

Überblicksbericht 2012

# Forschungsprogramm Wasserkraft



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Energie BFE**  
**Office fédéral de l'énergie OFEN**

**Titelbild:****Peltonlaufrad mit Abrasionsschäden**

Ein Peltonlaufrad mit Abrasionserscheinungen am Kamm zwischen den beiden Becherhälften sowie in den Bechern selbst. Solche Abrasionen entstehen in Hochdruckwasserkraftanlagen durch Sandschliff durch im Triebwasser enthaltene Schwebstoffe. Die Turbinen verlieren dadurch an Wirkungsgrad und die Leistung fällt ab, die Laufräder müssen überarbeitet oder erneuert werden. Dadurch entstehen Kosten und der Betrieb ist während der Arbeiten eingeschränkt. Der Rückgang alpiner Gletscher und die Verlandung der Speicherseen führen tendenziell zu einem Anstieg der Schwebstoffkonzentration im Triebwasser und damit zur Zunahme solcher Schäden. In einem laufenden Forschungsprojekt wird untersucht, wie der Abrasionsprozess im Detail verläuft und welche Gegenmassnahmen, z. B. verschleissresistente Beschichtungen, Erfolgsaussichten versprechen (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW, 2010).

**BFE Forschungsprogramm Wasserkraft**

Überblicksbericht 2012

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

**Programmleiter BFE (Autor):**

Dr. Klaus Jorde, Skat Consulting AG (klaus.jorde@kjconsult.net)

**Bereichsleiter BFE:**

Dr. Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch)

<http://www.bfe.admin.ch/forschungwasserkraft/>

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

## Einleitung

Wasserkraft deckt etwa 16 % der weltweiten Stromnachfrage und ist in der Schweiz die bedeutendste Quelle für die Generierung von elektrischem Strom. Ungefähr 56 % des benötigten Stroms werden hier mithilfe von Wasserkraft erzeugt. Über die Hälfte davon stammt aus Speicherkraftwerken. Dieser Strom kann auf Abruf bereitgestellt werden, was ihn besonders wertvoll macht. Der andere Teil stammt aus Laufwasserkraftwerken, die das Wasser der Flüsse so nutzen, wie es der Wasserführung entspricht; dort gibt es keine Speichermöglichkeiten. Die meisten attraktiven Standorte in der Schweiz sind seit langem genutzt und man schätzt, dass 80–85 % des vorhandenen nutzbaren Potenzials heute bereits ausgenutzt werden. Der Ausstieg aus der Kernenergie und das Auslaufen von Stromlieferverträgen mit dem Ausland führen in der Schweiz zu einer massiven Versorgungslücke, die geschlossen werden muss. Die Energiepolitik der Schweiz setzt dabei unter anderem auf einen weiteren Zuwachs der Produktion aus Schweizer Wasserkraft und insbesondere auch auf einen Zuwachs der Produktion aus Pumpspeicherkraftwerken. Aus diesen Gründen finden, zusätzlich zu den periodisch notwendigen Modernisierungs- und Erneuerungsmassnahmen, massive Investitionen in die Wasserkraft statt. Insbesondere bei den Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken sind eine Reihe von wesentlichen Erweiterungen und Neubauten im Gang, die für die Bedarfsdeckung der Schweiz aber auch infolge ihrer Rolle im europäischen Verbundnetz versorgungstechnisch notwendig geworden sind. Die wirtschaftlichen Bedingungen sind aber für solche sehr langfristigen Investitionen unklar

und die Unsicherheiten bezüglich der Entwicklung der Strommarktpreise müssen in die wirtschaftlichen Betrachtungen und die technische Auslegung mit einbezogen werden. Auch die Veränderungen des Klimas und das Abschmelzen der Gletscher werden sich auf die Stromproduktion aus Wasserkraft auswirken, die Werke und die Speicher müssen z.T. baulich und betrieblich an die sich verändernden Gegebenheiten angepasst werden.

Auch weltweit betrachtet spielt die Wasserkraft eine wichtige Rolle. Nie wurde so viel neue Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken in Betrieb genommen, wie zurzeit. Die grössten Zuwächse finden in den Schwellenländern Asiens, Afrikas und Lateinamerikas statt, wo noch enorme nicht genutzte Ressourcen vorhanden sind. Manche der grossen Projekte sind aufgrund ihrer komplexen sozioökonomischen, gewässerökologischen und geopolitischen Auswirkungen äusserst umstritten.

Das Forschungsprogramm *Wasserkraft* unterstützt und fördert die vollständige Nutzung des vorhandenen Wasserkraftpotenzials in der Schweiz einschliesslich der Entwicklung der Pumpspeicherkapazitäten. Dieser Zielsetzung wird eine ganzheitliche Betrachtungsweise zu Grunde gelegt, die neben technischen und ökonomischen Aspekten auch ökologische und landschaftsbezogene Schutzaspekte mit einbezieht. Mit «vollständiger Nutzung» ist daher nicht die Ausnutzung des gesamten technischen Potenzials gemeint, sondern der Anteil, für dessen Nutzung ein gesellschaftlicher und politischer Konsens vorhanden ist. Das Forschungsprogramm trägt un-

ter anderem auch dazu bei, Wissen und Informationen zu schaffen und bereitzustellen, die diese Konsensfindung unterstützen.

Im Bereich der grossen Lauf- und Speicherkraftwerke wird die Forschung hauptsächlich von den grossen Forschungseinrichtungen der Eidgenössischen Technischen Hochschulen, den Universitäten und den Fachhochschulen – jeweils in enger Zusammenarbeit mit der Industrie – betrieben. Die Fragestellungen beziehen sich dabei zunächst häufig auf Erneuerungs- oder Erweiterungsmassnahmen an einer bestimmten Wasserkraftanlage oder bestimmten Typen von Wasserkraftanlagen. Dort treten Fragestellungen auf, für die es bis heute keine genau untersuchten und allgemein gültigen Lösungsansätze gibt. Während die Wasserkraftindustrie in erster Linie an einer Lösung für das fallspezifische Problem, d. h. für eine einzelne Anlage, interessiert ist, unterstützt das Forschungsprogramm erweiterte Lösungsansätze, die allgemeingültig und somit auch auf andere Anlagen anwendbar sind.

