



## 2.6 Bewässerungswassernutzung – eine globale Perspektive

STEFAN SIEBERT & PETRA DÖLL

*Irrigation water – a global perspective: Quantitative, spatially resolved estimates of historical, present-day and future irrigation are an important basis for sustainable agricultural and water management. Here we present estimates of the extent of irrigated areas and of irrigation water use that are based on statistical data, modelling and scenario assumptions. The global figures are supplemented by data on a regional level, by statistics for the extent of irrigated areas and by two maps showing the actual extent of irrigated areas and irrigation water use at a resolution of 5 minutes by 5 minutes. Results of a global irrigation model indicate that climate change may lead to moderate increases of the irrigation water use at the global scale but to larger changes at the local and regional scale. Until the 2070s, irrigation water requirements may significantly increase on 40% of the currently irrigated areas, and decrease on 25%.*

Dieser Artikel beschreibt und analysiert raumzeitliche Muster in der Verteilung von Bewässerungsflächen und in der Bewässerungswassernutzung auf globaler Skala. Zur Beantwortung vieler aktueller Fragestellungen (z.B. der Rolle von Wasserressourcen für die Ernährungssicherung) und zur Entwicklung eines nachhaltiges Wassermanagements ist es wichtig zu wissen, wo sich Bewässerungsflächen befinden und wie viel Wasser für die Bewässerung benötigt wird. Eine exakte Bestimmung bewässerter Flächen und zur Bewässerung eingesetzter Wassermengen ist auf globaler Ebene nicht möglich. Die in diesem Artikel verwendeten Daten haben ihren Ursprung meist in Zusammenstellungen von Zensusdaten nationaler und internationaler Institutionen oder wurden durch globale Modelle simuliert.

Um Daten zur Bewässerung zu verstehen, ist es notwendig, einige gebräuchliche Definitionen zu unterscheiden. Die »zur Bewässerung erschlossene Fläche« (engl. area equipped for irrigation, AEI) beschreibt Flächen, die mit Bewässerungsinfrastruktur ausgestattet sind, so dass eine Bewässerung technisch möglich ist. Demgegenüber wird die tatsächlich bewässerte Fläche als »aktuell bewässerte Fläche« (engl. area actually irrigated, AAI) bezeichnet. Der Anteil der aktuell bewässerten Fläche an der erschlossenen Bewässerungsfläche variiert stark in Raum und Zeit und ist dort am höchsten, wo durch Bewässerung ein großer Ertragszu-

wachs erzielt werden kann und Bewässerungswasser in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung steht. Im gemäßigten Klima wird oft nur ein Teil der erschlossenen Bewässerungsfläche tatsächlich bewässert. Um Kosten zu sparen, werden z.B. oft nur Zuckerrüben, Gemüse und Kartoffeln bewässert, während die Getreidekulturen in der Rotation meist unbewässert wachsen. Die »Erntefläche bewässerter Kulturen« (engl. irrigated area harvested, IAH) kann größer als die aktuell bewässerte Fläche sein, wenn innerhalb eines Jahres mehr als eine Ernte auf den bewässerten Flächen erzielt wird. So können im Reisanbau in Süd- und Südostasien bis zu vier Ernten pro Jahr eingefahren werden. Die Erntefläche bewässerter Kulturen ist kleiner als die aktuell bewässerte Fläche, wenn auf einigen Feldern z.B. durch Unterbrechung der Wasserversorgung, durch Krankheiten oder Schädlingsbefall keine Ernte erfolgt.

