

Barbara Brinkmeier und Markus Aufleger

Fließgewässerkraftwerke zur Wasserkraftnutzung an ökologisch sensiblen Standorten

Freie Fließstrecken an voralpinen Flüssen weisen meist signifikante Eintiefungstendenzen auf, denen mit Hilfe von flussbaulichen Maßnahmen in Form von Sohlenbauwerken Einhalt geboten werden kann. Vor dem Hintergrund eines notwendigen Ausbaus der Nutzung erneuerbarer Energien ist es naheliegend, solche Querbauwerke auch energetisch zu nutzen. Ein wesentlicher Leitgedanke dabei ist, den Fließgewässercharakter auch bei Wasserkraftnutzung zu erhalten. Das Konzept des Fließgewässerkraftwerkes wird den schwierigen Rahmenbedingungen und der großen ökologischen Sensibilität gerecht.

1 Hintergrund

Im Laufe des 19. und 20. Jahrhunderts wurden die meisten alpinen und voralpinen Flüsse Korrekturen unterzogen, die eine Einengung des Flusslaufes bedeuteten und im Laufe der Zeit zu signifikanten Eintiefungsprozessen der Sohle führten. Weitere wasserbauliche Maßnahmen im Oberlauf der Flüsse, wie Wildbachverbauung, Speicher- und Staustufenbau, begrenzten den Geschiebezustrom, wodurch das flussmorphologische Ungleichgewicht verstärkt wurde.

Sohlenstabilisierungsmaßnahmen sind daher in manchen Bereichen unvermeidlich. Während noch vor wenigen Jahrzehnten große Stützstufen zur Stabilisierung errichtet wurden, hat sich die Methodik der Sohlenstabilisierung heute deutlich gewandelt. So werden deutlich niedrigere und flacher ausgeführte Querbauwerke wie Sohlengleiten errichtet.

Gemäß der Wasserrahmenrichtlinie ist sowohl eine Verbesserung des morphologischen als auch des gewässerökologischen Zustand von Flussstrecken anzustreben. Wasserkraftnutzung mit diesen Zielen in Einklang zu bringen bedarf großer Sensibilität und Anpassungen. Die notwendige Stärkung erneuerbarer Energien ist jedoch unumstritten. Es ist daher naheliegend, zu versuchen, auch an ökologisch sehr sensiblen Flussstrecken angepasste Wasserkraftnutzungen zu ermöglichen. Die Vorgabe hierbei ist, den Fließgewässercharakter der betroffenen Strecke zu erhalten.

2 Das Fließgewässerkraftwerk

Der Begriff Fließgewässerkraftwerk steht für die Anordnung und den Betrieb bekannter wasserbaulicher Elemente unter der Zielsetzung der Reduzierung ungünstiger Einflüsse auf die Gewässerökologie [1]. Dies wird durch folgende Merkmale erreicht:

- Niedrige Fallhöhe und hohe Fließgeschwindigkeiten:
Fallhöhen von sehr wenigen Metern, wie sie sich aus dem Wasserspiegelunterschied von zur Stabilisierung verwendeten Querbauwerken wie Sohlengleiten ergeben, können energiewirtschaftlich genutzt werden. Durch die flussmorphologische Entwicklung kann sich eine Anhebung der Sohle im Oberwasser einstellen, wodurch sich niedrige Fließtiefen in diesem Gewässerbereich einstellen. Hieraus ergeben sich erhöhte technische Anforderungen an den Kraftwerksbetrieb (u. U. Probleme bei der Anströmung) und das Geschiebemanagement. Die niedrigen Fließtiefen gewährleisten jedoch vergleichsweise hohe Fließgeschwindigkeiten, wodurch der Fließgewässercharakter sichergestellt und Kolmationseffekte an der Gewässersohle verhindert werden.
- Dynamik der Wasserspiegellagen:
Im Betrieb des Fließgewässerkraftwerkes kann sichergestellt werden, dass der Oberwasserspiegel in Abhängigkeit des Abflusses variiert. Eine weitgehend naturnahe Variabilität der Wasserspiegel-

lagen im Oberwasserbereich kann damit erreicht werden (**Bild 1**).

