



### 3.1.11 Zukünftige Wassernutzung in Europa: Ergebnisse einer Ensemble-Analyse

MARTINA FLÖRKE, ILONA BÄRLUND & JOSEPH ALCAMO

*Future projections of water use in Europe - Findings from an ensemble analysis: Freshwater resources are not only influenced by climate change but also by changing water withdrawals (water use). The assessment of future developments in water use are extremely important as they provide information on whether „enough water for all“ will be available or where water could give rise to conflicts. Scenario analysis is a common method to analyse and evaluate possible future events by considering alternative outcomes. This paper presents a review of the results of four different scenarios studies that were developed in the last 10 years. A single model (WaterGAP) was used for computing all scenarios, and therefore differences in scenario results within a study reflect the different assumptions about future driving forces. Future water uses were simulated for the domestic, industry and agriculture sectors in Europe. The results are impacted by the scenario drivers and assumptions but also by model improvements. Here it becomes obvious that the range of variation is significantly characterized by the drivers and their assumptions, while the level is also influenced by the model improvements.*

Wie wird sich die Wassernutzung in Europa entwickeln? Die zukünftige Wassernutzung in Europa wird von einer Kombination umweltrelevanter, sozialer und politischer Faktoren beeinflusst. Es ist wichtig, die Entwicklung der Wassernutzung zu untersuchen, um Fragen wie »Genug Wasser für alle?«, »Wird es Wasserkonflikte geben?« oder »Wie beeinflusst die Wassernutzung die Ökologie der Gewässer?« adressieren zu können. Als maßgebliche Treiberkraft gilt der globale Wandel, wobei sich insbesondere der Klimawandel, sozio-ökonomische Entwicklungen, verändertes Nutzerverhalten sowie effizientere Technologien auf die zukünftige Wassernutzung in den verschiedenen Sektoren auswirken werden.

Abschätzungen, z.B. als Planungsgrundlage für mittel- oder langfristig angelegte Strategien zum Wasserressourcenmanagement, müssen getroffen werden. Da zukünftige Entwicklungen und Geschehnisse eine wichtige Rolle bei den Problemen des globalen Wandels spielen, ist es unabdingbar, Werkzeuge bei der Hand zu haben, mit denen sich die Zukunft verlässlich und praxisrelevant analysieren lässt. Dies ist der Grund

dafür, dass die Szenarioanalyse (z.B. ALCAMO 2008) in den letzten Jahren mehr und mehr zu einem festen Bestandteil der Studien zum globalen Wandel wurde. Diese Methode dient dazu, Zukunftsprobleme zu beurteilen und Lösungsvorschläge zu bewerten, wobei die Szenarientwicklung, der Vergleich von Szenarienergebnissen und die Auswertung von Konsequenzen unterschiedlicher Entwicklungen im Mittelpunkt stehen.

Im Rahmen der hier vorgestellten Studie werden verschiedene Entwicklungen der Wassernutzung für die Sektoren Haushalte (und Kleingewerbe), Industrie sowie Landwirtschaft aufgezeigt. Dabei konnte auf die Ergebnisse von vier verschiedenen Szenariostudien zurückgegriffen werden, die in den letzten 10 Jahren durchgeführt wurden. Die Berechnungen der zukünftigen sektoralen Wassernutzung in Europa wurden mit dem globalen Wassermodell WaterGAP (Water – Global Assessment and Prognosis) berechnet, das am Center for Environmental Systems Research (CESR) an der Universität Kassel entwickelt wurde (ALCAMO et al. 2003, FLÖRKE & ALCAMO 2004).

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

**Vorgehensweise**

Die von uns durchgeführte Analyse erfasst die vier nachfolgend aufgeführten Szenarienstudien, die während der letzten ca. 10 Jahre auf globaler und pan-europäischer Skala entwickelt wurden (s. Tab. 3.1.11-1).

Jede der vier aufgeführten Studien wurde nach dem »SAS approach« (Story and Simulation, ALCAMO 2008) durchgeführt, bei dem sowohl qualitative (Erzählungen) als auch quantitative (Modellsimulationen) Szenarien entwickelt wurden. Die quantitativen Szenarien ergänzen die erzählten Geschichten, in dem sie die Zukunft durch numerische Informationen bereichern und Trends oder Dynamiken veranschaulichen, die

anhand der qualitativen Szenarien nicht zu erkennen sind. Die Szenarien im SCENES (Water Scenarios for Europe and Neighbouring States, KÄMÄRI et al. 2008) Projekt entstanden durch die Mitwirkung verschiedener »Stakeholder«, während die anderen drei Studien hauptsächlich von Experten erarbeitet wurden. SCENES Szenarien wurden für den pan-europäischen Raum entwickelt, die anderen Studien sind global.

