

Schachtkraftwerk – Konzept und Funktionskontrollen

Albert Sepp, Franz Geiger, Peter Rutschmann

Zusammenfassung

Am Lehrstuhl für Wasserbau der TU München wurde ein innovatives Wasserkraftkonzept „Schachtkraftwerk“ (SKW) entwickelt, bei dem die gesamte Kraftwerkseinheit vollständig unter Wasser in einem Schacht angeordnet ist und die Triebwasserzuführung über eine horizontale Einlaufebene erfolgt. Mit Hilfe eines physikalischen Modells sowie in einer 35 kW Prototypanlage wurden von 2010 bis 2015 die Anlagenelemente dimensioniert und die Anlagentechnik so entwickelt, dass alle hydraulischen und betriebstechnischen Zielvorgaben erfüllt werden können. Mit umfangreich durchgeführten Untersuchungen zum Fischschutz und –abstieg sowie zum Geschiebedurchgang wurde der vollständige Funktionsnachweis mit einer kleinen Wasserkraftanlage unter naturähnlichen bzw. realen Verhältnissen erbracht.

Auf das Basissystem „Einzelschachtkraftwerk“ aufbauend wurde der Wasserkrafttyp „Mehrschachtanlage“ konzipiert, bei dem in der Stauhaltung ein naturähnliches Gerinne integriert ist, wodurch zusätzlich eine hochwertige Durchgängigkeit zwischen dem Ober- und Unterwasserbereich geschaffen wird.

Das Einzelschachtkraftwerk eignet sich für kleinere Querbauwerke, für Standorte mit hohen Ausbauabflüssen ist das Konzept für Mehrschachtkraftanlagen ausführbar. Durch die direkte Anordnung im Fließkörper ist für das Kraftwerkssystem nur ein geringes Bauvolumen erforderlich, weil aufwändige Einlauf- und Auslaufbauwerke entfallen. Vorteilhaft sind außerdem die einfache geometrische Kontur sowie die Unterwasseranordnung, wodurch das Kraftwerk hochwassersicher ist. Durch die spezielle Ausstattung der Anlagentechnik wird Geschiebe durch und über den Schacht abgeführt, so dass keine Geschiebebauwerke erforderlich sind.

1 System Schachtkraftwerk

1.1 Einzelschachtkonzept

Der Grundgedanke des Konzeptes „Schachtkraftwerk“ zielte darauf ab, das Kraftwerk vollständig im Staubaubauwerk zu integrieren (Abb. 1), um eine klassische Triebwasserausleitung und –rückführung mit allen baulichen und ökologischen Nachteilen zu vermeiden.

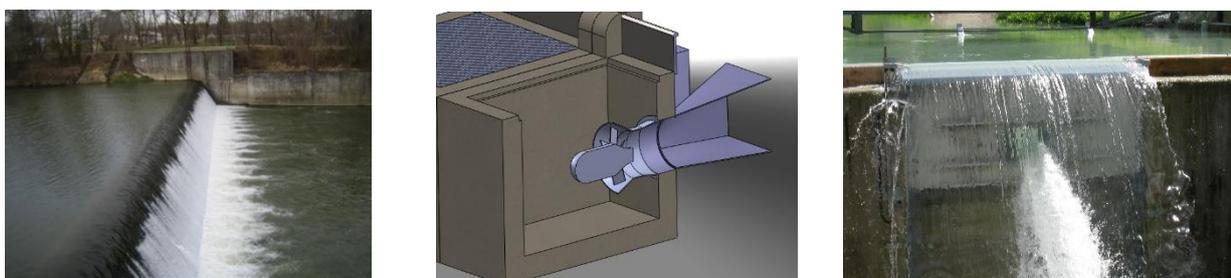


Abb. 1 Konzept „Schachtkraftwerk“ eingebaut in einem festen Wehrkörper

Der entwickelte Lösungsweg beinhaltet dabei die Anordnung einer horizontalen Einlaufebene mit vollständiger maschineller Unterwasseranordnung in einer Schachtkammer, was durch die

