

## Nachhaltige Nutzung der Wasserkraft

Dr.-Ing. Walter Marx, Institut für Wasserbau (IWS), Universität Stuttgart

Für die Wasserkraft als regenerative Energiequelle ergeben sich sowohl Konflikte als auch – bei entsprechender Gestaltung – Chancen durch ihren Umweltbezug. Beispiele werden hierzu aufgezeigt. Im Kontext der Umweltdiskussion zwingt die Liberalisierung des Strommarktes die Wasserkraft dazu, sich neu zu positionieren und die allgemeine Anerkennung ihres Mehrzweckcharakters einzufordern. Dies gilt auch im internationalen Kontext und hier in besonderem Maße für Speicherkraftwerke. Die Flächennutzungseffizienz von Speichern zur Energie- und Bewässerungswasserbereitstellung wird exemplarisch nachgewiesen. Ein Ausblick auf die Entwicklungsperspektiven der Wasserkraft schließt den Beitrag ab.

### Wasserkraft und Umwelt

*Globale Entlastung und lokale, umweltbezogene Entwicklungsziele*

Die Hauptargumente für die Wasserkraft sind – neben der Erneuerbarkeit – die günstige Beeinflussung der globalen CO<sub>2</sub>- und Luftschadstoffbilanzen durch die Einsparung fossiler Energieträger und ein günstiges Verhältnis von Baustoff- und Materialeinsatz zur Energieer-

zeugung. Für das lokale Umfeld hingegen bedeutet Bau und Betrieb einer Wasserkraftanlage immer einen Eingriff. Ob er eher negativ und durch Ausgleichsmaßnahmen möglichst gering zu halten ist oder sogar umweltbezogen positiv sein kann, hängt von der jeweiligen örtlichen Situation ab.

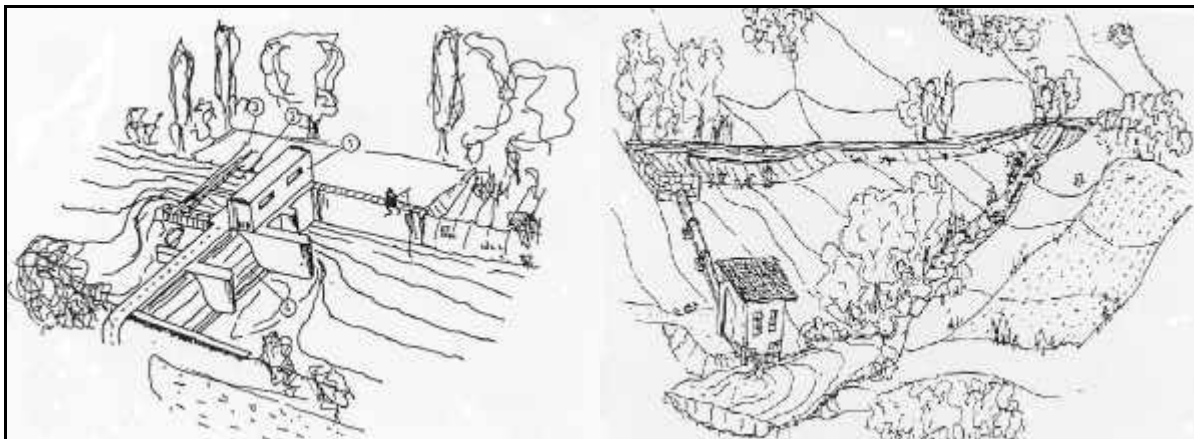
Will man Wasserenergie gewinnen, muss man die dissipativen „Reibungsverluste“ des fließenden Wassers gegenüber dem natürlichen Zustand des genutzten Gewässerabschnittes vermindern. Die beiden typischen Strategien bestehen in:

- Aufstau zur Verringerung von Fließgeschwindigkeit, Gewässerbettreibung und Turbulenz (s. Abb. 1 links),
- Umleitung mit hydraulisch glatter Ausführung des Triebwasserkanals zur Verringerung von Gewässerbettreibung und Turbulenz (s. Abb. 1 rechts).

Solche hydraulisch günstigen Verhältnisse, die ja die Voraussetzung der Wasserkraftnutzung sind, wirken negativ auf die ökologische Vielfalt. Nachhaltigkeit drückt sich aber gerade darin aus, dass das genutzte Ökosystem nicht überstrapaziert wird und die vernetzten ökologischen Funktionen erfüllt werden.