Um den Einfluss von Klimawandel sowie sozio-ökonomischen und weiteren Treiberkräften auf zukünftige Wassernutzung abzuschätzen, wurde das globale Wassermodell WaterGAP verwendet (ALCAMO et al. 2003, FLÖRKE & ALCAMO 2004, VERZANO 2009). Mit Hilfe von WaterGAP können sowohl die aktuelle und

Tab. 3.1.11-1: Szenarienstudien, die bei der Analyse berücksichtigt wurden.

| Name der Studie   | Anzahl der Szenarien | Namen der Szenarien  | Zeithorizont | Publikation                                 |
|---|----------------------|--|--------------|---|
| Millennium Ecosystem Assessment (MA)                            | 4                    | Global Orchestration (GO)<br>Techno Garden (TG),<br>Adapting Mosaic (AM),<br>Order from Strength (OS)    | 2050/2100    | CARPENTER et al. 2005<br>ALCAMO et al. 2005 |
| Dialogue on Water & Climate – Drivers from IPCC (WatCLIM)       | 2                    | IPCC SRES A2 and B2  | 2100         | ALCAMO et al. 2007                          |
| Global Environment Outlook, No. 4 (GEO-4)                       | 4                    | Markets First (MF), Policy First (PF), Security First (SeF),<br>Sustainability First (SuF)               | 2050         | ROTHMAN et al. 2007                         |
| Water Scenarios for Europe and for Neighbouring States (SCENES) | 4                    | Economy First (EcF),<br>Fortress Europe (FoE),<br>Policy Rules (PoR),<br>Sustainability Eventually (SuE) | 2050         | KÄMÄRI et al. 2008                          |

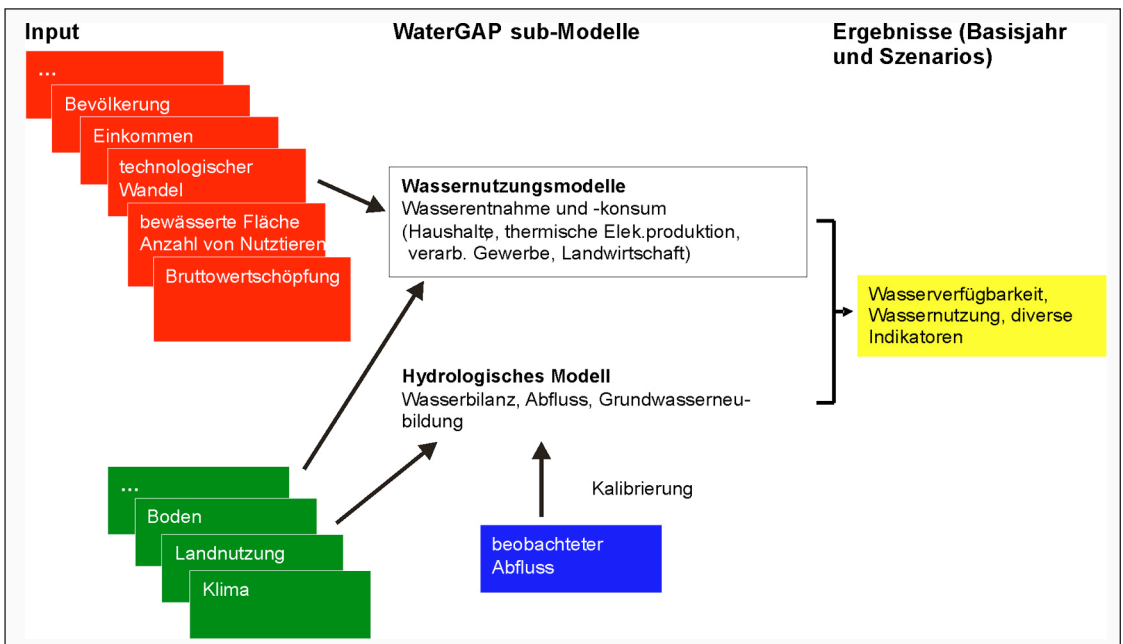


Abb. 3.1.11-1: WaterGAP - Modellüberblick.

zukünftige Wasserverfügbarkeit als auch die Wassernutzung bestimmt werden. WaterGAP besteht aus zwei Hauptkomponenten: a) einem globalen hydrologischen Modell, um den kontinentalen Wasserkreislauf zu simulieren und b) einem globalen Wassernutzungsmodell, um Wasserentnahmen und konsumptive Wassernutzung zu bestimmen (siehe *Abb. 3.1.11-1*).

Da in dieser Analyse nur die Entwicklungen der Wassernutzung von Interesse sind, kam einzig das Wassernutzungsmodell mit seinen Teilkomponenten zum Einsatz. Hier wurde die Wassernutzung für die Sektoren Haushalte (inkl. Kleingewerbe), Industrie (thermische Elektrizitätsproduktion und verarbeitende Gewerbe) und Landwirtschaft (Bewässerung und Nutztierhaltung) für die Basisjahre (1995, 2000, 2005) und die Zukunft (2050 bzw. 2055) bestimmt. Das Modell kam in verschiedenen Versionen zum Einsatz, WaterGAP2 und WaterGAP3, die seine Weiterentwicklung kennzeichnen.