Ebenso gibt es in der Literatur unterschiedliche Begriffe zur Bezeichnung der genutzten Wassermengen. Unter »Wasserentnahme« wird die aus Grund- oder Oberflächengewässern zur Nutzung entnommene Wassermenge verstanden. Demgegenüber beschreibt die »konsumtive Wassernutzung« nur jenen Anteil der Wasserentnahme, der verdunstet und daher im Wassereinzugsgebiet nicht wieder genutzt werden kann (GLEICK 2003). Die »konsumtive Bewässerungswassernutzung« (engl. irrigation consumptive water use, ICWU) ist daher die Wassermenge, die aufgrund der

Bewässerung durch den Pflanzenbestand zusätzlich evapotranspiriert. Die »Wasserentnahme zur Bewässerung« (engl. irrigation withdrawal water use, IWWU) ist immer größer als die konsumtive Bewässerungswassernutzung, da ein Teil des entnommenen Wassers oberflächlich abfließt oder in den Unterboden versickert. Diese Rückflüsse können potenziell wiedergenutzt werden. In vielen Statistiken werden Angaben zur »Wasserentnahme der Landwirtschaft« (engl. agricultural withdrawal water use, AWWU) oder »konsumtiven Wassernutzung der Landwirtschaft« (engl. agricultural consumptive water use, ACWU) gemacht. Die Wassernutzung des landwirtschaftlichen Sektors ist dabei die Summe der Wassernutzung für Bewässerung, Tierhaltung und Fischerei.

## Zur Verbreitung der landwirtschaftlichen Bewässerung

### Historische Entwicklung der Ausdehnung von Bewässerungsgebieten

Die Geschichte der Bewässerung begann vor etwa 7500 Jahren im Zweistromland zwischen Euphrat und Tigris (FRENKEN 2009, S. 207). Des Weiteren wurde Bewässerung bereits sehr früh am ägyptischen Nil, in den Reisanbaugebieten Ostchinas, sowie in der Oasenlandwirtschaft Arabiens, Irans und entlang der Westküste Südamerikas genutzt. Es wird angenommen, dass die bewässerte Fläche im Jahr 1700 weltweit etwa 5,1 Mio. ha betrug und dass diese Fläche auf 10,6 Mio. ha bis zum Jahr 1800 und auf 53,2 Mio. ha bis zum Jahr 1900 anstieg (ELLIS et al. 2010). Die zur Bewässerung erschlossene Fläche verdoppelte sich dann bis zum Jahr 1945 und erneut bis zum Jahr 1980 (Abb. 2.6-1).

Während der globale Trend in der Ausdehnung bewässerter Flächen seit 1945 relativ konstant ist, gab es starke regionale Unterschiede in der Entwicklung bewässerter Flächen. So waren in Teilen Mittel- und Osteuropas (Tschechische Republik, Slowakische Republik, Polen, Ungarn, Bulgarien, Rumänien, ehemalige DDR, Estland, Lettland, Litauen, Weißrussland, Russland) im Jahr 1990 etwa 13 Mio. ha landwirtschaftlicher Fläche zur Bewässerung erschlossen, während 20 Jahre später davon nur etwa 3,7 Mio. ha übrig geblieben sind. Dieser Rückgang der bewässerten Flächen in Osteuropa wurde jedoch überkompensiert durch die Ausweitung von Bewässerung in anderen Regionen, insbesondere in Asien und Teilen Südamerikas (Abb. 2.6-1).

### Gegenwärtige Situation

Basierend auf einer Datenbank subnationaler Bewässerungsstatistiken wurde ermittelt, dass die erschlossene Bewässerungsfläche um das Jahr 2005 etwa 301 Mio. ha betrug, wovon ungefähr 253 Mio. ha tatsächlich bewässert wurden (Tab. 2.6-1). Etwa 113 Mio. ha (38%) waren zur Bewässerung mit Grundwasser erschlossen (SIEBERT et al. 2010). Mehr als die Hälfte der globalen Bewässerungsfläche befindet sich in den drei Ländern China, Indien und USA (Abb. 2.6-2). Etwa 58% der erschlossenen Bewässerungsfläche und 62% der tatsächlich bewässerten Fläche befindet sich in der Region Süd- und Ostasien. Die Erntefläche bewässerter Kulturen war im Zeitraum um das Jahr 2000 etwa 312 Mio. ha (Tab. 2.6-1), mit den flächenmäßig größten Anteilen für Reis (103 Mio. ha), Weizen (67 Mio. ha), Mais (30 Mio. ha) und Baumwolle (16 Mio. ha). 79% der Anbaufläche von Dattelpalmen, 62% der Reisanbaufläche und 49% der Anbaufläche von Zuckerrohr und Baumwolle