Deshalb sollen Gestaltungs- bzw. Kompensationsmaßnahmen vor allem darauf abzielen, ökologische Vielfalt zu erhalten oder ersatzweise anzubieten. Konkret bedeutet das, dass der Potenzial-Nutzungsgrad eines Flussabschnittes abzumindern ist durch:

Abb. 1: Skizze eines Fluss- und eines Ausleitungskraftwerkes



- Räumlich geringere Inanspruchnahme, d. h. Belassung von frei fließender Welle auf Teilschnitten;
- geringere zeitliche und mengenmäßige Inanspruchnahme des Abflusses, d. h. Erhaltung von Abflussdynamik und der Durchgängigkeit für aquatische Lebewesen.

### Beispiele umweltgerechter Wasserkraftplanung

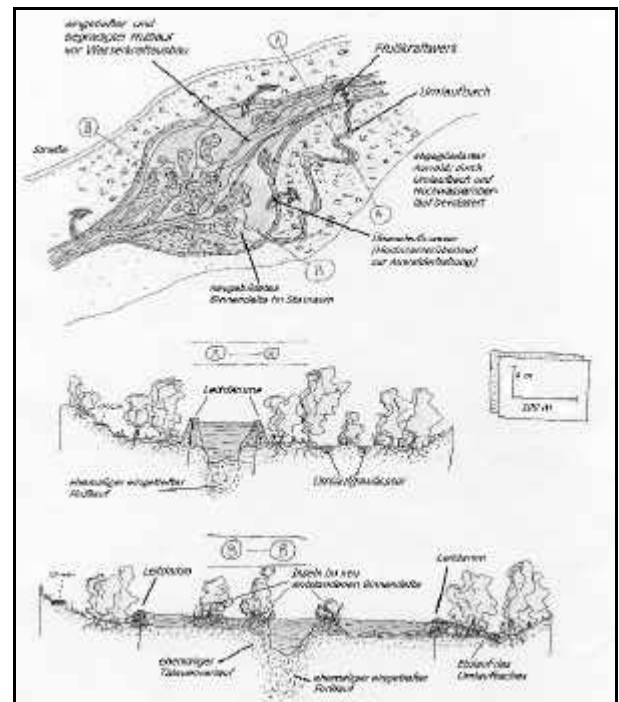
#### Wasserkraft-Positivkartierung

Für die Elz im Schwarzwald wurde zur Ausweisung potenzieller Wasserkraftanlagen-Standorte eine *Positivkartierung Wasserkraft* (Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein 1998) vorgenommen. Zur Wasserkraftnutzung wurden nur bereits vorhandene Gefällestufen in Betracht gezogen. Weitere Vorgaben waren die ökologische Durchgängigkeit des Gewässers für aquatische Lebewesen durch ausreichend bemessene Restwasserabflüsse sowie die Beschränkung der Ausleitung auf den Bereich der Gefällestufe. Darauf fußend wurde mit einem Arbeitsvermögen von 9,7 GWh/a ein ökologisch vertretbarer Ausbau ausgewiesen.

#### Ökologisch günstige Stausee-Gestaltung

Bei *regulierten Flüssen* – und das ist der überwiegende Teil der Flüsse in Deutschland – ist der Abfluss beschleunigt, die Sohle tief sich ein, Fluss und Flussaue sind voneinander getrennt. Trotz des äußerlich guten Aussehens kann ein solches Gewässer seine ökologischen Funktionen weitgehend verloren haben. Hier kann – bei entsprechenden Voraussetzungen und je nach der Ausbildung des Stausees – ein wasserkraftgenutzter Aufstau eine Verbesserung der ökologischen Verhältnisse bewirken. Einen Prototyp eines nach ökologischen Gesichtspunkten strukturierten Stausees mit Verdlandungszonen (Binnendelta) und gestaltetem Umlaufgewässer zeigt die Abbildung 2.

Abb. 2: Prototyp eines ökologischen günstigen Stausees



#### Durchgängigkeit für aquatische Lebewesen

Bei wasserrechtlichen Neugenehmigungen wirft sich die Frage auf, wie die Mindestabflüsse in den ausgeleiteten Flussstrecken zu bemessen sind, damit man der Forderung nach ökologischer Durchgängigkeit eines Fließgewässers ebenso Rechnung tragen kann, wie dem Gebot der Wirtschaftlichkeit für das Wasserkraftwerk.