Die Studien MA (Millennium Ecosystem Assessment) (CARPENTER et al. 2005, ALCAMO et al. 2005) und WatCLIM (Dialogue on Water & Climate) (ALCAMO et al. 2007) wurden mit WaterGAP2 berechnet, in dem für die Sektoren Haushalt und Industrie die zukünftigen Wasserentnahmen basierend auf historischen, regionalen Statistikwerten nach SHIKLOMANOV (2000) abgeschätzt werden. Für die landwirtschaftliche Wassernutzung kam das Modell nach DÖLL & SIEBERT (2002) zum Einsatz. Das Basisjahr dieser beiden Studien war das Jahr 1995.

Die sektoralen Wasserentnahmen der Studie GEO-4 (Global Environment Outlook, No. 4) ROTHMAN et

al. 2007) wurden ebenfalls mit WaterGAP2 bestimmt. Hier wurde erstmalig die Haushaltswassernutzung auf nationaler Basis für mehr als 180 Länder ermittelt (FLÖRKE & ALCAMO 2004). Darüber hinaus wurden die Zukunftsprojektionen für die industrielle Wassernutzung für die thermische Elektrizitätsproduktion und für das verarbeitende Gewerbe getrennt berechnet (VASSOLO & DÖLL 2005, FLÖRKE & ALCAMO 2004). Auch hier wurden die Wasserentnahmen für landwirtschaftliche Bewässerung (DÖLL & SIEBERT 2002) und Nutztierhaltung (ALCAMO et al. 2003) modelliert, wobei eine mit neuen Informationen überarbeitete Basiskarte der Bewässerungsflächen verwendet wurde. Das Basisjahr war das Jahr 2000.

Im Rahmen von SCENES wurde WaterGAP3 eingesetzt, das sich im Wesentlichen durch seine höhere räumliche Auflösung von 5 × 5 Bogenminuten von WaterGAP2 unterscheidet (30 × 30 Bogenminuten). Für die Sub-Modelle Haushalt und verarbeitendes Gewerbe wurden weitere historische Daten recherchiert, um die Anpassung der Modellansätze zu verbessern. Die Berechnung der Kühlwassernutzung bei der thermischen Elektrizitätsproduktion wurde weiter verfeinert (FLÖRKE et al. 2011). Das Bewässerungsmodell wurde nicht nur in seiner Auflösung verändert, sondern auch im Hinblick auf die Basiskarte, die nunmehr die realen Bewässerungsflächen für 18 verschiedene Feldfrüchte (AUS DER BEEK et al. 2010) berücksichtigt. Zur Berechnung zukünftiger Wasserentnahmen wurde das Modell mit einem Landnutzungsmodell gekoppelt. Das Modell zur Berechnung des Wasserverbrauchs für Nutztiere wurde ebenfalls in seiner räumlichen Auflösung angepasst. Als Basisjahr wurde das Jahr 2005 festgelegt.

Um die Ergebnisse der Szenariestudien vergleichen zu können, wurden die Werte aller Länder aufsummiert, die in der GEO-4 Region »EUROPA« (Definition nach UNEP) liegen. *Tab. 3.1.11-2* listet alle Länder auf, die in dieser Region liegen und vom Modell WaterGAP simuliert werden.

### Hauptantriebe

Als Hauptantriebe wurden Klima, Bevölkerung, Brutto-sozialprodukt (GDP), Bruttowertschöpfung, thermische Elektrizitätsproduktion, bewässerte Fläche, Effizienzsteigerungen sowie Nutzungsverhalten berücksichtigt. Für die Studien MA und GEO-4 wurde jedem einzelnen Szenario entsprechend der Klimainput berechnet. Bei dem Klimainput für das Bewässerungsmodell handelt es sich um die Parameter Niederschlag, Temperatur und Strahlung. Der in der Studie WatCLIM eingesetzte Klimainput wurde von zwei verschiedenen Global Circulation Models (GCMs) berechnet, die von den IPCC

