



Jahresbericht 4. Januar 2010

Evaluation von Ultra-Niederdruckkonzepten für Schweizer Flüsse

Innovationen, Eignungskriterien und
Erfahrungsberichte



Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Wasserkraft
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Entegra Wasserkraft AG
Oberalpstrasse 28
CH-7000 Chur
www.entegra.ch

Autoren:

Peter Eichenberger, Entegra Wasserkraft AG, peter.eichenberger@entegra.ch

Ivo Scherrer, Entegra Wasserkraft AG, ivo.scherrer@entegra.ch

Jean-Marc Chapallaz, JMC-Engineering, jmceng@bluewin.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser

BFE-Programmleiter: Dr. Klaus Jorde

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 154189 / 103180

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

Zusammenfassung

An Schweizer Mittellandflüssen besteht eine grosse Anzahl an Wehrschwellen, die für den Erosions- und Hochwasserschutz erstellt worden sind und die ein beachtliches, aber ungenutztes Wasserkraftpotential enthalten. Die Fallhöhen an diesen Schwellen bewegen sich jedoch im Bereich von 2m und geeignete Maschinengruppen für solche Ultra-Niederdruckanlagen waren bisher nicht verfügbar. Bestrebungen in verschiedenen Nachbarländern der Schweiz haben zu Pilotlösungen für Ultra-Niederdruckanlagen geführt, die in den letzten zwei Jahren an einzelnen Standorten in Betrieb genommen worden sind.

Ingesamt wurden 7 Pilotlösungen und 2 schon länger bekannte Wasserkraftmaschinen für kleinste Fallhöhen identifiziert und deren Anwendung für Schweizer Verhältnisse evaluiert. Es zeigte sich, dass:

- einige Anlagen erst in der zweiten Hälfte 2009 in Betrieb genommen werden konnten und noch kaum über relevante Betriebserfahrungen verfügen (kein Volllastbetrieb wegen zu geringen Abflüssen);
- zum Teil noch viele Kinderkrankheiten vorherrschen;
- keines der 7 untersuchten Konzepte eine Lösung für sämtliche Anwendungsfälle darstellt; vielmehr müssen die spezifischen Anforderungen der verschiedenen Ultra-Niederdruck-Standorte analysiert und das jeweils bestgeeignetste Konzept gewählt werden; und
- einige Initiatoren der Pilotanlagen sich noch nicht für eine Präsentation ihres Werkes gewinnen liessen.

Aus diesen Gründen konnte die Evaluation im 2009 noch bei weitem nicht abgeschlossen werden. Termine für weitere Vor-Ort-Besuche sind nun für die erste Hälfte 2010 vorgesehen.

Der vorliegende Bericht charakterisiert die identifizierten Pilotlösungen und zeigt die für die Evaluation vorgeschlagene Systematik und den zugehörigen Kriterienraster.

Projektziele

An Schweizer Mittellandflüssen besteht eine grosse Anzahl an Wehrschwellen, die für den Erosions- und Hochwasserschutz erstellt worden sind und die ein beachtliches, aber ungenutztes Wasserkraftpotential enthalten. Die Fallhöhen an diesen Schwellen bewegen sich jedoch im Bereich von 2m und geeignete Maschinengruppen für solche Ultra-Niederdruckanlagen waren bisher nicht verfügbar. Insbesondere besteht die Schwierigkeit, mit den bekannten, bei diesen Fallhöhen sehr langsam laufenden Kaplan- oder Rohrturbinen den entsprechend hochpoligen Generator anzutreiben und die gesamte Maschinengruppe kompakt und unauffällig in die Landschaft zu stellen, ohne die Kosten ins Unermessliche ansteigen zu lassen und ohne eine Ablehnung des Projekts durch die Umweltgruppen zu riskieren.

Bestrebungen in verschiedenen Nachbarländern der Schweiz haben zu Pilotlösungen für Ultra-Niederdruckanlagen geführt, die jetzt an einzelnen Standorten ausgeführt worden sind und über einige Monate Betriebserfahrung verfügen. Bis auf wenige Ausnahmen wurde keines dieser neuartigen Konzepte bisher in der Schweiz eingesetzt. Die Tauglichkeit dieser Konzepte für unsere Mittellandflüsse wie Thur, Töss, Limmat, Reuss, Emme, etc., die oft Wildfluss-Charakter aufweisen, ist nicht bekannt.

Ziel des vorliegenden Projekts ist es, den Bauherren, Investoren und Planern in der Schweiz zu zeigen, ob die Nutzung von kleinen Fallhöhen um 2m nun technisch, wirtschaftlich und umweltverträglich möglich wird und diese bislang ungenutzten Wasserkraftpotentiale genutzt werden können.

