LIFE Projektnummer

LIFE06 ENV/D/000485

Laienbericht

Über die Projekttätigkeit vom

01.10.2006 to 30.06.2011

Berichtsdatum

30.06.2011

1 Einführung

In der Europäischen Union liegt der Anteil der Wasserkraft an der gesamten Stromerzeugung bei etwa 10 %. Die Stromerzeugung aus Wasserkraft erfolgt zum größten Teil aus Großstaudämmen, d.h. Staudämmen mit einer Höhe von mindestens 15 m über dem Fundament bzw. aus Anlagen mit einer Höhe von 5 bis 15 m bei einem Speichervolumen von mindestens 3 Mio. m^3.

Oftmals wurde die Fallhöhe durch Aufstauung oder Ausleitung künstlich erhöht, um die Energiegewinnung weiter zu steigern. Insbesondere längere Ausleitungsstrecken werden in der EU aus Umweltschutzgründen wegen der starken Reduktion der Wasserführung im Gewässer nicht mehr toleriert. Es gibt jedoch eine sehr große Anzahl von bestehenden, kleineren Stauhaltungen an Europas Flüssen. Diese kleineren Stauhaltungen sind meist sog. Kulturstaue zur Verhinderung von Tiefenerosion als Folge von ehemaligen Flussbegradigungen, zur Herstellung der Schiffbarkeit, Altmühlenstandorte oder ehemalige Bewässerungsanlagen. Diese Standorte weisen meist eine geringe Fallhöhe auf, so dass trotz moderner Technik die Nutzung dieser Standorte ohne Ausleitung zur Energiegewinnung meist unwirtschaftlich ist. Nachteilig an diesen Kulturstauen ist, dass sie oftmals für Fische nicht passierbar sind und somit eine Fischwanderung unmöglich machen. Hierdurch haben sich der Fischbestand und die Artenvielfalt in vielen Flüssen Europas erheblich reduziert. Derzeitige Wasserkraftsysteme können diesen Umstand nicht beheben, sondern verschlechtern meist die ökologische Situation, weshalb einer weitergehenden Nutzung der bisherigen Wasserkrafttechnologie ökonomische und ökologische Grenzen gesetzt sind.

Mit Hilfe des EU-Life-Projektes wurde im Rahmen eines Demonstrationsvorhabens weltweit erstmalig ein völlig neues Wasserkraftprinzip umgesetzt, bei dem die Turbine und Welle direkt gekoppelt in einem Gehäuse platziert sind, das beweglich ist und von Wasser umströmt werden kann. Mit Hilfe dieses neuen Systems wurde erstmals gezeigt, dass die ökologischen Gesichtspunkte einer Wiederherstellung der Durchwanderbarkeit für Fische mit ökonomischen Gesichtspunkten und einer Wirkungsgradverbesserung von Wasserkraftanlagen kombiniert werden können.

2 Technologie

In Europa befinden sich noch viele ungenutzte Niederdruckstandorte mit Fallhöhen < 5 m. Diese Standorte können meist ohne Ausleitungsstrecke auskommen und gelten daher eher als genehmigungsfähig.

Die Anlagenleistung wird aus der (großen) Wassermenge generiert, weniger durch die Fallhöhe. Große Wassermengen verlangen aber nach großen Bauwerken und Anlagenteilen, was hohe Kosten mit sich bringt. Die hydraulischen Verluste sollten aufgrund der geringen Fallhöhe möglichst gering sein, die Anlagen verlieren jedoch aufgrund von Geschiebeanlandungen und Rückstau im Unterwasser schnell an Nutzgefälle und somit an Leistung. Zudem verlangen die Umweltauflagen nach Möglichkeiten der gefahrlosen Fischpassage. Herkömmliche Wasserkraftanlagen können diesen Vorgaben bestenfalls durch zusätzliche, aufwendige Bauwerke gerecht werden.

Ziel des durch das EU-Life-Programm geförderten Demonstrationsvorhabens war es deshalb, weltweit erstmals eine großtechnische, bewegliche, über- und unterströmbare Wasserkraftanlage zu realisieren, welche einerseits möglichst geringe Veränderungen an dem bestehenden, lokalen Ökosystem erfordert und andererseits durch ein deutlich verbessertes Kosten- / Nutzenverhältnis bereits bei den heute noch niedrigen Primärenergiepreisen einen wirtschaftlichen Betrieb aufgrund einer hohen Energieeffizienz erlaubt. Hierbei sollten vorhandene Stauhaltungen direkt und ohne Ausleitungsstrecke unter Berücksichtigung des Fischschutzes nutzbar gemacht werden.

