

# Wasserkraft und die Energiezukunft der Welt

## Die Rolle der Wasserkraft als saubere und erneuerbare Energie für die Welt



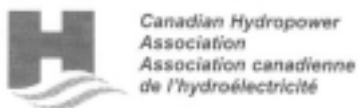
International Hydropower Association  
Sutton, Surrey  
United Kingdom



International Commission on Large Dams  
Paris, France



Implementing Agreement on Hydropower  
Technologies and Programmes/  
International Energy Agency  
Paris, France



Canadian Hydropower Association  
Ottawa, Ontario  
Canada

November 2000

## Vorwort

Die großen technischen, ökonomischen und umweltrelevanten Vorteile der Wasserkraft machen sie zu einem wichtigen Versorger für die zukünftige Energieversorgung der Welt, insbesondere für die Entwicklungsländer. Diese Länder haben einen immer größer werdenden Energie- und Wasserbedarf. Diese Länder verfügen auch über das größte Potential für zusätzliche Wasserkraft.

Entwicklung ist ein menschliches Grundrecht, auch wenn dies von vielen verneint wird. Energiepolitiker müssen ihrer Verantwortung für die Entwicklung der rationalsten Möglichkeit zur Energieversorgung einer sich weiterentwickelnden Welt gerecht werden. Der Schutz der Umwelt – hier vor allem die Begrenzung des Treibhauseffektes – ist ein oberstes Ziel.

Die Entwicklung von Infrastruktur ist unausweichlich mit einem bestimmten Maß an Veränderungen verbunden. Die Errichtung von Staudämmen und zugehörigen Speicherbecken und von Wasserkraftwerken ruft gewisse physikalische und soziale Veränderungen hervor. In den letzten Jahren fanden allerdings nur die negativen Einflüsse die entsprechende Beachtung. Weniger Beachtung haben die Vorteile der Wasserkraft gefunden. Das Wissen und der Wille zum Erkennen, Mildern und / oder Kompensieren von negativen Einflüssen wurden gering beachtet.

Diese Ausarbeitung soll aufzeigen:

- Die Rolle der Wasserkraft in der Zukunft in Verbindung mit der ständig wachsenden Weltbevölkerung und deren steigender Energiebedarf.
- Das Potential für die Zukunft des Ausbaus von Wasserkraft in der Welt.
- Die technischen und ökologischen Vorteile der Wasserkraft im Vergleich mit anderen Energieoptionen.
- eine Übersicht zu den spezifischen Umwelt- und Sozialaspekten und Beispiele zur Minderung von negativen Einflüssen.
- Empfehlungen zur besten Verwirklichung zukünftiger Projekte.
- Mögliche Wege zur Weiterentwicklung der Wasserkraft

Es wird gezeigt, daß Wasserbau und Wasserkraft nicht nur die Arbeit von Technikern, sondern auch von Umweltexperten, Biologen und Sozial- und Wirtschaftswissenschaftlern erfordern. Zusammen repräsentieren sie den Reichtum an Expertenwissen, mit dem zukünftige Projekte geplant, gebaut und betrieben werden können in Übereinstimmung mit der Gesellschaft und der Umwelt.

## **Wasserkraft und die Energiezukunft der Welt**

### **Die Rolle der Wasserkraft als saubere und erneuerbare Energie für die Welt**

#### **Einleitung:**

Mit dem Schritt in das 21. Jahrhundert hat die Weltwirtschaftsentwicklung zum Rekordverbrauch an Energie geführt. Hierbei wächst der Bedarf an elektrischem Strom stärker als der gesamte Primärenergiebedarf. Der überwiegende Teil (80%) des heutigen Energieverbrauches stammt aus fossilen Quellen (Kohle, Gas, Öl). Weltweit nehmen die Sorgen über die fehlende Nachhaltigkeit dieser Energieformen zu. Überall werden die Fragen zu einer Langzeitstrategie für die Energieversorgung gestellt.

Sorgen über die Markt- und Preissituation der fossilen Energien, die rückläufigen Anteile der Kernenergie und die signifikanten Probleme der thermischen Energie führen zu einer neuen Entwicklung für die erneuerbaren Energien.

Für erneuerbare Energie gibt es zahlreiche Technologien. In der heutigen Zeit wird erneuerbare Energie häufig nur mit Wind, Geothermie und Solartechnik in Verbindung gebracht. Aber die größte Quelle an erneuerbarer Energie ist die bewährte Wasserkraft. Wasserkraft basiert auf der Energie der Sonne und dem damit verbundenen Wasserkreislauf. Heute repräsentiert die Wasserkraft weltweit mit 92 % Anteil die erneuerbaren Energien und stellt auch die bestmögliche Erzeugungsform zur weiteren Entwicklung der erneuerbaren Energie dar. Darüber hinaus ist die Wasserkraft in der Lage, Energie zu speichern und damit die Stromerzeugung zu optimieren.