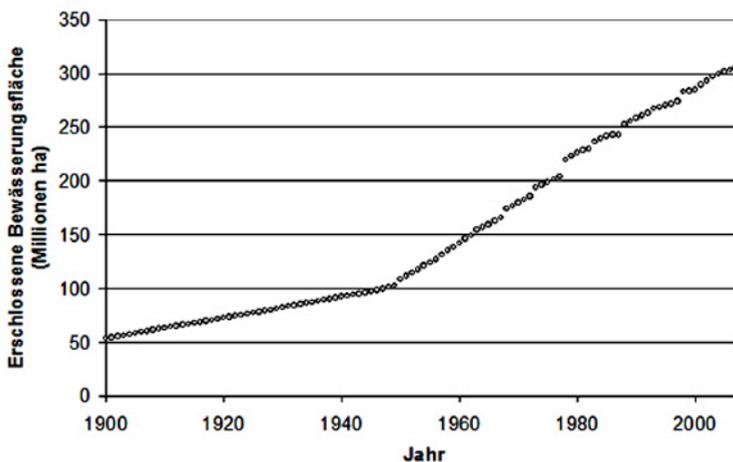


Abb. 2.6-1: Globale Ausdehnung von erschlossenen Bewässerungsflächen im Zeitraum 1900–2008 (Datenquellen: FREYDANK & SIEBERT 2008; FAOSTAT).

werden bewässert während andere Kulturen wie Kakaο, Maniok oder Ölpalmen fast ausschließlich im Regenfeldbau angebaut werden (PORTMANN et al. 2010).

**Szenarien der zukünftigen Bewässerungsfläche**

Die meisten internationalen Organisationen erwarten, dass sich die bewässerte Fläche in Zukunft weiter ausbreiten wird. So erwartet die Welternährungsorganisation FAO, dass sich die erschlossene Bewässerungsfläche in den Entwicklungs- und Schwellenländern von etwa 202 Mio. ha im Zeitraum 1997–1999 auf 242 Mio. ha im Jahr 2030 erhöhen wird, was einem Anstieg um 20% entspricht (BRUINSMA 2003). Das Internationale Wassermagementinstitut IWMI nimmt in seinem Basisszenario einen Anstieg der erschlossenen Bewässerungsfläche um 22% zwischen 1995 und 2025 an (SECKLER et al. 2000). Beide Institutionen gehen also davon aus, dass die Ausweitungsrates deutlich unter der in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts bleibt (vgl. Abb. 2.6-1). Es gibt aber auch andere Szenarien, die zwischen zukünftig verringerten Bewässerungsflächen und einem noch stärkerem Anstieg der Bewässerungsflächen variieren. Unsicher ist insbesondere, wie sich der wachsende Welthandel, die zunehmende Anbaufläche von nachwachsenden Rohstoffen und die Änderung der Ernährungsgewohnheiten auf die Ausbreitung bewässerter Flächen auswirken werden. Um den steigenden Bedarf an landwirtschaftlichen Produkten befriedigen zu können, müssen aride und semiaride Gebiete schon heute viele Produkte importieren, anstatt die eigene landwirtschaftliche Produktion durch Erweiterung der Bewässerungsflächen zu erhöhen. Durch diesen Import von sogenanntem virtuellem Wasser werden die eigenen Wasserressourcen geschont oder können anderen Wassernutzungssektoren zur Verfügung gestellt werden

(CHAPAGAIN et al. 2005).

