

Anlage 10

Informationsmaterial „ökologische Wasserkraftwerke“

Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen – Verschiedene Konzepte im kritischen Vergleich

Markus Aufleger · Barbara Brinkmeier

Online publiziert: 31. Juli 2015
© Springer-Verlag Wien 2015

Zusammenfassung Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen sind insbesondere für den Einsatz an gewässerökologisch wertvollen Flussstrecken vorgesehen. Es gibt hierzu eine Reihe interessanter Entwicklungen und Konzepte, welche das Ziel haben, typische ungünstige Einwirkungen auf die Fließgewässerökologie zu begrenzen bzw. nach Möglichkeit zu vermeiden. In diesem Zusammenhang wird häufig der Begriff der „ökologischen Wasserkraftanlagen“ verwendet. Im Sinne einer zielführenden Bewertung der tatsächlichen gewässerökologischen Einflussnahme der Wasserkraftanlagen auf die Flussstrecke ist es unerlässlich, die tatsächlichen Einflüsse des Projekts allen Erwartungshaltungen an solch anspruchsvolle Anlagenkonzepte gegenüber zu stellen. Hierzu sollte eine Reihe von Merkmalen dieser Anlagen überprüft werden (u. a. hydraulische, flussmorphologische und biologische Sachverhalte betreffend). Schlagwörter oder Produktbezeichnungen alleine eignen sich nicht, um per se eine günstige oder ungünstige Auswirkung der Anlage auf die Fließgewässerökologie zu beschreiben. Durch die Verwendung eines innovativen Bauteils alleine wird noch keine Wasserkraftanlage ökologisch neutral. Konventionelle Wasserkraftanlagen können hingegen bei entsprechender Ausrüstung und Betriebsweise durchaus auch sehr hohen gewässerökologischen Anforderungen gerecht werden. Eine eingehende Bewertung nach verschiedenen Kriterien ist

jedenfalls unerlässlich und in der Regel zielführend.

Hydropower plants with low hydraulic head: a critical comparison of different concepts

Abstract Hydropower plants with low hydraulic head are specially designed for use in ecologically valuable stream pools. In this context there are a series of interesting developments and concepts that aim to limit, or where possible avoid, the typical unfavorable effects on the freshwater ecology. The term “ecological hydropower plant” is often used in this regard. In terms of assessing the real freshwater-ecological influence of a hydropower plant on the stream pool for these sophisticated plant designs, it’s vital to contrast the concrete effects with the expected effects for the project. To do so, a number of the plant’s features should be examined (including hydraulic, river morphological and biological considerations). Key words or product names are not per se suitable for describing the favorable or unfavorable influences of the plant on the river ecology. The use of an innovative building component alone doesn’t make a hydropower plant ecologically neutral. On the other hand, conventional hydropower plants can, with the appropriate equipment and operation, meet the high freshwater ecological standards required. A detailed evaluation based on a number of criteria is vital and beneficial.

1. Einführung

Das Spektrum von Niederdruckanlagen reicht in Abhängigkeit von weiteren Parametern – insbesondere des Ausbaublusses Q_A – bis zu Fallhöhen von etwa 15 m (Giesecke 2005). Typischerweise werden Niederdruckanlagen als Laufwasserkraftwerke betrieben. Hinsichtlich des Funktionsprinzips sind Anordnungen der

Kraftwerke direkt im Fluss (Flusskraftwerke) und Ausleitungssituationen (Ausleitungskraftwerke) zu unterscheiden (siehe auch Tab. 1). Während man etwa bis Ende der 1990er-Jahre Fallhöhen unter 5 m als grundsätzlich unattraktiv zur Wasserkraftnutzung angesehen hatte, hat sich im Bereich der „Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen“ seither viel getan. Diese Anlagen haben typischerweise Fallhöhen von etwa 2 bis 5 m und sind als Teilmenge der Niederdruckanlagen zu sehen. Die vermehrten Anstrengungen zur Nutzung regenerativer Energien sowie die ökologisch begründeten Restriktionen bzw. Rücksichtnahmen beim Wasserkraftausbau haben dazu geführt, dass die schon bestehenden Kraftwerkskonzepte um eine Reihe von Ansätzen für niedrige Fallhöhen ergänzt wurden.

Die Bewertung und Systematisierung dieser Ansätze wird durch den Umstand erschwert, dass sich die in diesem Umfeld verwendeten Begrifflichkeiten auf sehr unterschiedliche technische Aspekte beziehen. Derzeit befinden sich unter anderem in Bayern verschiedene Konzepte mit einem besonderen ökologischen Anspruch in Planung, Bau und Betrieb (Overhoff et al. 2015). Im Sprachgebrauch hat sich für diese Anlagenkonzepte die sehr weitgehende Bezeichnung „ökologische Wasserkraft“ etabliert.

Mehrere dieser Kraftwerkskonzepte für niedrige Fallhöhen werden durch die verwendeten Turbinentypen (z. B. Wasserkraftschnecke, VLH-Turbine, bewegliches Kraftwerk (vgl. Overhoff et al. 2015)) charakterisiert. Bei diesen Anlagen wird die grundsätzliche Anordnung des Kraftwerkes maßgeblich durch die maschinelle Ausrüstung bestimmt. Andere Lösungen (z. B. Schachtkraftwerk, Fließgewässerkraftwerk) sind grundsätzlich mit unterschiedlichen Turbinentypen ausrüstbar. Diese Konzepte definieren sich über die räumliche und funktionelle Zuordnung der grundsätzlichen Anlagenteile und die Betriebsweise. Im Hinblick auf die Be-

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Aufleger (✉) ·
DI Dr. B. Brinkmeier
Arbeitsbereich Wasserbau,
Institut für Infrastruktur,
Universität Innsbruck,
Technikerstraße 13,
6020 Innsbruck, Österreich
E-Mail: markus.aufleger@uibk.ac.at

DI Dr. B. Brinkmeier
E-Mail: barbara.brinkmeier@uibk.ac.at

Tab. 1 Wasserkraftanlagen – Einteilung nach Druckhöhe, Betriebsweise und Funktionsprinzip. (Aufleger et al. 2013)

Druckhöhe	Niederdruckanlagen		Hochdruckanlagen	
Betriebsweise	Laufwasserkraftwerke		Speicherkraftwerke	Pumpspeicherkraftwerke
Funktionsprinzip	Flusskraftwerke	Ausleitungskraftwerke	Talsperrenkraftwerke	

Tab. 2 Wichtige Erwartungshaltungen an „ökologische“ Wasserkraftanlagen

Ziel/Erwartungshaltung	Mögliche Maßnahme	Anmerkung
Erhalt des Fließgewässercharakters	Niedrige Fallhöhe	Je nach Fallhöhe und Steuerung Verhinderung bzw. Begrenzung des „Stau-Charakters“ möglich
Erhalt der Dynamik der Wasserspiegellagen	Dynamische OW-Steuerung	Abflussabhängige Steuerung von Turbinen und Verschlüssen
Rücksichtnahme auf Strukturvielfalt und Habitate	Verzicht auf die Planung von Wasserkraftanlagen in flussmorphologisch und fließgewässerökologisch besonders wertvollen Gewässerstrecken, Anpassung des flussbaulichen Konzeptes (z. B. „Weiche Ufer“, OW-Steuerung bei geschiebeführenden Abflüssen)	In verbauten Flussstrecken (Längsverbau, Querbauwerke u. a.) erhebliches Potenzial zur Verbesserung der Strukturvielfalt und der Habitate im Zuge von Wasserkraftprojekten!
Sicherstellung der Durchgängigkeit für Feststoffe (Schwebstoffe, Geschiebe, Schwimmstoffe)	Sinnvolle Zuordnung der Anlagenteile, Gesamtlayout	Infolge niedriger Fallhöhen i.a. keine nachhaltige Rückhaltung auf Schwebstoffe und Geschiebe
Unproblematischer Fischaufstieg	Fischaufstiegsanlage nach den Regeln der Technik	Umfassende Regelwerke bzw. Empfehlungen verfügbar
Wirksamer Fischschutz und Fischabstieg	Fischschutz- und -ableitungskonzept	Bedarf an weiteren Entwicklungen, Funktionskontrollen usw.
Berücksichtigung des Landschaftsbilds und der optischen Wirkung der Anlage	Überströmbarkeit des Krafthauses, Architektonische Gestaltung	Möglicher Einfluss der Überströmbarkeit u. a. auf Betrieb, Fischabstieg und Geschiebetransport
OW: Oberwasser(spiegel)		

wertung der ökologischen Verträglichkeit kommt bei allen Kraftwerkskonzepten den jeweiligen Fischschutzstrategien große Bedeutung zu.