Dazu wurde ein neues Krafthausdesign erstmals in einer Demonstrationsanlage umgesetzt, welches über- und unterströmt werden kann. Auf diese Weise soll Fischen, Geschiebe und Treibgut die Möglichkeit gegeben werden, die Wasserkraftanlage über oder unter der Turbine zu passieren.

Der innovative Charakter dieser Wasserkraftanlage, wie in Abbildung 1 dargestellt, besteht vor allem darin, dass das komplette Krafthaus mit integrierter Turbine und Generator entsprechend den hydraulischen Schwankungen durch Hoch- und Niedrigwasser in seiner Neigung verändert werden kann. Hierdurch kann der Oberwasserspiegel, ähnlich wie bei einem beweglichen Wehraufsatz, bei Überwasserangebot konstant gehalten werden und gleichzeitig durch die Geschiebeweitergabe unter dem Kraftwerk einer Sedimentation in der Stauhaltung

entgegengewirkt werden. Zusätzlich bewirkt die Umströmung mit dem überschüssigen Wasser einen Ejektoreffekt, wodurch das für den Turbinenbetrieb nutzbare Gefälle gesteigert wird. Je nach Standort können diese Effekte zu einer Leistungssteigerung um bis zu 35 % gegenüber bisherigen konventionellen Anlagen führen.

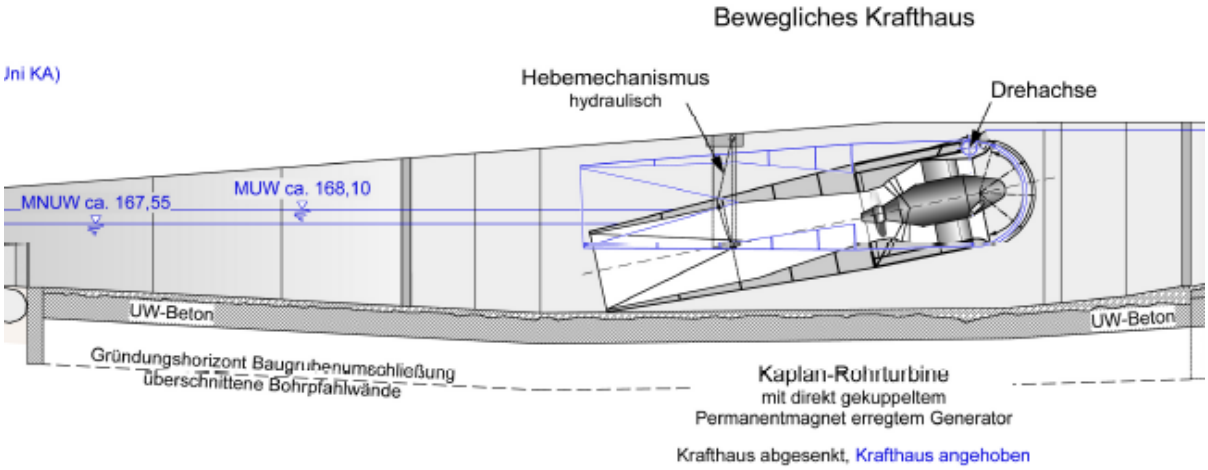

Abbildung 1: Längsschnitt des beweglichen, über- und unterströmbaren Wasserkraftwerkes für die Demonstrationsmaßnahme in Gengenbach

Zudem erfolgt zur Effizienzsteigerung und Betriebskostensenkung eine direkte Kopplung von Turbine und einem Permanentmagnet erregten Synchrongenerator. Aufgrund des Verzichtes eines bei dieser Generatorart üblichen Umrichters wird gegenüber herkömmlichen Turbinen mit Übersetzung und schnelllaufendem Generator zusätzlich eine mittlere Effizienzsteigerung von ca. 3 bis 5 % erzielt. Eine 3D-CAD-Zeichnung dieser Kopplung aus Kaplanturbine und PM-Generator (PM= Permanent-Magnet) ist in Abbildung 2 dargestellt. Hier wird auf Erfahrungen aufgebaut, die an einer Wasserkraftanlage an der Fils bei Faurndau gesammelt wurden, an der erstmals eine direkte Kopplung von Turbine und Permanentmagnet erregten Synchrongenerator erfolgte.