**Bewässerungswassernutzung**

Die räumliche Verteilung des Bewässerungswasserbedarfs ist abhängig von der Dichte bewässerter Flächen (vergleiche Abb. 2.6-2 und 2.6-3), der angebauten Kultur, den Bodenverhältnissen und von den klimatischen Bedingungen während der Anbauperiode. Landwirtschafts- oder Wassernutzungserhebungen enthalten gewöhnlich Daten zu Bewässerungswasserentnahmen (IWWU), während die konsumtive Bewässerungswassernutzung (ICWU) häufig durch Modelle berechnet wird. Die Genauigkeit der Daten aus beiden Quellen ist durch zahlreiche Unsicherheiten und die Verwendung unterschiedlicher Begrifflichkeiten limitiert, so dass publizierte Bewässerungswassermengen deutlich variieren.

**Entwicklung der landwirtschaftlichen Wassernutzung im letzten Jahrhundert**

Einer globalen Untersuchung von AWWU und ACWU zu Folge hat sich die AWWU von 513 km<sup>3</sup>/Jahr 1900 auf 1.080 km<sup>3</sup>/Jahr im Jahr 1950 und 2.504 km<sup>3</sup>/Jahr 1995 erhöht (SHIKLOMANOV, 2000). Die Untersuchung ist von einer sehr effizienten Nutzung des Wassers in der Landwirtschaft ausgegangen, was zu hohen Schätzungen des ACWU führt. ACWU hat sich demnach von 321 km<sup>3</sup>/Jahr 1900 auf 722 km<sup>3</sup>/Jahr 1950 und 1.753 km<sup>3</sup>/Jahr 1995 erhöht. AWWU als Anteil der gesamten Wasserentnahme hat sich im Wesentlichen als Folge steigenden Wasserbedarfs in der Industrie und zur Energieerzeugung von etwa 89% im Jahr 1900 auf 66% im Jahr 1995 reduziert. Analog dazu hat sich ACWU als Anteil der gesamten konsumtiven Wassernutzung von 97% auf 85% reduziert, hauptsächlich durch Eva-

**Tab. 2.6-1:** Erschlossene Bewässerungsfläche AEI (Mio ha), aktuell bewässerte Fläche AAI (Mio. ha) und Erntefläche bewässerter Kulturen (IAH) pro Weltregion. Die Ausdehnung der Regionen wird in Abb. 2.6-2 gezeigt. (Datenquellen: SIEBERT et al. 2010, PORTMANN et al. 2010).

Region	AEI (etwa 2005)	AAI (etwa 2005)	IAH (etwa 2000)
Nordafrika	6.4	6.0	8.7
Afrika südlich der Sahara	7.2	5.5	6.2
Nordamerika	35.5	28.9	27.2
Zentralamerika und Karibik	1.9	1.1	1.7
Südamerika	11.6	9.6	8.6
West- und Zentraleuropa	17.8	11.6	11.8
Osteuropa	4.9	1.7	5.2
Mittlerer Osten	23.6	17.7	18.3
Zentralasien	14.7	11.8	10.7
Süd- und Ostasien	173.6	155.6	211.2
Australien und Neuseeland	4.0	3.0	2.8
Andere pazifische Inseln	0.0	0.0	0.0
<b>Welt</b>	<b>300.9</b>	<b>252.6</b>	<b>312.4</b>

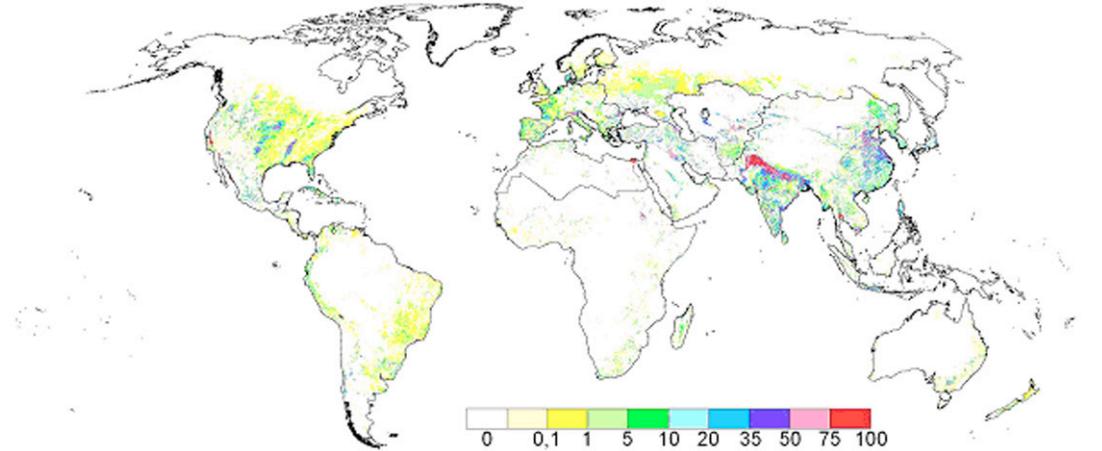
poration aus einer steigenden Zahl von Stauseen. Wenn die Evaporation von offenen Wasserflächen nicht als konsumtive Wassernutzung betrachtet wird, reduziert sich ACWU als Anteil der gesamten konsumtiven Wassernutzung von 97% im Jahr 1900 auf 93% im Jahr 1995.