- Lange Zwischenstrecken:
Die zwischen den Standorten der Fließgewässerkraftwerke verbleibenden unbeeinflussten Strecken, in welchen ein gegenüber einer Stauhaltung deutlich höheres Energieliniengefälle vorhanden ist, sollen möglichst lange sein.

Die konkreten hydraulischen und sedimentologischen Anforderungen (u. a. an die Fließgeschwindigkeiten) sind von gewässerökologischen Experten standorttypisch vorzugeben. Gegenüber einer konventionellen Wasserkraftanlage (z. B. Stützkraftstufe) ergeben sich eine geringere nutzbare Fallhöhe und damit in der Regel eine signifikant geringere Effektivität in Hinblick auf die Erzeugung regenerativer Energie.

Durch projektspezifische Anforderungen (Verbesserung der Energiegewinnung, Hochwasserschutz, Sohlenstabilisierung) kann es notwendig werden, die Wasserstand-Abfluss-Beziehungen in Teilbereichen anzupassen. Hierdurch kann die Kraftwerksleistung deutlich erhöht werden. Die Einflüsse auf die Gewässerökologie sind dann in jedem Einzelfall zu bewerten.

3 Elemente des Fließgewässerkraftwerkes

Die im Nachfolgenden dargestellte Form eines Fließgewässerkraftwerkes basiert

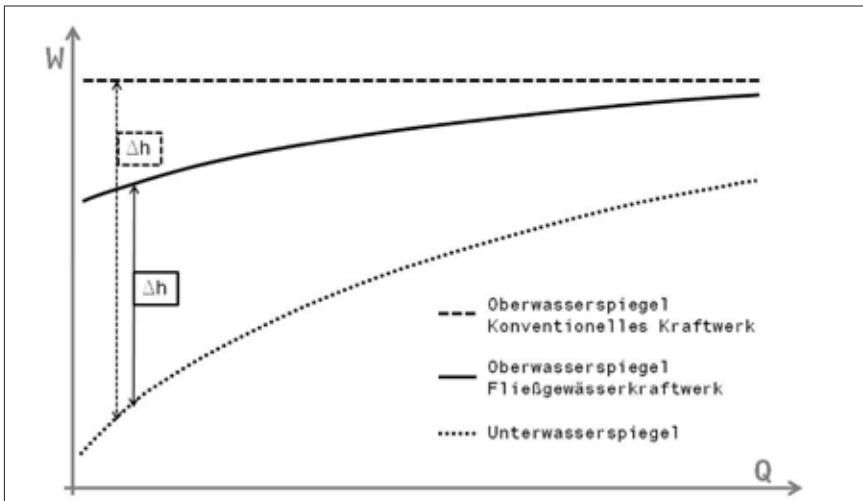


Bild 1: Konzept des Fließgewässerkraftwerkes am Beispiel der Wasserstand-Abfluss-Beziehung

auf einer Sohlenstabilisierungsmaßnahme mittels aufgelöster Sohlenrampe, wie sie beispielsweise an der Unteren Salzach im Tittmoninger Becken im Grenzgebiet zwischen Bayern und Österreich geplant ist. Die Untere Salzach befindet sich dort in einem massiven Eintiefungsprozess [2]. Um der Entwicklung entgegenzuwirken, wurde bereits eine erste aufgelöste Sohlenrampe an der Unteren Salzach bei Flusskilometer 51,9 (Breite 140 m, Gefälle 1:50, **Bild 2**) realisiert. Auch für das weiter flussab gelegene Tittmoninger Becken (Fkm 44,0 bis Fkm 22,0) sind Sanierungsmaßnahmen vorgesehen.