**Tab. 3.1.11-2:** Länder, die in der Studie berücksichtigt wurden (regionalisiert nach GEO-4 Regionen, gemäß UNEP).

| <i>Westeuropa</i> | <i>Zentraleuropa</i>    | <i>Osteuropa</i> |
|-------------------|-------------------------|------------------|
| Belgien           | Albanien                | Armenien         |
| Dänemark          | Bosnien und Herzegowina | Aserbajdschan    |
| Deutschland       | Herzegowina             | Georgien         |
| Finnland          | Bulgarien               | Moldawien        |
| Frankreich        | Estland                 | Ukraine          |
| Griechenland      | Jugoslawien             | Weißrussland     |
| Großbritannien    | Kroatien                |                  |
| Island            | Lettland                |                  |
| Irland            | Litauen                 |                  |
| Israel            | Mazedonien              |                  |
| Italien           | Polen                   |                  |
| Luxemburg         | Rumanien                |                  |
| Malta             | Slowakei                |                  |
| Niederlande       | Slowenien               |                  |
| Norwegen          | Tschechoslowakei        |                  |
| Österreich        | Türkei                  |                  |
| Portugal          | Ungarn                  |                  |
| Schweden          | Zypern                  |                  |
| Schweiz           |                         |                  |
| Spanien           |                         |                  |

SRES A2 und B2 Emissionen (IPCC 2000) angetrieben wurden. In SCENES wurde ebenfalls der Klimainput zweier verschiedener GCMs berücksichtigt, jedoch unter der Annahme des IPCC SRES A2 Szenarios (IPCC 2007). Die sozio-ökonomischen Entwicklungen wurden den Szenarien entsprechend ausgearbeitet (siehe Tab. 3.1.11-1).

Abb. 3.1.11-2 und -3 stellen die für die Szenarien entwickelten Bevölkerungsprojektionen sowie die möglichen Entwicklungen des Pro-Kopf Einkommens (GDP/cap) dar. Zum Vergleich sind die Werte der Basisjahre hinzugefügt. Es lässt sich erkennen, dass nur die Projektionen des A2-Szenarios (WatCLIM) sowie die Szenarien »Economy First«, »Policy Rules« und »Fortress Europe« Szenarien zum Teil deutlich über den Werten der Basisjahre liegen. Sowohl die MA Szenarien als auch die GEO-4 Szenarien bleiben mit ihren

Entwicklungen unterhalb der Marke der Basisjahre. Im Gegensatz dazu übersteigen jedoch alle zukünftigen Szenarien das Pro-Kopf Einkommen der Basisjahre erheblich, wobei insbesondere »Global Orchestration« und »Adapting Mosaic« (aus der MA Studie) sowie »Markets First« und »Policy First« (aus der GEO-4 Studie) zu erwähnen sind. In diesen Szenarien kommt es zu mindestens einer Vervierfachung des Einkommens bis zum Jahr 2050 bzw. 2055.

### Zukünftige Wassernutzung

WaterGAP wurde verwendet, um die Wasserentnahmen für die Basisjahre (1995, 2000, 2005) und die verschiedenen Szenarien für 43 europäische Länder zu berechnen. Abb. 3.1.11-4 zeigt die Entwicklungen der Gesamtwasserentnahmen, aggregiert für die GEO-4 Region »EUROPA«. Die Grafik verdeutlicht die Spannweite

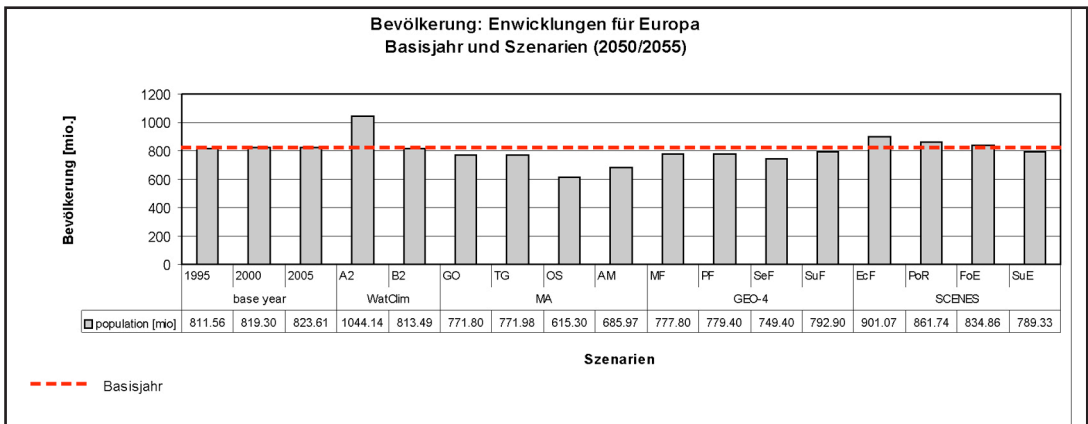


Abb. 3.1.11-2. Bevölkerungsentwicklungen der einzelnen Szenarienstudien im Vergleich mit den Basisjahren.