**Gegenwärtige Situation**

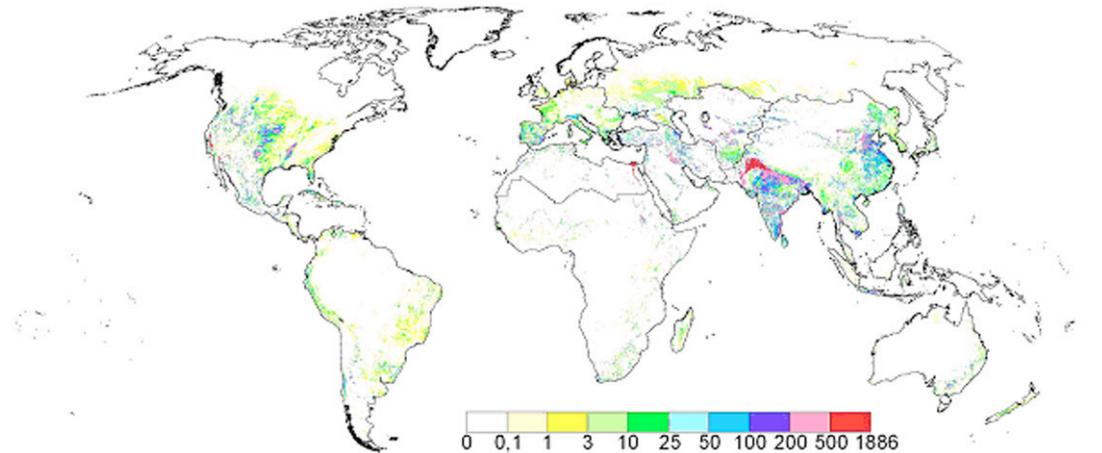
Länderspezifische Daten in der AQUASTAT-Datenbank der FAO (<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>) ergeben in der Summe 2.575 km<sup>3</sup>/Jahr für den AWWU. In dieser Datenbank sind aber nicht für alle Länder Werte enthalten, und abhängig vom jeweiligen Land reichen die letzten verfügbaren Daten zurück bis zum Jahr 1975.

Den Ergebnissen des globalen Wassermodells

WaterGAP (ALCAMO et al. 2003) zu Folge betrug die Wassernutzung in der Tierhaltung im Jahr 2000 etwa 27 km<sup>3</sup>/Jahr. Weitaus größer ist die Wassernutzung für Bewässerung. Ein Vergleich der Ergebnisse aus sieben globalen Wassernutzungsmodellen ergab einen ICWU im Bereich 927–1.530 km<sup>3</sup>/Jahr (HOFF et al. 2010). Laut dem globalen Modell GCWM entsteht die höchste konsumtive Wassernutzung bei der Bewässerung von Reis (307 km<sup>3</sup>/Jahr), Weizen (208 km<sup>3</sup>/Jahr), Futtergräsern (90 km<sup>3</sup>/Jahr) und Baumwolle (84 km<sup>3</sup>/Jahr). Weltweit wird etwa 18% der Evapotranspiration landwirtschaftlicher Kulturen durch das applizierte Bewässerungswasser verursacht, wobei der Bewässerungswasseranteil bei Dattelpalmen (85%), Baumwolle (39%), Reis und Zitruskulturen (jeweils 33%) sowie Zuckerrüben (32%) am höchsten ist (SIEBERT & DÖLL 2010). Die zu-