Die hier beschriebene Machbarkeitsuntersuchung zur energetischen Nutzung der als Variante geplanten aufgelösten Sohlenrampen im Tittmoninger Becken wurde von der Österreichisch-Bayerischen Kraftwerke AG beauftragt und seitens des ös-

terreichischen Klima- und Energiefonds unterstützt. Das vorliegende Konzept des Fließgewässerkraftwerkes wurde unter Beachtung der projektspezifischen Randbedingungen entwickelt. Neben einer sinnvollen energetischen Nutzung werden an das Fließgewässerkraftwerk mannigfaltige Anforderungen gestellt, die neben der Sohlenstabilisierung und schadlosen Hochwasserabfuhr auch die zwingenden ökologischen Aspekte der Durchgängigkeit sowie des Erhalts des Fließgewässercharakters umfassen.

Im Wesentlichen besteht das Fließgewässerkraftwerk aus der aufgelösten Sohlenrampe, die um einen seitlich angeordneten Kraftwerksteil erweitert wird. Dabei wird das Krafthaus aus Gründen der Anströmung und des Geschiebetransportes im Außenbogen des pendelnden Fluss-schlauches angeordnet (**Bild 3**). Die in dem

Konzept zur Anwendung kommenden Kompaktturbinen zeichnen sich durch eine wirksame Nutzung niedriger Fallhöhen (2,5 bis 3,5 m) und eine geringe Bauhöhe aus, wodurch vergleichsweise geringe Einbautiefen realisiert werden können (**Bild 4**). Die für den Kraftwerksbetrieb ungünstigen Randbedingungen (u. a. hohe Sohlenlage, Geschiebetrieb) würden bei sehr tiefreichenden Kraftwerkseinläufen zu erheblichen betrieblichen Problemen führen. Es bietet sich daher insbesondere die Reihen-anordnung einer größeren Anzahl von Kompaktturbinen an. Der potenziell hohe Geschiebetrieb an der Unteren Salzach sowie die große Kraftwerksbreite machen die Anordnung von Geschiebekanälen im Kraftwerksbereich notwendig, um die Kraftwerkseinläufe geschiebefrei halten zu können. Dem gesamten Kraftwerksbereich ist eine Geschiebeschleuse vorgeschaltet, die einen hohen Anteil des Geschiebes in Richtung der in Strommitte liegenden Öffnung leitet. Das Kraftwerk kann zur besseren Integration in das Landschaftsbild in überströmter Bauweise errichtet werden. Auf Maßnahmen, die der Fischwanderung und dem Fischschutz dienen, wird in Abschnitt 4 gesondert eingegangen.

Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Fallhöhen von 2,5 m bis 3,5 m und unter Annahme eines Ausbaubestands von 200 m³/s bei 20 Kompaktturbinen mit je 10 m³/s Schluckfähigkeit kann eine installierte Leistung von etwa 5,5 MW bzw. eine Jahreserzeugung von über 30 GWh/a an einem Standort der Unteren Salzach im Tittmoninger Becken erzielt werden.