Vorliegender Beitrag beschränkt sich auf Wasserkraftanlagen, welche hinsichtlich ihrer maßgebenden energiewirtschaftlichen Merkmale (u. a. Ausbaubauabfluss, Turbinengrößen etc.) so ausgelegt sind, dass sie sich auch für den Einsatz in mittleren und größeren Flüssen eignen. Das typische Anwendungsfeld dieser Anlagen sind inner- und voralpine Kiesflüsse. Lösungen, welche sich auf vergleichsweise geringe Abflüsse beschränken (z. B. Wasserkraftschnecken), werden in die vorliegende vergleichende Betrachtung nicht einbezogen. Aufgrund der niedrigen Fallhöhen konzentriert sich nachfolgende Zusammenstellung zudem auf Flusskraftwerke (d. h. keine eigene Berücksichtigung der Situation an Ausleitungskraftwerken).

2. Anforderungen

An Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen, welche als Flusskraftwerke angeordnet sind, werden ähnlich wie bei größeren Anlagen, zunächst folgende Anforderungen gestellt:

- Gesamtanlage (d. h. Kraftwerk und Querbauwerk bzw. Wehr einschließlich aller Nebenanlagen):
 - Sichere Abfuhr des Bemessungshochwasserabflusses,
 - funktionsfähiger Fischaufstieg,
 - Verhinderung von Ablagerungen im Unterwasser des Querbauwerks,
 - Verhinderung von Verklausungen,
 - Geschiebeabweisung (d. h. möglichst geringer Eintrag in den Bereich des Kraftwerkeinlaufes).
- Nahbereich des Kraftwerkes:
 - Möglichst gleichmäßige und verlustarme Anströmung der Turbinen,

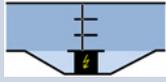
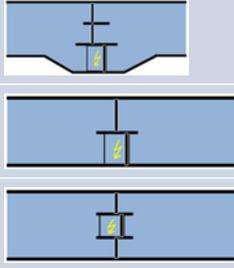
- Begrenzung der hydraulischen Verluste am Rechen,
- Begrenzung des betrieblichen Aufwandes bei der Rechenreinigung,
- Schutz der Turbine vor Beschädigungen,
- Verhinderung/Reduzierung des Eintrages von Feststoffen in die Turbinen,
- ggfs. Spülbarkeit des Nahbereichs der Turbineneinläufe,
- Fischschutz und Fischabstieg,
- Zugänglichkeit und Wartungsfreundlichkeit der Turbinen,
- Reduzierung des baulichen Aufwandes bzw. der Baukosten.

Im Oberwasser von Kraftwerken mit niedrigen Fallhöhen ergeben sich vergleichsweise niedrige Fließstiefen und entsprechend höhere Fließgeschwindigkeiten. Erhöhte Beachtung ist hierdurch insbesondere der Kraftwerksanströmung, der Geschiebeabweisung, dem Schutz der Turbine vor Steinschlägen bzw. vor anderen mechanischen Beschädigungen sowie dem Fischschutz zu schenken. Weitere Anforderungen ergeben sich aus dem häufig ökologisch sehr sensiblen Umfeld dieser Anlagen, welches in den jeweiligen Bedingungen des Standorts begründet ist. Hieraus resultiert oft der Wunsch nach einer Überströmbarkeit des Kraftwerks aus Gründen des Landschaftsbildes.

Nachfolgend soll versucht werden, wichtige Erwartungshaltungen an „ökologische“ Wasserkraftanlagen aus der Sicht von Wasserbau- und Flussbauingenieuren zu formulieren (Tab. 2):

Diese Anforderungen stellen die planenden Ingenieure vor große Herausforderungen. Die inhaltliche Breite dieser teilweise mit der traditionellen Wasserkraftnutzung konkurrierenden Ansprüche (z. B. niedrige Fallhöhe = deutliche Begrenzung der Energieproduktion an einem Standort) bedingt, dass befriedigende technische Lösungen nur auf dem Niveau der Gesamtanlage gefunden werden können. Alle Anlagenteile und ihre gegenseitige Zuordnung im Sinne des Gesamtlayouts müssen im Sinne des Ziels „ökologische Wasserkraft“ ausgelegt und aufeinander abgestimmt werden. Ein einzelnes Anlagenelement alleine (z. B. ein innovatives Fischschutzsystem oder eine fisCHFREUNDLICHE Turbine) kann keinesfalls ausreichen, um die Gesamtanlage hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkung zu charakterisieren.

Tab. 3 Typische Anordnung von „ökologischen Wasserkraftanlagen“ im Grundriss

Bezeichnung, Beschreibung	Lageskizze	Anmerkung	
<i>Konventionelles Buchtenkraftwerk</i> Anordnung der Turbinen im Krafthaus außerhalb des Stromstrichs bzw. Flusslaufs, nicht überströmbar, Hochwasserabfuhr nur über Wehrfelder		–Beeinträchtigung Landschaftsbild+ wenig Geschiebezustrom (Turbinen)+ gute Zugänglichkeit der Turbinen	
<i>Überströmbare Kraftwerke</i> Teilweise oder vollständig im Stromstrich bzw. Flusslauf angeordnet, Hochwasserabfuhr über Wehrfelder und durch Überströmung des Turbinenbereichs, im Normalbetrieb Überströmung der Turbinen aus Gründen des Landschaftsbildes sowie gegebenenfalls auch zur Gewährleistung des Fischabstiegs und der Verhinderung von Einlaufwirbeln bei geringer Überdeckung		+ günstiges Landschaftsbild – vermehrter Geschiebezustrom (Turbinen) – eingeschränkte Zugänglichkeit der Turbinen	„Ökologische“ Wasserkraftwerke
<i>Bewegliche Turbineneinheiten</i> , zwischen Pfeilern gelagert, Hochwasserabfuhr über und unter den beweglichen Turbineneinheiten, gegebenenfalls auch über zusätzliches Wehrfeld, im Normalbetrieb Überströmung der Turbinen		+ günstiges Landschaftsbild+ Geschiebeabfuhr unter den Turbinen – eingeschränkte Zugänglichkeit – ggfs. aufwendiger Stahlwasserbau – u. U. erhöhte Verklauungsgefahr	

3. Merkmale

Es existieren unterschiedliche Ausführungsvarianten, Konzepte und Vorschläge für Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen, welche vergleichsweise hohen ökologischen Ansprüchen genügen sollen. Diesen wird in sehr unterschiedlichem Maße Aufmerksamkeit geschenkt. Ebenso ist die in der öffentlichen Wahrnehmung vorhandene Einordnung der Anlagen hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkung durchaus von der Verwendung einzelner – möglicherweise besonders augenfälliger – Anlagenelemente (z. B. Turbinen) oder singularer Charakteristika (z. B. Überströmbarkeit) abhängig. Für eine zielführende und umfassende Bewertung der ökologischen Verträglichkeit von Wasserkraftanlagen eignen sich solche Schlagworte nicht.

Nachfolgend soll daher versucht werden, verschiedene Merkmale „ökologischer“ Wasserkraftanlagen in allgemeiner Form zu extrahieren und hinsichtlich ihrer Bedeutung bezüglich der ökologischen Verträglichkeit zu bewerten. Dieses Vorgehen zwingt naturgemäß zu Vereinfachungen. Diesem Vergleich liegen zunächst die aus einer Reihe von Veröffentlichungen bekannten Konzepte des Fließgewässerkraftwerks, des Schachtkraftwerks und des beweglichen Kraftwerks zugrunde (siehe u. a. Overhoff et al. 2015). Die vorliegende allgemeine Darstellung verzichtet jedoch im Rahmen der vergleichenden Bewertung der Merkmale bewusst auf die konkrete Zuordnung einzelner Eigenschaften zu diesen Konzepten bzw. Schlagworten. Hierdurch soll

insbesondere den vielen konkreten oder auch noch vorläufigen „freien“ Planungen zu gewässerökologisch verträglichen Anlagen Rechnung getragen werden. Das Bemühen um schonende und innovative Wasserkraftlösungen ist keinesfalls auf den deutschsprachigen Raum begrenzt und ebenso keinesfalls mit den oben genannten Konzeptbegriffen ausreichend zu beschreiben. So wurde beispielsweise im Frühsommer 2015 am Tanaro in Italien eine überströmbar Wasserkraftanlage in ein bestehendes Rampenbauwerk mit dem Ziel einer besonderen Rücksichtnahme auf die Fließgewässerökologie integriert (Bettoni 2015, weblink).