Die International Hydropower Association (IHA), die Implementing Agreement on Hydropower Technologies and Programms of the International Energy Agency (IEA / Hydro), die Canadian Hydropower Association (CHA) und die Internationale Kommission für große Dämme (ICOLD) sind die weltweiten Organisationen, die eine verantwortungsvolle Weiterentwicklung der Wasserkraft repräsentieren. Zusammen haben sie eine nahezu neunzigjährige Erfahrung in der Planung und Verwirklichung von Wasserkraftprojekten. Viele der weltweit führenden Experten für nachhaltigen Umweltschutz und soziale Probleme arbeiten in ihren technischen Ausschüssen mit.

Dieses Papier, zusammengefaßt von IHA und IEA, zeigt die Grundsätze für den weiteren Ausbau der Wasserkraft als verfügbare, saubere elektrische Energiequelle, die nachhaltig genutzt werden kann. Die Vielzahl von Vorteilen der Wasserkraft muß auch weiterhin genutzt werden. ICOLD und CHA haben die Arbeiten unterstützt.

## Die weltweite Energiesituation

Die Energie Agentur (EIA) beim Energy-Department der USA und der World-Energy-Council erfassen den Weltenergieverbrauch.

Im letzten Bericht der EIA ist eine Abschätzung zum Weltenergiebedarf von 1997 bis 2020 enthalten. Danach soll der Bedarf um 60 % von 111.000 TWh/a auf 178.000 TWh/a wachsen.

Noch dramatischer sind die Zahlen beim elektrischen Energiebedarf. Hier soll sich eine Steigerung um 76 % von 12.000 TWh/a (1997) auf 22.000 TWh/a (2020) ergeben.

Im Jahr 2050 wird die Weltbevölkerung von 6 auf 9 Milliarden Menschen angewachsen sein. Der auf die Bevölkerung bezogene spezifische Energieverbrauch korreliert mit dem Lebensstand der Bevölkerung und der ökonomischen, sozialen und kulturellen Situation. Heute haben die unterentwickelten Länder 2,2 Mrd. Einwohner. Ihr Primärenergiebedarf ist um den Faktor 20 geringer als der Bedarf in den industrialisierten Ländern (1,3 Mrd. Einwohner). Bei der elektrischen Energie verbrauchen die Entwicklungsländer 35mal weniger als die Industrienationen.

Auch ohne genaue Zahlenkenntnisse ist klar, daß der Weltenergiebedarf in diesem Jahrhundert deutlich steigen wird. Dies ergibt sich nicht nur aus der demografischen Entwicklung, sondern auch aus dem steigenden Lebensstandard in den Entwicklungsländern. In 2050 werden 7 Mrd. Menschen (d. h. 78 % der Weltbevölkerung) in diesen Ländern leben.

Die Herausforderung ist ganz klar: Ein unausweichlicher Anstieg im Weltenergieverbrauch mit dem Risiko einer globalen Umweltkatastrophe als Folge der Verbrennung von fossilen Brennstoffen.

Das Recht auf Entwicklung ist ein Grundrecht der Menschen, und Entwicklung ohne Energie ist nicht möglich. Leider wird dies von zahlreichen Organisationen verneint.

Angesichts dieser Situation werden alle verfügbaren Energiequellen benötigt. Der globale Umweltschutz fordert hier allerdings mit höchster Priorität, die sauberen und erneuerbaren Energien, und hier vor allem die Wasserkraft, zu fördern.

Eine Studie der amerikanischen Energieversorgungsunternehmen zeigt auf, daß in der Welt in den nächsten 10 Jahren 695 GW-Leistung mit allen Energiequellen erschlossen werden. Davon werden ca. 22 % mit Wasserkraft, 26 % mit Gas und 27 % mit Kohle betrieben werden.

Das technische Ausbaupotential an Wasserkraft wird mit 14.370 TWh/a abgeschätzt. Nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ergibt sich hieraus eine Jahrerzeugung von 8082 TWh/a. Derzeit sind Anlagen mit 700 GW Leistung (jährliche Arbeit ca. 2.600 TWh) in Betrieb und Anlagen mit 108 GW im Bau. Das größte Potential zur Ausbau der Wasserkraft befindet sich in Afrika, Asien und Lateinamerika:

	<b>Technisches Ausbaupotential</b>	<b>Wirtschaftliches Ausbaupotential</b>
Afrika	1.750 TWh/a	1.000 TWh/a
Asien	6.800 TWh/a	3.600 TWh/a
Nord- und Zentral- amerika	1.660 TWh/a	1.000 TWh/a
Südamerika	2.665 TWh/a	1.600 TWh/a

Zur Zeit wird mit Wasserkraft ca. 20 % des elektrischen Energiebedarfs in der Welt erzeugt. In mehr als 65 Ländern hat die Wasserkraft einen Anteil von mehr als 50 %. In 32 Ländern liegt der Anteil der Wasserkraft bei größer 80 %. 13 Länder der Erde beziehen ihren Strom nur aus Wasserkraft.