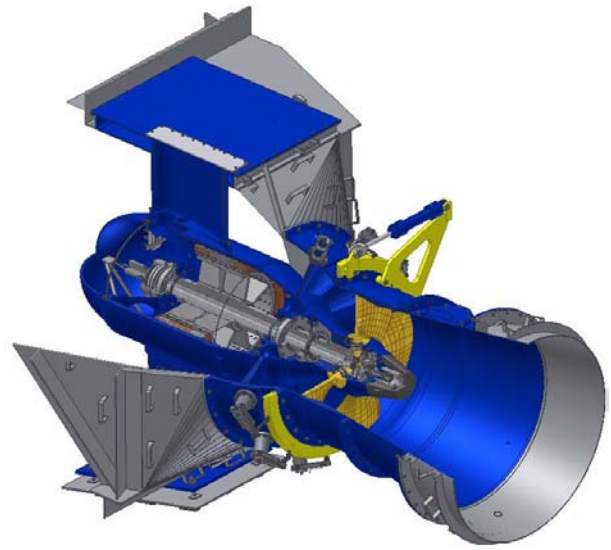

Abbildung 2: 3D-CAD der Kaplanturbine mit direkt gekoppeltem PM Generator

Wesentlicher Vorteil eines PM Generators ist, dass dieser durch den Entfall der elektromagnetischen Erregereinrichtung, bezogen auf die Nennleistung ca. 30 % geringere Verluste aufweist. Da die Erregerleistung bei nahezu konstanter Netzspannung unabhängig von der Leistung ist, ergibt sich vor allem im Teillastbetrieb ein deutlicher Wirkungsgradgewinn (siehe Abbildung 3).

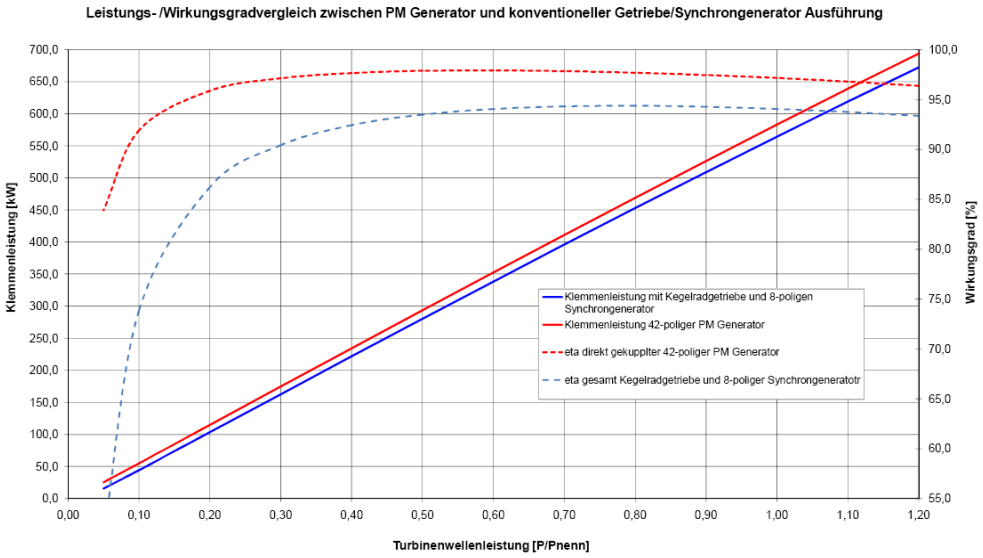

Abbildung 3: Vergleich der Verbesserung des Leistung- und des Wirkungsgrads durch Nutzung des PM Generator mit Kaplanturbine

Neu entwickelt und erstmalig umgesetzt wurde zudem der Bogenrechen am Turbineneinlauf nebst dem automatischen Rechenreiniger (siehe Abbildung 4).