3.1. Merkmal A: Anordnung im Grundriss und Überströmbarkeit

Die grundsätzliche Anordnung der Turbinen (Tab. 3) hat eine nachhaltige Auswirkung auf die optische und in direkter Folge daraus auf die subjektive Wahrnehmung der Kraftwerksanlage. Unabhängig von weiteren Effekten wird die Nicht-Sichtbarkeit der Kraftwerksanlage bei einer dauerhaften Überströmung positiv wahrgenommen. Negative Einflüsse auf das Landschaftsbild werden hierdurch deutlich reduziert. Die Überströmbarkeit bietet jedoch neben diesem rein visuellen Effekt auch die Möglichkeit, einen bedeutenden Teil des Hochwasserabflusses über die Turbine abzuführen. Hierdurch bietet sich unter Umständen die Möglichkeit, die typische Verbreiterung des Flusslaufes im Bereich der Kraftwerksanlage zur Platzierung des Krafthauses zu vermeiden. Dieser Effekt ist jedoch

von der tatsächlichen Flussbreite und dem jeweiligen flussbaulichen Entwicklungskonzept im Oberwasser abhängig. Bei einem Längsverbau in der Oberwasserstrecke („enger“ Flussschlauch) stellt sich die Relation zwischen Bauwerks- und Flussbreite im Vergleich zu einer Gewässerstrecke mit Uferrückbau und anschließender eigendynamischer Aufweitung (zunehmende Gesamtbreite des Flusses) in hohem Maße unterschiedlich dar. Ungünstige Auswirkungen der Überströmbarkeit der Turbinen sind die Einschränkungen in der Zugänglichkeit und insbesondere auch die Tatsache, dass bei erhöhtem Geschiebetrieb im Zuge von Hochwasserereignissen ein vermehrter Feststoffeintrag in den Nahbereich der Turbinen nicht verhindert werden kann. Diesem Problem kann bei beweglichen Turbineneinheiten, welche zwischen Pfeilern gelagert werden, durch eine aktive Unterströmung begegnet werden.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich die Anordnung im Grundriss sowie die Überströmbarkeit in jedem Fall positiv auf das Landschaftsbild und die subjektive Wahrnehmung auswirken. Ein weiterer unmittelbar positiver Einfluss auf die ökologische Verträglichkeit ist jedoch hierdurch nicht gegeben.

3.2. Merkmal B: Gestaltung des Wehres und Verschlussarten

Auch an „ökologischen“ Wasserkraftanlagen sind zunächst keine grundsätzlichen Einschränkungen bei der Gestaltung der Wehrschwelle und der Wahl der Verschlussart gegeben. Die

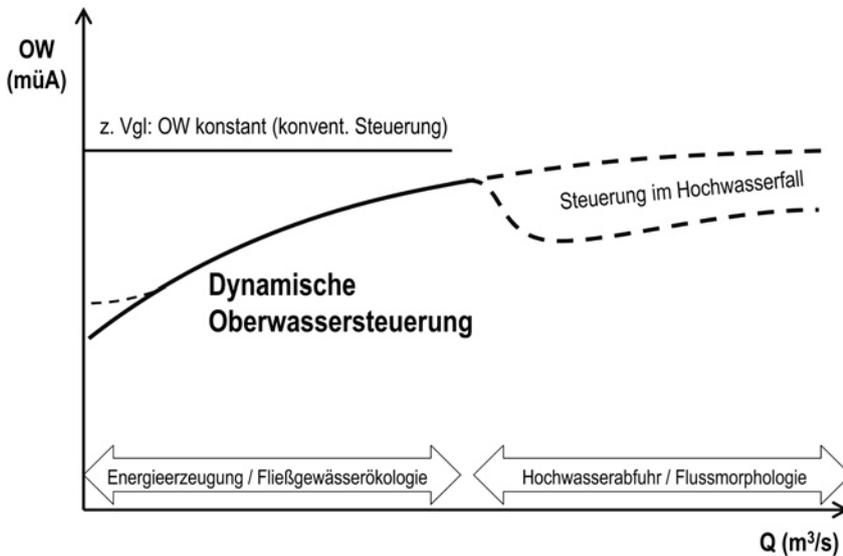


Abb. 1 Dynamische Oberwassersteuerung

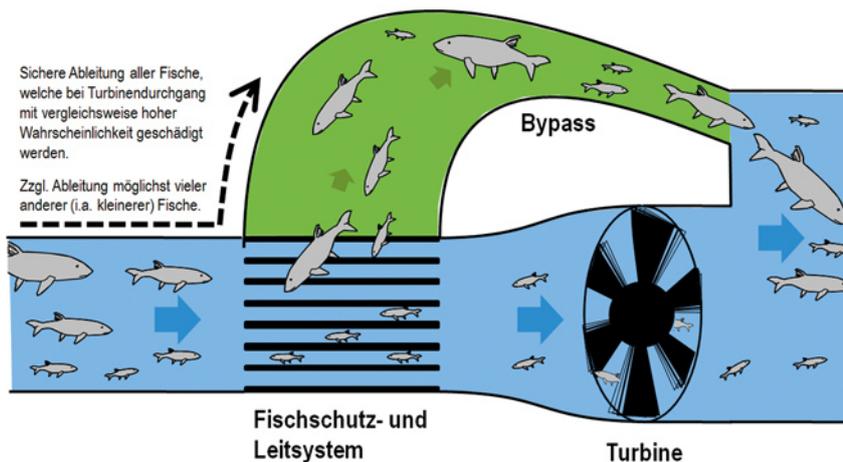


Abb. 2 Fischabstieg – Ableitung und Turbinendurchgang

niedrigen Fallhöhen bedingen – bezogen auf den im Hochwasserfall freizugebenden Abflussquerschnitt – tendenziell ein großes Breiten/Höhen-Verhältnis. Unter diesen Randbedingungen eignen sich insbesondere auf der Wehrschwelle angeordnete Wehrverschlüsse, wie Klappen und Schlauchwehre. Diese Verschlüsse besitzen zudem deutliche Vorteile hinsichtlich der Nachweisführung im (n-1)- bzw. (n-a)-Fall. Grundsätzlich kann „naturnahen“ Bauweisen – z. B. einem als aufgelöste Riegelrampe ausgebildeten Querbauwerk – und „weichen“ Verschlusskonzepten (insbesondere Schlauchwehren) eine hinsichtlich des Erscheinungsbildes günstigere optische Wirkung und damit eine gegenüber klar erkennbaren Betonstrukturen und

konventionellem Stahlwasserbau erhöhte Akzeptanz zugeordnet werden.

3.3. Merkmal C: Betriebsweise, dynamische OW-Steuerung

Zum Erhalt der Dynamik der Wasserspiegellagen kann die Steuerung des Oberwassers in Abhängigkeit vom Abfluss erfolgen (Abb. 1). Dies ist grundsätzlich mit nahezu allen überströmbaren Verschlüssen gut möglich. Nichtsdestotrotz ergeben sich aus der dynamischen Oberwassersteuerung besondere Herausforderungen an die Konzeption der Anlage. Grundsätzlich ist diese Betriebsweise insbesondere dann zielführend, wenn der Oberwasserbereich ohne Stauhaltungs-dämme gestaltet werden kann. Sol-

che Situationen sind bei Projekten der Sohlstabilisierung gegeben, bei welchen einer bereits entwickelten Sohlintiefung durch eine Anhebung des Wasserspiegels nachhaltig entgegnet werden soll. Hier bietet sich möglicherweise auch die Kombination mit Uferrückbaumaßnahmen und anschließender eigendynamischer Aufweitung an. In diesen Fällen wird durch die OW-Steuerung auch in einem gewissen Umfang eine Steuerung bzw. nachhaltige Beeinflussung der flussmorphologischen Entwicklung in den Aufweitungsstrecken möglich (Aufleger et al. 2012). Dieser Zusammenhang ist als ein wesentlicher und je nach Projektsituation möglicherweise höchst relevanter Vorteil von Sohlstabilisierungsmaßnahmen unter Einbeziehung von Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen zu sehen. Im Vergleich zu rein flussbaulichen Sanierungsvarianten kann durch ein Anheben oder Absenken des OW-Spiegels bei geschiebeführenden Abflüssen unter anderem eine deutliche Einflussnahme auf laterale Erosionsvorgänge und in der Folge auch auf die Sohlagenentwicklung genommen werden. Die OW-Steuerung bietet grundsätzlich das Potenzial des Hochwasserrückhaltes im Hauptschluss, d. h. im Flussbett und den angrenzenden Vorländern. Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen ist von den lokalen Randbedingungen abhängig. Gegebenenfalls kann jedoch, insbesondere durch die Anpassung wichtiger Anlagenteile (u. a. Verschlusshöhen), eine deutliche Rückhaltewirkung erreicht werden.

3.4. Merkmal D: Fischaufstieg

Der Fischaufstieg ist an Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen aufgrund der tendenziell eher kurzen Fischaufstiegsanlagen mit geringerem Aufwand als an anderen Anlagen verbunden. Zur Planung und Ausführung gut funktionierender Fischaufstiegsanlagen stehen umfassende Regelwerke bzw. Empfehlungen sowie eine große Anzahl von Referenzprojekten zur Verfügung.