Verschiedene Länder wie China, Indien, Iran, Türkei haben Entwicklungsprogramme für große Wasserkraftanlagen aufgelegt und in der Abwicklung.

Eine Vielzahl von Ländern sehen in der Entwicklung der Wasserkraft die Schlüsselrolle für ihre zukünftige Entwicklung. Sudan, Ruanda, Mali, Benin, Ghana, Liberia, Guinea, Bhutan, Kambodscha, Armenien, Kirgistan, Kuba, Costa Rica, Guyana.

### **Nutzen und Vorteile der Wasserkraft**

Wasserkraft beinhaltet einzigartige Vorteile, die bei anderen Energiequellen kaum zu finden sind. Dies kann die erzeugte elektrische Energie selbst sein oder Standortvorteile zusammen mit der Entwicklung der Speicherbecken.

Trotz der gegenwärtigen kontroversen Diskussion stellen nur wenige die Vorteile der Wasserkraft gegenüber den fossilen Brennstoffen in Frage. Zum Beispiel in 1997 hat die Wasserkraft Emissionen verhindert, die dem Emissions-Volumen aller Fahrzeuge der Welt entsprechen.

Mit der Wasserkraft allein und den verbliebenen Potentialen kann der zukünftige Weltenergiebedarf allerdings nicht gedeckt werden. Aber schon ein Ausbau der Hälfte des vorhandenen wirtschaftlichen Potentials würde bei der Emission von Treibhausgasen zu erheblichen Reduzierungen führen.

Umsichtig geplante Wasserkraft-Entwicklung kann zu einer gewaltigen Anhebung des Lebensstandards in den Entwicklungsländern (Asien, Afrika, Lateinamerika) führen, in denen die größten Ausbaupotentiale noch existieren. Noch immer sind ca. 2 Mrd. Menschen in den ländlichen Gebieten auf der Erde ohne Stromversorgung.

Vielfach ist die saubere und erneuerbare Wasserkraft nur ein wesentlicher Vorteil bei der Mehrfachnutzung des Wassers. Lebensnotwendige Aufgaben wie z. B. die Wasserversorgung haben eine noch bedeutendere Funktion. Eine sichere Trinkwasserversorgung, die gesicherte Bewässerung für die Nahrungserzeugung, die Vorteile beim Hochwasserschutz, Entwicklungsmöglichkeiten für Schifffahrt, Tourismus und Fischerei spielen bei der Planung und Errichtung von Staudämmen eine große Rolle.

## **Besonderheiten der Wasserkraft**

- Die Verfügbarkeit der Wasserkraft ist weit über die Welt verteilt. Ein entsprechendes Potential ist in 150 Ländern vorhanden. Ungefähr 70 % der wirtschaftlich nutzbaren Energie ist noch nicht ausgebaut und dies vor allem in den Entwicklungsländern.
- Wasserkraft ist eine erprobte und bewährte Energieform mit mehr als 100 Jahren Erfahrung. Der Wirkungsgrad dieser Energieerzeugung beträgt mehr als 90 %.
- Die Erzeugung von Spitzenenergie ist bei der Nutzung der Grundlastenergie ein wesentlicher Vorteil gegenüber der Wind- und Solarenergie. Die kurzen An- und Abfahrzeiten sind wichtig für den Ausgleich des aktuellen elektrischen Energiebedarfs.
- Wasserkraft hat die niedrigsten Betriebskosten und die längste Lebensdauer der Anlagen. Nach den relativ hohen Baukosten am Anfang kann die Lebensdauer der Anlage mit relativ geringen Kosten für Instandhaltung und periodischer Erneuerung der elektro-mechanischen Ausrüstung ausgedehnt werden. Die Laufzeit der Anlagen kann auf 80 – 100 Jahre verlängert werden.
- Der „Brennstoff“ Wasser ist erneuerbar und keinen Marktschwankungen unterworfen. Auch Länder mit großen fossilen Energiereserven wie Iran und Venezuela haben - unter Berücksichtigung der enormen ökologischen Vorteile - der Wasserkraft entsprechende Ausbauprogramme aufgelegt.  
Wasserkraft bedeutet für viele Länder die Unabhängigkeit der Energieversorgung.

## **Vorteile der Wasserkraft für die elektrische Energieversorgung**

Wasserkraft schafft viele Vorteile für die Elektrizitätsversorgung. Mit den großen Speicherbecken können im Bedarfsfall kurzfristig hohe Leistungen zur Verfügung gestellt werden.

Die Vorteile werden in den folgenden Dienstleistungen aufgeführt.