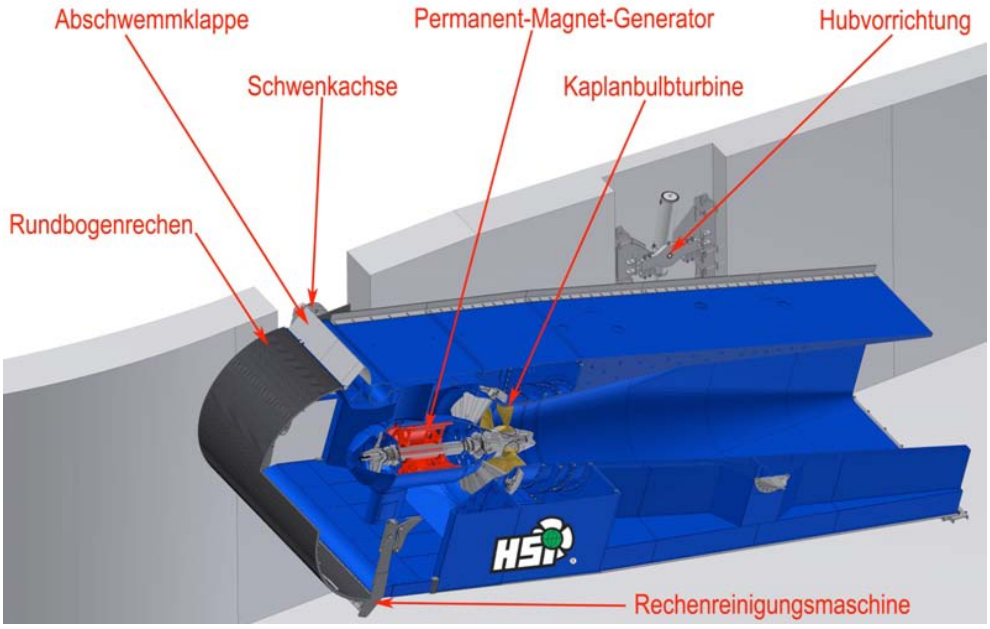

Abbildung 4: System der beweglichen Wasserkraftanlage

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass die Beschleunigung und tangentiale Ableitung des umströmenden Wassers im oberen und unteren Bereich sich positiv auf das Abwanderverhalten von Fischen auswirkt. Im Gegensatz zu herkömmlichen Rechenreinigungsanlagen wird die Putzharke während eines Putzzyklus nicht vom

Rechen abgehoben. In Verbindung mit der speziellen Ausbildung der Putzharke kann die Verletzungsgefahr für Fische auf ein Minimum herabgesetzt werden. Gleichzeitig wird insbesondere bei hoher Wasserführung und dem dann einhergehenden hohen Schwemmgutanteil, während eines Putzzyklus der Einlaufrechen zweimal gereinigt, was mit keinem herkömmlichen Stabrechensystem realisierbar ist.

3 Ergebnisse

An den beiden Stauhaltungen der Kinzig in Gengenbach und Offenburg, die als ökologisch besonders verbesserungswürdig galten, da sie von Fischen nicht überwunden werden konnten, wurden Demonstrationsanlagen des neuen Prinzips der beweglichen, unter- und überströmbaren Wasserkraftanlage realisiert. Die Auslegung und Planung der Demonstrationsanlagen erfolgte hierbei durch die Fa. Hydro-Energie Roth GmbH, der Permanentmagnet erregte Synchrongenerator wurde von der Fa. Krebs & Aulich GmbH gebaut, die Kaplanturbine nebst Gehäuse, Saugrohr und Rechenreinigungsmaschine von der Fa. HSI Hydro Engineering GmbH und der Bogenrechen von der Fa. Arpogaus GmbH.

Die Erstellung des Trogbauwerkes erfolgte durch sich überschneidende Bohrpfahlwände (siehe Abbildung 5). Den Vorgang des Einhebens des Krafthauses mit Turbine und Generator zeigt Abbildung 6 links, die fertige Anlage in Betrieb die rechte Abbildung.

Abbildung 5: Aufbau des Kraftwerkstrogs aus sich überschneidenden Betonpfahlwänden

Abbildung 6: Einheben des Krafthauses und fertiggestellte Wasserkraftanlage in Gengenbach

Zahlreiche Bilder zum Baufortschritt können im Internet unter www.das-bewegliche-wasserkraftwerk.de eingesehen werden. Dort finden sich auch aktuelle Bilder der vor Ort installierten Webcams, zudem besteht eine Zugriffsmöglichkeit auf die aktuellen Leistungsdaten beider Anlagen. Beide Anlagen wurden über mehrere Monate getestet und haben die Funktionalität eines automatisierten Betriebs sowohl bei Niedrigwasser als auch bei Hochwasser bewiesen.

Erkenntnisse zum Ejektoreffekt

Durch die installierte Messtechnik und der entsprechenden Visualisierung aller technischen Größen, war es möglich die prognostizierte signifikante Leistungssteigerung bei Umströmung des Kraftwerkes nachzuweisen (siehe Abbildung 7). Zur Veranschaulichung der Leistungssteigerung durch den Ejektoreffekt wurde bei voll geöffneter Turbine und umgelegten Spülklappen bei einer Wasserführung in der Kinzig von ca. 40 m³/s zunächst der Oberwasserstand durch die Abflussregelung unter dem Krafthaus geregelt.