neue Tauchturbinen-Technologie ermöglicht werden kann. Im Unterschied zu konventionellen Wasserkraftsystemen erfolgt also die Triebwasserentnahme senkrecht nach unten: Der Kraftwerkszufluss wird durch den horizontal angeordneten Rechen mit abflussabhängiger Überdeckungshöhe der Turbine zugeführt und über das Saugrohr ins Unterwasser geleitet, siehe Abb. 2. Um den hydraulischen Einlaufkriterien – wirbelfreie, verlustarme 90°- Strömungsführung, homogene Geschwindigkeitsverteilung in der Rechenebene - gerecht werden zu können, war das Einlaufsystem auf geringe Anströmgeschwindigkeiten (große Einlauffläche) und einer Permanentüberströmung eines stirnseitig angeordneten Verschlusses auszustatten. Ein besonderer Kombinationseffekt besteht darin, dass im unmittelbaren Einlaufbereich ein direkter Abwanderungskorridor für den Fischabstieg zur Verfügung steht, wodurch die energetisch nicht nutzbare aber hydraulisch erforderliche Überströmung ökologisch eingesetzt wird. Mit den weiteren Möglichkeiten der Verschlussstellung – Spaltöffnung zur Rechenreinigung und Vollabsenkung zur Treibholz- und Geschiebeabführung – sind weitere betriebliche Funktionen abgedeckt.

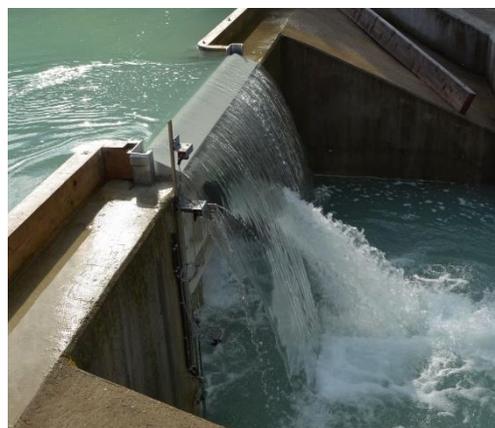
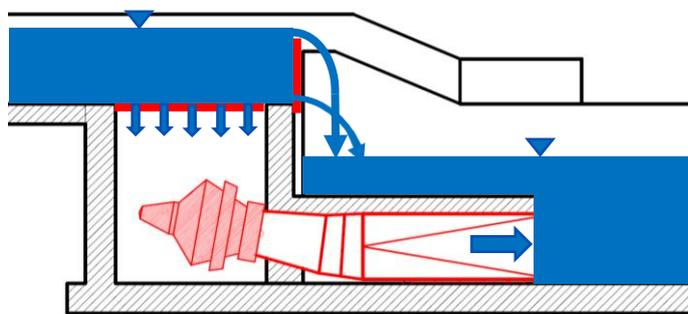


Abb. 2 Überströmte Verschlussstafel (li.) und Triebwasserweg mit KW-Längsschnitt

1.2 Mehrschachtkonzept

Das technische Konzept „Schachtkraftwerk“ erfordert aufgrund der vollständigen Unterwasseranordnung den Einsatz von Tauchturbinen und ist deshalb nach dem bisherigen Entwicklungsstand aus hydraulischen sowie betriebs- und turbinentechnischen Aspekten auf einen maximalen Abfluss pro Schacht mit ca. 20 m³/s begrenzt. Damit auch an Standorten mit größeren Abflüssen ein hoher Ausbaugrad möglich ist, kann eine Reihenanordnung mehrerer Einzelschächte vorgenommen werden, wodurch sich vorteilhafte ökologische Elemente integrieren lassen. So wurde für die Einbeziehung der aufwärts gerichteten Migration von Fischen und anderen Gewässerorganismen eine innovative Gesamtlösung entwickelt [1] [2]. Das Konzept „Mehrschachtanlage“ basiert auf dem Modul „Einzelschacht“ mit horizontaler Einlaufebene, Turbinen-Generatoreinheit in Unterwasseranordnung sowie beweglicher Verschlusssebene mit Fischabstiegsfenstern. Durch diese Konstruktion erfüllt es eine Staukörper-, Abflusssteuerungs-, Energieumwandlungs- und Durchgängigkeitsfunktion.