- Als mitlaufende und synchronisierte Reserve können die Wasserkraftmaschinen sehr schnell dem elektrischen Bedarf nachgefahren werden. Dieser Betrieb kann mit äußerst geringen Emissionen durchgeführt werden.

- Im Vergleich zu anderen Turbinen können die Wasserkraftmaschinen sehr schnell auch aus dem Stillstand gestartet werden.
- Wasserkraftanlagen können in der Leistungsfrequenzregelung sowohl für die Primär- als auch für die Sekundärregelung eingesetzt werden. Durch die kurzen Startzeiten sind Wasserkraftanlagen auch beim Ausfall größerer Leistungseinheiten im Netz von großer Wichtigkeit.
- Eine wesentliche Dienstleistung der hydraulischen Maschinen stellt auch die Blindenergielieferung und der Blindenergiebezug für die Spannungsregelung dar.
- Von besonderer Bedeutung ist die Schwarzstartfähigkeit der Anlagen innerhalb kurzer Anfahrtszeiten im Vergleich zu thermischen Anlagen.

## Vermiedene Emissionen

Der Primärenergieverbrauch wird heute zu 85 % aus fossilen Brennstoffen (Kohle, Öl, Gas und Holz) gedeckt. Verbunden hiermit sind Emissionen von CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung und Methan bei der Gewinnung von den fossilen Brennstoffen. International werden diese Emissionen für die wesentlichen Ursachen eines Klimawechsels und einer Bedrohung des Wasserkreislaufes betrachtet. Hiermit sind auch die Trinkwasserversorgung und die Bewässerung von Anbauflächen bedroht und das Risiko von ansteigenden Meeresspiegeln erhöht sich.

Untersuchen aus den USA (Gagnon 1999) zeigen auf, daß im nördlichen Bereich der Erde Emissionen aus Wasserkraftwerken um den Faktor 30 – 60 unter den fossilen Anlagen liegen.

Studien haben gezeigt, daß bei einem nur halben Ausbau der ökonomischen Wasserkraftpotentiale die Treibhausgasemission um ca. 13 % vermindert werden könnte. Der Anteil von vermiedenem SO<sub>2</sub>-Ausstoß (Hauptverursacher des sauren Regens) und von Stickoxiden ist hierbei noch größer.

Auch wenn man die Bauzeit einer Wasserkraftanlage mitbetrachtet, ist die Emission einer kohlegefeuerten Anlage 1000fach höher als bei einer Wasserkraftanlage. Eine Abschätzung der Umweltkosten – einschließlich der möglichen Auswirkungen auf Atemwegserkrankungen – beläuft sich auf US\$ 100 – 500 /t/a (Oud, 1999).

Die Forschungsarbeiten zu diesen Emissionen werden fortgesetzt, vor allem in den tropischen Regionen. Für das Kraftwerk Tucurui in Brasilien wurden Untersuchungen zu der überfluteten Biomasse und deren 20 %ige Überführung von Biomasse in Methan durchgeführt. Diese Emission liegt dann mit 213 gr CO<sub>2</sub> / kWh um den Faktor 5 unter einer Erzeugung mit Kohle.

In China wurden jährlich 23 Mio. t SO<sub>2</sub> in die Atmosphäre emittiert. Parallel hierzu sind 40 % des gesamten Landes durch sauren Regen geschädigt. Der Schaden wird für die Feldflur, die Wälder, Bauwerke und die menschliche Gesundheit auf ca. 13 Mrd. US \$ geschätzt.

## Vergleich möglicher Optionen

Thermische Kraftwerksanlagen können schneller geplant, genehmigungsrechtlich abgesichert und errichtet werden als Wasserkraftwerke. Der Return of Investment ist gegenüber Wasserkraftanlagen zeitlich deutlich geringer. Aber die Betriebskosten sind deutlich höher; die Lebensdauer mit ca. 25 Jahren eindeutig niedriger und der Verbrauch von Luft, Wasser, Bodenimmissionen und die Erzeugung der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> sind negativ zu betrachten.

Andere regenerative Energiequellen wie Solarenergie, Wind usw. müssen im Vergleich mit der Wasserkraft bewertet werden. Trotz großer Anstrengungen und erheblichem Aufwand für Forschung und Entwicklung werden diese Energiequellen nicht in der Lage sein, einen wesentlichen Anteil an Energie in den nächsten Jahrzehnten zu liefern, da die notwendige Stetigkeit in der Erzeugung nicht gegeben ist. Diese Energiequellen brauchen eine zusätzliche Absicherung durch andere Energieerzeugungsanlagen und sind hinsichtlich der Kosten im Lebenszyklus mit der Wasserkraft nicht konkurrenzfähig.

