

Dipl.-Ing. Alois Lashofer, Wald/Österreich

Aus Planungsfehlern lernen: Die Revitalisierung einer Wasserkraftschnecke*)

1. Anlagenhistorie des Kleinwasserkraftwerks Eger

Für die betrachtete Stau- und Triebwerksanlage an der Eger besteht seit mehreren hundert Jahren ein unwiderrufliches und unbefristetes Altrecht zum Aufstauen der Eger, zum Ableiten von Wasser aus der Eger in den Mühlgraben und zum Einleiten von Wasser aus dem Mühlgraben in die Eger. Das Altrecht wurde zuletzt durch ein Wasserrad zum Antrieb einer Steinsäge und einer Steinschleife genutzt.

Die grundlegende Planung einer modernen Anlage wurde durch ein Münchener Ingenieurbüro 2007 zur wasserrechtlichen Bewilligung eingereicht. Diese musste 2008 aufgrund von Nachfragen des Landratsamts (LRA) um mehrere Nachreichungen ergänzt werden. Das neue Wasserrecht zur Gewässerbenutzung wurde im Mai 2009 erteilt.

Im Zuge der Umbaumaßnahmen im Herbst 2010 wurde an der Stauanlage orografisch linksufrig eine Tierwanderhilfe errichtet, die ganzjährig mit 180 l/s dotiert wird. Die Entnahme des Triebwassers erfolgt orografisch rechtsufrig. Über den 1270 m langen „oberen Mühlgraben“ wird das Wasser bis zur neu errichteten Wasserkraftschnecke (WKS) im Ortsgebiet geführt. Das Triebwasser wird am Kraftwerk zurück in die Eger geleitet. In der Verlängerung des oberen Mühlgrabens wird der „untere Mühlgraben“ mit mindestens 50 l/s dotiert, um die ökologische Funktionsfähigkeit der ehemaligen Unterwasserstrecke zu bewahren. Sie kann im Störfall den Maximalabfluss von 2,5 m³/s abführen.

Bereits bei der Inbetriebnahme durch den Lieferanten der Wasserkrafttechnik (Turbine, Steuerung und Stahlwasserbau) im Dezember 2010 wurden zahlreiche Ausführungsmängel dokumentiert. Im Sommer 2011

musste eine Ortseinsicht mit den zuständigen Behördenvertretern und den subjektiv von Lärm betroffenen Anwohnern durchgeführt werden. Das darauf folgende Lärmgutachten belegte die Einhaltung der vorgeschriebenen Grenzwerte, was die Anwohner jedoch nicht zufriedenstellte. Im Sommer 2013 wurde von einem vereidigten Sachverständigen für Kleinwasserkraftanlagen ein Privatgutachten erstellt. Dieses nimmt Stellung zur Geräuschemission, zu diversen Liefermängeln, dem Fallhöhenverlust durch die mangelnde Regelbarkeit der Anlage und einem ca. 50 cm zu tiefen Bau sowie zu den übergroßen Spaltmaßen der Wasserkraftschnecke. Vom Landgericht wurde im Beweissicherungsverfahren ein weiterer Sachverständiger beauftragt, der im Mai 2014 sein Gutachten vorlegte. Darin werden die Mängel bzgl. Spaltmaßen, Schützen etc. sowie die vorsätzliche Tieferlegung prinzipiell festgehalten.

In den Jahren 2014 und 2017 kam die Anlage mit je 60 MWh auf weniger als die halbe übliche Erzeugung von 120 MWh in guten Jahren, 2015 und 2016 stand sie komplett still. In der Einreichung waren 157 MWh vorgesehen. Eine geplante Instandsetzung gemeinsam mit dem neuen Geschäftsführer der Abteilung Wasserkraft des WKS-Produzenten im Jahr 2017 wurde mangels Einigung nicht umgesetzt.

Der Verfasser hat die Anlage im Sommer 2018 besichtigt und einen technischen Bericht zur Gesamtanlage erstellt. Bei einer Ortseinsicht mit dem Wasserwirtschaftsamt (WWA) und dem Oberflussmeister wurden der Bericht besprochen und die Expertise der Behörde eingeholt. Nach einer Bestandsvermessung konnte der wasserbauliche Spielraum beurteilt werden und die an das LRA übermittelte Revitalisierungsplanung mit höherem Oberwasserspiegel wurde für tauglich befunden. Parallel dazu konnte ein Vergleich mit dem Hersteller über die Instandsetzung der Anlage erzielt werden.