Das besondere wasserbauliche Element besteht in einem sogenannten „ökologischen Verbindungsgerinne“, das oberstromig zwischen den Schachtblöcken eingebunden ist und in Größe und Bauart unterschiedlich strukturiert werden kann. Bei großzügiger Gestaltung bietet das Gerinne mit stirnseitigen Öffnungen einen naturnahen Lebensraum mit vielfältiger Strömungsstruktur, weil Mehrschachtanlagen auch abflussabhängige und somit dynamische Wasser-

stände zulassen. Das Verbindungsgerinne hat den besonderen Vorteil, dass die Einstiege optimal und ohne Sackgassenbereiche an den Kraftwerksauslauf ausgerichtet werden können, und über die gesamte Flussbreite leicht auffindbare Verbindungswege für alle Lebewesen im Fließgewässer zur Verfügung stehen, siehe Abb. 3.

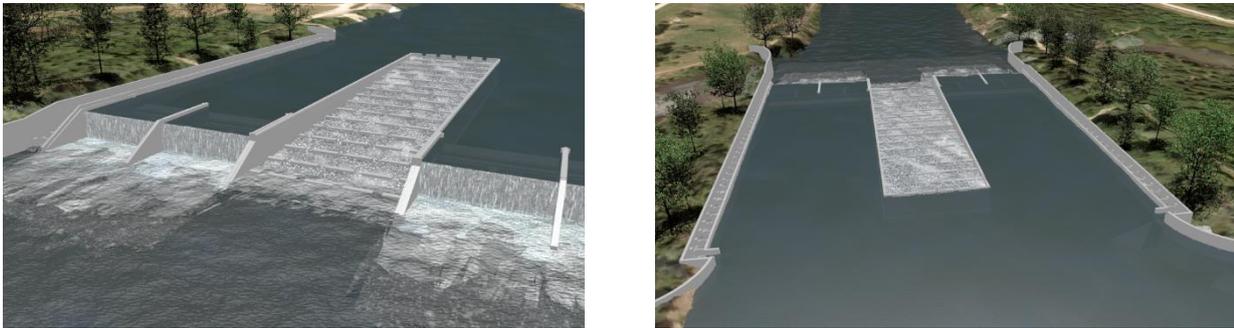


Abb. 3 Mehrschachtanlage von unterstrom (li. Bild) und von oberstrom (re. Bild)

2 Modell- und Prototypanlage

Um die Funktionalität des beschriebenen Anlagenkonzeptes zu überprüfen, zu optimieren und hydraulische Kennlinien zu erstellen, wurde an der Versuchsanstalt Oberrach ein physikalisches Vollmodell aufgebaut (Abb. 4). Das Kraftwerksmodell ($Q_T = 200 \text{ l/s}$, $h = 1,2 \text{ m}$) war mit einer funktionsfähigen „Diveturbine“ der Firma Fella sowie einer hydraulisch gesteuerten Verschlusseinrichtung ausgestattet, wodurch beliebige Strömungszustände untersucht und demonstriert werden konnten. Die durchgeführten Modellversuche ermöglichten die Erstellung von Richtwerten zur Kraftwerksbemessung und bestätigten die prognostizierten hydraulischen und betrieblichen Abläufe sowie die Funktionalität des Kraftwerkskonzeptes.

Durch die vollständige Unterwasseranordnung des Kraftwerkstyps besteht für alle beweglichen Maschinenbauelemente ein besonders hoher Qualitätsanspruch. Um grundsätzlich auch die Praxistauglichkeit unter naturähnlichen bzw. realen Verhältnissen, d. h. verstärkte Treibholz- und Geschiebeführung erproben und aufzeigen zu können, wurde auf dem Freigelände der Versuchsanstalt Oberrach ein Prototypkraftwerk mit Technikgebäude (siehe Abb. 4 re.) errichtet und mit einer tauchbaren, doppelt regelbaren 35 kW Kaplan turbine (Laufreddurchmesser 75 mm, 4 Laufschaufeln, 333 Upm) der Firma GEPPERT ausgestattet. Das Rechen- und Rechenreinigungssystem des Einzel-Schachtkraftwerkes ($Q_T = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$, $h = 2,5 \text{ m}$, Abflussmessung über vorgeschaltete Rehbockmessrinne) lieferte die Spezialfirma für Rechenreinigungsanlagen MUHR aus Brannenburg (Obb.), wobei verschiedene, vollständig unter Wasser arbeitende Rechenreinigungskonzepte entwickelt und erprobt werden konnten.