Projektgliederung und Untersuchungskonzept

Um eine sinnvolle Gliederung der verschiedenen Ansätze zur Nutzung von kleinen Fallhöhen an Flussschwellen zu erhalten, wurden die Pilotlösungen zum einen aufgrund ihres Leistungspotentials und zum anderen aufgrund ihrer Zielsetzung gegliedert:

Leistungspotential:

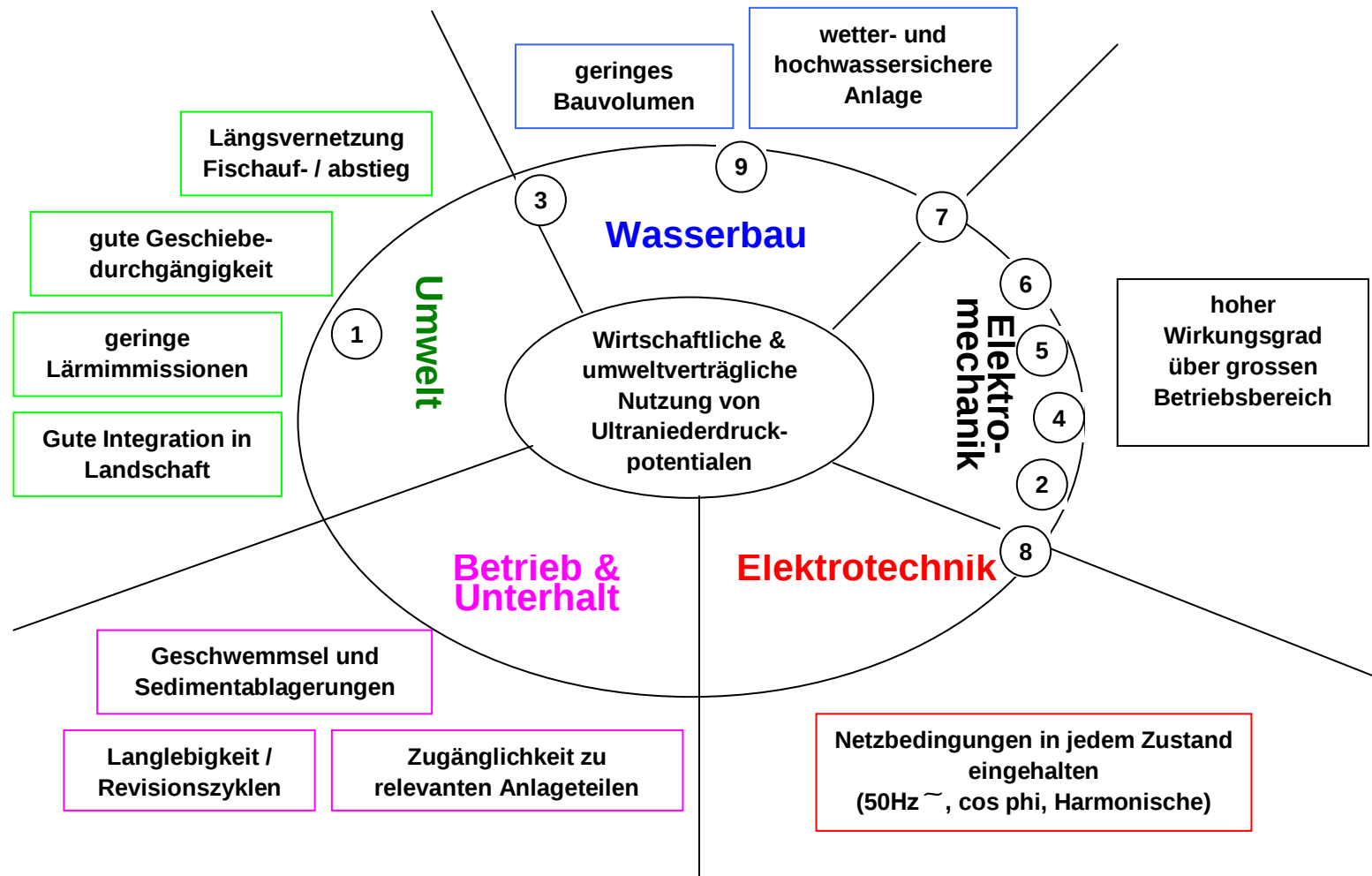
- bis ca. 100kW
- über 100kW

Während bei vielen die Umweltverträglichkeit im Vordergrund stand, fokussierten andere auf die Kostenreduktion der Gesamtanlage, welche über Innovationen bei verschiedenen Teilsystemen gesucht wurde. Dabei können die folgenden Teilsysteme unterschieden werden:

- Wasserbau (Wehr, Wasserfassung, Rechen, Hochwasserschutz)
- Elektromechanik (Maschinensatz mit Turbinen-Generator-Einheit sowie Getriebe)
- Elektrotechnik (Steuerung, Drehzahl-Regelung)
- Betrieb und Unterhalt

Ausgehend von einem Anforderungskatalog für Ultraniederdruckanlagen wurden die bekannten Pilotanlagen einem Raster zugeordnet, aus welchem der Ansatz der Initianten hervorgeht. Nachfolgende Graphik zeigt eine Übersicht (siehe Fig. 1):

Fig. 1: Anforderungskatalog für eine wirtschaftliche und umweltverträgliche Nutzung von Ultraniederdruckpotentialen



Die Nummern beziehen sich auf die nachfolgende Auflistung der untersuchten Ultraniederdruckkonzepte. Die Zuteilung erfolgte aufgrund der Konzeptbeschreibung der Hersteller und unterlag damit der subjektiven Einschätzung der Autoren der vorliegenden Studie.