Ein wesentliches Element des Fließgewässerkraftwerkes bildet die aufgelöste



Bild 2: Aufgelöste Sohlenrampe an der Unteren Salzach bei Flusskilometer 51,9

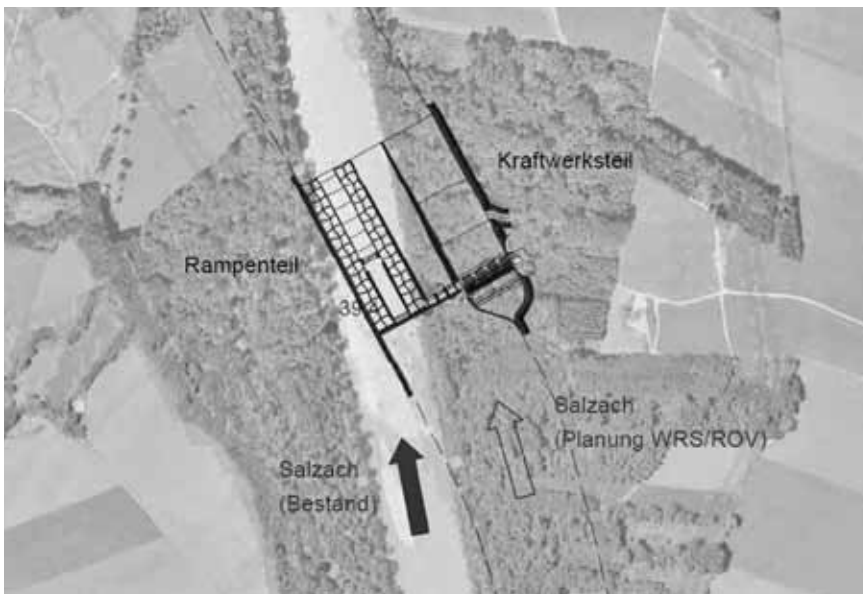


Bild 3: Mögliche Anordnung des Fließgewässerkraftwerkes an der Unteren Salzach bei Flusskilometer 39,4 (aus [3])

Sohlenrampe, die eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen muss. So steht neben der Gewährleistung einer schadfreien Hochwasserabfuhr unter Berücksichtigung des Geschiebetransports vor allem die gewässerökologische Funktionsfähigkeit im Mittelpunkt. Es ist zwingend notwendig, die ökologische Durchgängigkeit über das gesamte Abflussspektrum bei variablen Wasserspiegellagen herzustellen. Eine sehr flache aufgelöste Sohlenrampe (Neigung 1:50) kann hierzu bei einer geeigneten Formgebung (Beckengröße, Riegelanordnung, hochgezogene Randstrukturen) für alle Überströmungssituationen einen wichtigen Beitrag leisten.

Eingebettet in die aufgelöste Sohlenrampe befinden sich zwei Öffnungen unter-

schiedlicher Tiefe und Breite, die mit Verschlüssen (Schlauchwehren) versehen sind. Die tiefere und gleichzeitig breitere Universalöffnung 1 wird zur optimalen Abfuhr von Geschiebe im Hochwasserfall in Flussmitte direkt neben dem Krafthaus angeordnet. Die weniger tiefe Universalöffnung 2 stellt gemeinsam mit einem weiteren Verschlussorgan den Eingang zur Bootsgasse dar und erfüllt im Niedrigwasserfall die Anforderungen der Durchgängigkeit.

Die ökologische Durchgängigkeit wird im Normalbetrieb über die feste Rampenkronen und anschließende Becken-Riegelstruktur erreicht. Im Niedrigwasserfall, wenn keine ausreichende Überströmung der festen Wehrkronen gegeben ist, kann die Durchgängigkeit durch Legen des

Verschlusses der Universalöffnung 2 und seitliche Weiterleitung über die Rampe erreicht werden. Dabei dient der zweite Verschluss in Universalöffnung 2 als Gegenschwelle, der die Ausbildung einer ungebremsten Strömung verhindert.

Die beschriebene Anordnung erlaubt eine sehr flexible Betriebsweise. In abgestimmter Steuerung von Kraftwerk, Universalöffnungen und Geschiebekanälen kann die notwendige Variabilität der Wasserspiegellagen bei vollständigem Erhalt der Durchgängigkeit über die aufgelöste Sohlenrampe erreicht werden. Die Anzahl, Höhenlage und Größe der Universalöffnungen kann unter den projektspezifischen Randbedingungen variieren.

Zur Untersuchung der Machbarkeit des Konzeptes wurden umfangreiche physikalische Modellversuche an der Universität Innsbruck durchgeführt, deren Schwerpunkt in der hydraulischen und sedimentologischen Optimierung der Anlagenteile lag.

4 Gewässerökologische Aspekte

Die zwei wesentlichen gewässerökologischen Aspekte, die zur Funktionsfähigkeit des Konzeptes Fließgewässerkraftwerk beitragen, sind die ökologische Durchgängigkeit und die Bewahrung des Fließgewässercharakters.