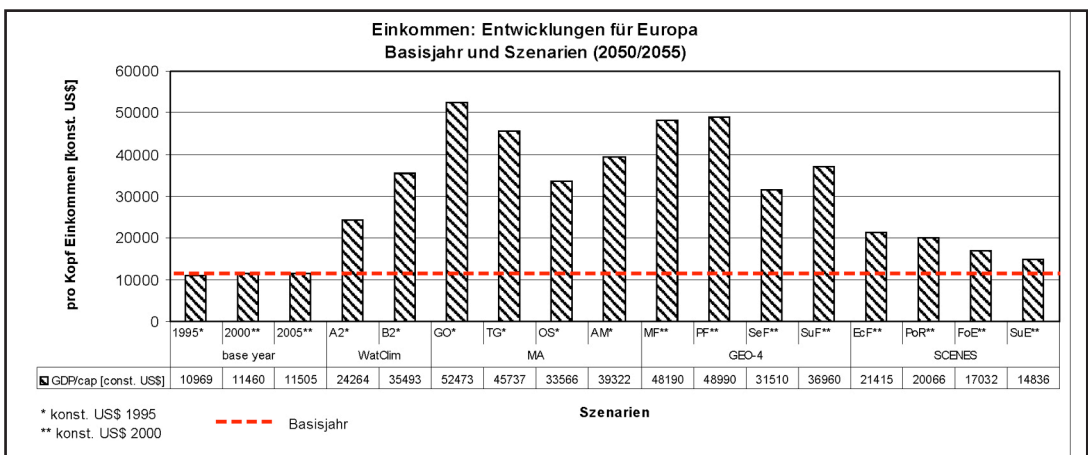


Abb. 3.1.11-3: Ökonomische Entwicklungen der einzelnen Szenarienstudien im Vergleich mit den Basisjahren.

der einzelnen Szenarien aus den jeweiligen Szenariestudien. Die Ergebnisse für die totalen Wasserentnahmen der WatCLIM Studie (615–622 km<sup>3</sup>) liegen an der Obergrenze der MA Studie (450–618 km<sup>3</sup>). Diese Ergebnisse wiederum werden von GEO-4 eingerahmt, dessen Szenarien eine deutlich größere Spannbreite aufzeigen (324–672 km<sup>3</sup>). Den größten Unterschied in der Gesamtwasserentnahme zeigen die SCENES Szenarien, die zwischen 140 und 586 km<sup>3</sup> liegt. Die Breite der Aufspreizung der Szenarienergebnisse ist maßgeblich

von den Antrieben sowie der Modellweiterentwicklung geprägt. Eine differenzierte Analyse wurde für die sektoralen Wasserentnahmen durchgeführt; die Ergebnisse finden sich in *Abb. 3.1.11-5* und werden nachfolgend im Text beschrieben.

Die Wasserentnahmen für den Haushaltssektor variieren zwischen 20 km<sup>3</sup> und 209 km<sup>3</sup> im Jahr 2050/2055. Insbesondere unter den Szenarienannahmen der WatCLIM Studie ist ein sehr starker Anstieg zu verzeichnen, der durch die sozio-ökonomischen

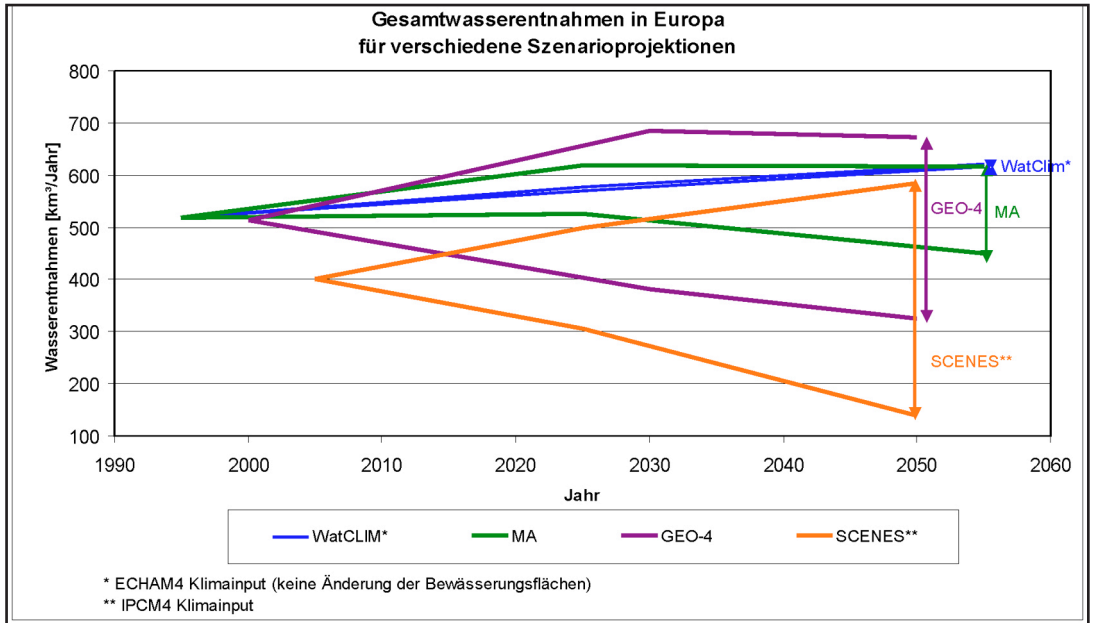


Abb. 3.1.11-4: Gesamtwasserentnahmen in Europa: die Spannbreite verschiedener Szenariestudien.

