasserstoff oder Strom aus Sonnenenergie im Süden produziert wird, um damit Nahrungsmittel aus dem Norden einzukaufen. Dies könnte unter den derzeit prognostizierten Klima- und Niederschlagsverhältnissen zu einer wirksamen Arbeitsteilung und einer effizienten Wassernutzung führen. Voraussetzungen dafür sind aber, dass die Solarenergienutzung wettbewerbsfähig wird und die Industrieländer einen Großteil der nötigen Investitionen beitragen.

### Schlussbetrachtung

Wasser ist für die Nahrungsproduktion essentiell. In vielen Regionen der Welt ist Wasser bereits heute ein knappes Gut. Aufgrund unzureichender Preissignale wird dies aber noch nicht in aller Konsequenz von den gesellschaftlichen Akteuren wahrgenommen. Viele Entwicklungsländer, die stark von der Landwirtschaft abhängen und häufig in trockenen Regionen liegen, sind besonders von Wasserknappheit betroffen. Diese Länder werden auch überdurchschnittlich dem Klimawandel in Form von veränderten Niederschlägen ausgesetzt sein, was die Situation zusätzlich verschärfen könnte. Wasserknappheit könnte hier zu deutlich steigenden Nahrungsmittelpreisen und einer schlechteren Ernährungssituation führen. Die geschilderten zukünftigen Entwicklungen bezüglich Wasserverbrauch außerhalb der Landwirtschaft, Wasserverfügbarkeit und Klimawandel könnten sich weltweit zu einer ernsthaften Krise entwickeln, in der Wasserknappheit zu deutlichen Beeinträchtigungen in der Nahrungsproduktion, Ernährungssicherheit, Gesundheit und Umweltqualität führt. Eine Reihe von Lösungsmöglichkeiten steht für verschiedene Aspekte dieser globalen Herausforderung zur Verfügung. Allerdings werden nur aus der sinnvollen Kombination von regional angepassten Maßnahmen angemessene Konzepte für ein integriertes und insgesamt effizienteres Wassermanagement entstehen.

Außerdem erfordern alle diese Maßnahmen Zeit, konsequenten politischen Willen und erhebliche finanzielle Mittel. Es ist Zeit für ein deutliches Warnsignal, vor allem an nationale Politiker und regionale Entscheidungsträger.

### Literatur

- ALSTON J. M., BEDDOW J. M. & PARDEY P. G. (2009): Agricultural research, productivity, and food prices in the long run. *Science* 325(5945): 1209.
- BENDER W. & SMITH M. (1997): Population, food, and nutrition. *Population Bulletin* 51(4), 2-47.
- DGE (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG) (2011): 10 Regeln für eine vollwertige Ernährung. <http://www.dge.de>.
- EDENHOFER O., LOTZE-CAMPEN H., WALLACHER J. & REDER M. (Hrsg.) (2010): *Global, aber gerecht: Klimawandel bekämpfen, Entwicklung ermöglichen*. Beck Verlag.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION (FAO) (2011): *FAO Statistical Database*. <http://faostat.fao.org>.
- GLEICK P. H. (2000): *The World's Water 2000-2001. The Biennial Report on Freshwater Resources*. Island Press, Washington D.C.
- HOEKSTRA A. & HUNG P. Q. (2002): *Virtual Water Trade - A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Research Report Series No. 11. IHE, Delft.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Eds: Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 pp.
- IPCC DATA DISTRIBUTION CENTRE (2004): *SRES Scenario Runs*. <http://www.ipcc-data.org/>.
- LOTZE-CAMPEN H. & GERTEN D. (2010): *The role of trade and technological change in agriculture for coping with future water scarcity*. Vortrag, ISEE Conference, August 2010.
- LOTZE-CAMPEN H., REUSSWIG F. & GERLINGER K. (2003): *Changing global lifestyle and consumption patterns: The case of energy and food*. Workshop on Population, Consumption and Environment Dynamics: Theory and Method. Population-Environment Research Network (PERN), Montreal, 19 October. [http://www.populationenvironmentresearch.org/papers/Lotze-Campen\\_Reusswig\\_Paper.pdf](http://www.populationenvironmentresearch.org/papers/Lotze-Campen_Reusswig_Paper.pdf)
- LOTZE-CAMPEN H. & SCHELLNHUBER H. J. (2009): *Climate impacts and adaptation options in agriculture: what we know and what we don't know*. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 4: 145-150.

- LOTZE-CAMPEN H., MÜLLER C., BONDEAU A., ROST S., POPP A. & LUCHT W. (2008): Global food demand, productivity growth and the scarcity of land and water resources: a spatially explicit mathematical programming approach. *Agricultural Economics* 39(3): 325-338.
- LUEDEKE M. K. B., PETSCH-HELD G. & SCHELLNHUBER H.-J. (2004): Syndromes of Global Change: The First Panoramic View. *GAIA* 13(1). 42-49.
- LUTZ W., SANDERSON W.C. & SCHERBOV S. (eds.) (2004): *The End of World Population Growth in the 21st Century: New Challenges for Human Capital Formation and Sustainable Development*. London: Earthscan.
- POPKIN B. M. (1999): Urbanization, life-style changes and the nutrition transition. *World Development* 27(11), 1905-1916.
- POPPA., 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.
- POSTEL S. (1999): *Pillar of Sand. Can the Irrigation Miracle Last?* Norton&Company, New York.
- QURESHI M.E., SHI T., QURESHI S., PROCTOR W. & KIRBY M. (2009): *Removing Barriers to Facilitate Efficient Water Markets in the Murray Darling Basin – A Case Study from Australia*, CSIRO Working Paper Series 2009-02, Canberra.
- RELLER A., MEISSNER S., VERAS J. G. & SÉCHER I. (2002): Water - a Future Energy Problem. *GAIA* 11(4), 273-276.
- ROCKSTRÖM J., FIGUERES C. & TORTAJADA C. (eds.) (2003): *Rethinking Water Management. Innovative Approaches to Contemporary Issues*. Earthscan, London.
- ROSEGRANT M. W., CAI X. & CLINE S. A. (2002): *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity*. International Food Policy Research Institute, Washington D.C.
- ROTHENBERGER D. & TRUFFER B. (2002): Water Pricing - An Instrument for Sustainability? *GAIA* 11(4), 281-284.
- SMIL V. (2000): *Feeding the World: a Challenge for the Twenty-First Century*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- WELP M. (2002): Bürgerbeteiligung und Computermodele verknüpfen. Möglichkeiten eines modellgestützten Managements von Flusseinzugsgebieten. *Ökologisches Wirtschaften* 1/2002. 21-22.
- WBGU (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG FÜR GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN) (1997): *Welt im Wandel - Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- WCD (WORLD COMMISSION ON DAMS) (2000): *Dams and Development*. Earthscan Publishers, London.
- YANG, H.; ZEHNDER, A.J.B. (2002): *Water Endowments and Virtual Water Trade*. *GAIA* 11(4). 263-266.

*Dr. Hermann Lotze-Campen*  
*Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung*  
*(PIK), 14412 Potsdam*  
*lotze-campen@pik-potsdam.de*

*Prof. Dr. Martin Welp*  
*Hochschule für Nachhaltige Entwicklung (FH)*  
*Eberswalde, 16225 Eberswalde*