3.5. Merkmal E: Fischschutz- und Fischabstieg

Im Gegensatz zum Fischaufstieg besteht bei der flussabgerichteten Migration noch ein signifikanter Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Die Optimierung und Überprüfung verschiedener Fischschutz- und Abstiegskonzepte sind erforderlich. Darüber hinausgehend wird allerdings auch die

Tab. 4 Fischschutzkonzepte an Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen

		Kombinierter Fisch- und Turbinenschutz ^a				Getrennte Systeme für Fischschutz und Turbinenschutz	
		Konventionelle Rechen	Flachrechen ^b	Horizontaler Rechen (~ Schachtkraftwerk)	Schrägrechen ^c	Fischschutz	Turbinenschutz
						Seilrechen	Grobrechen
Fischleitwirkung	Ohne Überströmung	Keine direkte Ableitung	Zu Bypass		Zu Bypass	Zu Bypass	
	Mit Überströmung	Nach oben	Nach oben	Über Rechen		Zu Bypass	
Schwemmgutabfuhr		Rechenreinigung	Rechenreinigung	Direkte Abfuhr und Rechenreinigung	Horiz. Rechenreinigung zu Bypass	Ablegen der Seile, Abfuhr in Richtung Unterwasser	Rechenreinigung
Wertung hinsichtlich Fischschutz		Eingeschränkte Leitwirkung zum Bypass, meist hohe Fließgeschwindigkeiten	Wirkung abh. von tats. Fließgeschwindigkeiten, je flacher umso bessere Leitwirkung nach oben	Wirkung abh. von tats. Fließgeschwindigkeiten, Praxisnachweis erforderlich	Wirkung abh. von tats. Fließgeschwindigkeiten, Leitwirkung bei Neigung gegenüber der Anströmrichtung	Wirkung abh. von tats. Fließgeschwindigkeiten, Praxisnachweis erforderlich, mögliche Verhaltensbarriere	
Kosten (ggfs. einschl. Rechenreinigung)		Referenzgröße	Etwas höher	Höher	Höher	Günstiger ^d	

^aAnnahme: Stababstände Rechen: 15–20 mm
^bMit vertikal angeordneten Rechenstäben
^cMit horizontal angeordneten Rechenstäben
^dIn Abhängigkeit der Standortbedingungen

grundsätzliche Frage nach der Notwendigkeit von Fischschutz- und Abstiegsmaßnahmen für potamodrome Arten an großen und mittleren Anlagen kontrovers diskutiert. So wird aufgrund der relativ geringen Mortalität für kleine Fischstadien an den vergleichsweise großen Turbinen sowie der Biologie der Fischarten (Größen der wandernden Stadien, Fortpflanzungsraten) die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen am Bauwerk in Frage gestellt (Reckendorfer 2014). Eine viel größere Bedeutung wird in diesen Einschätzungen habitatverbessernden Maßnahmen in den anschließenden Flussstrecken zugemessen. Grundlegende Untersuchungen hierzu sind erforderlich.

„Ökologische“ Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen unterliegen in der Regel anderen Randbedingungen (Fallhöhe, Fließgeschwindigkeiten, Einbautiefen, Stellung im Genehmigungsverfahren). Dem Fischschutz kommt in den laufenden Genehmigungsverfahren solcher Anlagen und in der allgemeinen Akzeptanzdiskussion eine herausragende Bedeutung zu. Eine „ökologische“ Wasserkraftanlage mit niedriger Fallhöhe braucht daher zwingend ein effektives Fischschutz- und Fischabstiegskonzept!

Grundsätzlich kann durch ein „fischschonendes“ Anlagenmanagement, d. h. ein Reduzieren bzw. Einstellen der Strom-

erzeugung und Öffnen der Wehrfelder bei signifikanter Wanderbereitschaft der Fische, ein deutlicher Beitrag zur Vermeidung von Fischschäden geleistet werden. Allerdings sind der Anwendung dieser Strategie an den im Rahmen dieses Beitrages behandelten inner- und voralpinen Kiesflüssen infolge der unzureichenden Vorhersagemöglichkeiten und des diffusen Charakters der Wanderbewegungen der hier relevanten Fischarten deutliche Grenzen gesetzt.

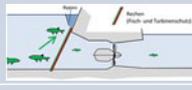
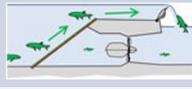
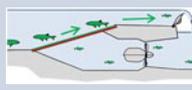
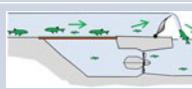
Turbinen unterscheiden sich in nicht unerheblichem Umfang hinsichtlich der Schädigungsraten. Bei Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen sind die kleinen Laufraddurchmesser und hohen Drehzahlen als ungünstig, die geringen Druckunterschiede eher als günstig für eine schadlose Turbinenpassage der Fische zu sehen. Ein Fischschutz- und Fischabstiegssystem muss für alle Fische, welche bei einem Durchgang durch die am jeweiligen Standort vorhandene Turbine mit vergleichsweise hoher Wahrscheinlichkeit geschädigt werden, eine sichere Ableitung (z. B. an einem geeigneten Rechen) und eine schadlose Weitergabe über einen Bypass in das Unterwasser gewährleisten (Abb. 2). Grundsätzlich ist anzustreben, dass auch Fische, welche mechanisch durch das „Trennsystem“ (z. B. Rechen) gelangen

könnten, dennoch – insbesondere bedingt durch Verhaltensreize – dem Bypass aktiv zuschwimmen.

Für Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen eignet sich eine Reihe von Fischschutzkonzepten (Tab. 4). Die große Mehrzahl der bekannten Konzepte umfasst rechenartige Strukturen, welche sowohl als Turbinen- als auch als Fischschutz wirken sollen. Getrennte Systeme sind beispielsweise Scheueinrichtungen, welche vor den zum Turbinenschutz notwendigen vergleichsweise groben Rechen angeordnet werden. Scheuesysteme werden im vorliegenden Beitrag jedoch aufgrund der derzeit geringen praktischen Relevanz nicht weiter in die Betrachtung mit einbezogen.

Kombinierte Turbinen- und Fischschutzsysteme sind meist als Rechen, deren Stäbe grundsätzlich in Fließrichtung (projiziert auf den Grundriss) angeordnet sind, direkt am Einlauf zu den Turbinen positioniert (Tab. 5). Falls keine Überströmung des Kraftwerks möglich ist, so sollte ein geeignetes Bypass-System für die Fische gut auffindbar sein. Bei überströmten Kraftwerken ist eine Ableitung der Fische über einen Überfall möglich. Die Stababstände haben eine direkte Wirkung auf den Anteil der kleineren Fische, welche den Rechen durchwandern und durch die Turbinen absteigen. Es ist

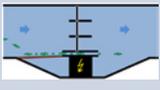
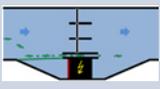
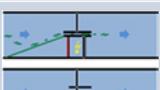
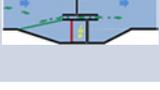
Tab. 5 Kombiniertes Fisch- und Turbinenschutz, Konzepte im Längsschnitt (Beispiele)

Beschreibung	Systemskizze	
Steiler konventioneller Rechen		Nicht überströmbare Anlagen (mit Bypass)
Stärker geneigter konventioneller Rechen (bzw. „steiler Flachrechen“)		Überströmbare Anlagen (mit Ableitung der Fische nach oben)
Flachrechen mit Überströmung		
Horizontaler Rechen (bzw. „sehr flacher“ Flachrechen, ähnlich dem Schachtkraftwerk)		

Tab. 6 Kombiniertes Fisch- und Turbinenschutz an schwenkbaren Turbinen, Konzepte im Längsschnitt (Beispiele)

Beschreibung	Systemskizze	
Fischfreundliche Turbine mit direkt vorgesetztem Fisch- und Turbinenschutz (hier: Very Low Head-Turbine)		Schwenkbare Turbinen mit direkt vorgesetztem Rechen
Schwenkbare Turbine mit direkt vorgesetztem Fisch- und Turbinenschutz (hier: Bewegliches Kraftwerk)		

Tab. 7 Fisch- und Turbinenschutz, Konzepte im Grundriss (Beispiele)