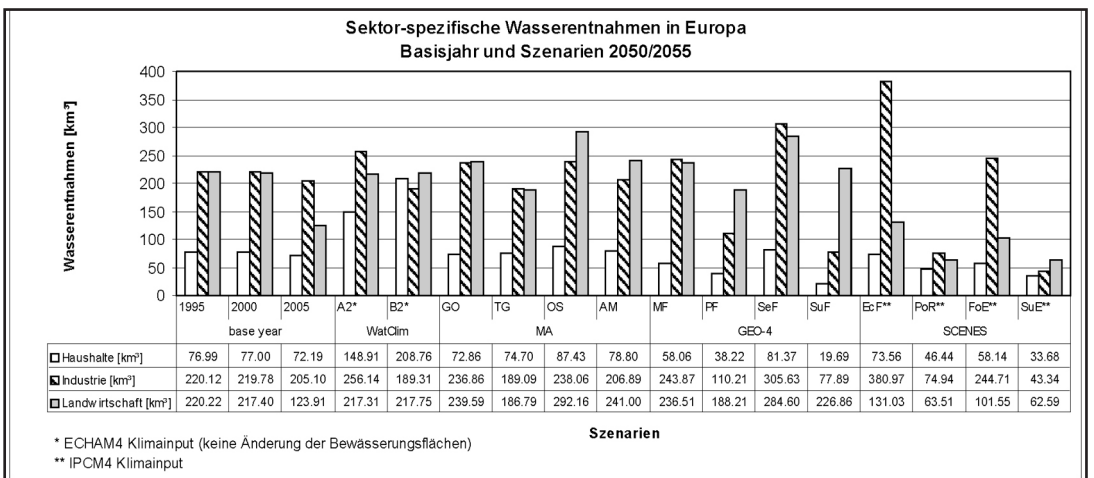


Abb. 3.1.11-5: Sektorale Wassernutzung berechnet für die verschiedenen Szenarien. Zum Vergleich die Basisjahre 1995, 2000 und 2005.

Entwicklungen geprägt ist. Ein deutlicher Anstieg ist auch bei den Szenarien »Order from Strength« (aus MA Studie) und »Security First« (aus GEO-4 Studie) zu verzeichnen, der jedoch auf den eher zurückhaltenden Einsatz von effizienteren Technologien zurückzuführen ist. Im Industriesektor schwanken die Wasserentnahmen je nach Szenario zwischen 43 km<sup>3</sup> und 381 km<sup>3</sup>. Die zukünftige Entwicklung der industriellen Wassernutzung ist maßgeblich von den Annahmen bezüglich Effizienzsteigerungen und verbesserter Technologien beeinflusst, die zu einer Reduktion der Wasserentnahmen führen. Dies wird insbesondere in den Policy-Szenarien und Nachhaltigkeitsszenarien deutlich: B2 (WatCLIM), »Techno Garden« (MA), »Policy First« und »Sustainability First« (GEO-4), »Policy Rules« und »Sustainability Eventually« (SCENES). Auf der anderen Seite könnte sich die Wassernutzung unter den Annahmen der Szenarien, die einen »industriellen Aufschwung« oder die »Separierung Europas« beschreiben, deutlich erhöhen. In diesen Szenarien sind die technologischen Veränderungen eher moderat, in den letztgenannten sogar teilweise sehr schleppend oder aber nicht berücksichtigt. Die Modellergebnisse hinsichtlich der landwirtschaftlichen Wassernutzung sind maßgeblich von der Bewässerung geprägt. In diesem Zusammenhang sind die Antriebe Klima, bewässerte Fläche und Effizienzsteigerung zu betrachten, die die Bewässerungswassernutzung beeinflussen. Insbesondere die Bewässerungsfläche ist für die unterschiedlichen Modellergebnisse verantwortlich. So wurde z.B. in WatCLIM keine Veränderung in der Bewässerungsfläche angenommen, so dass keine Änderung in der Wassernutzung zu erkennen ist. Die durch das Klima hervorgerufenen Erhöhungen werden durch eine verbesserte Effizienz aufgehoben. Die Basiskarte »area equipped for irrigation« (Fläche, die als Bewässerungsfläche ausgewiesen ist) wurde für die Berechnung der landwirtschaftlichen Bewässerung in den Studien MA und GEO-4 verwendet, weshalb die Modellergebnisse in der gleichen Größenordnung sind. Auch hier zeigt sich, dass insbesondere die Policy- und Nachhaltigkeitsszenarien eine Reduzierung der Bewässerungswassernutzung zur Folge haben. Dies lässt sich in den Annahmen von verringerten Bewässerungsflächen in Kombination mit Effizienzsteigerungen sehen. Deutliche Erhöhungen in den Wasserentnahmen zeigen die Ergebnisse der Szenarien »Order from Strength« und »Security First«, die für die »Selbstversorgung« Europas mit Futter- und Lebensmitteln stehen. Einen ähnlichen Trend zeigen die SCENES Szenarien, die jedoch auf einer »real irrigated area« (Fläche, die tatsächlich bewässert wurde) Karte basieren, die für die Differenz zu den anderen Szenariostudien verantwortlich ist.