Abb. 4 Schachtkraftwerk Modell (li.) und Prototypanlage mit Technikgebäude (re.)

2.1 Hydraulik

Durch die horizontale Einlaufebene mit der erzwungenen Vertikalumlenkung des Triebwassers entsteht beim Übergang vom Freispiegel- zum Druckabfluss eine Wirbelbildung, deren Intensität primär von der Einlaufgeschwindigkeit und der Überdeckung (= Höhendifferenz zwischen Schachtüberlauf und Wehrkrone) abhängig ist und außerdem durch Rechenstäbe mit geringem Stababstand abgemindert wird. Vollständig unterbunden wird eine kritische Wirbelbildung durch die Erzeugung einer kleinen Fließlamelle an der Oberfläche als Überfallströmung, siehe Abb. 5. Die mit einer 3-D-ADV-Sonde durchgeführten Geschwindigkeitsmessungen bestätigen, dass bei Einhaltung dieser Anströmkriterien (Einlauffläche $v_m < 0,5$ m/s, ausreichende Einlaufüberdeckung) und mit dreiseitiger Zuströmung ein nahezu homogenes Geschwindigkeitsprofil ($v_{\max}/v_{\text{mittel}}$ ca. 1,25) in der Rechenebene erzeugt werden kann. Bei unsymmetrischer oder nur frontseitiger Zuströmung entsteht eine ungünstigere Geschwindigkeitsverteilung, die betrieblich kaum nachteilig wäre, allerdings unter dem Gesichtspunkt des Fischschutzes mit der Forderung „Bewegungsfreiheit im Einlaufbereich“ zu berücksichtigen ist. Da konstruktive Elemente nicht eingesetzt werden können, ist die Einhaltung max. Geschwindigkeitsgrößen nur durch größere Einlaufflächen und Überdeckungen zu gewährleisten.



Abb. 5 Wirbelfreie Zuströmung (li.), leichte Wirbelbildung ohne Überfallströmung

2.2 Betriebstechnik

Mit der hydraulisch erforderlichen Verschlussanordnung lassen sich alle weiteren grundlegenden betrieblichen Funktionen abdecken: Geschiebetransport und Treibholzanfall erfolgt normalerweise bei Hochwasserführung. Bei größeren Abflüssen kann die Verschlussstafel bis zur Einlauffläche abgefahren werden, so dass sich über der Rechenebene eine Absenkung mit hoher Spülwirkung einstellt (Abb. 6 re.).



Abb. 6 Betriebszustände: KW-Betrieb mit Geschwemmsel (li.), Rechenreinigung (mi.) HW-Spülung (re.)

Für abgelagerte Feststoffe und größere Geschiebeteile ist eine mechanische Reinigung der Rechenfläche erforderlich. Hierfür wird eine Schiene mit Harke über dem Rechen bewegt und durch temporäres Unterströmen der Verschlusseinrichtung das Rechenreinigungsgut direkt ins Unterwasser abgegeben (Abb. 6 mi.). Betrieblich vorteilhaft ist die Permanentüberströmung, weil größtenteils Geschwemmsel und Schwimmkörper direkt ins Unterwasser abgeführt werden (Abb. 6 li.) und deshalb deutlich geringere Rechenverlegungen entstehen. Gegenüber konventionellen Wasserkraftanlagen ist bei einem SKW kein direkter Zugang zu den Maschinenteilen vorhanden, was einen Nachteil darstellt. Grundsätzlich ist deshalb eine robuste und hochwertige Ausstattung anzustreben. Für die eigentliche Abdämmung sind verschiedene Systeme vorstellbar: Bei einem Mehrschachtsystem können relativ einfach Dammtafeln zwischen den Oberwasserpfeilern gesetzt werden. Bei Einzelschachtanlagen müssen dreiseitige Absperungen auf den Schachtkronen gesetzt werden, die u.a. über entwickelte Systeme aus mobilen Hochwasserschutz übernommen werden.