System und Beschreibung	Systemskizze		
<i>Schrägrechen</i> als „normaler“ Rechen mit vertikal oder horizontal angeordneten Stäben, als Bar Rack oder Louver. Jeweils mit Rechenreinigung und Bypass-System für Fische und Geschwemmsel		Kombinierter Fisch- und Turbinenschutz	Nicht überströmbare Anlagen
<i>Seilrechen</i> Bei hohen Abflüssen unwirksam (auf Flusssohle ablegbar), bei überströmbaren und nicht überströmbaren Anlagen einsetzbar, auch zur Nachrüstung geeignet (unter Beibehaltung des Bestandsrechen als Turbinenschutz), Reinigung über Entspannen und Anspannen der Seile sowie weitere Maßnahmen, Kombination mit Verhaltensreizen (Strom, Schwingungen, Licht) möglich, laufendes Forschungsvorhaben (2015 bis 2016)	  	Getrennter Fisch- und Turbinenschutz	Überströmbare Anlagen

davon auszugehen, dass ein signifikanter Anteil der im mechanischen Sinne „rechengängigen“ Fische die Rechenebene in allen dargestellten Situationen durchschwimmen wird. Grundsätzlich gelingt die Ableitung umso besser, je flacher der Rechen angeordnet ist und je geringer die Anströmgeschwindigkeiten sind. Die Geschwindigkeit bzw. der Abfluss, welcher über das Krafthaus abgeführt wird, hat bei den typischen geeigneten Flachrechen keinen direkten Einfluss auf die Ableitungswirkung (Cuchet et al. 2014). Hier sind daher bereits sehr geringe Abflüsse ausreichend, um den Fischen den Weg

ins Unterwasser über einen Überfall oder auch eine Sammelrinne zu ermöglichen. Je nach Überströmungshöhe und Abfluss sind insbesondere an Turbinen, welche sehr direkt am Oberwasserkörper (d. h. z. B. eine frei unter einem Flachrechen oder einem Horizontalrechen angeordnete Kompakturbine ohne Zulaufverziehung) positioniert sind, Maßnahmen zur Wirbelabwehr erforderlich. Dies kann durch eine deutliche Überströmung des Turbineneinlaufes geschehen, welche dann zumindest bei Horizontalrechen auch eine grundsätzlich günstige Wirkung hinsichtlich der Ableitung der

Fische über das Kraftwerk hinweg hat (Geiger et al. 2014). Dieser Abflussanteil, welcher fallweise bis zu etwa 10% des Turbinenabflusses betragen kann, steht dann für die Energieerzeugung nicht zur Verfügung. Sinngemäß ist dieser Abflussanteil in die Beurteilung des Gesamtwirkungsgrades der Wasserkraftanlage mit einzubeziehen.

Schwenkbare Turbinen (Tab. 6) verfügen in der Regel über einen direkt aufgesetzten Rechen zum Fisch- und Turbinenschutz. Die Anforderungen an die Fischableitung sind bezüglich der Abstände der Rechenstäbe bei besonders fischschonenden Turbinen (z. B. Very Low Head Turbinen) grundsätzlich niedriger als bei Turbinen konventioneller Bauart. Nichtsdestotrotz ist auch bei diesen Turbinen für große Fische eine geeignete Schutz- und Ableitungseinrichtung erforderlich. Ein regelmäßiges Anheben der schwenkbaren Turbinen nur aus Gründen der Fischableitung ist für den Normalbetrieb üblicherweise nicht vorgesehen. Der Fischabstieg sollte daher für alle Fische, welche die Turbine nicht mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit unbeschadet direkt passieren können, durch eine geeignete dauerhafte Überströmung erfolgen.

Bei den aufgezeigten kombinierten Fisch- und Turbinenschutzkonzepten soll die Ableitung der Fische zunächst im Längsschnitt, d. h. in der Betrachtungsebene erfolgen. Die Fische werden nach oben abgelenkt und gelangen dann mit der gleichmäßigen Überströmung oder aber auch in Abflusskonzentrationen im Bereich von Aussparungen in das Unterwasser. Eine Überströmung ist aus Gründen des Landschaftsbildes ohnehin oft gewünscht. Nichtsdestotrotz steht ein nicht unerheblicher Teil des Abflusses nicht mehr zur Energieerzeugung zur Verfügung. Je nach Turbinenart und -anordnung kann es zudem schwierig sein, bei diesen Konzepten eine ausreichend niedrige Geschwindigkeit in der Rechenebene sicherzustellen (abhängig von Fischart und Rechenkonzept, häufig $v_{soll} < ca. 0,5 \text{ m/s}$).

Weitergehende Konzepte zielen darauf ab, die Ableitung der Fische bereits flussauf der eigentlichen Kraftwerksanlage durch geeignete Strukturen in die Wege zu leiten (Tab. 7). Schrägrechen sind in der Regel sehr kostenintensive Baukonstruktionen, welche neben einem umfassenden Stahlwasserbau (Rechenkonstruktion mit Rechenreinigung) in der Regel auch noch erhebliche ergänzende Baumaßnahmen (u. a. Brücke, Pfeiler mit

Gründung, Rechenreinigung) erfordern. Sie können nur bei nicht überströmbarbaren Anlagen zum Einsatz kommen und dienen sowohl dem Fisch- als auch dem Turbinenschutz. Neben vertikal und horizontal angeordneten Rechenstäben im Sinne konventioneller Rechen (allerdings mit sehr engen Rechenabständen von etwa 10 bis 40 mm) können auch Leitrechen unter Verwendung von Bar-Rack- und Louver-Anordnungen zum Einsatz kommen. Die Anwendung dieser Strukturen, welche im nordamerikanischen Raum häufige Verwendung finden, an Flüssen in der Schweiz ist Gegenstand eingehender wissenschaftlicher Untersuchungen (Kriewitz 2015). Die vergleichsweise hohen hydraulischen Verluste infolge der zur Ausbildung der Fischleitwirkung notwendigen Turbulenzen haben jedoch gerade bei Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen einen signifikanten Einfluss auf die Energieerzeugung. Seilrechen befinden sich derzeit in der Entwicklung (Brinkmeier et al. 2013; Böttcher et al. 2014). Dieses Fischschutzsystem besteht aus horizontal gespannten Stahlseilen, welche mittels eines Spannmechanismus vollständig auf der Gewässersohle abgelegt werden können. Dadurch ist der Einsatz dieser Vorrichtung auch an überströmbarbaren Anlagen möglich, da im Hochwasserfall der Abflussquerschnitt vollkommen freigegeben werden kann. Seilrechen sind gegenüber Schrägrechen deutlich kostengünstiger. Die frei im Wasserkörper verlaufenden bis zu etwa 100 m langen Seile bieten ein erhebliches Potenzial zur Kombination mit Verhaltensreizen (insbesondere Schwingungen, Strom und Licht).

3.6. Merkmal F: Geschiebemanagement

Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen bedingen naturgemäß vergleichsweise niedrige Fließstiefen und entsprechend hohe Fließgeschwindigkeiten bzw. Sohlschubspannungen im Oberwasser. „Ökologische“ Wasserkraftanlagen zielen zudem darauf ab, nachteilige Auswirkungen auf die Flussmorphologie zu vermeiden bzw. sehr deutlich zu begrenzen. Die vollkommene Geschiebedurchgängigkeit dieser Anlagen ist ein zwingendes Merkmal. Sobald sich im Oberwasser der Wasserkraftanlage ein dynamisches Gleichgewicht der Sohllage eingestellt hat, steht die grundsätzliche Geschiebedurchgängigkeit dann auch technisch bzw. fluss-

morphologisch nicht mehr infrage. Bei entsprechend hohen Abflüssen wird der Geschiebezustrom vollkommen ins Unterwasser weitergegeben. Es hängt nun von der Auslegung und Formgebung sowie dem Anlagenbetrieb ab, auf welchen Wegen der Geschiebestrom durch die Anlage geht. Auch wenn übliche Niederdruckturbinen beim Durchgang von Geschiebe nicht zwingend unmittelbar direkte Schäden erleiden, so sollte im Sinne einer nachhaltigen und störungsfreien Betriebsführung dafür Sorge getragen werden, dass der lokale Geschiebetransport nicht auf dem Triebwasserweg erfolgt. Hierdurch kann ein Beitrag zu einer sehr langen technischen Lebensdauer des Laufrades und anderer der Strömung direkt ausgesetzter Bauteile geleistet werden. Es hängt nun von der Gewässerstrecke und insbesondere von dem tatsächlichen Feststoffangebot ab, wie sehr zusätzliche Maßnahmen zum lokalen Geschiebemanagement im Kraftwerksbereich notwendig werden.

Bei überströmbarbaren Anlagen wird der über dem Kraftwerksbereich zur Verfügung stehende Abflussquerschnitt in der Regel auch zur Hochwasserabfuhr herangezogen. Hieraus resultiert auch zwingend ein gegenüber nicht überströmbarbaren Anlagen höherer Geschiebezustrom in Richtung der Turbinen (Abb. 3).