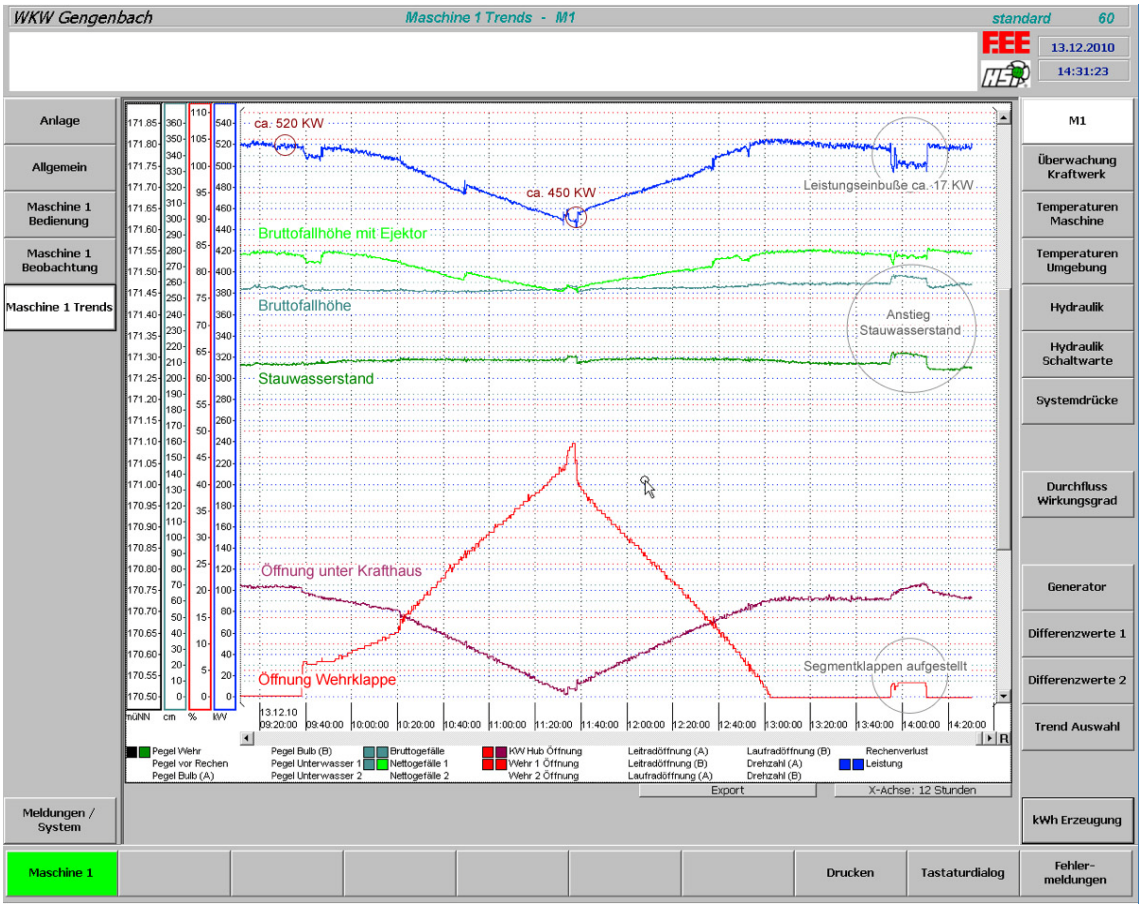

Abbildung 7: Screenshot der Visualisierung zum Nachweis des Ejektoreffektes

Durch minimale Anhebung des Sollpegels für die Hubregelung über den Sollwert der Wehrklappenregelung wurde kontinuierlich der Kraftwerkshub von ca. 20 % Öffnung auf 0 % reduziert. Die überschüssige Wassermenge wurde im gleichen Maß über die Wehrklappen abgeführt, was in Abbildung 7 an dem Öffnungsgrad der Wehrklappe erkennbar ist. Ebenso erkennbar ist, wie die Bruttofallhöhe nahezu konstant bei ca.

2,55 m verharrt. Zur Verdeutlichung des Ejektoreffektes wurde eine 2. Messsonde ca. 2 m hinter dem Saugrohr installiert.

Hier ist erkennbar, dass mit zunehmender Öffnung am Saugrohrende die für die Leistungsgewinnung nutzbare Fallhöhe zunimmt. In Abbildung 7 ist erkennbar, dass bei abgesenktem Kraftwerk die Leistung bei ca. 450 kW lag, während bereits bei einem Kraftwerkshub von lediglich 20 % die Leistung auf 520 kW anstieg. Würde man zusätzlich den Ejektoreffekt, der durch das Umlegen der Segmentklappen auf dem Kraftwerksrücken durch die Überströmung entsteht, mit ca. 17 kW berücksichtigen, was bei einer konventionellen Anlage ebenfalls nicht gegeben ist, so ergäbe sich ein Leistungszugewinn gegenüber einer konventionellen Anlage von

520 kW – (450 kW – 17 kW) = 87 kW bzw. ca. 20 %!