Die Kleinwasserkraft befindet sich im immerwährenden Spannungsfeld zwischen dem Wunsch nach mehr erneuerbarer Energie und dem gleichzeitig wachsenden Wunsch nach einer intakten Umwelt und Natur. Die kostendeckende Einspeisevergütung mit ihren sehr attraktiven Vergütungssätzen für kleine Wasserkraftanlagen resultiert in vielen Wasserrechtsanträgen, wodurch die kantonalen Behörden zum Teil überfordert sind. Gleichzeitig wächst der Widerstand gegen noch mehr kleine Wasserkraftanlagen.

IEA Klassifikation: 3.6 Hydropower

Schweizer Klassifikation: 2.7 Wasserkraft

## Programmschwerpunkte

Die Schwerpunkte in der Wasserkraftforschung resultieren aus der Situation in der Schweiz selbst, aber auch aus der Einbindung der Schweizer Wasserkraftwerke in das europäische Verbundnetz. Neben den eigentlichen technischen Kernthemen spielen die Auswirkungen der Klimaänderung und die sich daraus ergebenden Unsicherheiten, sowie gewässerökologische Fragestellungen eine wichtige Rolle. Grundsätzlich sind alle Fragestellungen förderbar, die zu einer weitergehenden Ausnutzung der Schweizerischen Wasserkraftressourcen beitragen können. Das Programm ist in die Sparten Gross- und Kleinwasserkraft unterteilt.

Die technischen Potenziale der Grosswasserkraft werden bereits zum grössten Teil genutzt und die weiter möglichen Zuwächse in Bezug auf die Produktion sind im Vergleich dazu gering. Dagegen wird die installierte Leistung bei vielen Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken derzeit massiv gesteigert, neue Pumpspeicherkraftwerke werden gebaut. Die Speichermöglichkeiten werden im europäischen Verbundnetz dringend benötigt, weil immer grössere Mengen von Strom aus fluktuierenden Quellen (Sonne und Wind) in das Netz eingespeist werden. Aus dieser Rolle im europäischen Verbundnetz und den damit verbundenen häufigen Lastwechseln ergeben sich veränderte technische Anforderungen. In verschiedenen Forschungsprojekten wird daher untersucht, wie die Speicher und deren Betrieb sowie die hydraulischen und elektromechanischen Komponenten der Kraftwerke dafür angepasst werden können. Wasserkraftanlagen, ihre Auslegung und ihr Betrieb werden mittel- bis langfristig bezüglich ihrer Rentabilität schwerer prognostizierbar und die Unsicherheiten, z. B. bezüglich der Strompreisentwicklung,

müssen bei den sehr langfristigen Investitionsentscheidungen mit berücksichtigt werden. Der Klimawandel bewirkt einen stärkeren Eintrag von Schwebstoffen und Geschiebe, was zur Speicherverlandung beiträgt und die Laufräder der Turbinen belastet. Hier müssen langfristig stabile Verhältnisse geschaffen werden und die Speicherverlandung muss kontrollierbar werden. Auch die weitere Revitalisierung der Flüsse im Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung bleibt ein wichtiges Forschungsgebiet. Die Abwärtswanderung der Fische an grossen Flüssen, Fragen im Zusammenhang zu Schwall und Sunk sowie die Wiederherstellung des Geschiebehaushalts sind zentrale Fragen der kommenden Jahre.

Bei den Kleinwasserkraftwerken gibt es noch beträchtliche technische Potenziale, die bisher nicht genutzt sind. Ob und wie weit diese tatsächlich unter technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten noch zur Stromerzeugung herangezogen werden können, ist aber aus Gründen des Gewässer- und Landschaftsschutzes umstritten und in vielen Kantonen werden daher eigene Strategien erarbeitet, wobei gut anwendbare Instrumentarien zur realistischen Potenzialabschätzung noch zu entwickeln sind. Verbesserte und kostengünstige Komponenten, auch solche für spezielle Einsatzbereiche, wie Trinkwasserkraftwerke, werden ständig untersucht und entwickelt.

### Rückblick und Bewertung 2012

Das Forschungsprogramm *Wasserkraft* fördert Projekte seit Ende 2008, bis 2012 wurden insgesamt 19 Projekte gefördert, fünf Projekte wurden im Jahr 2012 abgeschlossen. Die derzeit laufenden Projekte stammen fast alle aus dem Bereich Grosswasserkraft und werden

zum grössten Teil aus unterschiedlichen Quellen, einschliesslich Eigenleistungen der Betreiber, gefördert. Alle aktuellen Projekte haben Laufzeiten von mehreren Jahren.

Die Programmleitung war 2012 stark in die Entwicklung unterschiedlicher Energieszenarien für die Schweiz mit eingebunden. Die Frage, ob und unter welchen Randbedingungen die von der Regierung vorgesehene zusätzliche Produktion aus Wasserkraft bis 2020 bzw. 2050 bereitgestellt werden kann, wurde intensiv unter Beteiligung vieler Fachleute diskutiert. Letztendlich wird bezweifelt, ob die Wasserkraft unter den heutigen Randbedingungen die in sie gesetzten Erwartungen tatsächlich erfüllen kann.

### Ausblick

Im Jahr 2013 wird sich die nationale aber auch die europaweite Diskussion um die Möglichkeiten und Grenzen der Umstrukturierung der Stromversorgung weiter fortsetzen. Da Lösungen auch vom Verhalten der Nachbarländer, z. B. vom Netzausbau in Deutschland, abhängig sind, können kaum verlässliche Prognosen zur weiteren Entwicklung gemacht werden. Die Betreiber der Wasserkraftanlagen müssen auf Basis dieser schwierigen Planungsgrundlagen Entscheidungen treffen, gleichzeitig basiert die Strompolitik der Regierung auf beträchtlichen Zuwachsraten von der Wasserkraft. Die Diskussion über die zukünftige Sicherung der Stromversorgung und welche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, damit sich die vom Bundesrat vorgeschlagenen Szenarien realisieren lassen, werden sich 2013 fortsetzen.