Lokale Geschiebeablagerungen können den Kraftwerksbetrieb in erheblichem Maße beeinträchtigen. Diese grundsätzliche Problematik ist aus Betriebserfahrungen sowie Modellversuchen (u. a. Keller et al. 2004; Brinkmeier 2012) hinreichend bekannt (siehe auch Abb. 4). Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, solchen Ablagerungen durch Maßnahmen der Geschiebeführung bzw. -abweisung im Oberwasser (in Richtung der Wehrfelder), durch ein geeignetes Abflussmanagement oder aber auch mittels strömunglenkenden Maßnahmen im Unterwasser zu begegnen. Die zuverlässige Dimensionierung und Prognose der Gefahr von Ablagerungen im Unterwasser von Flusskraftwerken ist immer noch als eine technische Herausforderung zu sehen. Wasserbaulichen Modellversuchen in einem für die Untersuchung des Geschiebetransportes günstigen Maßstab kommt hier eine herausragende Bedeutung zu.

Zur Vermeidung bzw. zur Begrenzung des Geschiebeeintritts in den unmittelbaren Turbinenbereich sind neben den Maßnahmen der Geschiebeabweisung im Oberwasser insbesondere gegenüber der Gewässersohle etwas erhöhte Turbineneinläufe bzw. Einlaufschwelen in

Verbindung mit Geschiebeabzügen geeignet (Abb. 5).

Die Funktionsfähigkeit solcher grundsätzlichen Betriebseinrichtungen und die grundsätzliche Anfälligkeit von Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen gegenüber betrieblichen Problemen aufgrund lokaler Geschiebeablagerungen hängen nun insbesondere von der morphologisch wirksamen Tiefe der Turbinenein- und -ausläufe (Abb. 6) sowie dem noch verbleibenden Gefälle bei den geschiebewirksamen Abflüssen sowie den hydraulischen Randbedingungen bei den potenziellen Spülabflüssen ab. Bei sehr großen Höhenunterschieden – d. h. einer gegenüber dem Turbinenbereich sehr hohen Sohlkote im Unterwasser – ist der Geschiebeabzug möglicherweise aufgrund des negativen Gefälles der Sohle im Bereich der Spülkanäle bzw. der daran in Richtung Unterwasser anschließenden Sohle signifikant beeinträchtigt.

Kompaktturbinen bieten in diesem Zusammenhang das Merkmal einer vergleichsweise geringen Einbautiefe (Abb. 6). Hieraus ergeben sich klare Vorteile hinsichtlich des Geschiebemanagements im Nahbereich des Kraftwerks. Bei größeren Ausbaubläufen sind allerdings mehrere Kompaktturbinen nebeneinander erforderlich. Hieraus resultiert mitunter eine signifikante Bauwerksbreite der Kraftwerke („breit statt tief“). In Modellversuchen hat sich gezeigt, dass die Kombination von Kompaktturbinen und Geschiebeabzügen gute Voraussetzungen für ein nachhaltiges lokales Geschiebemanagement bieten kann (Brinkmeier 2012).

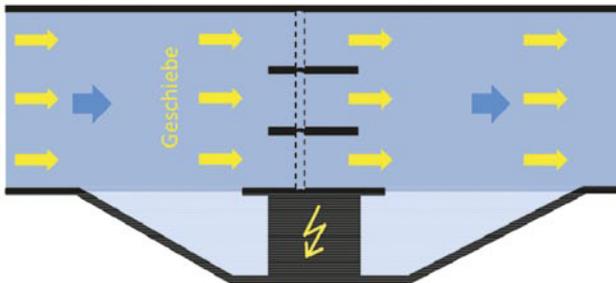
4. Die Eignung von Kompaktturbinen zur Anwendung an Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen

Die Vorteile der Kompaktturbinen hinsichtlich des lokalen Geschiebemanagements (geringe Einbautiefen, s. o.) und ihrer sehr variablen Anordnungsweise zeigen aus Sicht der Autoren ein besonders großes Potenzial dieser Technik im Hinblick auf eine erfolgreiche und nachhaltige Anwendung an Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen. Wesentliche Merkmale von Kompaktturbinen sind:

- „Konventionelle“ Turbinenbauart (Kaplanturbine mit horizontaler Achse, keine Beweglichkeit der Turbine und der anderen wesentlichen maschinenbaulichen Komponenten),

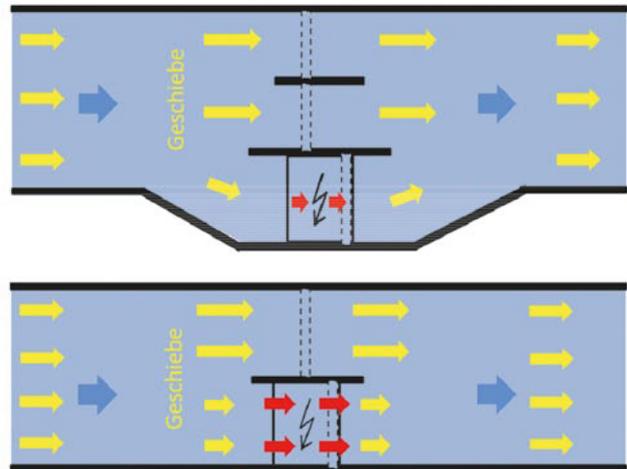
Nicht überströmbares Kraftwerk

→ Bei Hochwasser geringer Geschiebezustrom in Ri. Turbinen



Überströmbares Kraftwerk

→ Bei Hochwasser Geschiebezustrom in Ri. Turbinen



Schwenkbare Kraftwerke

→ Bei Hochwasser Geschiebestrom unter Turbinen

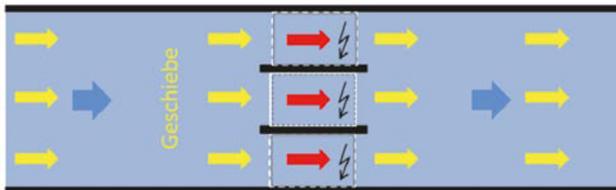


Abb. 3 Geschiebezustrom in den Kraftwerksbereich in Abhängigkeit von der Überströmbarkeit (qualitative Darstellung, rote Pfeile: Geschiebetransport im unmittelbaren Nahbereich der Turbinen)



Abb. 4 Geschiebeablagerungen im Nahbereich einer Wasserkraftanlage mit niedrigen Fallhöhen. (Brinkmeier 2012)

- kompakte Bauform (Laufraddurchmesser bis 1,3 m, Ausbauabfluss bis etwa 10 m³/s je Turbine),
- Eignung für Unterwassereinbau ohne aufwendige Zusatzkomponenten, standardisierte Turbinengeometrien,
- unregelmäßige oder drehzahlvariable Systeme,
- lange Wartungsintervalle.

Aufgrund der vergleichsweise geringen Laufraddurchmesser und der hohen Drehzahl ist der Fischschutz bei Kompaktturbinen von besonderer Bedeutung, da die Mortalität insbesondere für größere Fische beim Durchschwimmen der Turbinen systembedingt signifikant sein wird. Hier bietet der Seilrechen (s. o.) ein sehr großes Potenzial zur Gewährleistung

einer zuverlässigen Ableitung der Fische in ein geeignetes Bypass-System. Flachrechen, Horizontalrechen, Bogenrechen und Spitzrechen (s. u.) bieten ebenso vielversprechende Lösungen. Hier ist den Verfahren der Rechenreinigung und des Geschiebemanagements besonderes Augenmerk zu schenken.

Die robuste Bauweise, die großen Wartungsintervalle sowie der Wegfall von vielen Peripheriegeräten ermöglichen einen vergleichsweise unkonventionellen Einbau von Kompaktturbinen. Es ist nicht zwingend notwendig, im Nahbereich der Turbinen eine direkte, permanente Zugänglichkeit zu schaffen. Vielmehr ist es grundsätzlich ausreichend, die Turbinen mit einem geeigneten Hebewerkzeug (Autokran u. a.) ein- und ausheben zu können. Hierdurch sind sehr einfache Bauwerkskonzepte möglich. Bei überströmten Kraftwerken kann bei einer geeigneten konstruktiven Ausbildung im Schutz der gestellten Verschlüsse eine gute Zugänglichkeit (mit Hebewerkzeugen u. a.) geschaffen werden.