Das bestehende Konzept des Fließgewässerkraftwerkes sieht zur Erreichung der ökologischen Durchgängigkeit drei unterschiedliche Migrationskorridore vor. Dazu zählen die aufgelöste Sohlenrampe, ein ausgeprägtes Nebenarmsystem sowie der unmittelbare Kraftwerksbereich (**Bild 5**). Alle Korridore dienen

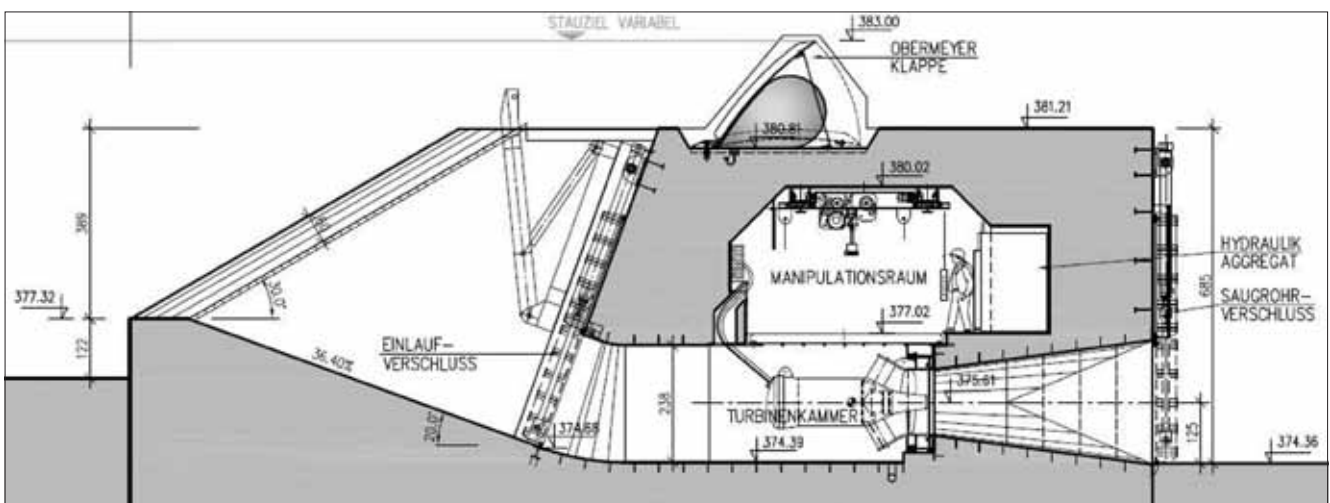


Bild 4: Schnitt durch das Krafthaus (aus [3])

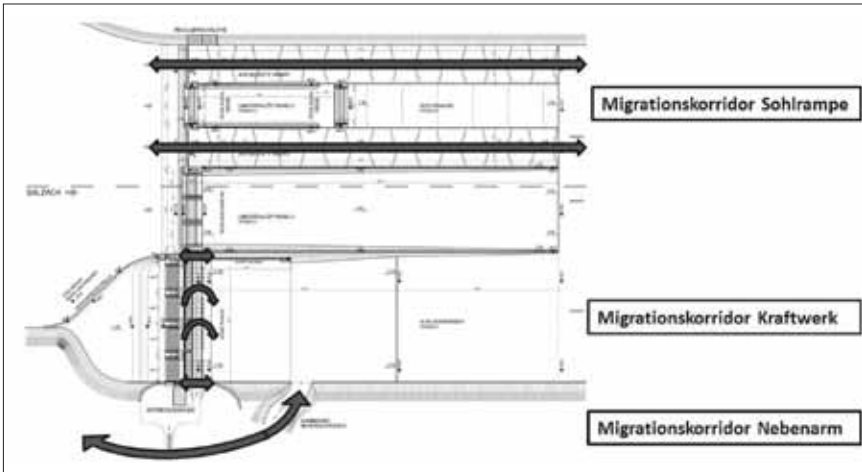


Bild 5: Schematische Darstellung der drei Migrationskorridore des Fließgewässer-kraftwerks

sowohl der flussaufwärts als auch der flussabwärts gerichteten Wanderung. Für eine möglichst vollständige Durchgängigkeit sind die Aspekte Auffindbarkeit sowie Durchwanderbarkeit der Korridore ausschlaggebend.