Die in die Evaluation aufgenommenen Niederdruckkonzepte sind der folgenden Liste zu entnehmen:

Tabelle 1: Leistungspotential bis ca. 100kW

Nr.	Name des Typs / Konzepts	Vertriebsfirma / Initiator	Herkunft
1	Gravitationswirbeltechnik	Dipl. Ing. Zotlöterer	A-Obergrafendorf
2	WICON-Staudruckmaschine	WICON-Generatoren, Adolf Brinnich †	A-Wien
3	Strom-Boje oder hydrokinetische Turbine	1. Aqua Libre Energieentwicklungs GmbH 2. Hydro Green Energy	1. A-Wien 2. Houston, Texas (USA)
4	Wasserrad (mittelschlächtig)	Hydrowatt GmbH	D-Karlsruhe
5	Wasserkraftschnecke	Ritz-Atro GmbH	D-Nürnberg

Tabelle 2: Leistungspotential über 100kW

Nr.	Name des Typs / Konzepts	Vertriebsfirma / Initiator	Herkunft
6	Very Low Head VLH	MJ2 Technologies S.A.R.L.	F-Millau
7	Bewegliches Kraftwerk	Hydro-Energie Roth GmbH	D-Karlsruhe
8	DIVE-Turbine	Fella Maschinenbau GmbH	D-Amorbach
9	Heberanlage	MhyLab / KWO	CH-Innertkirchen

Die Anlagentypen 4 und 5 sowie 9 sind bereits länger bekannt (auch in der Schweiz) und damit keine Pilotanlagen mehr; auf Wunsch des BfE wurden diese jedoch in die Untersuchung aufgenommen, da immer wieder Anfragen zu diesen Anlagentypen an das BfE gestellt werden.

Das Untersuchungskonzept sieht vor, ausgeführte Pilotanlagen gemäss obiger Auflistung zu besuchen und die Ausführungsdetails und die Betriebserfahrungen der Anlagen zu dokumentieren. Dabei wird mit Hilfe eines Kriterienrasters (aufbauend auf Fig. 1) vorgegangen, welcher die Bereiche Maschinenbau, Elektrotechnik, Wasserbau und Umwelt abdeckt.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Leistungspotential bis 100kW

Gravitationswirbeltechnik nach Dipl.-Ing. Franz Zotlöterer

Die Gravitationswirbeltechnik wurde eindeutig mit der Zielsetzung für eine ökologischere Ausgestaltung von Wasserkraftanlagen im Ultraniederdruckbereich initiiert. Mittlerweile wurde neben der ersten Pilotanlage in Obergrafendorf, Österreich auch ein erstes Wirbelkraftwerk an der Suhre in Schöftland (AG) in der Schweiz erstellt und Ende November 2009 mit grossem Medienecho in Betrieb genommen.

Diese Anlage wurde vom Evaluationsteam Ende 2009 kurz besucht. Es konnten noch keine relevanten Betriebsergebnisse veröffentlicht werden, da der Abfluss der Suhre gering und ein Volllastbetrieb noch nicht möglich war. Ein zweiter Besuch ist für Anfang 2010 vorgesehen, wenn die Anlage jeden Betriebszustand mindestens einmal über mehrere Tage bewältigen konnte.

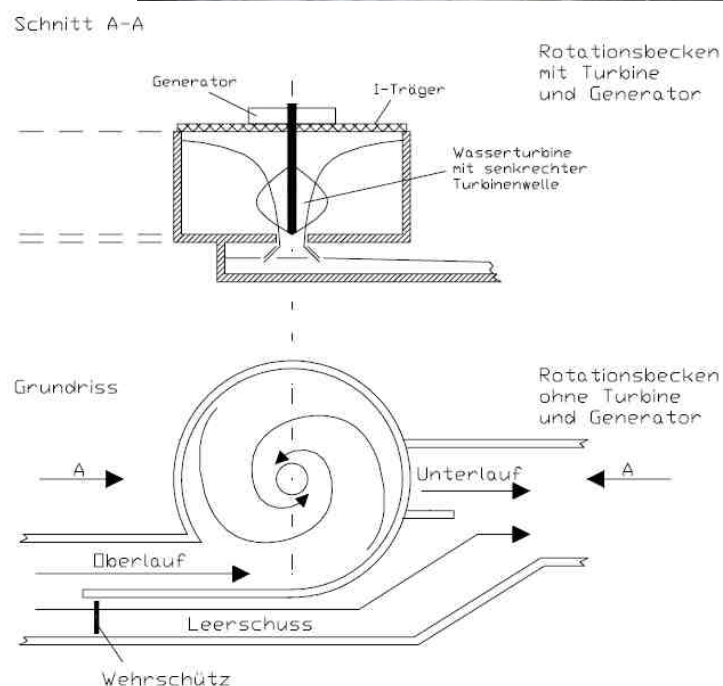
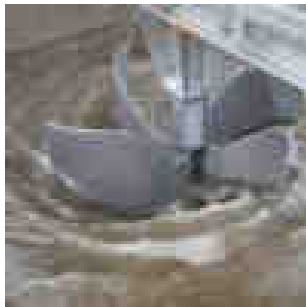


Fig. 2: Gravitationswirbelkraftwerk Schöffland an der Suhre und Einbauskizze (Quellen: Genossenschaft Wasserwirbelkraftwerk Schöffland und Dipl.-Ing. Franz Zotlöterer)