Ein mögliches Instrument hierfür stellt das Simulationsmodell CASIMIR (Computer Aided Simulation Modell for Instream Flow Regulation) dar (s. z. B. Jorde 1997). Bei unterschiedlichen Restwasserabflüssen werden Habitatangebote für aquatische Lebewesen auf der einen Seite und das sich ändernde Jahresarbeitsvermögen der Wasserkraftanlage auf der anderen Seite ermittelt. In der Zusammenschau dienen beide Indikatoren als Entscheidungsgrundlage für eine ökologisch begründete Mindestwasserfestlegung im Ausgleich von Ökologie und Ökonomie.

## Wasserkraft im liberalisierten Strommarkt

### Potenziale in Deutschland

Grundlage der Positionierung der Wasserkraft-Nutzung in Deutschland im Kontext des europäischen Strommarktes sind die bereits genutzten sowie die noch verfügbaren Potenziale. Hierzu gibt es zahlreiche Veröffentlichungen, beispielsweise (Giesecke u. Heimerl 1999, Staiß 2000). Die Energieerzeugung aus Wasserkraft betrug 1998 ca. 18,5 TWh/a. Der Kleinwasserkraftanteil beläuft sich auf ca. 7-9 % der genutzten Wasserkraft. Das Gesamtpotenzial wird mit ca. 2,7 TWh/a abgeschätzt. Der am ehesten realisierbare Anteil dieses Zuwachspotenzials liegt mit ca. 2 TWh/a in der Modernisierung bestehender Anlagen.

### Wasserkraft-Strom und -Zertifizierung

Im Kontext der Versorgung mit elektrischer Energie ist der Anteil der Wasserkraft in Deutschland mit ca. 4 % zwar klein, jedoch könnte *Grüner Strom* aus Wasserkraft in weit stärkerem Umfang als bisher Öko-Strom-Anbietern Grundlage, Rückgrad und Anschlag für andere regenerative Energien bilden. Ein Grund für den derzeit relativ geringen Markterfolg des *Grünen Stroms* ist neben der Unübersichtlichkeit des Marktes insbesondere die unzureichend abgesicherte Vertrauenswürdigkeit der „grünen“, auch Wasserkraft-Stromangebote.

Einen richtungsweisenden Weg zu einer einheitlichen, praxistauglichen und wissenschaftlich fundierten Definition von umweltgerecht erzeugtem Strom aus Wasserkraftanlagen geht die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) in der Schweiz mit dem Projekt *Ökostrom* (Bratrich u. Truffer 1999). Dieses geplante Zertifizierungsverfahren ist auf bestehende, große und kleine Wasserkraftanlagen ausgerichtet. Dazu wird die ökologische Wertigkeit der zu zertifizierenden Wasserkraftanlage im Wesentlichen an Kriterien wie Hydrologischer Charakter, Gewässervernetzung, Feststoffhaushalt, Biotop und Lebensgemeinschaften bestimmt. Zum Grad der Erfüllung dieser Kriterien tragen die Anlagenkomponenten *Stauraum, Wasserbauwerke* und Betriebs-

weisen wie beispielsweise *Schwell-Sunk-Betrieb und Restwasserdotierung* bei.

Die Mehreinnahmen, die zertifizierte Kraftwerke durch den Verkauf von grünem Wasserkraftstrom erzielen, sollen der Nachhaltigkeit, d. h. ökologischen Verbesserungen der genutzten Fluss-Systemen, zugute kommen.

### Kosten- und Bewertungsproblematik

Von Wasserkraftwerksbetreibern (s. z. B. Kesselring u. Hauray 2000) wird das Argument vorgebracht, dass unter den derzeitigen Rahmenbedingungen fallender Strompreise im Nicht-Ökostrommarkt keine Wasserkraftanlage mehr wirtschaftlich zu betreiben sei. Wollte man aus dem Kosten-Dilemma herauskommen, bedürfte es:

- Änderungen in den Förderrichtlinien, insbesondere eine Befreiung von der Öko-steuer, Investitionszuschüsse sowie angepasste, langfristige Darlehen.
- Umweltauflagen mit Augenmaß. Negativbeispiele sind hier die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) für das Neubauvorhaben *Rheinfelden/Hochrhein* mit einer Untersuchungsdauer von über 10 Jahren und Kosten von mehr als 5 Mio. DM sowie das Wasserkraftwerk Kinsau am Lech, bei dem 30 % der Gesamtinvestitionskosten zur Implementierung von Kompensationsmaßnahmen aufzuwenden waren.
- Einbeziehung externer Kosten/Nutzen bei *allen* Energieerzeugungsanlagen.
- Anrechnung besonderer Aufgaben von Wasserkraftwerken wie beispielsweise die Qualitätssicherung des Produktes *elektrische Energie* durch Regelung im Verbundnetz (Pumpspeicherwerke) (Rost 2001) und die Mehrzwecknutzungen.