## Highlights aus Forschung und Entwicklung

Die hier vorgestellten Projekte zeigen einen Ausschnitt aus den Forschungsarbeiten in diesem Programm. Aus dem Bereich Kleinwasserkraftanlagen wird ein abgeschlossenes Projekt vorgestellt, bei dem eine Methode entwickelt wurde, mit der anhand für die ganze Schweiz verfügbarer GIS-Daten Standorte für Kleinwasserkraftwerke hinsichtlich ihrer Gesamtnutzungseignung bewertet werden können. Ein zweites Fallbeispiel befasst sich im Rahmen eines laufenden internationalen Kooperationsprojekts mit Möglichkeiten des Fischabstiegs an Laufkraftwerken an grossen Flüssen. Schliesslich wird ein Pilot- und Demonstrationsvorhaben für sogenannte Nebennutzungsanlagen, in diesem Fall für die Trinkwasserturbinerung, vorgestellt.

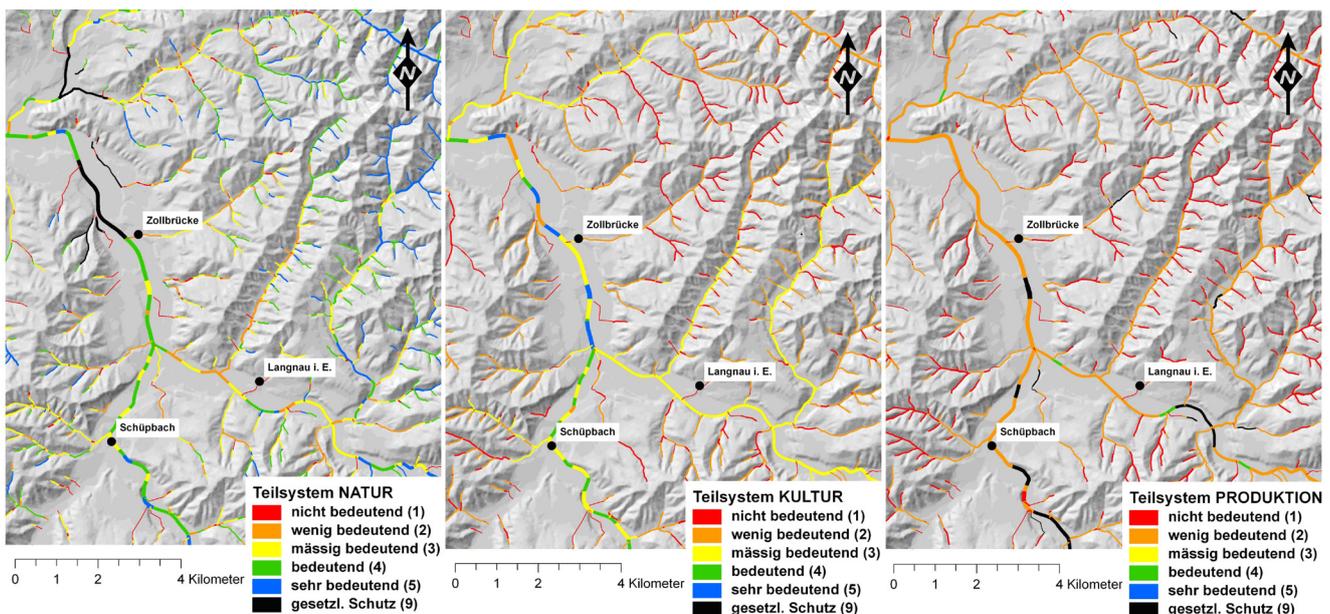
### Ganzheitlichen Beurteilung des Kleinwasserkraftpotenzials in der Schweiz

Die Förderung der Kleinwasserkraft  $\leq 10$  MW führte in der Schweiz zu einem rasanten Anstieg von Projektgesuchen, wodurch sich die Situation im Spannungsfeld zwischen Nutzungs- und Schutzansprüchen an die Ressource

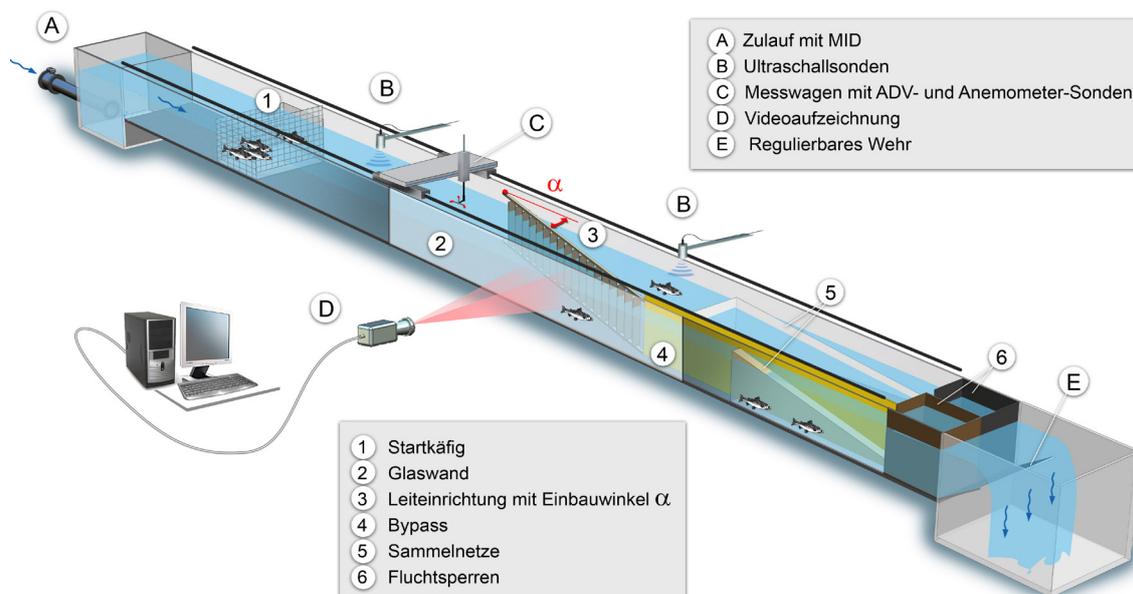
Wasser verschärft. Für die zuständigen Behörden ist es schwierig, über die Nutzbarmachung des verbleibenden Wasserkraftpotenzials zu entscheiden, nicht zuletzt, weil die vorliegenden Hilfsmittel von unzureichender Beurteilungstiefe sind und ihnen insbesondere die ganzheitliche und regionale Betrachtungsweise fehlt.