### Zusammenfassung und Ausblick

In der von uns vorgestellten Analyse wurde das globale Wassermmodell WaterGAP verwendet, um die Wassernutzung der Sektoren Haushalte, Industrie und Landwirtschaft für die Basisjahre (1995, 2000, 2005) und die Zukunft (2050 bzw. 2055) zu berechnen. Dabei wurde auf Modellergebnisse zurückgegriffen, die im Rahmen von vier verschiedenen Szenariostudien bestimmt wurden. Dabei handelt es sich um die Studien »Millennium Ecosystem Assessment« (MA), »Dialogue on Water & Climate« (WatCLIM), »Global Environmental Outlook, No. 4« (GEO-4) und »Water Scenarios for Europe and for Neighbouring States« (SCENES). Hierbei wurden insbesondere der Einfluss von Klimawandel, sozio-ökonomische Entwicklungen und Effizienzsteigerungen (technologischer Wandel) berücksichtigt. Die Unterschiede zwischen den Szenariostudien hinsichtlich der Bevölkerungsentwicklungen sind recht ähnlich, nur drei Szenarien (A2, »Economy First«, »Policy Rules«) zeigen einen deutlichen Anstieg im Vergleich zum Basisjahr. Alle anderen Szenarien projizieren eine Stagnation bzw. einen Bevölkerungsrückgang. Ein einheitliches Bild stellt sich für die Entwicklung des zukünftigen Pro-Kopf Einkommens dar: Alle Szenarien beschreiben einen Anstieg, der jedoch von moderat (SCENES) bis extrem (»Global Orchestration«, »Techno Garden«, »Markets First«, »Policy First«) reicht.

Die Spannweite einer Szenariostudie wird durch die Vielfalt der einzelnen Szenarien bestimmt, die wiederum von den unterschiedlichen Antriebskräften der Szenarios geprägt sind. Ein Vergleich der vier Szenariostudien verdeutlicht die unterschiedlich großen Variationsbreiten der Studien; die größte Variationsbreite zeigen die SCENES Szenarien, gefolgt von GEO-4, MA und WatCLIM. Sowohl die Entwicklung der Szenarien und ihre zugehörigen Antriebskräfte als auch die Weiterentwicklung der Modelle zeichnen sich verantwortlich für die verschiedenen Variationsbreiten. Eine große Rolle hat die Einführung der »real irrigated area« in SCENES gespielt, die das Niveau der Wassernutzung maßgeblich beeinflusst hat. Auf der anderen Seite haben insbesondere die Annahmen bezüglich technologischer Verbesserungen (und damit eine Erhöhung der Effizienz) die Spannbreiten der Szenariostudien GEO-4 und besonders MA und WatCLIM eingeschränkt. Starke ökonomische Entwicklungen und damit verbundene Zunahmen in der Wassernutzung wurden durch hohe Effizienzsteigerungen gedämpft.

Die Schwankungsbreite der Modellergebnisse innerhalb eines Sektors ist sowohl von den Treiberkräften als auch von den Modellverbesserungen geprägt,

so dass ein direkter Vergleich der Werte von verschiedenen Studien nicht ohne weiteres möglich ist. Für den Bereich der Haushaltswassernutzung fallen insbesondere die Ergebnisse der WatCLIM Studie auf, die deutlich über denen der anderen drei Studien liegen. Bei der Industriewassernutzung wird die Beeinflussung durch neue Technologien deutlich, die ausdrücklich in den policy- und Nachhaltigkeitsszenarien der GEO-4 und SCENES Studien zum Einsatz kamen. Das von der Landwirtschaft benötigte Wasser wird hauptsächlich für die Bewässerung entnommen. In diesem Sektor zeigt sich, dass klimabedingte Erhöhungen der Wasserentnahmen durchaus durch Effizienzsteigerungen kompensiert werden können. Ein maßgeblicher Faktor zur Berechnung der Wasserentnahmen ist jedoch die Größe der zu bewässernden Fläche, die über eine Erhöhung oder Reduzierung entscheidet. In der Regel ist die Wassernutzung unter der Annahme eines policy- oder Nachhaltigkeitsszenarios geringer als unter einem ökonomisch ausgerichteten oder durch »Selbstversorgung« geprägten Szenarios.