Die Durchgängigkeit in der Sohlenrampe wird durch die Becken-Riegel-Abfolge gewährleistet. Die zu überwindenden Höhendifferenzen sind den jeweiligen Leitfischarten angepasst. In den Becken wird die maximal zulässige Energiedissipation

nicht überschritten. Da die Durchwanderbarkeit bei möglichst vielen Abflusszuständen (sowohl im Niedrigwasserfall als auch bei Abflüssen bis zum stark erhöhten Mittelwasser) erreicht werden sollte, kann das Verschlussorgan in Universalöffnung 2 bei niedrigen Oberwasserständen, wenn keine ausreichende Überströmung der festen Wehrkrone gegeben ist, gelegt werden (**Bild 6**).

Dem Nebenarmsystem kommt beim Konzept des Fließgewässer-kraftwerkes

verstärkt Bedeutung zu. Es bietet neben der Funktion als Migrationskorridor auch die Möglichkeit, zusätzliche Flächen mit standorttypischem Fließgewässercharakter sowie mit dynamischen, funktionellen Uferzonen zu schaffen. Zur Erreichung einer optimalen Auffindbarkeit für migrationswillige Fische liegt die Nebenarmmündung im direkten Unterwasserbereich des Kraftwerksauslaufs. Die oberwasserseitige Nebenarmeinströmöffnung kommt je nach Länge des Nebenarmes im entfernten Oberwasserbereich der Anlage zu liegen. Die Dotation der Nebenarme erfolgt über sohlenebene Anbindungen mit dem Hauptschlauch. Der Dotationsabfluss steht daher in direktem Zusammenhang mit den Wasserspiegellagen im Hauptschlauch. Das typische Profil des Nebenarmes sollte eine asymmetrische Form aufweisen, das bei variablen Abflüssen sowohl Zonen unterschiedlicher Fließtiefe als auch Zonen unterschiedlicher Fließgeschwindigkeiten gewährleistet.

Der dritte Migrationskorridor befindet sich im unmittelbaren Kraftwerksbereich. Vorrangiges Ziel im unmittelbaren Kraftwerksbereich ist jedoch der Fischschutz. Flussabwärts wandernde Fische müssen vor einer Turbinenpassage geschützt werden. Mit Hilfe eines flach geneigten Re-