Das vorliegende Projekt hat deshalb zum Ziel, ein Beurteilungsinstrument auszuarbeiten, welches die berechneten Daten zum theoretischen Wasserkraftpotenzial aus einer ganzheitlichen Sichtweise analysiert. Dazu wurde im Rahmen einer Dissertation am Geographischen Institut der Uni Bern eine Methodik zur ganzheitlichen Beurteilung des Kleinwasserkraftpotenzials ( $\leq 10$  MW) in der Schweiz entwickelt. Sie soll den kantonalen Behörden unter anderem die Entscheidung über die zahlreichen KEV-Projekte erleichtern, indem sie vorangehend geeignete Gebiete und Standorte identifiziert und damit raumplanerische Grundlagen bereitstellt. Zur Bestimmung der Nutzungseignung einzelner Gewässerabschnitte bedient sich die Methodik den Beurteilungen aller Ökosystemfunktionen des Gewässers. Das zentrale Element hierfür ist ein Beurteilungsraster,

das zwei sich ergänzende Raumeinheiten mit unterschiedlicher Betrachtungstiefe hinsichtlich ökologischer, kultureller und wirtschaftlicher Ökosystemleistung untersucht. Standardisierte Rangierungsregeln ermöglichen im Anschluss die systematische Priorisierung der für eine Nutzung geeigneten Standorte. Diese Auswahl ist durch die flexibel wählbare Grenze zwischen Schutz und Nutzung beliebig veränderbar und erlaubt eine spezifische Anpassung der Szenarien an die Energienutzungsziele einer Region. Die vorliegende Methodik liefert in diesem Sinne keine fixfertigen Lösungen, sondern dient vielmehr der Vorarbeit und Unterstützung politischer Entscheidung. Es gelingt ihr, die Interessenskonflikte im Spannungsfeld zwischen Schutz und Nutzung der Gewässer sachlich darzustellen und grossräumige Empfehlungen abzugeben. Hingegen vermag sie die effektive Nutzbarkeit des Wasserkraftpotenzials einzelner Gewässerabschnitte nicht abschliessend zu beurteilen. Hierzu sind detaillierte Abklärungen notwendig. Die Beurteilungsmethodik ist als Arbeitsinstrument zu verstehen, das sowohl objektive, nachvollziehbare (Validität) als auch reproduzierbare Ergebnisse liefert.



Figur 1: Ausprägungsgrad der Ökosystemfunktionen in einem Ausschnitt der Emme (Zwischenergebnis der Synthese). Aus den Kombinationen der drei jeweiligen Ausprägungen wird die Gesamtbewertung abgeleitet, auf der letztendlich die Rankpositionen basieren. Die Rankpositionen entscheiden dann, ob ein Gewässerabschnitt genutzt oder geschützt werden soll, wobei die Rankposition, die den Grenzwert darstellt, nach eigener Einschätzung, z. B. der Kantone, festgelegt werden kann [8].



Figur 2: Versuchsstand für die Untersuchung des Abstiegsverhaltens von Fischen an einem sogenannten Louwer Leitsystem. Die Fische sollen idealerweise die Leiteinrichtung nicht durchschwimmen sondern daran entlang zum Abstiegsgerinne (Bypass) geführt werden. Mit einem solchen System können unterschiedlich Geometrien und Einbauwinkel des Leitsystems getestet werden [9].

In Anlehnung an das Nachhaltigkeitskonzept werden dabei gleichermaßen ökologische, sozio-kulturelle als auch wirtschaftliche Faktoren berücksichtigt und in einen regionalen Kontext gestellt. Das Ökosystem Gewässer mit seinen vielseitigen Ökosystemfunktionen und entsprechenden Leistungen spielt dabei eine zentrale Rolle. Die Ergebnisse werden in Form von Karten präsentiert und zeigen verschiedene Ausbau-Szenarien für die zukünftige Nutzung der Wasserkraft auf. Das Instrument richtet sich vor allem an kantonale Fachstellen und Behörden, wo es als Entscheidungshilfe eingesetzt werden kann. Als äusserst wichtig wird eine gewisse Flexibilität erachtet, welche es dem Anwender ermöglicht, das Ergebnis seinen Bedürfnissen bzw. energiepolitischen Zielen anzupassen.

Der Studie liegen folgende Fragestellungen zu Grunde:

- Welche Ökosystemleistungen sind vorhanden?
- Wie bedeutend sind diese Ökosystemleistungen für den Menschen aus ökologischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Sicht?

- Wo lassen die Ökosystemleistungen eine Nutzung zu?
- Wo überwiegen Schutzinteressen?

Es war in diesem Projekt erforderlich, eine Vielzahl an Faktoren detailliert zu überprüfen und falls nötig zu selektieren, so dass sich die letztendlich vorliegende Auswahl ausschliesslich auf die essentiellen Bausteine beschränkt. Mit der Lütchine und der Emme konnte die Methodik in hydrogeographisch unterschiedlichen Regionen optimiert werden. Weitere Anwendungen folgten in den Einzugsgebieten der Kander und der Simme.

### Gewährleistung eines schonender Fischabstiegs an Flusskraftwerken

Die Wasserkraft muss sich neuen Herausforderungen im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung der Gewässerschutzgesetzgebung stellen. Insbesondere das mit dem Inkrafttreten des revidierten Gewässerschutzgesetzes im Januar 2011 vorgeschriebene Ziel, die wesentlichen, durch den Menschen verursachten Gewässerbeeinträchtigungen (un-

terbrochene Durchgängigkeit, gestörter Geschiebehalt, Schwall/Sunk) innert 20 Jahren zu beseitigen, stellt eine grosse Aufgabe für die Energiewirtschaft, aber auch die Kantone dar.