Tabelle 3: Technische Daten der Wasserwirbelkraftwerksanlage in Schöffland:

- Fallhöhe 1.4m
- nutzbare Durchflussmenge 0.8 bis 2.2m³/s
- Beckendurchmesser 6.5m
- hydraulische Leistung 30.2kW
- elektrische Leistung ca. 15kW
- Turbinendrehzahl 21min⁻¹

- Investitionskosten rund CHF 300'000.--
- erwartetes Jahresarbeitsvermögen von rund 100'000 bis 130'000kWh

Tabelle 4: Evaluationsergebnisse (vorläufig):

Beurteilungsschlüssel:

- ++ sehr hoher Erfüllungsgrad
- + guter Erfüllungsgrad
- 0 neutral oder nicht relevant
- geringer Erfüllungsgrad
- Kriterium wird nicht erfüllt

Nr.	Kriterium	Kommentare	Beurteilung
Umwelt			
1	Längsvernetzung	Es handelt sich um ein Ausleitkraftwerk mit Restwasserstrecke. Das Gewässerkontinuum ist unterbrochen. Die Restwasserstrecke von rund 80m Länge muss dotiert werden. Der Fischabstieg durch die Maschine scheint für Fische aller Art mit geringer Mortalitätsrate möglich, da der Schaufelabstand überall und dauernd >30cm beträgt und die Turbinedrehzahl mit 21min ⁻¹ gering ist. Der Abstieg wird jedoch von bodenorientierten Kleinfischen und Wirbellosen wahrscheinlich nicht angenommen, da der Zulaufkanal teilweise und das Rotationsbecken gesamthaft einen glatten Betonboden und keine Natursohle aufweisen.	- +
		Der Fischaufstieg durch die Maschine ist bisher nur für sehr schwimmstarke Fische möglich, weil: • ein Überhang vom Unterwasser bis zum Boden des Wirbelbeckens vorhanden sein soll ¹ und • die Fliessgeschwindigkeiten im abfallenden Strahl über 1m/s betragen. Der Überhang ist bei der Anlage in Schöffland nicht mehr vorhanden; der Wasserstand vom Unterwasser liegt meistens über dem Beckenboden. Es ist deshalb geplant, den Fischaufstieg durch Löcher im Boden direkt in das Rotationsbecken zu ermöglichen und nicht mehr durch die zentrale Bodenöffnung unter dem Rotor. Die Lage der Löcher muss so gewählt werden, dass dank des Wirbels nur eine geringe Druckdifferenz von max. 20cm zwischen den Wasserflächen unter und über dem Beckenboden	-

¹ Der zumindest an der ersten Pilotanlage in Obergrafendorf (A) vorhandene Überhang kann eliminiert werden wie Dipl.-Ing. Klaus Petrasch (D- Schmölln) zusammen mit der Hochschule Zittau, D-Görlitz zeigen konnte. Siehe auch die entsprechende website: www.fishfriendlyweir.com

		herrscht. Es wurde eine Studie in Auftrag gegeben, die den Fischaufstieg untersuchen soll. Es wird sich zeigen, ob der Verzicht auf ein Umgehungsgerinne oder eine technische Aufstiegshilfe auch von den Fischereibiologen gutgeheissen werden kann.	
2	Geschiebedurchgängigkeit	Über best. Schwelle bei der Fassung ohne Probleme möglich.	++
3	Lärmimmissionen	Es konnten noch keine Messungen bei Volllast vorgenommen werden.	?
4	Landschaftsbild und Landbedarf	Das Herzstück der Anlage, das Rotationsbecken mit Rotor im Zentrum, benötigt einen über 6m im Durchmesser messenden, siloartigen Betonaufbau mit Zu- und Ableitkanälen. Dieser Platzbedarf ist im Vergleich zu einer konventionellen Turbinenanlage mit gleicher Leistung grösser, weil das Wirbelkraftwerk nur eine Drehzahl von 21min^{-1} aufweist. Die Anlage, insbesondere die Betonteile, muss mit einer standortgerechten Bepflanzung ins Landschaftsbild integriert werden. An Standorten, die diesen Platzbedarf nicht bieten können, muss wohl eine andere Technologie gewählt werden.	--
Wasserbau und Bau			
5	Bauvolumen	Das Ausleitkraftwerk besteht wie bei konventionellen Anlagen aus einer Schwelle im Bach, einer Wasserfassung mit Abschlussorgan, einem Grobrechen sowie dem Rotationsbecken mit Turbine und dem Unterwasserkanal. Die Investitionskosten können nur dank dem Verzicht auf einen Feinrechen mit Rechenreinigungsmaschine (RRM) reduziert werden.	+
6	Wetter- und hochwassersicherer Bau	Kostenreduktionen ergeben sich aus der Tatsache, dass die Turbine ohne bewegliche Teile ständig im Wasser eingetaucht ist und nicht in einem begehbaren Turbinenschacht von Hochwasser geschützt werden muss. Nur Getriebe und Generator sowie Steuer- und Schaltschrank müssen über dem Hochwasserniveau aufgestellt werden. Diese brauchen darüber hinaus kein eigentliches Maschinenhaus, sondern können mit Hauben und Kabinen vor Witterungseinflüssen geschützt werden.	+
Elektromechanik			
7	Hoher Wirkungsgrad über breiten Betriebsbereich	Der Wirkungsgrad der Wasserwirbeltechnik ist bisher noch über 10%-Punkte geringer als bei vergleichbaren Turbinen konventioneller Bauart. Der Wirkungsgrad der Anlage in Obergrafendorf wurde wie folgt angegeben (in Schöffland noch nicht gemessen): 80% bei 3/3, 83% bei 2/3 und 64% bei 1/3 der Nenndurchflussmenge	-