Die direkte Zuströmung zu den Kompaktturbinen kann sowohl über eine Beschleunigungsstrecke in einer räumlichen Verziehung entsprechend der üblichen Gestaltung an vielen konventio-

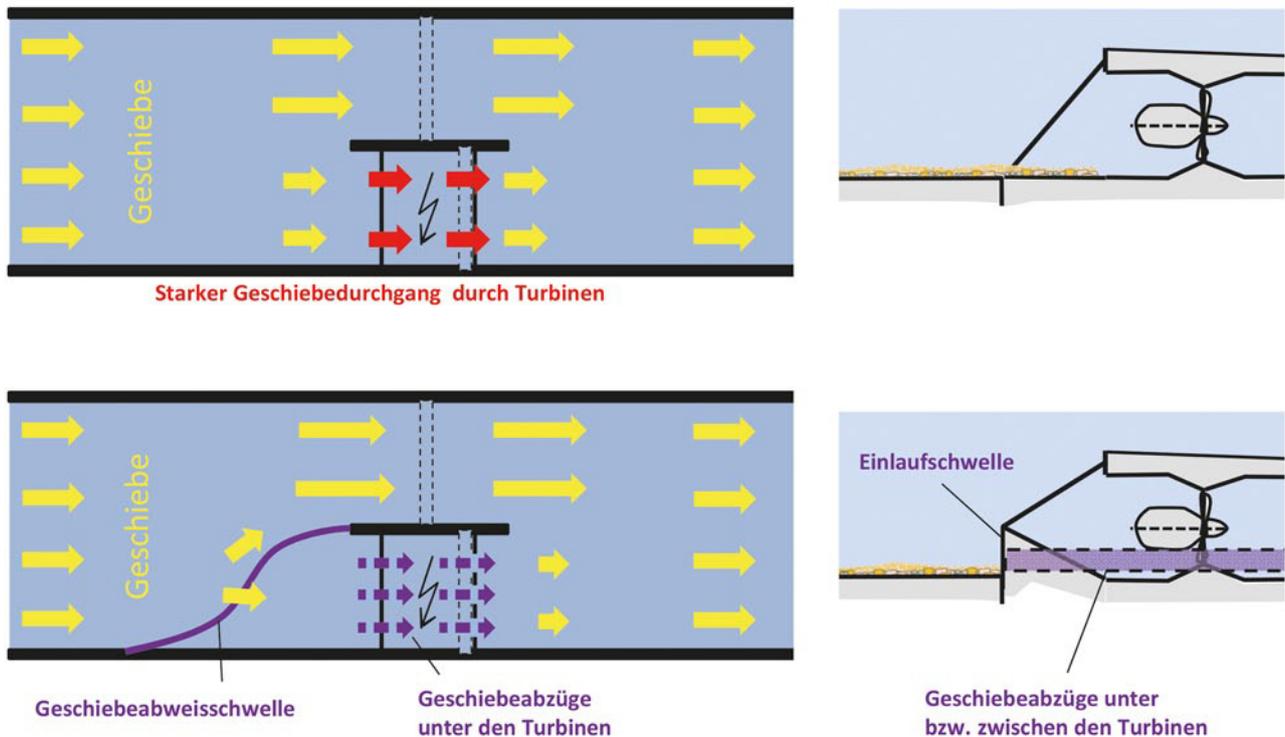


Abb. 5 Verbesserung des lokalen Geschiebemanagements (beispielhafte Darstellung von Ergebnissen aus einem Modellversuch für eine Wasserkraftanlage mit niedriger Fallhöhe)

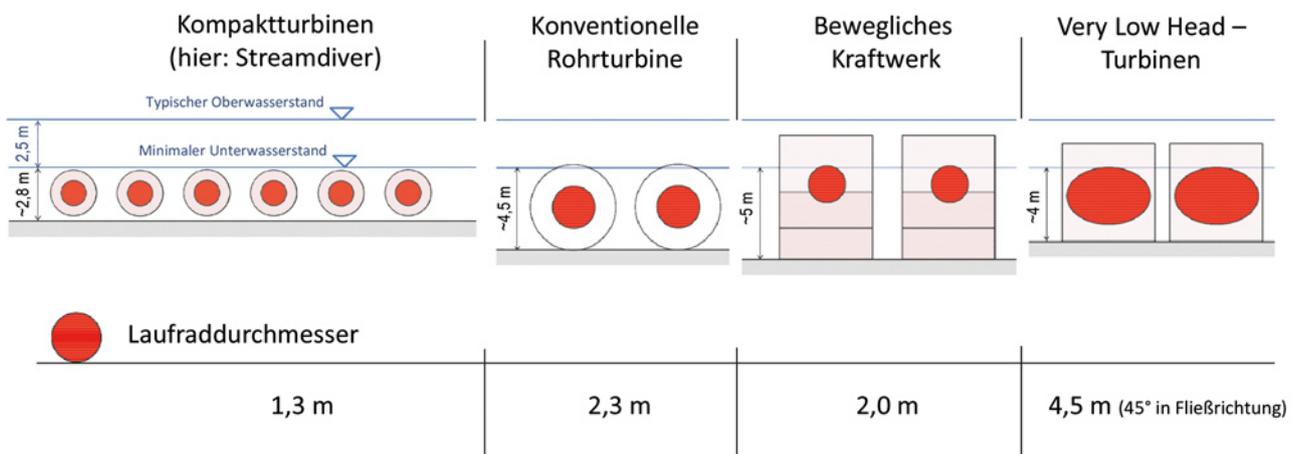


Abb. 6 Ungefähre Lage der tiefsten Sohle im Kraftwerksbereich unter dem minimalen Unterwasserstand bei unterschiedlichen Turbinen (grobe Abschätzung für Ausbaubfluss $Q_A = 45 \text{ m}^3/\text{s}$ und Rohfallhöhe $H = 2,5 \text{ m}$)

nellen Niederdruckanlagen oder aber auf sehr kurzem Wege über einen standardisierten trichterförmigen Aufsatzkragen an der Turbineneinheit erfolgen (Abb. 7). Nach aktuellen Untersuchungen (Innerhofer et al. 2015) ist davon auszugehen, dass diese sehr einfache Anordnung keine nachteiligen Auswirkungen auf den Wirkungsgrad der Anlage hat.

Kompaktturbinen lassen sich auch so anordnen, dass sie sinngemäß sowohl überströmbar als auch unterströmbar sind. Diese Konzepte berücksichtigen somit die erhöhten Anforderungen von Standorten, an denen ein verstärkter Geschiebetransport stattfindet. Um die notwendige Durchgängigkeit in Sohlhöhe für Geschiebe aber auch Fische zu erreichen, werden daher unterhalb der Turbinen

verschießbare Durchlässe (im Sinne von sehr großen Geschiebeabzügen) angeordnet, die nach Bedarf gesteuert werden können. Die Möglichkeit, dass Fische und Geschiebe auch unter dem Kraftwerk hindurch geführt werden können, erfordert spezielle technische Lösungen zur Gestaltung des Rechens. Aufgrund ihrer Form lassen sich zwei wesentliche Konzepte unterscheiden: Spitzrechen

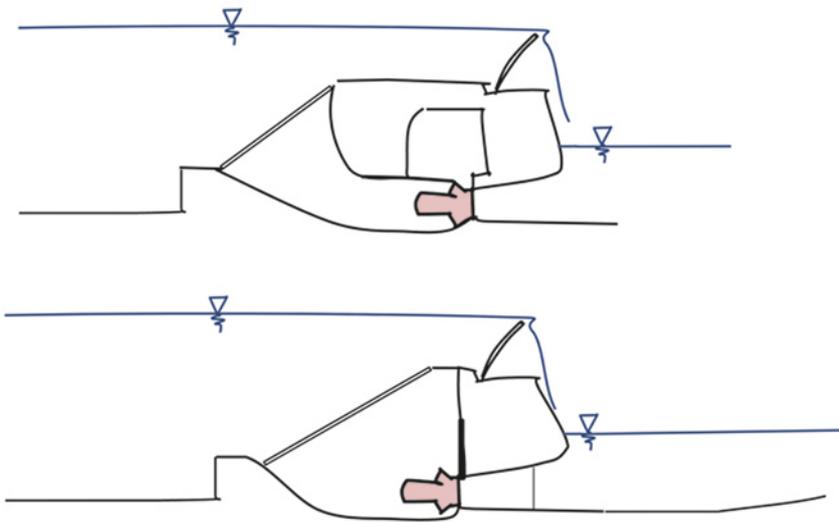


Abb. 7 Anordnung von Kompaktturbinen (hier: StreamDiver, Fa. Kössler) mit Verziebung (oben) und in einer sehr einfachen Anordnung ohne Beschleunigungsstrecke (unten)