Bei kleinen Wasserkraftanlagen werden Fische durch enge Rechenstababstände und geringe Anströmgeschwindigkeiten günstigstenfalls davon abgehalten, bei der Abwärtswanderung in die Turbinen zu schwimmen. Bei grossen Laufwasserkraftwerken sind solch enge Stababstände nicht realisierbar und der Grossteil der Fische steigt daher über die Turbinen ab. Dies führt zu massiven Fischschäden.

Flusskraftwerke können bei der flussaufwärts- und flussabwärts gerichteten Wanderung von Fischen ein Hindernis darstellen. Insbesondere der für die Arterhaltung einiger in mitteleuropäischen Fließgewässern vorkommender Fischarten wichtige Fischabstieg ist beim aktuellen Ausbaustandard der Anlagen nur beschränkt – bzw. nur mit grosser Gefährdung verbunden – möglich. Ziel des Forschungsprojektes ist es, bauliche Massnahmen zum Fischabstieg zu prüfen und so weiterzuentwickeln, dass sie sowohl aus fischökologischer als auch betrieblicher Sicht erfolgreich und

ökonomisch eingesetzt werden können. Ohne die Entwicklung baulicher Massnahmen zur Gewährleistung des schonenden Fischabstiegs ist man auf betriebliche Einschränkungen angewiesen, die eine erhebliche Reduktion der Stromproduktion zur Folge hätten. Diese ist aber auch ökologisch unerwünscht, da sie im Gegensatz zum stetig steigenden Strombedarf steht, der dann zu einem grossen Teil durch klassische, nicht erneuerbare Energien oder Stromimporte gedeckt werden müsste. Die Kantone wiederum sind verpflichtet, notwendige Sanierungsmassnahmen zu planen und die Umsetzungsfristen festzulegen. Diese Planung muss bis Ende 2014 abgeschlossen sein und sollte auf der Grundlage ausgereifter Forschungsergebnisse stehen. Dies erscheint angesichts der knappen Fristen sowie diverser aus Forschungssicht ungelöster Fragestellungen ambitioniert.

Das im März 2011 an der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich gestartete Projekt verfolgt das Ziel, Fischabstiegstechnologien für die grösseren Flusskraftwerke der Mittellandflüsse durch die Untersuchung, Optimierung und Anpassung bekannter Massnahmentypen am hydraulischen Modell und der folgenden Umsetzung an einem Prototypkraftwerk zu entwickeln und deren Effizienz mittels Fischmonitoring zu überprüfen. Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit schweizerischen und deutschen Kraftwerksbetreibern sowie der EAWAG realisiert.

Fischwanderungen finden flussaufwärts wie -abwärts statt. Für diadrome Fische wie z. B. den Aal oder den Lachs ist



Figur 3: Versuchsturbinenwagen mit Turbinenwagen links und Tankwagen, d. h. Wassertank mit Pumpe, rechts. Das Konzept des Versuchsturbinenwagens ermöglicht den autonomen Betrieb mit eigener Wasserversorgung wie auch den Versuchsbetrieb mit Fremdwasser [10].

die flussabwärtsgerichtete Wanderung zwingender Bestandteil der Arterhaltung. Die Wanderung findet aber nicht nur während der Laichzeit statt. Fische verändern auch auf der Suche nach besseren Habitatbedingungen ihren Standort innerhalb eines Flusssystemes. Sie passieren dazu bei der Abwärtswanderung, der stärksten Lockströmung folgend, Flusskraftwerke via Turbinen, Grundablass oder Wehrüberfall und sind in vielen Fällen einer grossen Verletzungs- oder Tötungsgefahr ausgesetzt. Die Mortalitätsraten an Francis- und Kaplanturbinen z. B. können abhängig

vom Anlagenlayout, der Anlagengrösse, der Fischart und -grösse bis zu 70 % erreichen.

Bekannt ist, dass die verschiedenen, heute an der Mehrzahl der Kraftwerksanlagen bereits vorhandenen Fischaufstiegswege oder naturnahen Umgehungsgerinne von den Fischen nur selten zur Abwärtswanderung genutzt werden. Neben der Untersuchung innovativer baulicher Massnahmen zum direkten Fischabstieg sollen auch Verhaltensanreize untersucht werden, welche die Abwärtswanderung über die bestehenden Anlagen fördern.

## Pilot- und Demonstrationsprojekte

### Universalturbine für Wasserversorgungen

Viele Wasserversorgungen für Trinkwasser, Wässerwasser, Berieselungen, Beschneigungsanlagen etc. beinhalten durch die Höhenunterschiede Energiepotenziale, von denen nur ein Teil für die Wasserversorgung benötigt wird. Die überschüssige Energie wird heute meist

mit Druckbrecherschächten und Druckreduzierventilen in nicht weiter nutzbare Wärme umgewandelt. Alleine im Trinkwasserbereich ist das Potenzial immens.

Die Universalturbine wurde von der Stiftung Revita entwickelt. Sie ist eine universell einsetzbare Turbine, welche die ungenutzte Energie in Wasserversorgungen in elektrische Energie umwandelt.

Die Turbine basiert auf dem Prinzip der Pelton-turbine und deckt dank modularer Bauweise einen Bereich von 5,5 bis 55 kW ab. Mit der Universalturbine werden Energiepotenziale auch im Gegendruck- und im kleinen Leistungsbereich effizient und wirtschaftlich genutzt. Der Begriff Gegendruck ist so zu verstehen, dass das von der Turbine abfließende Wasser nicht Umgebungsdruck

aufweist, wie das bei einer normalen Pelton-turbine üblich ist, sondern dass noch ein ausreichender «Gegendruck» vorhanden ist, der für die Wasserversorgung notwendig ist.

In Münster betreibt das Elektrizitätswerk Obergoms (EWO) ein Kleinwasserkraftwerk, in dem eine Trinkwasserquelle auf eine Pilotanlage mit Universalturbine geleitet wird. Im Rahmen des Projektes «Pilotanlage in Münster (VS)» gab es unter den Projektzielen auch ein Visualisierungskonzept, das mit dem Bau einer Modellturbine bzw. Versuchsturbine verbunden war. Die Modellturbine ist ein voll funktionsfähiges Modell der Universalturbine, das gegendruckfähig ist. Sie ermöglicht projektbezogene Entwicklungen und Untersuchungen. Die Modellturbine ist so konzipiert, dass sie einfach anpassbar und erweiterbar ist und als Entwicklungs- und Prüfstand dient. In der Entwicklung der Modellturbine ist die Entwicklung einer Leitvorrichtung (Düsennadelverstellung) enthalten. Die Leitvorrichtung muss die Anforderungen der Gegendruckregelung umsetzen können.