Das Maximum einer Leistungssteigerung konnte bei einem Kraftwerkshub von ca. 40 % mit nahezu 36 % gemessen werden.

Durch die zur Verfügungstellung der Daten im Internet ist jederzeit ein Vergleich beider Anlagen möglich und man erkennt den höheren Ertrag der Anlage in Gengenbach aufgrund des höheren Gefälles und der um ca. 8 m³/s größeren nutzbaren Wassermenge, die in Offenburg im Wesentlichen an ein bevorrechtigtes Wasserrecht abgegeben werden muss.

Fischökologie

Unter fischökologischen Gesichtspunkten ist das bewegliche Krafthaus von besonderem Interesse, da zum einen abstiegswillige Fische über das ständig überströmte Krafthaus abwandern können. Zum anderen können auch sohl nah schwimmende abstiegswillige Fische unter dem Kraftwerk abwandern, welches hierzu zu Zeiten der Fischwanderung leicht angehoben wird.

Bei beiden Demonstrationsanlagen wurden Rundbogenrechen mit einem Stababstand von lediglich 15 mm installiert, die aufgrund günstiger Strömungsfelder vor dem Rechen Fische mit hoher Effizienz davon abhalten, in die Wasserkraftanlage einzuschwimmen, bzw. in Verbindung mit den niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten eingesogen zu werden (siehe Abbildung 8).

Die Auswirkungen des beweglichen, über- und unterströmbaren Wasserkraftwerkes auf Fische wurden vom Büro für Fischereibiologie & Ökologie (Klaus Blasel, Freiburg) durchgeführt. Zur Bearbeitung von speziellen Fragestellungen zur Fischverträglichkeit des beweglichen Krafthauses wurden das Büro für Umweltplanung, Gewässermanagement und Fischerei aus Bielefeld und der wirtschaftliche Geschäftsbetrieb des Landesfischereiverbandes Westfalen und Lippe e. V. vom federführenden Büro beauftragt.

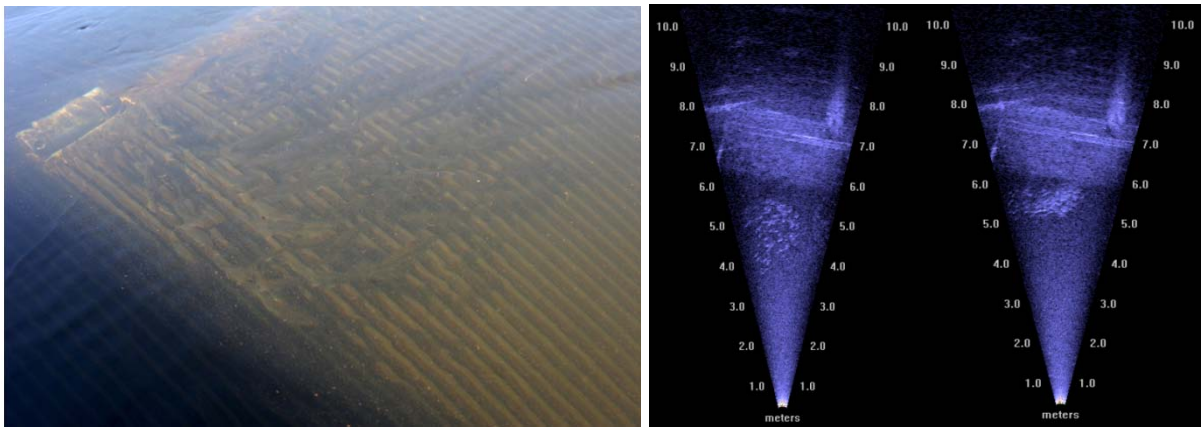

Abbildung 8: Schneiderschwarm vor dem Rechen (rechts zwei Aufnahmen mit DIDSON Sonar)

Zum Einsatz kam hierbei das Sonarverfahren des „DIDSON“ (siehe Abbildung 8 rechts), mit dem Fischwanderungen unabhängig von Trübungsgrad und Abfluss ohne jegliche methodische Beeinflussung (Netze, Reusen) der Fische durchgeführt werden konnte. Die Untersuchungen zeigten die Möglichkeiten des Fischabstiegs über und unter der Anlage, wobei der Fischabstieg durch die Betätigung des Rechenreinigers unterstützt werden kann.

Neben den Kraftwerkstrogbauwerken wurden naturnahe und in Offenburg zusätzlich eine technische Fischaufstiegsanlage, entsprechend der einschlägigen neusten Erkenntnissen, errichtet.