## Soziale und umweltrelevante Auswirkungen der Wasserkraft

Mit allen Infrastruktur-Entwicklungen ist ein gewisser Wertewandel unausweichlich verbunden. Die Errichtung eines Dammes und einer Wasserkraftanlage verbunden mit einem Speicherbecken ruft gewisse soziale und physikalische Veränderungen hervor. Schwierige ethische Fragen nach dem Recht einer Nation zur Entwicklung, hierbei auch die Rechte von Kommunen und Bürgern, die von einem Projekt betroffen sein können, müssen berücksichtigt werden.

Der kritische Weg muß alle sozialen und umweltrelevanten Auswirkungen bereits in den ersten Planungsphasen berücksichtigen, um negative Einflüsse zu vermeiden, zu mindern oder zu kompensieren. In den folgenden Abschnitten sollen die Hauptprobleme bei der Betrachtung von sozialen und umweltrelevanten Auswirkungen betrachtet und verschiedene Beispiele zum optimalen Vorgehen aufgezeigt werden.

## Soziale Fragen

Wie in allen Wirtschaftsbereichen können auch Wasserkraftprojekte positive und negative Einflüsse und auch soziale Themen haben. Soziale Kosten sind meist mit veränderter Landnutzung und der Umsiedlung von Menschen aus dem geplanten Stauraum verbunden.

Die Umsiedlung von Menschen ist unzweifelhaft das schwierigste Problem im sozialen Bereich der Wasserkraft. Hier spielen Fragen der lokalen Kultur, religiöse Themen und der Flutung ländlicher Lebensräume eine große Rolle. Eine 100 %ige Zufriedenheit bei einem unfreiwilligen Umsiedeln kann nicht erreicht werden. Trotzdem sind enorme Fortschritte bei diesem Problem erzielt worden.

Vor allem die Länder in Asien und Lateinamerika haben entsprechende Strategien für den Ausgleich und die Unterstützung der von einer Umsiedlung betroffenen Menschen entwickelt. Die Schlüssel zum Erfolg sind klare, frühe und kontinuierliche Information zwischen den Planern und den Betroffenen

- Gerechte Kompensation bzw. Entschädigung
- Unterstützung über eine längere Zeit
- Verwirklichung direkter Vorteile aus dem Projekt für die Betroffenen

Eine zunehmende Anzahl von Beispielen (China, Indien, Brasilien und Ghana) zeigen, daß die derzeitigen Strategien sich als erfolgreich erweisen und in verschiedenen Fällen auch als Vorgehensmuster für zukünftige Projekte geeignet sind.

Obwohl bei der Wasserkraft die Umsiedlung wichtig ist und gut vollzogen werden muß, darf nicht vergessen werden, daß auch für Kohlegruben und Abraum- und Aschehalden Menschen umgesiedelt werden. Bei einer Verschärfung des Treibhauseffektes sind von den steigenden Meeresspiegeln darüber hinaus heute noch nicht abschätzbare Umsiedlungen betroffen. Die sozialen Auswirkungen von Hydro-Projekten sind sehr verschieden und vielfach auch projektspezifisch. Falls erkannt und frühzeitig angepackt, können die negativen Aspekte der lokalen Bevölkerung in einer positiven Form überbracht werden. Falls diese Auswirkungen nicht vermieden oder gemildert werden können, sind Kompensations- und Entschädigungsmaßnahmen anzustreben.

Während der Bauzeit (oft über viele Jahre) kann es mit der lokalen Bevölkerung bei fehlender Vorbereitung derselben zu Spannungen kommen, wenn das Arbeitskräftepotential nur extern gesucht wird. Anordnungen zur Umsiedlung, Maßnahmen zur nachhaltigen Sicherung des Lebensunterhaltes, kulturelle Einflüsse und Hochwasserschutz müssen dargestellt werden. Wirksame Ersatz- und Abminderungsmaßnahmen müssen in Verbindung mit den regionalen Behörden von den Projektplanern aufgezeigt werden. Auf der anderen Seite können sich durch diese Wirtschaftsaktivitäten vielfältige Möglichkeiten für zusätzliche Beschäftigung ergeben.

In der Betriebszeit eröffnen sich für die Region und die lokalen Gemeinden vielfältige Vorteile. Die Verkehrsinfrastruktur, die elektrische Energieversorgung und viele andere Aktivitäten in Verbindung mit den Stauanlagen sind die Grundlage für eine nachhaltige ökonomische und soziale Entwicklung. Eine gute Kooperation zwischen den Projektentwicklern, den Behörden, den Gemeinden und den Politikern ist wichtig. Die Vorteile aus der Wasserkraft müssen über eine lange Zeit den betroffenen Gemeinden zukommen.

Eine aus sozialen Gründen akzeptierte Wasserkraft bedarf der Diskussion mit unparteiischen Persönlichkeiten und muß auf die absolute Notwendigkeit beschränkt bleiben. Erfolgreiche Verhandlungen sind mit den betroffenen Gemeinden zu führen.

Soziale Überlegungen sind ganz früh in dem Projektentwurf anzustellen, um ein Scheitern zu vermeiden.