**Abb. 2.6-2:** Landwirtschaftliche Bewässerungsfläche im Jahr 2000 als Prozentsatz der Gesamtfläche in Rasterzellen der Ausdehnung 5 Minuten geographischer Länge × 5 Minuten geographischer Breite (SIEBERT et al. 2006).



**Abb. 2.6-3:** Mittlere konsumtive Bewässerungswassernutzung (ICWU) im Zeitraum 1998-2002 in mm/a, bezogen auf die Gesamtfläche der 5 Minuten-Rasterzellen und berechnet mit dem Modell GCWM (SIEBERT & DÖLL 2010).

sätzliche Wasserverfügbarkeit durch Bewässerung führt zu deutlich höheren Erträgen im Bewässerungslandbau. So betrug im Zeitraum 1998–2002 der durchschnittliche Ertrag von Getreidekulturen im Regenfeldbau etwa 2,7 t/ha, während er im Bewässerungsfeldbau etwa 4,4 t/ha betrug. Etwa 44% der Getreideproduktion wird auf bewässerten Flächen erzeugt, und bei einem Verzicht auf Bewässerung würde die weltweite Getreideproduktion um etwa 20% sinken (SIEBERT & DÖLL 2010).

Der ICWU ist am höchsten in ariden Gebieten mit hoher Anbauintensität, z.B. entlang der Flüsse Indus und Nil. Die durch die zeitliche Variabilität des Klimas bedingte interannuelle Variabilität des Bewässerungswasserbedarfs ist gering in ariden Regionen und hoch in eher humiden Regionen, in denen Bewässerungswasser als Zusatzbewässerung zu dem Wasserangebot aus Niederschlägen verabreicht wird. Eine Simulation mit dem Bewässerungsmodul des WaterGAP Models (DÖLL & SIEBERT 2002) mit konstanten Bewässerungsflächen und beobachtetem Klima im Zeitraum 1901–2002 ergab z.B. für Ägypten einen ICWU von 45,3 km<sup>3</sup> in einem besonders feuchten Jahr (nur 10% aller Jahre sind noch feuchter) und von 47,4 km<sup>3</sup> in einem besonders trockenen Jahr (nur 10% aller Jahre sind noch trockener), was einem Anstieg des ICWU um etwa 5% entspricht. Demgegenüber würde sich in Großbritannien der ICWU in einem besonders trockenem Jahr (0,22 km<sup>3</sup>) mehr als verdreifachen im Vergleich zu einem besonders feuchtem Jahr (0,06 km<sup>3</sup>). Es kann davon ausgegangen werden, dass der Unterschied im ICWU in besonders trockenen Jahren zu dem ICWU in besonders feuchten Jahren in der Realität noch größer ist, da die bewässerte Fläche in Gebieten mit Zusatzbewässerung in trockenen Jahren ebenfalls höher ist als in feuchten Jahren. Dies wurde in der oben genannten Studie nicht berücksichtigt.

### ***Einfluss des Klimawandels auf die Bewässerungswassernutzung***

Das Ausmaß der zukünftigen Bewässerungswassernutzung wird hauptsächlich von dem Ort und der Ausdehnung der bewässerten Flächen sowie den angebauten Feldfrüchten beeinflusst. Beides ist abhängig von der demographischen und wirtschaftlichen Entwicklung, von den Wasserressourcen und der Konkurrenz durch andere Wassernutzungssektoren, aber auch von den sich ändernden Klimabedingungen. Diese haben auch einen direkten Einfluss auf die Wassernutzung auf einer bestimmten Bewässerungsfläche. Die Wasserentnahme für Bewässerung wird außerdem von den sich ändernden Effizienzen in der Bewässerungswassernutzung bestimmt. Die zukünftige Entwicklung all dieser Einflussgrößen ist sehr unsicher.