Die Turbine wurde auf einem Modell- oder Versuchsturbinenwagen aufgebaut. Dies ist in vielerlei Hinsicht gewinnbringend, da dieser je nach Bedarf mit einem eigenen Wasserkreislauf betrieben werden kann. Damit können steuerungs- oder turbinentechnische Entwicklungsthemen autonom bearbeitet werden und der Modellturbinenwagen fungiert dann als Entwicklungs- und Prüfstand. Er kann aber auch zur Bekanntmachung der Trinkwasserturbinie-

rung, mitsamt Gegendruckregelung an Messen, Ausstellungen und anderen PR Aktionen eingesetzt werden.

Ohne den eigenen Wasserkreislauf bietet der Versuchsstand die Möglichkeit, an potenten Standorten oder Versuchseinrichtungen Versuche unter spezifischen Bedingungen zu fahren. Ausserdem können Standorte, an denen andere Gegendrucke benötigt werden, simuliert werden. Dabei werden optimale Regelparameter der Gegendruckregelung gefunden, sowie die Auslegung zur Lufteinbringung überprüft. Der Versuchsturbinenwagen ist zur Erfassung der hydraulischen und elektrischen Kenngrössen mit Sensoren und Messgeräten ausgerüstet. Die Steuerung der Modellturbine entspricht derjenigen der Universalturbine. Mit LabView wurde die Steuerung der Peripherie des Versuchswagens mit Pumpe und Abflussventil übernommen, die Kenngrössen der Modellturbine dargestellt sowie die Messdatenerfassung sämtlicher Grössen realisiert. Merkmale des Versuchsturbinenwagens sind:

- Das Verhältnis der Abmasse der Modellturbine zum Prototyp ist ein wenig kleiner als 1:2. Das Peltonrad hat einen Beaufschlagungskreisdurchmesser von 145 mm.
- Die Modellturbine ist 2-düsigen ausgerüstet. Die Düsen und die Leitvorrichtungen entsprechen technisch der Ausrüstung der Universalturbine.
- Der Bohrungsdurchmesser der beiden Düsen beträgt 11 mm. Der Durchsatz bei 10 bar nutzbaren Drucks beträgt

6 l/s, was einer hydraulischen Leistung von 4,8 kW entspricht.

- Die Modellturbine ist mit allen Komponenten für den Gegendruckbetrieb ausgerüstet. Mit dem Versuchsturbinenwagen kann die Funktionsweise der Gegendruckregelung für geschlossene Systeme – dem Einsatz zwischen Reservoir und Verbraucher ohne Ausgleichsbecken – demonstriert werden.
- Die Modellturbine ist mit zwei Wasserstrahl-Gasverdichtern versehen. Die beiden Strahlpumpen lassen sich einzeln ansteuern.
- Die Modellturbine ist ausgelegt, um mit einem Zuflussdruck bis 30 bar und einem Gegendruck bis 16 bar umgehen zu können.
- Die Steuerung der Turbine übernimmt eine SPS von Cruzet. Die Peripherie wird via LabView bedient.
- Zu- und Abflussströme sowie Zu- und Abflussdrücke werden gemessen und mit einer Vielzahl weiterer Grössen visualisiert.
- Zur Sicherheit der Anlage öffnet ein Überströmventil bei Drücken von über 16 bar im Abfluss.

Der Versuchsturbinenwagen eignet sich durch seinen modularen Aufbau, die gute Messausrüstung, den autonomen Betrieb und die Visualisierung sehr gut zur Weiterentwicklung der Universalturbine und zur Bekanntmachung und Vorführung der Gegendruckturbinierung.

## Nationale Zusammenarbeit

Die nationale Zusammenarbeit war im Jahr 2012 weiterhin stark von den verschiedenen Diskussionen und Untersuchungen zur Umstrukturierung der Energieversorgung in der Schweiz dominiert. Insbesondere gab es zur Wasserkraft, die einen wesentlichen zusätzlichen Beitrag zur Stromversorgung liefern soll, mehrere Arbeitsgruppen, unter anderem von der Schweizerischen Akademie der tech-

nischen Wissenschaften oder vom Bundesamt für Energie. In den Diskussionen dort ging es einerseits um die generell noch verfügbaren und nutzbaren Potenziale und andererseits darum, welche Eingeständnisse beim Gewässer- und Landschaftsschutz erforderlich wären, um bestimmte Potenziale nutzen zu können. Auch die Notwendigkeit, die Rahmenbedingungen für den weiteren Ausbau der Was-

serkraft zu ändern, wurde immer wieder betont. Wie auch bereits im Vorjahr war die Programmleitung intensiv in diese Arbeiten eingebunden. Zudem wurden die zukünftigen Möglichkeiten der Wasserkraftnutzung und ihre Grenzen an der Cleantech City Messe in Bern in einem Vortrag präsentiert.

Für mehrere der laufenden Forschungsprojekte gibt es Begleitarbeitsgruppen, welche einerseits zusätzliches Fachwissen beisteuern, andererseits aber auch für die Umsetzung der Ergebnisse der Forschungsarbeiten in die zukünftige Praxis zuständig sind. Diese Begleitarbeitsgrup-

pen trafen sich wie auch in den Vorjahren zu mehr oder weniger regelmässigen Sitzungen, um die Forschungsprojekte zu unterstützen.

Generell werden die meisten der geförderten Projekte von anderen Organisationen co-finanziert und im Fall von Themen aus der Grosswasserkraft auch immer wesentlich durch die Betreiber der grossen Wasserkraftanlagen mit getragen. Hier werden im Regelfall auch grosse Eigenbeiträge geleistet. Jedes einzelne Forschungsprojekt wird damit durch ein nationales Netzwerk gefördert, unterstützt und getragen.