## Wasserkraft international

### Potenziale

Wenngleich bei der Beurteilung der Energiesituation eines Landes zumeist die *heimischen* Ressourcen im Vordergrund stehen, würde es insbesondere bei der Wasserkraft eine nicht angemessene Verkürzung bedeuten, diese erneuerbare Energiequelle nicht auch im interna-

tionalen Kontext zu betrachten. Einerseits ergibt sich ein direktes Interesse daran aufgrund der Beteiligung deutscher Fachleute aus Politik und Wirtschaft an Planung und Bau ausländischer Wasserkraftanlagen insbesondere im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit.

Andererseits kann bzw. könnte die Wasserkraft infolge der nicht unbeachtlichen weltweiten – jedoch regional stark variierenden – Verfügbarkeit einen nennenswerten Beitrag zur globalen Umweltentlastung – d. h. nachhaltigen Energieversorgung – leisten: Nach Abschätzungen könnten weltweit rund 2,4 Mio. MW an Wasserkraftwerksleistung installiert werden. Hiervon ist derzeit nur ein Viertel ausgebaut.

*Bewertung des Flächenbedarfs von Wasserspeichern*

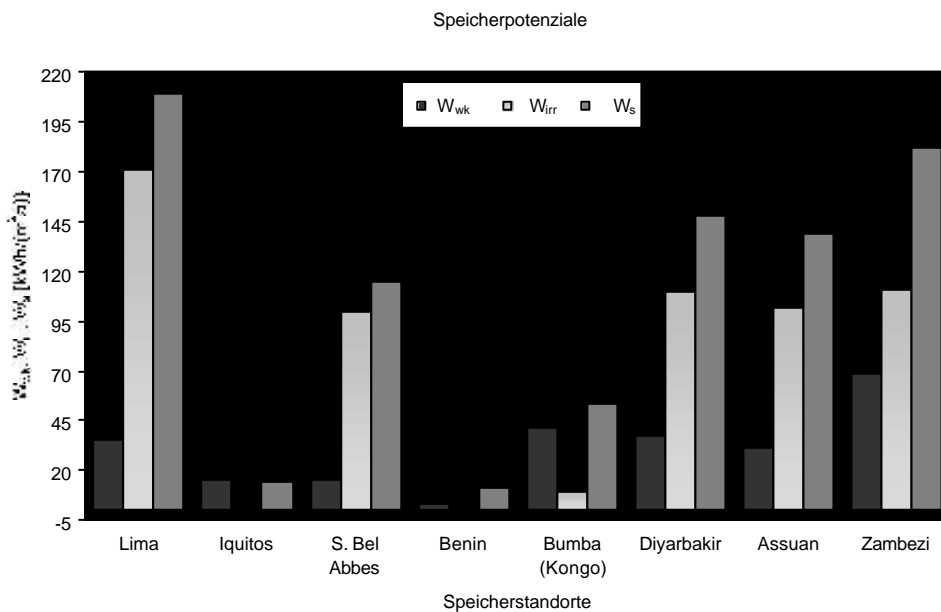
Im globalen Maßstab stellt sich die Frage nach den Vor- und Nachteilen eines Wasserkraftprojekts im Vergleich zu anderen Optionen. Insbesondere stehen hier große Speicherkraftwerke im Brennpunkt kritischer Betrachtung, wobei konkurrierende Landnutzungsmöglichkeiten des potenziellen Speicherraumes prob-

lematisiert werden. Vielfach wird argumentiert, dass eine direkte solare Nutzung weitaus flächeneffizienter sei. Hierbei wird allerdings zumeist nur die im Wasserkraftwerk erzeugte Energie zugrunde gelegt.

Berücksichtigt man zusätzlich die energetische Wertigkeit des in der Talsperre gespeicherten Bewässerungswassers, eines in vielen Regionen ganz wesentlichen Faktors, sieht die Situation völlig anders aus. Diesen Sachverhalt verdeutlicht beispielhaft Abbildung 3. Dort sind für verschiedene geographische sowie klimatische Konstellationen und unterschiedliche Projektparameter wie Speichergröße und Fallhöhe speicherflächenbezogene Kennzahlen in kWh/(m<sup>2</sup>a) angegeben.