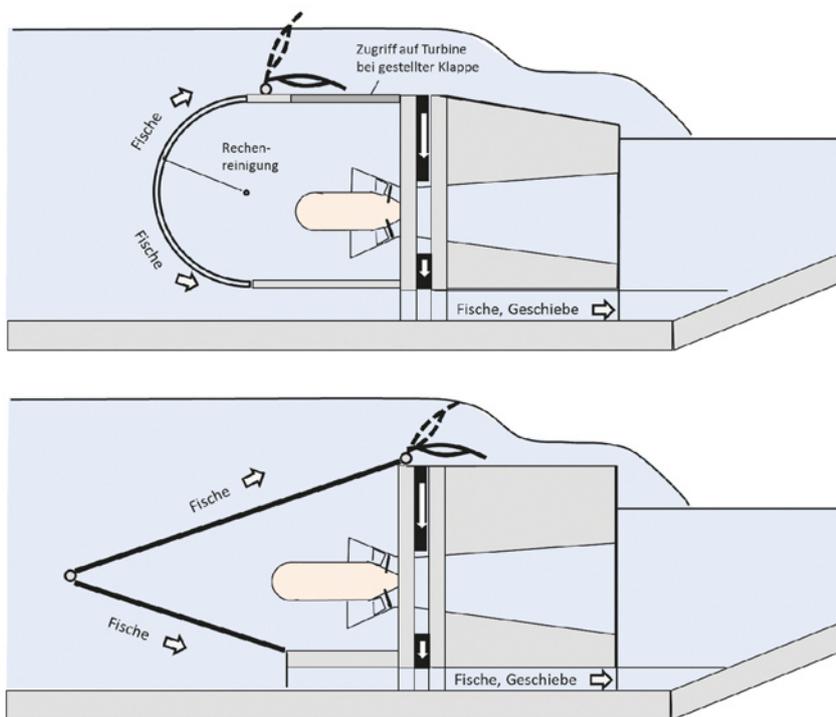


Abb. 8 Grundsätzliche Möglichkeiten der Kombination von kompakten Fischschutz- und Geschiebeabzugssystemen (oben: Bogenrechen mit Geschiebeabzug; unten: Spitzrechen (schwenkbare Rechenfelder) mit Geschiebeabzug)

(derzeit in Entwicklung) und Bogenrechen (Abb. 8). Durch ihre Formgebung eignen sie sich besonders dazu, Fische und Geschwemmsel ins Unterwasser zu

leiten. Sie bieten, insbesondere im Falle des Spitzrechens, eine ausreichend große Fläche, um die Anströmgeschwindigkeit niedrig zu halten.

5. Schlussfolgerungen

Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen bieten aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht das Potenzial, gewässerökologische Aspekte in hohem Maße zu berücksichtigen. Ihre Anwendung ist insbesondere an bereits durch Quer- und Längsbauwerken stark veränderten Gewässerstrecken gut umsetzbar. Grundsätzlich kann hier im Zuge von Projekten der Wasserkraftnutzung eine Verbesserung der morphologischen und hydraulischen Randbedingungen im Sinne einer ökologischen Aufwertung erreicht werden.

„Ökologische“ Wasserkraftanlagen sind möglich. Allerdings definieren sich diese in keiner Weise durch Schlagworte, welche sich auf singuläre Eigenschaften der Anlagen beziehen (wie zum Beispiel spezielle Turbinentypen oder Einlaufformen). Es geht vielmehr darum, den diesen Anlagen gestellten Erwartungen möglichst gut gerecht zu werden. Eine Checkliste (siehe Abb. 9) kann als Orientierung dienen.

Eine Reihe dieser Kriterien und Erwartungshaltungen (z. B. Fließgewässercharakter, dynamischer Oberwasserspiegel, Berücksichtigung von Flussmorphologie und Habitaten, Landschaftsbild) kann mit sehr unterschiedlichen Konzepten erfüllt werden. Besonderes Augenmerk ist sicherlich dem Fischschutz sowie - in Abhängigkeit von den gewässermorphologischen Randbedingungen - auch dem lokalen Geschiebemanagement zu schenken. Hier sind maßgeschneiderte Lösungen notwendig. Wichtige Schritte auf dem Weg zu einer erfolgreichen Implementierung gut funktionierender „ökologischer“ Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen sind unter anderem hydraulische Modellversuche zum lokalen Geschiebemanagement, die Weiterentwicklung von Fischschutz- und -ableitungssystemen (einschließlich ethohydraulischer Versuche) sowie ein umfassendes Monitoring an Pilotanlagen. Am wichtigsten sind jedoch die Bereitschaft, die Offenheit und der Mut, solche Anlagen auf den Weg zu bringen! Strom aus diesen Anlagen kann einen nachhaltigen Beitrag zur sauberen und verantwortungsbewussten Energieversorgung für viele Jahrzehnte leisten. ■

„Ökologische“ Wasserkraftanlagen (aus Sicht der Autoren)	CHECKLISTE
Keine Auswirkung der Anlage auf besonders wertvolle Gewässerstrecken	
Fließgewässercharakter im Oberwasser	
Dynamik der Wasserspiegellagen	
Berücksichtigung bzw. günstige Einflussnahme auf Flussmorphologie und Habitate	
Wirksamer Fischaufstieg	
Wirksamer Fischschutz und Fischabstieg	
Geschiebedurchgängigkeit	
Landschaftsbild	
Hohe Energieeffizienz (guter Gesamtwirkungsgrad)	
Betrieblich robuste Anlage (z.B. Vermeidung von lokalen Geschiebeablagerungen oder Turbinenschäden)	

Abb. 9 Checkliste „ökologische“ Wasserkraftanlage

Literatur

Aufleger, M., Gerns, B., Klar, R. (2012): Flussaufweitungen als flussbauliche Methode - Grundsätze und Werkzeuge. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Heft 7-8/2012, S. 363-378.

Aufleger, M., Joos, F., Jorde, K., Kaltschmitt, M., Lippitsch, K. (2013): Stromerzeugung aus Wasserkraft. In: Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese, A.: Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Dordrecht - Heidelberg - London - New York - Berlin: Springer, ISBN 978-3-642-03248-6 S. 555-619.

Bettoni (2015): <http://www.bettoni-spa.com/index.php/lavori/tanaro-power-alba/> (03.05.2015).

Böttcher, H., Brinkmeier, B., Aufleger, M. (2014): Der Seilrechen als neues Fischschutzkonzept - Untersuchung der technischen Machbarkeit. Internationales Symposium Wasser- und Flussbau im Alpenraum. 25.-27. Juni 2014 in Zürich, Tagungsband 1 Wasserkraft und Gewässerrenaturierung. S. 227-236.

Brinkmeier, B. (2012): Wasserkraftnutzung an ökologisch sensiblen und erosionsbedingt sanierungsbedürftigen Standorten - Das Konzept des Fließgewässerkraftwerkes. Forum Umwelttechnik und Wasserbau. Vol. 16. Innsbruck University Press. ISBN 978-3-902811-76-9

Brinkmeier, B., Boettcher, H., Aufleger, M. (2013): Flexible Fish Fences. In: Zhaoyin, W., Hun-wei Lee, J., Jizhang, G., Shuyou, C.: Proceedings of the 35th IAHR World Congress. Beijing: Tsinghua University Press, ISBN 978-7-89414-588-8 elektronisch.

Cuchet, M., Rutschmann, P. (2014): Laboruntersuchungen zu Fischschutz und Fischabstieg an geneigten Rechen. Internationales Symposium Wasser- und Flussbau im Alpenraum. 25.-27. Juni 2014 in Zürich, Tagungsband 1 Wasserkraft und Gewässerrenaturierung. S. 283-293.

Geiger, F., Sepp, A., Rutschmann, P. (2014): Prototypanlage Schachtkraftwerk - Konzept Mehrschichtenanlage. Internationales Symposium Wasser- und Flussbau im Alpenraum. 25.-27. Juni 2014 in Zürich, Tagungsband 1 Wasserkraft und Gewässerrenaturierung. S. 169-181.

Giesecke, J., Mosonyi, E. (2005): Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb, Dordrecht - Heidelberg - London - New York - Berlin: Springer, ISBN 978-3540255055

Innerhofer, D., Lochschmidt, J., Lampl, J., Aufleger, M. (2015): Anströmung von Kompaktturbinen. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Heft 7-8/2015 (in diesem Heft).

Keller, H., Heigerth, G., Knoblauch, H. (2004): Entlandungsmaßnahmen unterhalb eines Flusskraftwerks. *Wasserbauliche Mitteilungen* Heft 27. Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden. S. 317-326.

Kriewitz, C. R. (2015): Leitrechen an Fischabstiegsanlagen. *Hydraulik und fischbiologische Effizienz*. VAW-Mitteilungen 230, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), (R.M. Boes, ed.), ETH Zürich, Schweiz.

Overhoff, G., Keller, Th. (2015): „Ökologische optimierte Wasserkraft“ - Innovationsvorhaben in Bayern. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Heft 7-8/2015 (in diesem Heft).

Reckendorfer, W. (2014): Potamodrome Fischarten, Populationsökologie. Vortrag beim Forum Fischschutz & Fischabstieg, Erfurt, 23.09.2014, <http://forum-fischschutz.de/5-workshop/praesentationen> (7.5.2015).