## Internationale Zusammenarbeit

Ein von der Wasseragenda 21 organisierter Workshop zur Schwall- und Sunk-Problematik brachte Wissenschaftler aus Norwegen, Österreich, Deutschland und der Schweiz zusammen. Die Alpenkonvention tagte direkt im Zusammenhang damit ebenfalls zu diesem Thema, so dass insgesamt ein sehr konzentrierter Austausch von Ideen und Einschätzungen zu diesem brisanten Thema stattfand.

Mit dem norwegischen Center for Environmental Design of Renewable Energy CEDREN in Trondheim gibt es einen ständigen Austausch; dort werden eine Reihe von wasserkraftbezogenen Themen erforscht, die auch für die Schweiz hohe Relevanz besitzen.

Das Forschungsprojekt «Fischabstieg» (siehe Highlights) ist ein internationales Kooperationsprojekt mit deutschen Partnern, die ebenfalls Laufwasserkraftwerke an grossen Flüssen betreiben. Da die Fische sich nicht an politische Grenzen orientieren, sind für die Sicherstellung der Durch-

gängigkeit an den internationalen Gewässern auf jeden Fall auch internationale Bemühungen gefragt. Eine Reise in die USA zu einigen der weltweit grössten Fischaufstiegs- und -abstiegshilfen ist für das Jahr 2013 geplant.

Die in der Schweiz unter anderem mit Förderungen durch das BFE entwickelte Universalturbine wird jetzt in einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit der Universität Stuttgart eingesetzt. Hier soll unter anderem mit Hilfe des Versuchsturbinenwagens untersucht werden, welche Technologien sich zur Energiegewinnung in Trinkwasserkraftwerken am besten eignen.

Anlässlich des schweizerisch-japanischen Joint Committee Meetings in Tokyo, das der Umsetzung des Abkommen zwischen dem schweizerischen Bundesrat und der japanischen Regierung über die wissenschaftliche und technologische Zusammenarbeit dient, fand ein Austausch über das Thema «Hydro-electric generation and other renewable energy sources in Switzerland» statt.

## Referenzen

[1] BFE (2007): *Energieforschungsprogramm Wasserkraft für die Jahre 2008 – 2012*

[2] BFE (2012). *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2011*

[3] CORE/BFE: *Konzept der Energieforschung des Bundes 2008–2012*

[4] SATW (2012). *Zukunft Stromversorgung Schweiz, Bericht der Akademien der Wissenschaften Schweiz, Bern, 2012*

[5] BFE (2012). *Wasserkraftpotenzial der Schweiz -Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050*

[6] BFE (2012). *Energiestrategie 2050: Erstes Massnahmenpaket*

[7] Schröder U., R. Weingartner, C. Hemund (2012): *Erhebung des Kleinwasserkraftpotenzials der Schweiz, BFE Forschungsprogramm Wasserkraft.*

[8] Hemund, C. (2012): *Methodik zur ganzheitlichen Beurteilung des Kleinwasserkraftpotenzials in der Schweiz. Dissertation, Geographisches Institut der Uni Bern, [http://www.hydrologie.unibe.ch/download/518\\_Hemund.pdf](http://www.hydrologie.unibe.ch/download/518_Hemund.pdf)*

[9] Kriewitz, C.R., Albayrak, I. Boes, R. (2012): *Massnahmen zur Gewährleistung eines schonenden Fischabstiegs an grösseren mitteleuropäischen Flusskraftwerken, ETHZ-VAW (2012).*

[10] Kamber, P. (2012): *Pilotanlage Münster (VS) – Universalturbine für Wasserversorgungen, stiftung revita, Langenbruck, [www.revita.ch](http://www.revita.ch). Schlussbericht, BFE Forschungsprogramm Wasserkraft.*

## Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(\* IEA-Klassifikation)

- ENTWURF UND BEMESSUNG VON SEDIMENTUMLEITSTOLLEN**

R&D 3.6.1\*

Lead:	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Funding:	BFE SER
Contact:	Robert Boes <a href="mailto:boes@vaw.baug.ethz.ch">boes@vaw.baug.ethz.ch</a>	Period:	2011–2013

Abstract: Zur Reduktion der Verlandung von Speicherseen bei Wasserkraftanlagen wurden in den letzten Jahren in einigen Fällen Sedimentumleitstollen gebaut. Da es bisher weltweit hierzu wenig Erfahrung gibt, gleichzeitig aber der Bedarf nach einer langfristigen Speicherbewirtschaftung weltweit ansteigt, sind grundlegende Untersuchungen zur Bemessung solcher Anlagen notwendig. Dazu trägt dieses Projekt bei.
- ERHEBUNG DES KLEINWASSERKRAFTPOTENZIALS DER SCHWEIZ, TEIL A**

R&D 3.6.2

Lead:	Watergisweb AG	Funding:	BFE
Contact:	Udo Schröder <a href="mailto:u.schroeder@watergisweb.ch">u.schroeder@watergisweb.ch</a>	Period:	2008–2012

Abstract: mithilfe von GIS unterstützten Modellen auf der Basis von digitalen Höhenmodellen und flächendeckenden Abflussdaten wird in diesem Projekt das Kleinwasserkraftpotenzial flächendeckend für die ganze Schweiz untersucht. Dabei wird für jedes einzelne Gewässer ab einer bestimmten Länge das auf summierte Linienpotenzial berechnet.
- ERHEBUNG DES KLEINWASSERKRAFTPOTENZIALS DER SCHWEIZ, TEIL B**

R&D 3.6.2

Lead:	Universität Bern	Funding:	BFE
Contact:	Rolf Weingartner <a href="mailto:rolf.weingartner@giub.unibe.ch">rolf.weingartner@giub.unibe.ch</a>	Period:	2008–2012

Abstract: In Ergänzung zum rein technischen Potenzial, welches im Teil A. untersucht wurde, werden hier zusätzlich Aspekte der Gewässerökologie, des Landschaftsschutzes und soziokulturelle Gesichtspunkte erfasst. Werden diese mit dem technischen Potenzial verschnitten, kann daraus das tatsächlich und unter ganzheitlichen Gesichtspunkten nutzbare Potenzial abgeleitet werden.
- ERHEBUNG DES KLEINWASSERKRAFTPOTENZIALS DER SCHWEIZ, TEIL C**