Der spezielle Einfluss des Klimawandels wurde in einer Studie mit Hilfe des WaterGAP Models untersucht (DÖLL 2002). Bewässerte Flächen wurden dabei konstant gehalten und Modellrechnungen mit den Ergebnissen zweier globaler Klimamodelle (HadCM3 und ECHAM4) für ein Emissionsszenario (IS92a) durchgeführt. Ergebnis der Studie war, dass sich ICWU verglichen mit dem Klima der Referenzperiode 1961–1990 weltweit um 3% (ECHAM4) oder 5% (HadCM3) bis zu den 2020er Jahren und um 5% (ECHAM4) oder 8% (HadCM3) bis zu den 2070er Jahren erhöhen könnte. Große klimabedingte Anstiege des ICWU wurden berechnet für Kanada (38% bis zu den 2070er Jahren mit ECHAM4 und 21% mit HadCM3) und Südostasien (78% bis zu den 2070er Jahren mit ECHAM4 und 67% mit HadCM3). Eine klimabedingte Verringerung wurde demgegenüber für Nordafrika berechnet (-16% bis zu den 2070er Jahren mit ECHAM4 und -13% mit HadCM3).

Um die Bedeutung des Einflusses des Klimawandels auf den Bewässerungswasserbedarf einordnen zu können, ist ein Vergleich mit der interannuellen Variabilität des ICWU sinnvoll, da der Bewässerungssektor an diese Variabilität angepasst ist. Die interannuelle Variabilität des ICWU wird als Differenz zwischen dem ICWU in einem feuchten Jahr und dem mittleren ICWU berechnet, wenn durch den Klimawandel der Bewässerungsbedarf abnimmt, und als Differenz zwischen dem mittleren ICWU und dem ICWU in einem trockenen Jahr, wenn durch den Klimawandel der Bewässerungsbedarf zunimmt (Definition trockenes bzw. feuchte Jahr s.o.). Für die 2020er Jahre wurde berechnet, dass auf 20% der erschlossenen Bewässerungsfläche der Anstieg des ICWU höher sein wird als die vorhandene interannuelle Variabilität. Bis zu den 2070er Jahren erhöht sich der betroffene Anteil der erschlossenen Bewässerungsfläche auf 35–40% (Tab. 2.6-2).

### **Schlussfolgerungen**

Global gesehen ist die landwirtschaftliche Bewässerung der größte Wassernutzungssektor mit einem Anteil von mehr als 90% an der konsumtiven Wassernutzung. Durch deutlich erhöhte Erträge leistet der Bewässerungslandbau einen wichtigen Beitrag zur Ernährungssicherung. Der Bewässerungswasserbedarf pro Flächeneinheit ist am höchsten in ariden Regionen mit hoher Anbauintensität, während die interannuelle Variabilität in der Bewässerungswassernutzung in humiden Regionen größer ist. Der Klimawandel führt wahrscheinlich zu einem moderaten Anstieg des globalen Bewässerungswasserbedarfs, während sich die regionale Bewässerungswassernutzung stärker ändern

**Tab. 2.6-2:** Vergleich der Auswirkungen von Klimawandel und interannueller Variabilität auf die konsumtive Bewässerungswassernutzung (ICWU) für zwei Klimaszenarien (DÖLL 2002, verändert). In der Tab. ist der Anteil der erschlossenen Bewässerungsfläche, der durch erhöhte oder verringerte konsumtive Bewässerungswassernutzung betroffen ist, angegeben.