Die folgenden Schlüsse lassen sich aus Abbildung 3 ziehen: Insbesondere in den ausgedehnten ariden Gebieten der Erde sind zur Sicherung der Ernährungsgrundlagen der Bevölkerung Wasserspeicher notwendig. Hier ist eine kombinierte Nutzung zur Bereitstellung von Bewässerungswasser und Energie eine sinnvolle flächeneffiziente Nutzungsalternative, während in feuchten Klimata, bei relativ geringen topographischen Höhenunterschieden

**Abb. 3: Speicherpotenziale an verschiedenen Standorten ausgedrückt in kWh je Quadratmeter Speicherseeoberfläche und Jahr\***



\*  $w_{wk}$  und  $w_{irr}$  sind Energiepotenziale aus Wasserkraft und Bewässerung,  $w_s$  stellt die Überlagerung aller Anteile inklusive Bioproduktivität im Stauseebereich gemäß jeweiligem Szenario dar.

und bei kleinem Bewässerungspotenzial die direkte solare Nutzung eine flächeneffizientere, nachhaltigere Energieerzeugungsalternative sein könnte.

Ökologischen Ausgleichsmaßnahmen sind in warmen Klimata beim Speicherbau enge Grenzen gesetzt: Vielfältige Lebensräume können auch vielfältigen wasserbürtigen Krankheitserregern günstige Lebensbedingungen bieten, so dass hier die Berücksichtigung gesundheitlicher Aspekte eher traditionelle wasserbauliche Maßnahmen erfordert (Feyen u. Badji 1993; ICOLD/CIGB 1994).

Da die Länder der wärmeren Klimazonen meist Entwicklungsländer mit nur knappen Finanzmitteln sind, stellen sich darüber hinaus Umweltschutz-, d. h. Nachhaltigkeits-Zielkonflikte bei der Wasserkraftplanung beinahe zwangsläufig ein.

## Entwicklungsperspektiven

### *Abbaubarkeit von Wasserkraftanlagen*

Ein wichtiger Punkt in der Technologiediskussion ist das weitere „Schicksal“ einer Energieerzeugungsanlage nach ihrer Stilllegung.

Eine Wasserkraft-Anlage kann nach Betriebsende Teil der Landschaft werden. Man findet hier und dort aufgegebene Anlagen, die sich in „ruinösem“, dem Augenschein nach aber naturverträglichen Zustand befinden. Abbildung 4 zeigt eine aufgegebene Kleinwasserkraftanlage, deren Stauraum mit Wasser aufgefüllt und deren Streichwehr stark rissig und teilweise bereits geborsten und von Auenwald überwachsen ist. Eine neue, naturnahe Gefällestufe ist im Flusstal entstanden.

Teilweise erfordert ein „kontrollierter, sicherer Verfall“ konstruktive Konzepte zur Umgestaltung bereits in der Planung.

**Abb. 4: Rückeroberung stillgelegter Kleinwasserkraftanlagen durch die Natur**



### *Positionierung der Wasserkraft in Deutschland*

Da günstige Standorte überwiegend bereits genutzt sind oder waren, werden sich die Aktivitäten im Wasserkraftsektor auf die Modernisierung, Optimierung und teilweise Reaktivierung stillgelegter Anlagen konzentrieren. Der mögliche Zuwachs für Deutschland liegt bei 12 bis 15 %. Das entspricht ca. 400 bis 500 MW an zusätzlicher Leistung bzw. ca. 2.200 bis 2.700 GWh/a weiterer Stromerzeugung.

Bei diesen Überlegungen darf allerdings nicht außer Acht gelassen werden, dass sich die Energiebranche aufgrund der Liberalisierung des Strommarktes derzeit in einer Umbruchsphase befindet. Die Wasserkraft wird sich neu positionieren müssen. Ein neues Profil könnte sich im Bereich des *Grünen Stroms* ergeben, indem die Wasserkraft das Rückgrad eines solchen Angebots bildet und damit die Weiterentwicklung anderer regenerativer Energieträger stützt.

### *Perspektiven im internationalen Kontext*

Insbesondere in Entwicklungsländern mit einem hohen Bedarf an Energiezuwachsen, wasserwirtschaftlichen Ausgleichsmaßnahmen und Notwendigkeiten der Nahrungsmittelproduktion dürfte die Wasserkraft, vor allem als Mehrzweckanlage, bei stärkerer Berücksichtigung

sozio-ökologischer Aspekte ihre vergleichsweise starke Position halten.