		- Wirkungsgrad des Getriebes 91% - Wirkungsgrad des Generators 90% Damit ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad der Anlage in Obergrafendorf von rund 65% bei Volllast im Neuzustand. Die Abflüsse in Obergrafendorf sind ziemlich konstant. Die stark variablen Abflüsse der Suhre bieten jedoch für die Anlage in Schöffland sehr viel schwierigere Bedingungen. Die Drehzahl des Generators wurde für eine mittlere Durchflussmenge gewählt. Ist der tatsächliche Durchfluss höher oder geringer, so rotiert der Wirbel im Becken auch schneller resp. langsamer und ist damit nicht mehr synchron mit dem Generator. Es bilden sich Sekundärströmungen an den Schaufeln, die den Wirkungsgrad der Anlage weiter verringern. Abhilfe soll eine Durchflussregulierung schaffen; damit könnten eventuell auch die Niederwasserabflüsse unter 1/3 des Nenndurchflusses genutzt werden.	
Elektrotechnik			
8	Einhalten der Netzbedingungen	Die tiefe Drehzahl des Rotors von 21min^{-1} wird mit einem Getriebe und einem Flachriemen auf eine für einen Standart-Asynchrongenerator passende Drehzahl gebracht. Wie oben erwähnt, stimmt diese Drehzahl nur für eine bestimmte Durchflussmenge mit der Rotation des Wirbels überein. Statt einer aufwändigen Durchflussregulierung auf der Wasserseite, soll der Rotor drehzahlvariabel betrieben werden und die Netzbedingungen (50Hz AC) anschliessend auf der elektrischen Seite mittels Umrichtertechnik wieder hergestellt werden. Die aus der Windenergie bekannte Technik erhöht jedoch die Kosten sowohl in der Anschaffung wie im Unterhalt.	-
Betrieb und Unterhalt			
9	Geschwemmsel und Sedimente	Der Grobrechen vor dem Rotationsbecken (der auch dem Personenschutz dient) muss bei starkem Geschwemmselanfall und nach Hochwasser gereinigt werden, was aber wegen der vertikalen Anordnung des Rechens eher mühsam ist; kleineres Geschwemmsel geht im Normalfall durch die Anlage durch. Größere Äste verursachen Probleme. Es soll nun eine einfache Seilzugmaschine zur Reinigung des Grobrechens eingebaut werden, damit die Verstopfungsgefahr vermindert wird und eine häufige Intervention des Betriebswarts entfällt. Sedimente, die im Hochwasserfall in das Rotationsbecken eingeschwemmt werden, können nur durch ein Entleeren der Anlage entfernt werden. Wird damit zu lange zugewartet, verursachen die mit	-

		dem Wirbel sich drehenden Sedimentablagerungen möglicherweise auch Schäden an der Betonoberfläche des Rotationsbeckens.	
10	Zugänglichkeit zu relevanten Anlageteilen	Die Zugänglichkeit des Maschinensatzes mit Rotor, Antriebswelle, Getriebe und Generator ist hervorragend.	++
11	Langlebigkeit und Revisionszyklen	Die Ausführung der Wasserbauten ist eher leicht geraten; es wurden nicht die im Wasserbau sonst üblichen Fundationstiefen und Bauteildicken gewählt, die auch Extremhochwasser unbeschadet überstehen können. Bereits wurden Ausschwemmungen an der Blockrampe bei der Wasserfassung festgestellt. Es muss mit Reparaturen an Blockwurf und Bauteil-Hinterfüllungen nach Hochwasserereignissen und mittelfristig auch an den Betonbauten gerechnet werden. Die Maschinenelemente, insbesondere der Rotor, wurden in Schöffland bereits weit solider ausgeführt als noch bei der ersten Anlage in Obergrafendorf. Trotzdem zeigt sich eine Auslenkung der Welle durch unausgeglichene Krafteinwirkung, und zwar jedesmal, wenn eine Rotorscheufel am Zulauf vorbeidreht. Diese rhythmischen Stösse beanspruchen Lager und Getriebe und verkürzen möglicherweise die Lebensdauer dieser Maschinenelemente Das Lagerkonzept der Rotorwelle, das bei vergleichbaren Niederdruckanlagen häufig zu Problemen führt, besteht aus zwei fettgeschmierten Rollenlagern, wobei das untere nahe an der Wasseroberfläche liegt aber nicht speziell abgedichtet ist. Die Betriebsdauer seit der Inbetriebsetzung ist noch zu kurz, als dass sich bereits ein Urteil über dieses Lagerkonzept bilden liesse.	-

Weitere Vorteile der Wasserwirbeltechnik, die der Initiant Dipl.-Ing. Zotlöterer angibt, können an Schweizer Bächen und Flüssen nicht realisiert werden oder sind nicht relevant, wie zum Beispiel die Wasserbelüftung durch den Wirbel (das Wasser in Schweizer Mittellandbächen ist immer nahe der Sauerstoff-Sättigung bei der jeweiligen Temperatur) oder der Einsatz eines Wirbel-Rotationsbeckens als aktives Rückhaltebecken bei Hochwasser (Volumen des Beckens ist unbedeutend).