### **Anforderungen des Umweltschutzes**

Wie bereits dargestellt, hat die Wasserkraft eine lange Geschichte, und aus vielen Projekten konnten Lerneffekte gewonnen werden. Es ist unbestritten, daß viele Wasserkraftanlagen mit der Umwelt Probleme haben. Allerdings sind diese Probleme bekannt, der Sachverstand zur Abmilderung und zum ökologischen Ausgleich ist vorhanden und muß zur Herstellung einer akzeptablen Gesamtbilanz genutzt werden. Stauräume können existierende Probleme in einem Wassereinzugsgebiet deutlich aufzeigen.

Es ist heutzutage völlig unmöglich, eine Wasserkraftanlage mit entsprechender Größe voranzubringen, ohne die möglichen Einflüsse und die Umweltverträglichkeitsprüfung zu bewerten. (Allerdings weichen der Rahmen und die Kriterien und der Umfang der Beteiligung der Bevölkerung von Land zu Land mehr oder weniger stark ab). Die IHA-Arbeitsgruppe zu den Umwelteinflüssen hat eine multidisziplinäre Bewertung mit einer Einbeziehung der Öffentlichkeit gefordert. Positive und negative Einflüsse sind sowohl im Ober- als auch im Unterwasser der Anlagen zu bewerten.

## **Sedimentation**

Sedimentation entsteht, wenn verwitterter Fels, organische und chemische Stoffe in einem Flußsystem in ein Staubecken eingetragen werden. Im Laufe der Zeit können sich erhebliche Sedimente aufbauen und einen signifikanten Teil des ursprünglichen Speichervolumens ausmachen. Der Geschiebetransport in das Unterwasser wird unterbrochen. Hierdurch treten Änderungen an der Ufer- und Sohlenvegetation und der aquatischen Fauna auf. Vorteile können sich durch die Einbindung von schädlichen Emissionen in die Geschiebeablagerung ergeben.

Große Dämme und Stauseen werden oft für eine Betriebszeit von 100 Jahren bemessen. In der Vergangenheit gab es an einigen Anlagen Probleme mit zu großen Sedimentationen in relativ kurzer Zeit. Trotzdem sind es nur relativ wenige Anlagen, die gravierende Probleme mit den Sedimenten haben.

Bereits in der Vorplanung müssen die jährlichen Geschiebeablagerungen bzw. –transporte bei Laufwasseranlagen so genau wie möglich erfaßt werden. Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Reduzierung von Erosionen im Einzugsgebiet. Die heutige Forschung entwickelt Modelle und Monitoringsysteme für das Problem von Sedimentationen.

Verschiedene Methoden wie Spülen oder Stauabsenkungen wurden aus vielen Ländern berichtet, besonders aus China.

## **Fischereifragen**

Wasserkraftanlagen haben verschiedene Auswirkungen auf die Fischerei. Dies beinhaltet Veränderung in den Lebensräumen und deren Verfügbarkeit aber auch im Abflußsystem und insbesondere bei der Fischwanderung.

Bei der Errichtung von Stauanlagen geht Lebensraum in freifließenden Zonen verloren, dafür werden aber in den Stauräumen neue Lebensräume geschaffen. Für den Erhalt der Fischpopulation werden Besatz- und andere Ersatzmaßnahmen getroffen.

Die Wasser- und Energiewirtschaft bei vielen Hydro-Anlagen kann durch Ein- und Ausspeichervorgänge die Fischpopulation – vor allem während der Laich- und Aufzuchtzeit – beeinflussen. Entsprechende Restwasserdotierungen sollen ein Überleben der aquatischen Fauna sicher stellen.

In einem langjährigen Betrieb von Speicheranlagen kann die Nährstoffgrundlage, die Sohlenstruktur im Unterwasser und der Sedimenttransport negativ beeinflusst werden.

Wasserkraftwerke streben eine optimale Nutzung des verfügbaren Abflusses in den Turbinen an. Die Mehrzahl der Fische – insbesondere in den Zeiten der Wanderung – möchte gegen diesen Abfluß nach Oberstrom anschwimmen.

In Regionen mit einer Vielzahl von Wanderfischen stellen diese Hindernisse eine Bedrohung für den Erhalt der Population dar.

Hohe Forschungsaufwendungen wurden zu den spezifischen Risiken – abhängig von der Fischgröße – und den Fischarten getätigt. In verschiedenen Ländern werden vor den Turbinen per Gesetz Fischrechen gefordert. In Zeiten erhöhter Wanderung nach Unterstrom können feinere Rechen eingebaut werden.

Verschiedene Systeme zur Selbstreinigung der Rechen wurden erprobt. Besondere Aufmerksamkeit wurde dem Abweisen von Fischen vor dem Turbineneintritt zuteil:

- Elektrische Scheuchanlagen
- Luftblasen
- Leuchtschranken
- Akustische Abweiser
- Bypaßsysteme und Collection Galleries.