*) Beitrag auf Grundlage eines Vortragspapers für das 24. Internationale Anwenderforum Kleinwasserkraftwerke

Im Herbst 2019 wurden die Wasserkraftschnecke, der elektromaschinelle Antrieb, die Steuerung sowie die Schützen getauscht. Anstatt des Dotationsschlitzes zum unteren Mühlgraben wurde eine wartungsärmere Wehrklappe mit Dotationsöffnung angebracht. Dies war ein wichtiges Zugeständnis an die Anwohner, da der Überfall zur Überwasserabfuhr vorher sehr laut gewesen war.

Im Sommer 2020 nahmen MitarbeiterInnen von LRA und WWA die Anpassungen positiv auf. Im Oktober 2020 wurden zusätzliche Schallschutzmaßnahmen getroffen, womit Ruhe um das Kraftwerk eingeleitet ist.

Trotz Stillstands wegen Vereisung im Januar und 14% weniger Wasser als im langjährigen Schnitt, durfte sich der Betreiber 2021 über 165 MWh freuen. Er ist zufrieden mit dem Ergebnis.

2. Projektängel (2007–2013)

In jedem Projekt gibt es eine Unschärfe der Planungsannahmen gegenüber den tatsächlichen Zuständen, weil sowohl die Beobachtungsdauer als auch die Bearbeitungszeit beschränkt sind. Zumeist sind einzelne Planungsfehler klein genug, um durch vorausschauende Maßnahmen ausgeglichen zu werden bzw. oft gleichen sich Fehler mit gegensätzlichen Auswirkungen auch untereinander aus.

Im betrachteten Projekt verstärkten sich jedoch die einzelnen Fehler wechselseitig, die verursachten Probleme wuchsen damit überproportional und die Anlage konnte zeitweise nicht betrieben werden.

Folgende Fehler sind aufgetreten:

a) Der maßgebliche Planungsfehler war eine zu hohe Auslegung des Bemessungsdurchflusses, wodurch das Jahresarbeitsvermögen unnötig vermindert wurde, weil häufig auftretendes Niederwasser nicht genutzt werden kann. Durch eine Drehzahlregelung der Anlage wäre dieser Fehler teilweise kompensiert worden.

b) In der Vergabephase jedoch war der Verzicht auf eine Drehzahlregelung zugunsten geringerer Investitionskosten ein eindeutiger Beratungsfehler sowohl des Herstellers als auch seitens des Ingenieurbüros. Insbesondere, da das Kraftwerk auf etwa 130% der mittleren Wasserführung (MQ)

ausgelegt worden war, wäre eine Regulierung der Schluckmenge notwendig gewesen, um den Oberwasserspiegel annähernd konstant zu halten und nicht verbotenen Schwallbetrieb fahren zu müssen. Als vermeintliche Lösung wurde das Einlaufschütz, welches eigentlich zur seltenen Absperrung bei Betriebsstörungen dient, als Regelschütz im Dauerbetrieb verwendet. Der Fallhöhenverlust zwischen Schütz und Wasserkraftschnecke war damit eine notwendige Regelgröße, um das Kraftwerk überhaupt betreiben zu können.

c) Zu dem letztlich dysfunktionalen Kraftwerk – und dem folgenden Rechtsstreit – hat allerdings erst die mangelhafte Bauaufsicht geführt, welche die Wasserkraftanlage gegenüber der ursprünglichen Planung um 50 cm tiefer errichten ließ. Die Tieferlegung führte zu einem zusätzlichen Fallhöhenabbau am Regelschütz vor der Schnecke, um die Schluckmenge zu regulieren. Der Gesamtverlust betrug bis über 110 cm, bei einer Brutto-Fallhöhe von 2,6 m.

Im Gegenzug war das untere Ende der Wasserkraftschnecke 50 cm zu tief unter Wasser und damit ohne hydraulische Funktion. Sehr wohl ergab sich daraus jedoch bei Teillast eine Lärmbelastung durch das unter das Unterwasser gepumpte Triebwasser und die daraus folgende Kompression der „verschluckten“ Luft. Abb. 1 zeigt die 2015 erfolgte Kürzung der Schnecke. Diese Maßnahme brachte nur geringe Abhilfe, da sie in zwei Schritten zuerst zu kurz und dann zu weit – bezogen auf die Wasserspiegellage – ausgeführt wurde, und zusätzlich das Wendelende hinauf in den beengten Trogquerschnitt verschoben hat. Die Lärm- und Druckschlagproblematik hat sich dadurch verändert, aber leider nicht maßgeblich gebessert.