2.3 Geschiebetransport

Eine besondere Herausforderung hat die Unterwasseranordnung mit horizontaler Einlaufebene, weil neben der Reinigung von Treib- und Schwemmgut auch ein Geschiebetransport beherrscht werden muss. Um keine zusätzlichen Bauwerke für Kiesrückhaltung und Spülung mit möglicherweise nur mäßigen Effekten einbinden zu müssen, sollte die Betriebstechnik so ausgelegt werden, dass über und durch das Schachtbauwerk ein vollständiger Geschiebetransport ohne Einschränkung möglich ist. Systembedingt waren folgende Abläufe zu kontrollieren:

- Keine Verklemmung von Kieskörnern zwischen den Rechenstäben
- Reinigung von Grobgeschiebe mit dem Rechenreiniger
- Gesichertes Freispülen von Kiesablagerungen aus dem Schacht über Turbine und Saugschlauch
- Vermeidung von hinderlichen Ablagerungen im Auslaufbereich

Um das Einklemmen von Feststoffen zwischen den Rechenstäben zu vermeiden, wird ein Sonderstabprofil verwendet, das sich in Fließrichtung verjüngt (Abb. 7 li.). Durch die niedrigen Fließgeschwindigkeiten entstehen geringe Verluste, so dass auch ein strömungsgünstiges Profil vertretbar ist. Der Rechenreiniger wurde dahingehend entwickelt, dass hydraulisch nicht gespülte Feststoffe und Grobgestein durch den Reinigungsbalken ins Unterwasser geschoben werden (Abb. 7 mi.). Die kleineren Kiesanteile fallen in den Schacht und werden mit dem Turbinendurchfluss ins Unterwasser bewegt. Damit keine fallhöhenbeeinflussende Geschiebeablagerungen im Auslaufbereich entstehen, wird ein Weitertransport durch eine gesteuerte, kurzzeitige Turbinenspülung mit Netzabschaltung und Durchgangsdrehzahl erzielt.



Abb. 7 Geschiebespülung mit Unterstützung der Rechenreinigung

Um diesen Geschiebeweg mit Einlauf- und Schachtpülung nachzuweisen, wurden mit der Prototypanlage entsprechende Versuche im Härtestest durchgeführt. Das Untersuchungsziel bestand darin, die Betriebstauglichkeit bei vollständiger Kiesüberdeckung der Turbine und zusätzlich die Spüleffekte bei Durchgangsdrehzahl mit variablen Laufradstellungen zu testen. Wie aus der Bildfolge in den Abbildungen 8 zu erkennen ist, wurde zunächst der Schacht im Trockenzustand mit Feinkies verfüllt und anschließend die Anlage mit einem Abfluss von ca. $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ beschickt. Vor der Schachtverfüllung wurden Laufrad und der Leitapparat auf Teillastpositionen eingestellt. Die Netzzuschaltung erfolgte manuell nach Füllung des Oberwasserbeckens.

Aufgrund der Turbinenteilöffnungen hat sich ein rascher Durchfluss einer Wasser-Kiesmischung eingestellt. Mit kontinuierlichem Öffnen des Leitapparates wurde der Durchfluss erhöht und die Turbine konnte problemlos auf Netzbetrieb gestellt werden. Die in der Einschaltphase erzeugte Leistung von ca. 22 kW hat sich in wenigen Minuten auf die normale Sollleistung von rund 32 kW erhöht. Der gesamte Abfluss- und Spülvorgang konnte auch optisch gut verfolgt werden: Mit Öffnen des Leitapparates wurde im Auslauf eine deutliche Wassertrübung bis zum Erreichen des Vollastbetriebes beobachtet (Abb. 9 mi).



Abb. 8 Geschiebespülung mit Unterstützung der Rechenreinigung



Abb. 9 Geschiebespülung mit Unterstützung der Rechenreinigung

Im weiteren Versuchsablauf wurde die Turbine mit unveränderten Leitapparat- und Laufradstellungen vom Netz getrennt, worauf sich Durchgangsdrehzahl mit deutlich erhöhtem Turbinendurchfluss einstellte. Da der Zufluss konstant gehalten wurde, hat sich der Oberwasserstand deutlich abgesenkt und es entwickelte sich vom Einlauf bis zum Auslauf ein hochturbulenter Abflussvorgang mit den erhofften Spüleffekten, wie nach Kraftwerksabschaltung beobachtet werden konnte (Abbildungen 10).