Gesamtbeurteilung:

Die Wasserwirbeltechnik wird ganz unterschiedlich beurteilt:

- Einige Vertreter der Wasserkraftindustrie lehnen diese neuartige Technologie wegen der vergleichsweise geringen Energieausbeute eher ab: wenn schon ein Eingriff in das Gewässer mit Restwasserstrecke gemacht und teilsubventionierte Einspeisetarife (KEV) beansprucht würden, dann sollte diejenige Unternehmung resp. deren Technologie gewählt werden, die in Anlehnung an das Wasserrechtsgesetz (WRG 721.80) Art. 41 „für die wirtschaftliche Ausnutzung des Gewässers am besten Sorge“.

- Vertreter aus Umweltgruppen befürworten die Wasserwirbeltechnik mit dem Argument, dass nicht überall die letzte kWh aus einem Wasserkraftpotential herausgepresst werden müsse und sich auch mit einer sub-optimalen Energieausbeute und einem Technologieniveau unterhalb des bei EVUs geltenden Industriestandards grüner Strom produzieren liesse.

Aus Sicht der Autoren dieser Studie hat die Wasserwirbeltechnik durchaus ihre Berechtigung an verschiedenen Standorten im Ultraniederdruckbereich in der Schweiz. Hingegen sollte sie nur als eine unter verschiedenen Optionen in Betracht gezogen und nur dann eingesetzt werden, wenn die Randbedingungen für die Wasserwirbeltechnik sprechen, also z.B. genügendes Platzangebot für die Ausleitung und das Rotationsbecken.

Zuerst müssen jedoch die Kinderkrankheiten eliminiert werden und insbesondere der Fischeaufstieg durch das Becken ermöglicht und wissenschaftlich nachgewiesen werden.

WICON-Staudruckmaschine nach Adolf Brinnich †

Die erste WICON-Staudruckmaschine nach dem verbesserten Design wurde 2006 im Wiener Neustädter Kanal / Schleuse 9 in Pfaffstätten eingebaut. Frühere Modelle nach Adolf Brinnich wurden in Deutschland erstellt, wo sogar ein Deutscher Verband Wasserkraft-Staudruckmaschine e.V. (c/o Herrn Dipl.-Ing. A. Kaminski in Wermelskirchen) gegründet wurde.

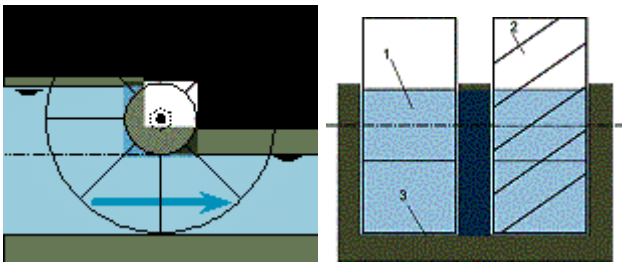


Fig. 3: Staudruckmaschine (Quelle: Deutscher Verband Wasserkraft-Staudruckmaschine e.V.)

Bis Ende 2009 konnte noch keine Anlage mit Staudruckmaschine besucht werden.

Strom-Boje (Aqua Libre, Wien) und hydrokinetische Turbine (Hydro Green Energy, Houston)

Die Strom-Boje bedarf keiner baulichen Maßnahmen - wie Staumauern, Dämmen, Schleusen oder Fischaufstiegshilfen. Sie nutzt die kinetische Energie des fließenden Wassers.

Der erste Prototyp der Aqua Libre mit 150cm Rotor wurde seit Dezember 2006 in der Donau bei Weißenkirchen in der Wachau getestet. Seither wurden viele Verbesserungen aufgenommen und an der Optimierung der Leistung, der Form und der Herstellung gearbeitet. Seit Herbst 2009 schwimmt der zweite, schon seriennahe Prototyp - die Strom-Boje 2 in der Donau. Bis Mitte 2010 werden verschiedene Einstellungen probiert und gemessen.

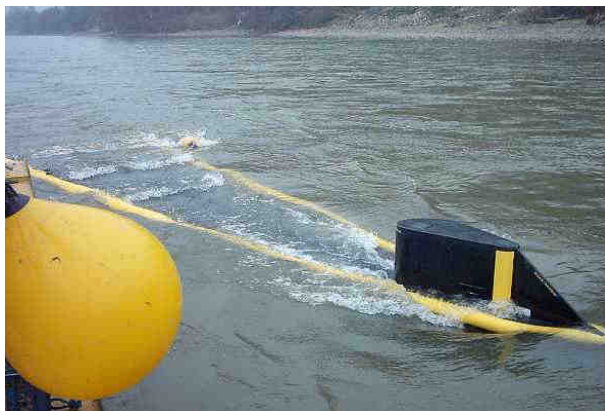


Fig. 4: Strom-Boje in der Donau (Quelle: Aqua Libre, Wien)

Die Anforderungen für einen wirtschaftlichen Einsatz einer Stromboje sind:

- eine durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit von mindestens 2,0m/s
- eine Durchschnittswasserführung von mind. 50m³/s.