Insgesamt wurde dem Prinzip der über- und unterströmbaren Wasserkraftanlage ein hohes Maß an Fischfreundlichkeit attestiert. Zudem besteht durch die nun erzielte Durchwanderbarkeit beider Stauhaltungen die Möglichkeit für verschiedene Fischarten weiter die Kinzig zu durchwandern und nun wieder an frühere Laichplätze zu gelangen.

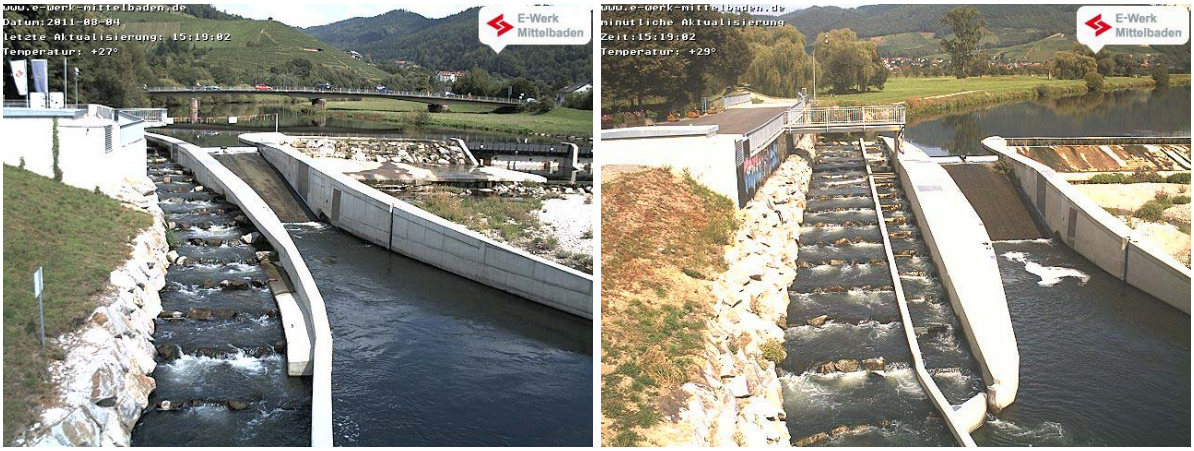

Abbildung 9: Webcam-Bilder der Anlagen mit Fischaufstieg (links Gengenbach; rechts Offenburg)

Als begleitende Maßnahmen wurde zur ökologischen Verbesserung zusätzlich der alte Mühlkanal in Gengenbach als ein naturnahes Seitengewässer umgestaltet, wodurch neue Laichplätze für Fische geschaffen wurden. In Offenburg wurde am

Mühlkanaleinlauf ein neuer Fischaufstieg errichtet, sodass auch dieser zumindest bis zur alten Wasserkraftanlage im Mühlkanal für Fische durchwanderbar wurde.

4 Umweltnutzen

Der Umweltnutzen des beweglichen Wasserkraftwerks ergibt sich aus der Verbesserung der ökologischen Situation vor Ort, denn die Kinzig war an den Stauhaltungen und den Mühlkanälen in Offenburg und Gengenbach für Fische vor Projektbeginn nicht durchwanderbar. Durch die Demonstrationsmaßnahme, die die Errichtung von Fischaufstiegen beinhaltete und den Fischen auch einen Abstieg über und unter der Turbine ermöglicht, konnten die Zielstellungen der Programme „Aktionsprogramm Rhein“, „Lachs 2000“ sowie „Rhein 2020“ unmittelbar erfüllt werden. In diesen Programmen wird u. a. die Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit in Nebenflüssen des Rheins angestrebt.

Zudem wird durch die Nutzung der Wasserkraft der CO_2-Ausstoss entsprechend dem Kyoto-Protokoll (1997) und den Zielstellungen von Rio de Janeiro (1992) reduziert. Als besonders vorteilhaft erwies sich hierbei die hohe Energieeffizienz der Demonstrationsanlagen, die sich aus dem zusätzlichen Ejektoreffekt durch die Umströmung und die direkte Kopplung von Turbine und Generator ergibt. Der Nachweis der Energieeffizienz konnte im Rahmen des Projektes erfolgreich geführt werden. Auf eine Laufzeit von 50 Jahren hochgerechnet ergibt sich alleine durch die beiden Anlagen eine CO_2-Ersparnis von etwa 175.000 Tonnen an CO_2 im Vergleich zur Stromerzeugung aus Kohle.