Bei einigen extremen Fällen werden die Fische mechanisch um die Dämme transportiert.

Umfangreiche Studien über die Verletzung bzw. Mortalität von Fischen beim Durchtritt der Turbinen haben zur Konstruktion von „fischfreundlichen Turbinen“ geführt.

Ein anderer Forschungsschwerpunkt waren die Einflüsse der Wasserqualität im Speicher und der fließenden Strecke im Unterwasser. Neben den unterschiedlichen Temperaturen sind die gelösten Gase, die mineralischen und chemischen Inhaltsstoffe zu beachten. In vielen Fällen haben sich durch die guten Umweltrandbedingungen in den Speicherbecken neue aquatische Ökosysteme zur ausgezeichneten Entwicklung der Fische gebildet. Gezieltes Aussetzen von Fischen hat diese ansteigende Population weiter verbessert.

## **Wasserqualität**

Die Anordnung einer Stauanlage in einem Fluß kann Auswirkungen auf die Wasserqualität haben sowohl im Ober- als auch im Unterwasser. Der Sauerstoff- und der sonstige Gasgehalt, veränderte Nahrungsangebote, Temperaturänderungen und der Gehalt an Schwermetallen können sich verändern. Relativ wenige Speicheranlagen haben akute Probleme. Mischung von Wasser aus verschiedenen Speichertiefen aber auch künstliche Sauerstoffanreicherung können zu einer Verbesserung der Wasserqualität führen.

Langzeitige Qualitätsprobleme haben meistens mit der Besiedelung im Einzugsgebiet zu tun. Eine neue Studie der EPA in USA zeigt auf, daß vor allem die Landwirtschaft in Verbindung mit industrieller und kommunaler Abwasseraufbereitung den höchsten Einfluß auf die Wasserqualität hat. In den Entwicklungsländern wird die vielfach fehlende Abwasseraufbereitung die Zukunft der Trinkwasserversorgung deutlich erschweren.

## **Die Diskussion kleine gegen große Wasserkraft**

Die große Wasserkraft wird bei der Diskussion über erneuerbare Energien und „grüner Energie“ häufig negiert. Kleine Wasserkraftanlagen scheinen weniger Umweltprobleme und –auswirkungen zu haben.

Auf diesem Gebiet haben zahlreiche Organisationen geforscht. Die IHA-Arbeitsgruppe zu sozialen Aspekten [Egré] hat hierzu eine Ausarbeitung vorgelegt. Danach müssen die Einflüsse spezifisch zur Leistung bzw. dem Regelarbeitsvermögen gesehen werden. Die Auswirkungen einer großen Wasserkraftanlage müssen mit denjenigen von zahlreichen kleinen Anlagen mit entsprechender Erzeugung. Zum Beispiel wird für viele kleine Anlagen ein größerer Flächenverbrauch notwendig als bei einer größeren Anlage. Trotzdem, die kleine Wasserkraft ist notwendig und sinnvoll für den gesamten Energiemix, vor allem in ländlichen Gebieten.

Der größte Einfluß auf die Natur und die bestimmenden Einwirkungen sind die spezifischen Standortbedingungen und nicht nur die Größe des Projektes. Deshalb muß die Projektentwicklung das ganze Flußsystem betrachten und optimieren.

## Der zukünftige Weg der Wasserkraft

Die Politik der zukünftigen Energieerzeugung muß die Nachhaltigkeit und den maximalen Nutzen von erneuerbaren Energien als oberste Priorität angehen. Hierbei darf auf keine der erneuerbaren Energie verzichtet werden.

Die Wasserkraft hat positive und negative Folgen für Gesellschaft und Umwelt. Alle Formen der Infrastrukturentwicklung – besonders die Energieerzeugung – zeigen Auswirkungen auf die Umwelt. Die Wasserkraft hat aufgezeigt, daß der Treibhauseffekt und die klimatischen Veränderung die größte Gefahr für die Menschheit und deren Ernährung darstellen. Hierbei ist die Frage offen, ob die Gesellschaft die lokalen Auswirkungen der Wasserkraft angesichts dieser weltweiten Bedrohung akzeptiert. Vom IEA / Hydropower wurde in 5-jähriger Arbeit eine Studie zum Thema „Wasserkraft und Umwelt“ fertiggestellt. Hierin werden allen umweltrelevanten Fragen zur Wasserkraft behandelt. Die Studie liefert eine Zusammenstellung von Empfehlungen für die Zukunft der Wasserkraft. Alle Fragen der sozialen, kulturellen und ökonomischen Einflüsse einschließlich dem Naturschutz werden behandelt.