Eine typische Strom-Boje hat die folgenden technischen Daten:

- Rotordurchmesser 2,5 m
- Tiefgang 3 m
- Breite 4 m
- Länge 11 m
- Mittlere Leistung ca. 35kW
- Jahresenergie rd. 300.000 kWh

In Schweizer Mittelland-Flüssen existieren Wassertiefen von 3m und mehr nur in Aare, Rhone und Rhein und auch dort meistens nur im Bereich von bestehenden Wasserkraftanlagen. In frei fließenden Flussstrecken fehlen solch grosse Wassertiefen. Durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeiten von 2m/s finden sich nur im Hochwasserfall.

Werden wie von Aqua Libre postuliert, ganze Serien von Strom-Bojen hinter und nebeneinander in den Fluss gehängt, um grössere Leistungen zu erzielen, wird ein leichter Aufstau des Flusses spürbar werden, der die Schifffahrt beeinträchtigen oder die Leistung von bestehenden Flusskraftwerken in der Nähe reduzieren kann.

Die Hydro Green Energy hat ihren Prototyp einer hydrokinetischen Turbine im Mississippi bei der Schiffsschleuse Nr. 2 mit einem bestehenden 4.4MW Kraftwerk oberhalb Hastings (Minnesota) installiert. Auch hier handelt es sich um einen ersten Prototypen, der noch kaum erprobt ist.

Wegen der noch fehlenden Serienreife und vor allem wegen des nicht vorhandenen Potentials in Schweizer Flüssen wurden die hydrokinetischen Anlagen nicht besucht und evaluiert.

Mittel und unterschlächtige Wasserräder

Wie erwähnt, ist die Technologie der Wasserräder seit Jahrhunderten bekannt und wird jetzt in Kombination mit neuen Komponenten (Getriebe und Generatoren) auch zur Stromerzeugung genutzt. Auch in der Schweiz sind neue Wasserräder zur Stromerzeugung erstellt worden:

- Kraftwerk „Grüntal“ an der Lützelmurg in Aadorf, Inbetriebnahme: Feb. 2004. Dieses overschlächtige Wasserrad vom Typ TURAS (einseitige Lagerung) gilt aber nicht als Ultraniederdruck, da die Fallhöhe über 4m beträgt.
- Herzogenmühle Wallisellen an der Glatt mit mittelschlächtigem Wasserrad, erstellt durch Motorsänger GmbH, Männedorf

Die Anlage in Wallisellen wurde als interessante Neuanlage im Ultraniederdruckbereich in die vorliegende Untersuchung aufgenommen.

Seit dem 11. Mai 2009 wird der Glattkanal in Wallisellen wieder für die Energieproduktion genutzt. Das neue mittelschlächtige Wasserrad für eine Fallhöhe von 2.6m mit ca. 17kW Leistung soll jährlich rund 150MWh Strom produzieren.



Fig. 5: Wasserrad Herzogenmühle Wallisellen (Quelle: Die Werke Wallisellen)

Leider musste die Anlage in der zweiten Hälfte 2009 wieder für einige Zeit ausser Betrieb genommen werden, da der Glattkanal wegen Bauarbeiten trocken gelegt wurde. Die Betriebserfahrungen waren bisher zu kurz, um eine Evaluation durchzuführen. Ein Besuch vor Ort ist für Anfang 2010 vorgesehen.

Wasserkraftschnecke

Als Archimedische Schnecke ist die Wasserförderschnecke seit dem Altertum bekannt. Neu ist die patentierte Anwendung der Firma Ritz-Atro (D-Nürnberg), aus ihr durch energetische Umkehrung ihrer Arbeitsweise eine Kraftmaschine zur Energiegewinnung zu machen.

Die Firma Ritz-Atro hat bereits über 50 Wasserkraftschnecken installiert, davon auch deren zwei in der Schweiz (Derendingen und Ennenda). Die Anlage der Fa. Ronner in Ennenda wurde in die Evaluation aufgenommen.

Die technischen Daten dieser Anlage sind:

- Schneckendurchmesser 2600mm
- Wassermenge 2800l/s
- Fallhöhe 1,50m
- Generatorleistung 37 kW



Fig. 6: Wasserkraftschnecke Ronner, Ennenda (Quelle: Ritz-Atro GmbH)

Die Anlage wurde erst gegen Ende 2009 montiert. Es fehlen noch relevante Betriebserfahrungen.

Leistungspotential über 100kW

Very Low Head VLH Turbine von MJ2 Technologies S.A.R.L.

Im März 2007 wurde eine erste Demonstrationsanlage mit dem VLH-Konzept am Sitz der Firma MJ2 in Millau (F) in Betrieb genommen. Nach einer weiteren Entwicklungsphase wurden die ersten kommerziellen Anlagen im Jahr 2009 installiert, zwei davon im Kanal von Hünningen zwischen Basel und Mulhouse im Dreiländereck Deutschland, Frankreich, Schweiz. Die beiden 200kW Anlagen wurden in die Evaluation aufgenommen.