Insbesondere im Hinblick auf die Atomproblematik seit dem Unglück in Fukushima und die sich hieraus ergebende Notwendigkeit verstärkter Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, kann die neue Wasserkrafttechnologie einen zwar begrenzten aber durchaus wichtigen Beitrag für die künftige, dezentrale Energieversorgung Europas leisten.

5 Übertragbarkeit der Projektergebnisse

Es gibt an Flüssen in Europa eine sehr große Anzahl von mehreren hundert bestehenden, kleineren Stauhaltungen. Diese kleineren Stauhaltungen sind meist sog. Kulturstaue zur Verhinderung von Tiefenerosion als Folge von ehemaligen Flussbegradigungen, zur Herstellung der Schiffbarkeit, Altmühlenstandorte oder ehemalige Bewässerungsanlagen. Diese Standorte weisen meist eine geringe Fallhöhe auf, so dass trotz moderner Technik die Nutzung dieser Standorte ohne Ausleitung zur Energiegewinnung meist unwirtschaftlich ist. Nachteilig an diesen Kulturstauen ist, dass sie oftmals für Fische nicht passierbar sind und somit eine Fischwanderung unmöglich wird. Hierdurch haben sich der Fischbestand und die Artenvielfalt in vielen Flüssen Europas erheblich reduziert. Bisher übliche Wasserkraftsysteme können diesen Umstand nicht beheben, sondern verschlechtern meist die ökologische Situation.

Das neue bewegliche, über- und unterströmbare Wasserkraftsystem dieses Demonstrationsprojektes wird an eine Vielzahl dieser Kulturstaue zum Einsatz kommen können und hiermit sowohl die Durchgängigkeit der Stauhaltungen ermöglichen und die Umwelt durch die regenerative Energiegewinnung entlasten.

Die größte Einheit, die auf den Straßen transportiert werden kann, liegt bei einem Turbinenschluckvolumen von ca. 25 m³/s, die im Gefällebereich zwischen ca. 1,5 m und ca. 8 m eingesetzt werden kann.

Aufgrund der signifikanten Vorteile dieses Wasserkraftsystems, welches bei Betrieb mehrerer paralleler Einheiten den Verzicht zusätzlicher Wehranlagen und Kiesschleusen zulässt, liegen bereits von international tätigen Ingenieurbüros Anfragen zur Nutzung größerer Standorte mit Ausbauwassermengen von bis zu 300 m³/s vor. Interessant hierbei könnte sein, zwei Einheiten als Doppeleinheit zusammenzufügen, wodurch die freie Abflussbreite unter dem Kraftwerk verdoppelt werden könnte, was eine deutliche Verbesserung der Sicherheit beim Hochwasserabfluss darstellen wird. Hier bedarf es in den kommenden Monaten entsprechender Modellierungen und Berechnungen, bevor eine erste Umsetzung erfolgen kann.

6 Zusammenfassung

Mit Hilfe dieses Demonstrationsprojektes wurde gezeigt, dass sich Wasserkraft und Naturschutz hervorragend ergänzen können und durch den Bau der neuen über- und unterströmbaren Wasserkrafttechnologie erhebliche ökologische Verbesserungen an bestehenden Wehranlagen erzielt werden können.

Im Rahmen des Demonstrationsprojektes wurde erstmalig im großtechnischen Maßstab das neu entwickelte Wasserkraftprinzip, bei dem das Krafthaus beweglich gestaltet ist und zusätzlich über- und unterströmt wird, am Fluss Kinzig, an den vorgenannten Standorten realisiert.

Durch einen unabhängigen Gutachter konnte nachgewiesen werden, dass die Fische ohne Schädigung die Anlage passieren können, so dass den Demonstrationsanlagen ein hohes Maß an Frischfreundlichkeit bescheinigt wurde.

Mit Hilfe des Demonstrationsvorhabens konnte somit die Durchwanderbarkeit der Kinzig für Lachse und andere Fischarten an den Standorten Offenburg und Gengenbach wieder hergestellt werden und es kann mit beiden Anlagen erneuerbare Energie gewonnen werden.

Fazit: Die Technologie des beweglichen, über- und unterströmbaren Wasserkraftwerks bietet bei all den Vorteilen die Ökologie und den Hochwasserschutz betreffend, insbesondere auch eine höhere Effizienz als konventionelle Wasserkraftanlagen, was sich Ertrag steigernd auswirkt.

Da die Erstellungskosten nicht höher und die Betriebskosten eher niedriger als mit einer konventionellen Kraftwerkstechnik sind, bietet eine bewegliche Wasserkraftanlage auch wirtschaftlich wesentliche Vorteile.