Wasserkraft-optimistische Abschätzungen (Goldsmith 1992) ergaben 1991 in Bezug auf den Stellenwert der *Wasserkraft in Entwicklungs- und Schwellenländern* für die kommenden Jahrzehnte das folgende Szenario:

- Jährlicher Wasserkraft-Zubau in der Größenordnung von 12 - 14 GW/Jahr
- Wasserkraft-Investitionen von 25 - 30 Milliarden US\$ (1991) pro Jahr.

Da die tatsächliche Entwicklung nicht nur von der Nachfrage, sondern auch von den wirtschaftlichen Möglichkeiten der Energiekonsumenten bei gestiegenem Umweltbewusstsein abhängt, lässt sich die tatsächliche Zubaurate nur sehr schwer abschätzen. Weltweit im Bau befindliche Anlagen zeigen jedoch, dass obiges Szenario nicht völlig unrealistisch ist. Der Beitrag der Bewässerungslandwirtschaft an der Welt-Nahrungsmittelproduktion wird voraussichtlich von derzeit ca. 36 % auf ca. 80 % (2025) steigen. Wie eine energetische Analyse unterschiedlichster Speicherstandorte gezeigt hat (Marx 2001), besitzen Mehrzweckspeicher vorrangig in den warm-trockenen Regionen der Erde ein großes Nutzungspotenzial. Sie können dort einen nachhaltigen, flächeneffizienten Beitrag zur Ernährungssicherung und zur Deckung des anwachsenden Energiebedarfs der Landesbevölkerung leisten, indem sie gleichzeitig Bewässerungswasser und Wasserkraft bereitstellen. Deutsche Partner könnten hier im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit Einfluss auf die Nachhaltigkeit von Projekten nehmen.

Immer wieder angedacht wurde die Nutzung „billiger“ Wasserkraft aus beispielsweise Kanada, Grönland oder vom Kongo im Rahmen einer Wasserstoff- oder anderweitigen Energieträger-Wirtschaft. Sorgfältig abzuwägen sind dabei freilich im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung die sozio-ökologischen Kosten.

## Literatur

*Bratrich, C. und Truffer, B.*, 1999: Ökostrom – Neue Perspektiven der Wasserkraftnutzung. *Wasserwirtschaft* 89, Heft 9.

*Feyen, J.; Badji, M.*, 1993: Environmental and Health Aspects of Irrigation. *Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft*, 28. Jg., H. 1, S. 6–30

*Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein*, 1998: Gewässerentwicklung Elz – Positivkartierung Wasserkraft. Studie im Auftrag des Ministeriums für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg. Offenburg.

*Giasecke, J.; Heimerl, S.*, 1999: Wasserkraftnutzung im sich verändernden Strommarkt. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Jg. 51, H. 9/10, S. 242-248

*Goldsmith, K.*, 1992: Future prospects for hydropower. *Water Power and Dam Construction*, S. 14-16

*ICOLD/CIGB*, 1994: Dam and Environment – Water Quality and Climate. International Commission on Large Dams – Committee on Damming and the Environment, Bulletin No. 96.

*Jorde, K.*, 1997: Ökologisch begründete, dynamische Mindestwasserregelungen bei Ausleitungskraftwerken. Dissertation, Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, Mitteilungen Heft 90

*Kesselring, P.; Haury, G.*, 2000: Grüner Strom – regenerative Energieerzeugung aus Wasserkraft im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Markt. *Wasserwirtschaft* 90, H. 7-8.

*Marx, W.*, 2001: Studie zur energetischen Effizienz von Mehrzweckspeichern bei unterschiedlichen geographischen und klimatischen Bedingungen (unveröffentl. Mskr.).

*Rost, M.*, 2001: Pumpspeicherkraftwerke – Aufgaben und Zukunft im Stromwettbewerb. *Wasserwirtschaft* 90, H. 7-8, S. 328-331

*Staiß, F.*, 2000: Jahrbuch Erneuerbare Energien. Herausgegeben von der Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg. Radebeul: Biebertstein-Verlag.

Internet: <http://www.fjahrbuch-erneuerbare-energien.de>

## Kontakt

Dr.-Ing. Walter Marx

Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau  
Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft  
Pfaffenwaldring 61, 70550 Stuttgart

Tel.: +49 (0) 7 11 / 6 85 - 47 50

Fax: +49 (0) 7 11 / 6 85 - 47 46

E-Mail: [walter.marx@iws.uni-stuttgart.de](mailto:walter.marx@iws.uni-stuttgart.de)

URL: <http://iws.uni-stuttgart.de>

«