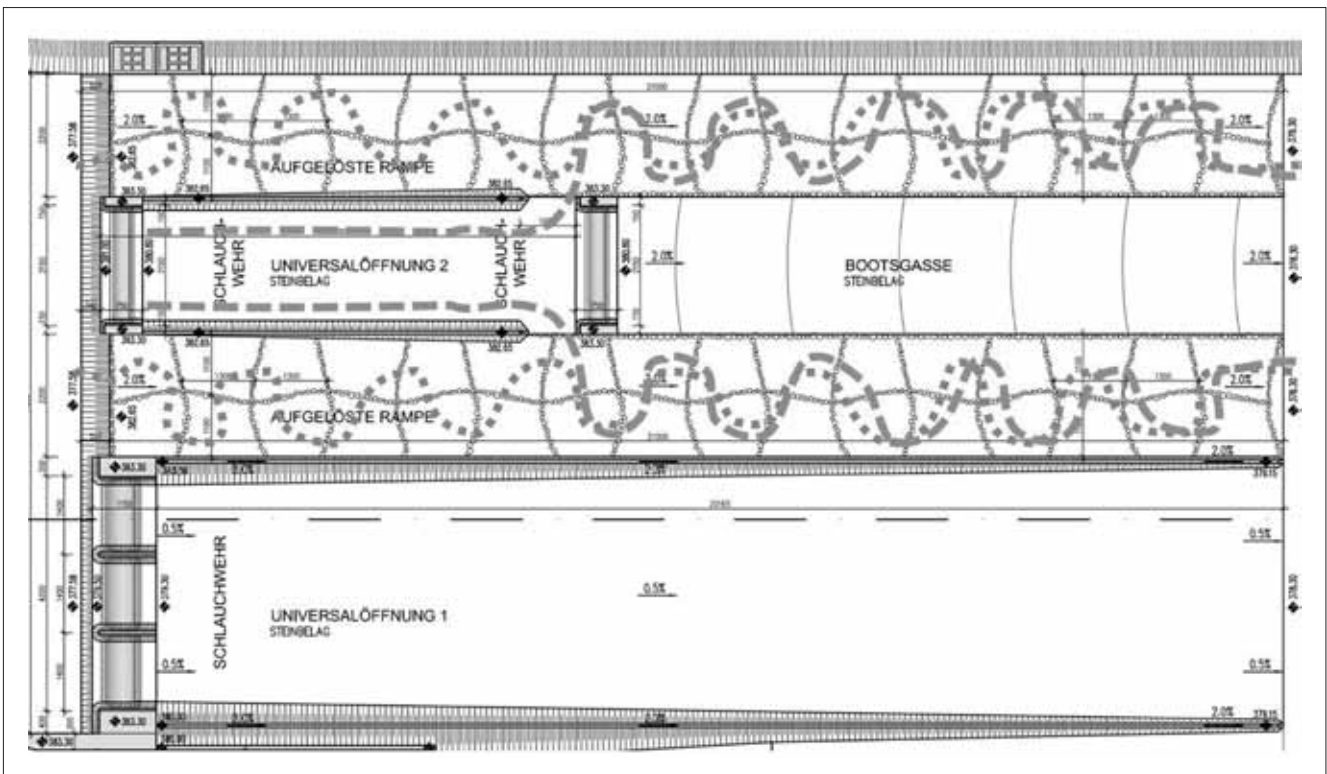


Bild 6: Migrationskorridor Sohlenrampe: Weg der Durchgängigkeit im Normalbetrieb (gepunktete Linie) und bei Niedrigwasser (gestrichelte Linie)

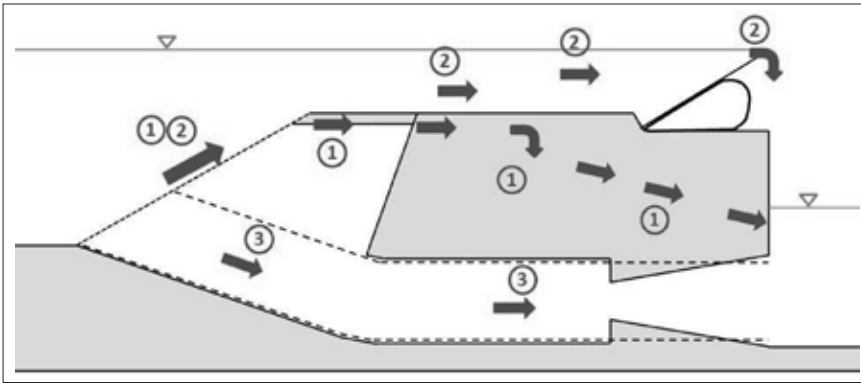


Bild 7: Migrationskorridor Kraftwerk: Die drei Wege der Durchgängigkeit

chens sollen die Fische in den Bereich über dem Turbineneinlauf geleitet werden. Am oberen Ende des Rechens angelangt ergeben sich für die Fische zwei potenzielle Möglichkeiten (Bild 7). Einerseits besteht die Möglichkeit über ein Leitsystem zur Seite abgeleitet zu werden und dort im beckenartigen Fischpass abzuwandern, andererseits kann ein Überfall über die Stauklappen erfolgen. Eine weitere Migrationsmöglichkeit – besonders für boden-

nahe Individuen – bietet sich durch temporär geöffnete Geschiebegassen. Der beckenartige Fischpass ist jedoch primär für die flussaufwärts gerichtete Migration vorgesehen, da der Einstieg optimal an den Turbinenauslässen liegt.