Fig. 7: VLH Turbine bei abgesenktem Oberwasserspiegel (Quelle: MJ2)

Die Anlage in der Schleuse Nr. 3 im Kanal von Hünningen hat die folgenden Daten:

Fallhöhe netto:	1.98 m
Nenndurchfluss:	13 m ³ /s
Nennleistung:	198 kW
Laufreddurchmesser:	3550mm
Betriebsspannung	400 V

Die Fa. M2J war im 2009 noch nicht für einen Besuch der Evaluatoren bereit.

Bewegliches Kraftwerk von Hydro-Energie Roth GmbH

Die Hydro-Energie Roth GmbH hatte die folgende Idee, um kleine Fallhöhen an europäischen Flüssen zu nutzen:

- Das Krafthaus sollte anhebbar sein, um Geschiebe direkt weiterzugeben.
- Bauvereinfachung: Soll keinen zusätzlichen Kiesfang, Geschiebespülkanal o. ä. benötigen.
- Es sollte optisch möglichst wenig auffallen.
- Über das Krafthaus sollte der Fischabstieg möglich sein, aber auch die Geschwemmselweitergabe.
- Die ungenutzte Energie bei erhöhten Abflüssen sollte zusätzlich genutzt werden können.

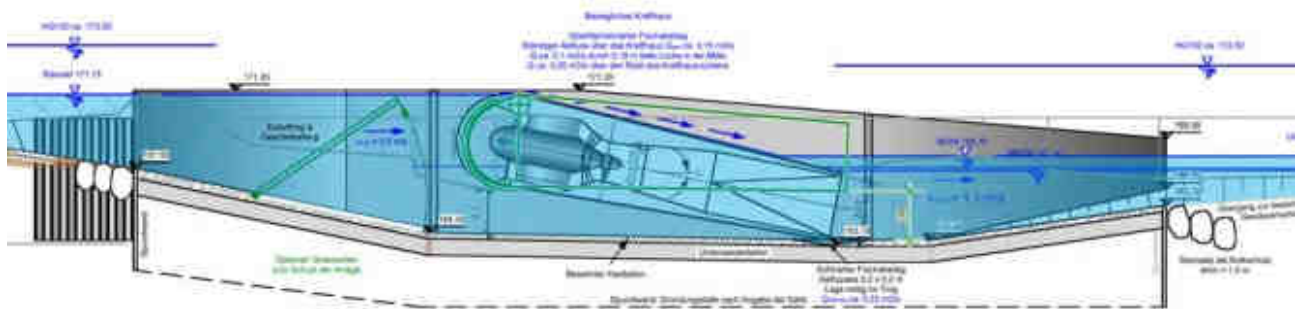


Fig. 8: bewegliches Kraftwerk im Längsschnitt mit Rechen-Turbine-Generator-Saugrohr in einer Klappe („Krafthausgehäuse“) eingebaut (Quelle: Hydro-Energie Roth GmbH)

Beim beweglichen über- und unterströmbaren Wasserkraftwerk werden in einem Bauwerk folgende Anlagenteile integriert:

- das schwenkbare Krafthausgehäuse ersetzt einen beweglichen Wehrverschluss.
- Kanal zur Weitergabe der Sedimente bzw. des Geschiebes.
- hydraulisch optimierter Zu- und Ablauftrichter.
- am Einlauf ist ein Rundbogenrechen installiert.
- sohl- und oberflächennaher Fischabstieg.
- seitlich neben dem Trog angeordneter Fischaufstieg (nicht sichtbar in Bild 8).

Die weltweit erste bewegliche, über- und unterströmbare Wasserkraftanlage wurde für den Anlagenstandort Sophienwehr / Ilm in Bad Sulza Ende September 2009 in Betrieb genommen. Die Anlage erzeugt 60 kW elektrische Leistung.

Da noch kaum Betriebserfahrungen vorhanden sind (kein Hochwasserereignis mit Geschiebetrieb), wurde der Besuch vor Ort auf Januar 2010 verschoben.

Bewertung 2009 und Ausblick 2010

Ingesamt wurden im Jahre 2009 7 Pilotlösungen und 2 schon länger bekannte Wasserkraftmaschinen für kleinste Fallhöhen identifiziert und deren Anwendung für Schweizer Verhältnisse evaluiert. Es zeigte sich, dass:

- einige Anlagen erst in der zweiten Hälfte 2009 in Betrieb genommen werden konnten und noch kaum über relevante Betriebserfahrungen verfügen (kein Volllastbetrieb wegen zu geringen Abflüssen);
- zum Teil noch viele Kinderkrankheiten vorherrschen;
- keines der 7 untersuchten Konzepte eine Lösung für sämtliche Anwendungsfälle darstellt; vielmehr müssen die spezifischen Anforderungen der verschiedenen Ultra-Niederdruck-Standorte analysiert und das jeweils bestgeeignetste Konzept gewählt werden; und
- einige Initiatoren der Pilotanlagen sich noch nicht für eine Präsentation ihres Werkes gewinnen liessen.

Aus diesen Gründen konnte die Evaluation im 2009 noch bei weitem nicht abgeschlossen werden. Termine für weitere Vor-Ort-Besuche sind nun für die erste Hälfte 2010 vorgesehen.