Abb. 10 Abflussvorgang mit Durchgangsdrehzahl und Spüleffekte

In einer zweiten Versuchsserie wurde Grobgeschiebe eingebracht, die Anlage mit Wasser beschickt und die Turbine in Vollastbetrieb gefahren. Der Spülvorgang des Grobgesteins erfolgte zunächst bei gehaltenem Stau über die Rechenreinigung und im Anschluss mit abgesenkter Verschlussstafel wiederum mit Durchgangsdrehzahl allerdings nun bei voll geöffneter Laufradstellung. Die Versuche haben gezeigt, dass eine vollständige Freihaltung der Rechenfläche auch bei Grobgestein mit dem Rechenreiniger erfolgt und auch Ablagerungen außerhalb der Einlaufhöhe durch eine Verschlussabsenkung hydraulisch weitgehend abgespült werden. Um Geschiebeablagerungen möglichst weit ins Unterwasser transportieren zu können, ist ein kurzzeitiger Turbinenbetrieb mit Durchgangsdrehzahl und bei voller Laufradöffnung am wirkungsvollsten (Abb. 12 mi.).

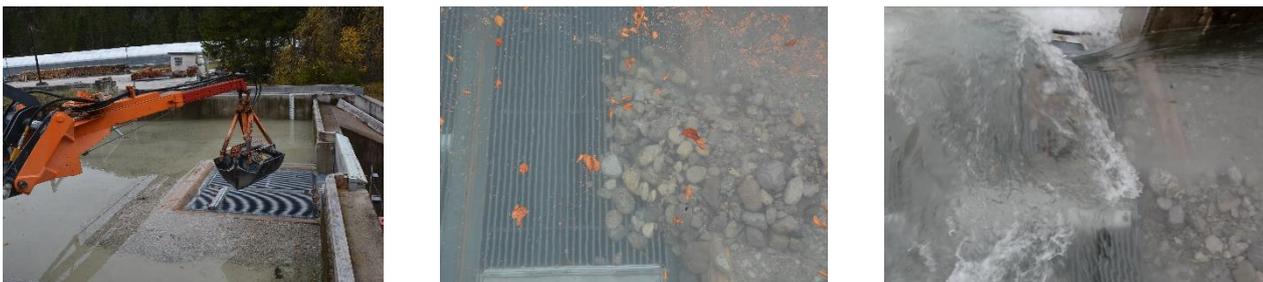


Abb. 11 Transport von Grobgestein mit dem Rechenreiniger und durch Spülung



Abb. 12 Turbulenz am Saugschlauchende (li.), Ablagerung nach Durchgangsdrehzahl am Saugschlauchende (mi.) und im Einlauf (re.)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit dem Betriebssystem und der entwickelten Anlagentechnik ein voll funktionsfähiger Geschiebetransport durch den Schacht- und Turbinenlauf sowie ein Transport des Grobgeschiebes über die Einlaufhöhe gewährleistet ist. Ablagerungen am Saugschlauchende lassen sich mit hydraulischer Energie bei kurzzeitiger Durchgangsdrehzahl transportieren, so dass kein Fallhöhenverlust zu erwarten ist.

Voraussetzungen für die Funktionalität sind das spezielle Rechenprofil, wodurch ein Verklemmen von Feststoffen und Kieskörnern verhindert wird sowie ein ausgereiftes Rechenreini-

gungssystem, mit dem Grobgestein und andere Feststoffe mechanisch transportiert werden können. Eine aktive Reinigung ist generell erforderlich, weil auch bei abgesenkter Verschluss- tafel nur eine räumlich begrenzte Spülwirkung zur Verfügung steht. Vorteilhaft für die Schacht- spülung ist der Feinrechen, weil dadurch nur kleinere Geschiebefraktionen in die Schacht- kammer fallen können und deshalb nach Einschätzung der Hersteller keine Turbinenschäden zu erwarten sind. In einer Worst-Case-Betrachtung mit extremer Geschiebe- und Treibholz- fracht kann eine maschinelle Räumung nicht ausgeschlossen werden. Im Vergleich zu konven- tionellen Anlagen mit vertikalen, tief angeordneten Rechenfeldern wird das Einlaufsystem vorteilhafter eingeschätzt, weil eine maschinelle Reinigung bei deutlich geringerer Wassertiefe durchgeführt werden könnte und keine eingeklemmten Feststoffe zwischen den Stäben gereinigt werden müssten.