Die in dieser Studie vorgestellten Wassernutzungsergebnisse sind sowohl von Szenarioannahmen als auch von Modellweiterentwicklungen geprägt. Letztere beeinflusst jedoch die Aussagen der Szenarien bzw. Szenariostudien nicht. Es zeigt sich, dass die Szenarioannahmen einen maßgeblichen Einfluss auf die Spannweite einer Szenariostudie haben. Die Antriebskräfte sind für eine genügend große Differenziertheit zwischen den Szenarien verantwortlich und sind im Rahmen der verschiedenen Studien von Experten oder Stakeholdern generiert worden. Dabei gilt, Szenarien beschreiben verschiedene, denkbar plausible Zukünfte, die durch Entwicklungen und Ereignisse geprägt sein können, denen aus heutiger Sicht eine äußerst geringe Plausibilität zugemessen wird, die aber dennoch bei der Szenariobildung nicht ausgeschlossen werden.

## Literatur

ALCAMO J., P. DÖLL, T. HENRICH, K. KASPAR, B. LEHNER, T. RÖSCH & S. SIEBERT (2003): Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences*. 48(3):317-337.

ALCAMO J., D. VAN VUUREN, C. RINGLER, W. CRAMER, T. MASUI, J. ALDER & K. SCHULZE (2005): Changes in nature's balance sheet: model-based estimates of future worldwide ecosystem services. *Ecology and Society* 10(2): 19. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss2/art19/>

ALCAMO J., M. FLÖRKE & M. MÄRKER (2007): Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes *Hydrological Sciences*. 52(2): 247-275.

ALCAMO J. (2008): The SAS Approach: Combining Qualitative and Quantitative Knowledge in Environmental Scenarios. In: *Environmental Futures: The Practice of Environmental Scenario Analysis*. Developments in Integrated Environmental Assess-

ment, Alcamo, J. (ed.), Volume 2, Elsevier, Amsterdam, 123-150.

AUS DER BEEK T., M. FLÖRKE, D.M. LAPOLA, & R. SCHALDACH (2010): Modelling historical and current irrigation water demand on the continental scale: Europe. *Advances in Geosciences* 27, 79-85.

CARPENTER S., P. PINGALI, E. BENNETT & M. ZUREK (eds.) (2005): *Scenarios of the Millennium Ecosystem Assessment*, Island Press, Oxford.

DÖLL P. & SIEBERT, S. (2002): Global modeling of irrigation water requirements. *Water Resources Research*. 38(4), 8.1-8.10.

FLÖRKE M. & J. ALCAMO (2004): *European outlook on water use*, Center for Environmental Systems Research, University Kassel, Final Report, EEA/RNC/03/007, 83 pp.

FLÖRKE M., I. BÄRLUND & E. KYNAST (2011): Future changes of freshwater needs in European power plants. *Management of Environmental Quality*, 22 (1), 89-104, DOI 10.1108/14777831111098507.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000): *Special report on emission scenarios*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. 599 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): *Summary for Policymakers*, In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

KÄMÄRI J, J. ALCAMO, I. BÄRLUND, H. DUEL, F. FARQUHARSON, M. FLÖRKE, M. FRY, H. HOUGHTON-CARR, P. KABAT, M. KALJONEN, K. KOK, K.S. MEIJER, S. REKOLAINEN, J. SENDZIMIR, R. VARJOPURO & N. VILLARS (2008): *Envisioning the future of water in Europe - the SCENES project*, E-Water [online] European Water Association.

ROTHMAN D., J. AGARD & J. ALCAMO (2007): *The Future Today*, in UNEP, 2007: *Global Environmental Outlook 4: Environment for Development*. United Nations Environment Programme, Nairobi. 395-454.

SHIKLOMANOV I. (2000) *Appraisal and assessment of world water resources*. *Water Int.* 25, 11-32. (Supplemented by CDROM: Shiklomanov, I. *World Freshwater Resources*, available from: International Hydrological Programme, UNESCO, Paris, France).

VERZANO K. (2009): *Climate change impacts on flood related hydrological processes: Further development and application of a global scale hydrological model*. Reports on Earth System Science. 71-2009. Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany.

*Dr. Martina Flörke*  
*Center For Environmental Systems Research,*  
*Universität Kassel*  
*Kurt-Wolters-Strasse 3 - 34125 Kassel*  
*Dr. Ilona Bärlund*  
*Helmholtz Centre for Environmental*  
*Research-UFZ, Magdeburg*  
*Prof Dr. Joseph Alcamo*  
*United Nations Environment*  
*Programme (UNEP), Nairobi*  
*floerke@usf.uni-kassel.de*