R&D 3.6.2

Lead:	Netzwerk Wasser im Berggebiet	Funding:	BFE
Contact:	Michael Lehning <a href="mailto:lehning@slf.ch">lehning@slf.ch</a>	Period:	2008–2012

Abstract: Im Teilprojekt C der Studie zum Kleinwasserkraftpotenzial der Schweiz wird die Umsetzung der Untersuchungsergebnisse gemeinsam mit den Bergkantonen durchgeführt. Den Kantonen sollen die Ergebnisse und die Modellansätze als Entscheidungshilfe für ihre eigenen Kleinwasserkraftwerksstrategien dienen.
- HYDROPOWER DESIGN UNDER UNCERTAINTIES**

R&D 3.6.1

Lead:	Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne	Funding:	BFE
Contact:	Anton Schleiss <a href="mailto:anton.schleiss@epfl.ch">anton.schleiss@epfl.ch</a>	Period:	2011–2014

Abstract: Wasserkraftanlagen haben sehr hohe Investitionskosten und müssen sich über extrem lange Zeiträume amortisieren. Die Unsicherheiten zum Beispiel bezüglich der Strompreisentwicklung oder des Einflusses des Klimawandel auf das Wasserangebot sowie andere Risiken müssen bei der Planung besser berücksichtigt werden. Hierzu werden Methoden entwickelt.
- LUFTEINTRAGSRATE IN DRUCKSYSTEME VON WASSERKRAFTANLAGEN INFOLGE EINLAUFWIRBEL**

R&D 3.6.1

Lead:	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Funding:	BFE STV SER
Contact:	Robert Boes <a href="mailto:boes@vaw.baug.ethz.ch">boes@vaw.baug.ethz.ch</a>	Period:	2009–2013

Abstract: Durch die Rolle der Schweizer Wasserkraft für die Bereitstellung von Spitzenstrom im europäischen Verbundnetz haben sich die Anforderungen an die Bewirtschaftung der Speicher verändert. Die verfügbaren Speichervolumen werden soweit möglich vollständig ausgenutzt. In diesem Zusammenhang wird in diesem Projekt untersucht, ab welchen Überdeckungen der Einläufe zu den Triebwasserleitungen Luft eingezogen werden kann, da solche Luftblasen problematisch sein können.
- MASSNAHMEN ZUR GEWÄHRLEISTUNG EINES SCHONENDEN FISCHABSTIEGS**

R&D 3.6.1

Lead:	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Funding:	BFE SER VAR EAWAG
Contact:	Robert Boes <a href="mailto:boes@vaw.baug.ethz.ch">boes@vaw.baug.ethz.ch</a>	Period:	2011–2014

Abstract: Während Fische aufstiege seit langem erprobt sind und erfahrungsgemäß gut funktionieren, ist die Frage des Fischabstiegs bisher stark vernachlässigt worden. In diesem Projekt sollen Konzepte und Methoden entwickelt werden, mit denen absteigende Fische sicher ins Unterwasser von Flusskraftwerken geleitet werden können, ohne dass sie in die Turbinen gelangen.

- **PILOTANLAGE MÜNSTER (VS): UNIVERSALTURBINE FÜR WASSERVERSORGUNGEN** P&D 3.6.2

Lead: Stiftung Revita	Funding: BFE
Contact: Bruno Schindelholz <a href="mailto:info@revita.ch">info@revita.ch</a>	Period: 2009–2012

Abstract: Die so genannte Universal Turbine ist eine Pelton Turbine, wie in einem Überdruckbehälter läuft. Der Druck in diesem Behälter entspricht dem Gegendruck, der für ein nachgeschaltete Wasserversorgung notwendig ist. Diese Turbinen werden daher in Wasserversorgungsanlagen eingesetzt. In diesem Projekt wurde ein Prototyp gebaut und erprobt.
- **RÄUMLICH DIFFERENZIERTER ABSCHÄTZUNG DES GANZHEITLICHEN KLEINWASSERKRAFTPOTENZIALS IN DER SCHWEIZ** R&D 3.6.1

Lead: Geogr. Institut, Uni Bern	Funding: BFE
Contact: Rolf Weingartner <a href="mailto:rolf.weingartner@giub.unibe.ch">rolf.weingartner@giub.unibe.ch</a>	Period: 2012–2013

Abstract: In einem früheren Forschungsprojekt wurde eine Methodik zur Abschätzung des Kleinwasserkraftpotenzials unter energiewirtschaftlichen, ökologischen und sozioökonomischen Gesichtspunkten entwickelt. In diesem Projekt soll daraus ein praxistaugliches GIS basiertes Tool entwickelt und in einer Pilotregion angewandt werden.
- **SCHWEBSTOFF-MONITORING UND VERSCHLEISS AN PELTON TURBINEN** R&D 3.6.1

Lead: Eidg. Technische Hochschule Zürich	Funding: BFE SER BKW GWK
Contact: Robert Boes <a href="mailto:boes@vaw.baug.ethz.ch">boes@vaw.baug.ethz.ch</a>	Period: 2011–2013

Abstract: Schwebstoffe im Triebwasser von Wasserkraftanlagen führen insbesondere bei Hochdruckanlagen zu Abrasionsschäden. In diesem Projekt werden neue Beschichtungen für die Schaufeln von Pelton Turbinen untersucht, die die Lebensdauer der Laufräder deutlich verlängern sollen.
- **SUSTAINABLE SEDIMENTATION IN PUMPED STORAGE PLANTS** R&D 3.6.1

Lead: Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne	Funding: BFE CCEM
Contact: Anton Schleiss <a href="mailto:anton.schleiss@epfl.ch">anton.schleiss@epfl.ch</a>	Period: 2009–2012

Abstract: Beim Pump- und Turbinenbetrieb in Speicherkraftwerken wird nicht nur Wasser sondern auch suspendierte Stoffe bewegt. In Abhängigkeit von den sich ausbildenden Strömungsverhältnissen bleiben diese Stoffe in der Schwebe oder setzen sich ab. Im Labor sowie an einem Prototyp werden diesen Vorgänge untersucht und aus den Ergebnissen numerische Modelle entwickelt und kalibriert, mithilfe derer die Verlandungsprozesse besser analysiert werden können.