	Prozent der global erschlossenen Bewässerungsfläche			
	2020er Jahre		2070er Jahre	
	ECHAM4	HadCM3	ECHAM4	HadCM3
Anstieg des ICWU durch Klimawandel ist geringer als die interannuelle Variabilität des ICWU	46	50	28	25
Anstieg des ICWU durch Klimawandel ist stärker als die interannuelle Variabilität des ICWU	20	19	34	39
Verringerung des ICWU durch Klimawandel ist geringer als die interannuelle Variabilität des ICWU	16	18	13	14
Verringerung des ICWU durch Klimawandel ist stärker als die interannuelle Variabilität des ICWU	18	13	25	22
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

wird. Die in diesem Beitrag enthaltenen Angaben zu bewässerten Flächen und zur Bewässerungswassernutzung sind noch unsicher, so dass weitere interdisziplinäre Forschung erforderlich ist, um die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Bewässerungswassernutzung zu quantifizieren.

## Literatur

- ALCAMO J., P. DÖLL, T. HENRICH, F. KASPAR, B. LEHNER, T. RÖSCH & S. SIEBERT (2003): Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences Journal* 48(3), 317-338.
- BRUINSMA J. (ed.) (2003): World agriculture towards 2015/2030 – an FAO perspective. FAO, Rome, Italy, 444 pp.
- CHAPAGAIN A.K., A.Y. HOEKSTRA & H.H.G. SAVENIJE (2005): Saving water through global trade. UNESCO-IHE, Value of Water Research Report Series No. 17, Delft, The Netherlands. 36 pp.
- DÖLL P. & S. SIEBERT (2002): Global modeling of irrigation water requirements. *Water Resources Research* 38(4), 8.1-8.10, DOI 10.1029/2001WR000355.
- DÖLL P. (2002): Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic Change* 54(3), 269-293.
- ELLIS E. C., K. KLEIN GOLDEWIJK, S. SIEBERT, D. LIGHTMAN & N. RAMANKUTTY (2010): Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography* 19(5), 589-606.
- FRENKEN K. (ed.) (2009): Irrigation in the Middle East region in figures. AQUASTAT Survey – 2008. FAO Water Reports 34, FAO, Rome, Italy, 402 pp.
- FREYDANK K. & S. SIEBERT (2008): Towards mapping the extent of irrigation in the last century: time series of irrigated area per country. Frankfurt Hydrology Paper 08, Institute of Physical Geography, University of Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany, 46 pp.
- GLEICK P.H. (2003): Water use. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28, 275-314.
- HOFF H., M. FALKENMARK, D. GERTEN, L. GORDON, L. KARLBERG & J. ROCKSTRÖM (2010): Greening the global water system. *Journal of Hydrology* 384(3-4), 177-186.
- PORTMANN F. T., S. SIEBERT & P. DÖLL (2010): MIRCA2000-Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. *Global Biogeochemical Cycles* 24, GB1011.
- SHIKLOMANOV I.A. (2000): Appraisal and assessment of world water resources. *Water International* 25(1), 11-32.
- SECKLER D., U. AMARASINGHE, D. MOLDEN, R. DE SILVA & R. BARKER (2000): World water demand and supply 1990 to 2025: scenarios and issues. IWMI Research Report 19, IWMI, Colombo, Sri Lanka, 40 pp.
- SIEBERT S., J. BURKE, J. M. FAURES, K. FRENKEN, J. HOOGEVEEN, P. DÖLL & F. T. PORTMANN (2010): Groundwater use for irrigation – a global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences* 14, 1863-1880.
- SIEBERT S. & P. DÖLL (2010): Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology* 384(3-4), 198-217.
- SIEBERT S., J. HOOGEVEEN & K. FRENKEN (2006): Irrigation in Africa, Europe and Latin America. Update of the Digital Global Map of Irrigation Areas to Version 4. Frankfurt Hydrology Paper 05, Institute of Physical Geography, Frankfurt University, Frankfurt am Main, Germany, 134 pp.

*Dr. Stefan Siebert*

*Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn*

*Institut für Nutzpflanzenwissenschaften  
und Ressourcenschutz (INRES)*

*Katzenburgweg 5- 53115 Bonn*

*s.siebert@uni-bonn.de*

*Prof. Dr. Petra Döll*

*Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main*

*Institut für Physische Geographie*

*Postfach 11 19 32 - 60054 Frankfurt am Main*

*p.doell@em.uni-frankfurt.de*