Die Erreichung eines standorttypischen Fließgewässercharakters ist ein wesentliches gewässerökologisches Ziel. Der Fließgewässercharakter kann insbesondere durch den Parameter Fließgeschwindigkeit

beurteilt werden. Das Fließgewässerkraftwerk weist aufgrund seiner dynamischen Wasserspiegellagen gegenüber einer vergleichbaren Rampe ohne Wasserkraftnutzung trotz einer moderaten, zeitweisen Wasserspiegelanhebung eine äußerst geringe Reduzierung der mittleren Fließgeschwindigkeiten im Oberwasserbereich der Anlage auf. Die Fließgeschwindigkeiten werden den Anforderungen der Leitfischarten der hier vorliegenden Fischzone (Epipotamal) optimal gerecht und liegen bei 1,0 bis 1,2 m/s bei Mittelwasser. Somit kann der Erhalt des Fließgewässercharakters gewährleistet werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Konzept des Fließgewässerkraftwerkes versucht notwendige flussbauliche Sanierungsmaßnahmen mit einer energetischen Nutzung zu kombinieren und den dabei auftretenden mannigfaltigen Anforderungen an ökologisch sensiblen Standorten gerecht zu werden.

Das Konzept wurde für das Tittmoninger Becken an der Unteren Salzach im Auftrag der Österreichisch-Bayerischen Kraftwerke AG einer Machbarkeitsuntersuchung unterzogen. Die Ergebnisse dieser Studie sollen in die weitere Planung der flussbaulichen Sanierung der Unteren Salzach Eingang finden.

Autoren

Dipl.-Ing. Barbara Brinkmeier
Univ. Prof. Dr.-Ing. Markus Aufleger

Arbeitsbereich Wasserbau Universität Innsbruck
Technikerstr. 13
6020 Innsbruck, Österreich
barbara.brinkmeier@uibk.ac.at
markus.aufleger@uibk.ac.at

Literatur

- [1] Aufleger, M.; Brinkmeier, B.; Gruber, K. H.; Baumgartner, A.: Wasserkraftnutzung an „schwierigen“ Standorten – Fließgewässerkraftwerke an der Unteren Salzach. In: Mitteilungen des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München (2010), Band 124, S. 89-98.
- [2] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach, Bericht zur Phase I: Bestandsanalyse, Stand der Untersuchungen Phase II: Maßnahmenplanungen. München, 1995.
- [3] Pöyry Energy GmbH (Hrsg.): Machbarkeitsstudie Energiewirtschaftliche Nutzung Tittmoninger Becken. Wien, 2010.

Barbara Brinkmeier and Markus Aufleger

River Flow Power Plants at Ecologically Sensitive Rivers

Unregulated stream sections in the Alpine foothills usually undergo substantial bed erosion, calling for remedial action in the form of river-engineering measures such as gently inclined ramps. Against a background of a growing need for renewable energy, it is only natural that attempts should be made to provide well-adapted hydro power facilities at such structures, even in stream sections of highly sensitive ecology, while preserving the river character of the stream section concerned. The idea of the river flow power plant allows for the difficult water management parameters as well as for the great ecological sensitivity.

Барбара Бринкмайер и Маркус Ауфлегер

Использование гидроэнергии в экологически „чувствительных“ регионах – электростанции на проточных водоемах

На свободных проточных водотоках предальпийских рек часто обнаруживаются значительные тенденции к углублению, предотвратить которые можно посредством проведения гидростроительных мероприятий, а именно созданием так называемого „основания“ русла. На фоне необходимого расширения использования возобновляемых видов энергии, естественно, что использование поперечных гидросооружений для производства энергии должно быть включено в предварительное планирование. При этом важным представляется сохранение характера проточного водоема при использовании гидроэнергии. Концепция гидроэлектростанции, расположенной на проточном водоеме, должна удовлетворять требованиям достаточно сложных типовых условий и значительной экологической „чувствительности“.