Der Anspruch lautet:

- Die Energiepolitik braucht einen politischen Rahmen
- Die Entscheidungswege müssen geklärt werden
- Den Vergleich von Projektalternativen zur Wasserkraft
- Höhere Priorität für den Umweltschutz bei Wasserkraftanlagen
- Die Vorteile und Gewinne aus der Wasserkraft müssen mit den lokalen Institutionen geteilt werden.

Diese Empfehlungen könnten die Basis und Anleitung für die Weiterentwicklung und Behandlung von Wasserkraftprojekten sein.

- Politischer Rahmen für die Energiepolitik.  
Alle Länder sollten eine Energiepolitik entwickeln, die alle Formen der Energieerzeugung, einschließlich der Wasserkraft und der sonstigen regenerativen Energien als Optionen beinhaltet.
- Entscheidungswege  
Die Interessen von Mensch und Umwelt müssen vergleichbar, glaubwürdig und effektiv abgewogen werden. Innerhalb eines entsprechenden Zeitraumes müssen die Entscheidungen getroffen werden.

- Vergleich der Alternativen  
Projektplaner sollen soziale und umweltrelevante Kriterien beim Vergleich von Alternativen berücksichtigen, um nicht akzeptierbare Lösungen frühzeitig im Planungsprozeß auszuschneiden.
- Umweltschutz und Wasserkraft  
Die Planung und der spätere Betrieb müssen hinsichtlich der sozialen und umweltrelevanten Anforderungen optimiert werden.
- Die Vorteile aus der Wasserkraft  
Die lokalen Institutionen müssen kurz- und langfristig an den Vorteilen und Gewinnen aus der Wasserkraft beteiligt werden.

Diese 5 Kategorien von Empfehlungen stellen den nachhaltigen Anspruch der erneuerbaren Wasserkraft und ihrer Entwicklung dar.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Die Frage nach der zukünftigen Energieversorgung einer weiter wachsenden Weltbevölkerung ist offen. Obwohl ein Großteil der zusätzlichen Erzeugung aus thermischen Quellen kommen wird, muß in Zukunft den nachhaltigen und erneuerbaren Energiequellen größere Bedeutung zukommen.

Wasserkraft muß in der Zukunft in den elektrischen Systemen eine bedeutende Rolle spielen. Diese Ausarbeitung hat das Bewußtsein der Industrie für soziale und umweltrelevante Auswirkungen der Wasserkraft ausgezeigt, das allen künftigen Projekten zukommt. Die Forschung zur Vermeidung und Abminderung dieser Einflüsse und Auswirkungen ist fortzuführen.

Das noch vorhandene weltweite Ausbaupotential der Wasserkraft muß im neuen Energie-Mix berücksichtigt werden. Zukünftige Projekte müssen die sozialen und umweltrelevanten Einflüsse sowie deren Vermeidung und Kompensation berücksichtigen. Die von den Projekten betroffene Bevölkerung soll als Resultat eine bessere Lebensqualität erhalten.

Die Entwicklung der Wasserkraft muß mit den übrigen regenerativen Energien wie Wind und Sonne vorangetrieben werden. Der sparsamere Verbrauch von Energie muß weiter verfolgt werden.

Jede Entwicklung umfaßt Wechsel und das Eingehen von Kompromissen. Vorteile und Auswirkungen müssen in einem frühen Stadium auch von den betroffenen Menschen bewertet werden können.

2 Milliarden Menschen in den Entwicklungsländern haben keine Stromversorgung. Vor allem in diesen Ländern stellt die Wasserkraft – im richtigen Maßstab – für absehbare Zukunft die Energieversorgung sicher.

Die Einflüsse der Wasserkraft sind heute gut verstanden. Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen müssen definiert und verwirklicht werden, um auch der betroffenen Bevölkerung einen Zuwachs am Lebensstandard sicherzustellen.

Die Wasserkraftindustrie muß mit Regierungen, der internationalen Finanzwelt und den verschiedenen Interessengruppen enger zusammenarbeiten. Die Entwicklung von zukünftigen Standards für die Planung, den Bau und den Betrieb von Wasserkraftwerken ist notwendig.

### **Autoren-Organisationen**

#### **IHA**

Tel. 0044 (0)20 8288 1918

Fax 0044 (0)20 8643 8200

Email: [iha@hydropower.org](mailto:iha@hydropower.org)

#### **ICOLD**

Tel. 0033 1 40 42 68 24

Fax 0033 1 40 42 60 71

Email: [secretaire.general@icold-cigb.org](mailto:secretaire.general@icold-cigb.org)

#### **IEA**

Tel. 001 613 745 7553

Fax 001 613 747 0543

Email: [fkoch@gvsc.on.ca](mailto:fkoch@gvsc.on.ca)

#### **CHA**

Tel. 001 613 751 6655

Fax 001 613 751 4465

Email: [pfortin@canhydropower.org](mailto:pfortin@canhydropower.org)

**Übersetzung: Schluchseewerk AG**