3 Fischschutz und Fischabstieg

Neben den betrieblichen Untersuchungen lag der Forschungsschwerpunkt der Prototypanlage auf dem Themengebiet Fischschutz und Fischabstieg mit Jungfischen.

Wie in Abschnitt 2 bereits erläutert, erfordert der hydraulische Lösungsansatz „Schacht- kraftwerk“ geringe Anströmungsgeschwindigkeiten in der Einlaufebene, ein feinmaschiges Rechenfeld sowie eine horizontale Strömungslamelle an der Wasseroberfläche (Verschluss- überströmung) um eine Wirbelbildung zu vermeiden und eine verlustarme und eine weitgehend gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung in der Einlaufebene zu erreichen. Weil abwandernde Fische überwiegend dem Triebwasser (Hauptströmung) folgen, müssen die hydraulischen Einlaufkriterien auch dem Fischschutz und der stromabwärts gerichteten Wanderbewegung gerecht werden: Der energetisch nicht nutzbare Abfluss (ca. 3 – 5 % von Q_T) sollte dem Fischabstieg dienen, ein Rechenfeld mit geringen Stababständen als Hemmbarriere wirken und geringe Fließgeschwindigkeiten zum Rechen Schwimmfreiheit für die Fische gewährleisten. In der Dimensionierung wurden deshalb gezielt alle hydraulischen Einflussgrößen auf einen funktionsfähigen Fischschutz ausgelegt. Die horizontale Rechenfläche und die Einbautiefe (Wasserüberdeckung) sind deshalb so zu bemessen, dass sich niedrige Strömungsge- schwindigkeiten mit homogener Verteilung einstellen. Der Abstieg wird mit einem direkten Wasserweg über die energetisch nicht nutzbare Verschlussüberströmung und gegebenenfalls mit speziellen Öffnungen in der Verschluss- tafel (Abstiegsfenster in unterschiedlicher Anor- dnung, siehe Abb. 2 und 3) hergestellt. Um ein schadloses Eintauchen der Fische gewährlei- sten zu können, ist im Unterwasser eine Mindestwassertiefe von 90 cm bzw. $\frac{1}{4}$ der Fallhöhe einzuhalten.

Die Wirkungen im System „Schachtkraftwerk“ zum Fischverhalten wurden 2013 bis 2015 mit der Prototypanlage untersucht. Diese Forschungsergebnisse waren generell von besonderem Interesse, weil man bisher für nach unten gerichtete Strömungsformen keine Fischverhaltens- muster kannte. Da alle hydraulischen und betriebstechnischen Abläufe ohne Maßstabeffekte sowie naturnahe Verhältnisse zur Verfügung standen, waren aussagekräftige Untersuchungen und eine Vergleichbarkeit verschiedener Konfigurationen untereinander gewährleistet. Die Untersuchungen lieferten nach Fischart, -größe und Versuchsanordnung (verschiedene Abstiegsfenster, variable Geschwindigkeiten) differenzierte Datensätze zu Fischverteilung und Schädigung, wobei sämtliche Wander- bzw. Abdriftereignisse vollständig erfasst wurden. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse nur zusammenfassend erläutert, ausführliche Informationen können u. a. in [3] [4] [5] entnommen werden.

Die Beobachtungen und Unterwasservideobilder zeigten - im Gegensatz zu konventionellen Einlaufanordnungen mit horizontaler Strömungsausrichtung zum Rechen - für alle untersuchten Arten ein grundlegend anderes Schwimmverhalten: Die Fische über der Einlaufebene nehmen eine Schrägstellung (Abb. 11) ein, haben kaum Rechenkontakt und sie entwickeln ein aktives Schwimmverhalten gegen die nach unten gerichtete Strömung. Diese gekrümmte / vertikale Strömungsstruktur über dem Rechenfeld wirkt für die Fische offensichtlich nicht abschreckend und nicht abweisend, weil in bestimmten Aktivphasen der Einlaufbereich sehr häufig durchschwommen wird und dabei auch Abstiegsoptionen gesucht und genutzt werden. Bei Tests über 24 Stunden wurde im Mittel eine Abstiegsquote von ca. 60 % festgestellt. Fische größer der lichten Rechenstabweite sind vor einer Turbinenpassage vollumfänglich geschützt und über die Abstiegsfenster mit ausreichender Wassertiefe im Eintauchbereich ist ein absolut gefahrloser Abstieg gewährleistet. Auch die Mehrzahl der „rechengängigen“ Fische nutzen diesen Fischabstieg ins Unterwasser. Da die Schwimmleistung bei kleinen Fischen deutlich abnimmt, müssen die Bewertungen differenziert vorgenommen werden, weil auch der Wanderweg zwischen den Rechenstäben und durch die Turbine möglich war. Bei der Turbinenpassage gab es abhängig von Fischart und -größe unterschiedliche aber insgesamt geringe Schädigungsraten, deren Größe beispielsweise für Turbinen mit einem Laufraddurchmesser von 1,8 m und im Drehzahlbereich von ca. 150 Upm < 2 % prognostiziert wird.

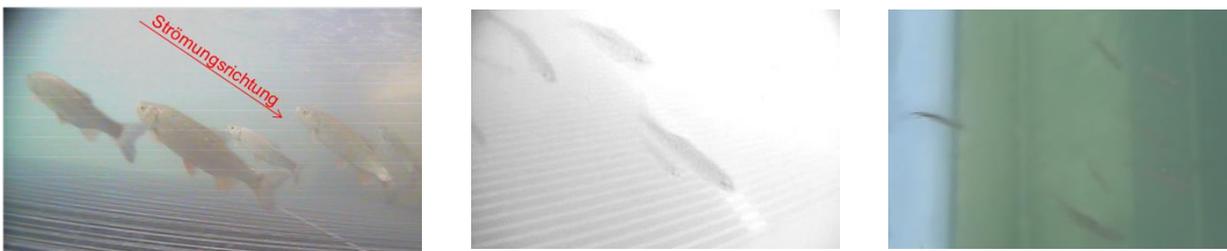


Abb. 13 Fischbewegung über der horizontalen Rechenebene

Als Gesamtergebnis kann festgehalten werden, dass mit einem horizontalen Einlaufsystem und der damit verbundenen Strömungsumlenkung nach unten eine wirksame Selektierung zwischen Triebwasserweg und Fischwanderweg erzeugt und durch die vorteilhafte Positionierung des Kraftwerks im Fließgewässer mit einer direkten Anbindung des Abwanderungskorridors ins Unterwasser eine überzeugende Lösung ohne den Einsatz von komplizierten und anfälligen Hilfstechniken zur Verfügung steht. Aufgrund der horizontalen Einlaufebene lässt sich die geforderte große Rechenfläche für moderate Fließgeschwindigkeiten ausschließlich durch die richtige Dimensionierung von Schachtgrundfläche und Überdeckung erzeugen. Die Bauwerksabmessungen lassen sich leicht den standort- und damit artenspezifischen Verhältnissen anpassen, wobei auch eine temporäre Verschlusssteuerung die ökologische Durchgängigkeit erweitern kann.

Literatur

- [1] A. Sepp, P. Rutschmann (2014). ECOLOGICAL HYDROELECTRIC CONCEPT "SHAFT POWER PLANT", International Seminar on Hydro Power Plants, Vienna
- [2] F. Geiger; A. Sepp, P. Rutschmann (2013). Prototypanlage Schachtkraftwerk – Konzept Mehrschachtanlage, Wasserbausymposium 2013, Zürich
- [3] M. Cuchet, F. Geiger, A. Sepp, P. Rutschmann (2012). FISH PROTECTION AND FISH DOWNSTREAM MIGRATION AT HORIZONTAL SCREENS, 9th International Symposium on Ecohydraulics, Vienna
- [4] F. Geiger, S. Schäfer, P. Rutschmann (2015). FISH DAMAGE AND FISH PROTECTION AT HYDRO POWER PLANTS EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SMALL FISH UNDER LABORATORY CONDITIONS, E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, The Hague, the Netherlands

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. (FH) Albert Sepp
Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU München
Obernach 59 1/3, D-82432 Walchensee
albert.sepp@tum.de

Prof.-Dr. Peter Rutschmann
Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU München
Arcisstraße 21, D-80333 München
peter.rutschmann@tum.de