Die spontane Tieferlegung durch die örtliche Bauaufsicht – „damit das Wasser auch sicher reinläuft“ – führte zu einer Energievernichtung im Bereich von 20% des Ausbaupotenzials. Zusätzlich hatte die mangelnde Drehzahlregelung eine Teilfüllung der Kammern zur Folge, welche unter den Unterwasserspiegel gepumpt wurden. Der Schall des hereinbrechenden Unterwassers führte zu Beschwerden der Anwohner und die auftretenden Kräfte zu Schäden am Unterlager. Durch eine mangelhafte Entkopplung im Abtriebsstrang kam es überdies zu Schäden am Getriebe.



Abb. 1: „Verstümmelung“ der Wasserkraftschnecke als vermeintliche Hilfsmaßnahme im Jahr 2015, Aufnahme bei Niederrwasser

Foto: Ingenieurbüro Lashofer

3. Revitalisierung (2019–2020)

Aus den Mängeln ergab sich die Forderung nach einer kleineren, drehzahlgeregelten, höhenangepassten Wasserkraftschnecke. In der ursprünglichen Planung wurde die Wasserkraftanlage auf einen Durchfluss von 2,5 m³/s ausgelegt und ohne Drehzahlregelung ausgeführt. In der Neuberechnung der hydrologischen Verhältnisse ergibt sich ein nutzbares MQ von 1,9 m³/s für den Standort und eine präzisierte Dauerlinie.

Der mit Beton hintergossene Stahltrug der ursprünglichen Schnecke mit 2500 mm Durchmesser wäre nur mit sehr großem baulichen Aufwand zu entfernen gewesen. Daraus folgte eine „Trog-in-Trog“-Lösung als

effizientester Umbau, für den seitens des Schneckenherstellers der maximale WKS-Durchmesser mit 2100 mm angegeben wurde. Mit dem zugehörigen Auslegungsdurchfluss von 1,8 m³/s, der durch die Drehzahlregelung und Überstau auf ca. 2,1 m³/s gesteigert werden kann, war ein wirtschaftlich sinnvoller Ausbau möglich.

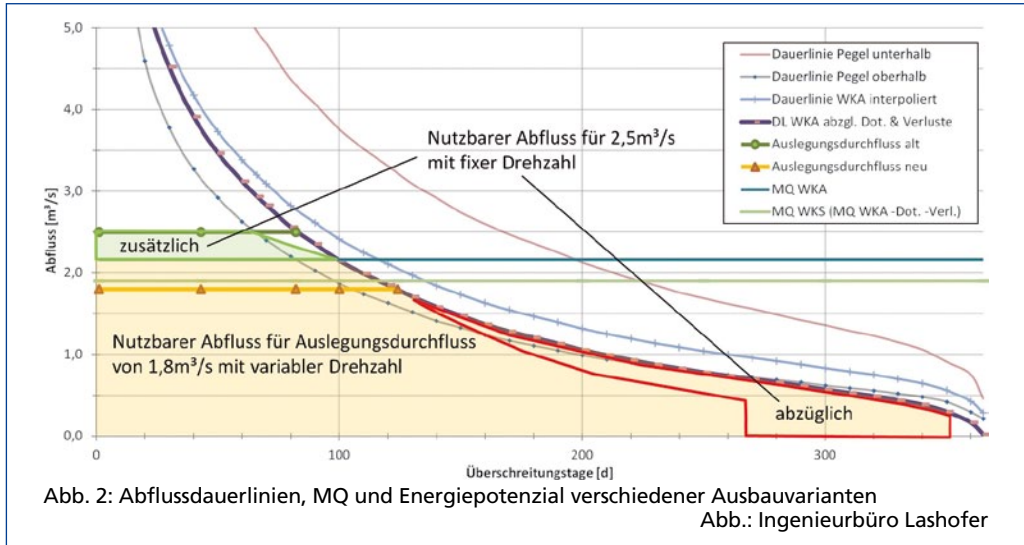
Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, in der die Erträge über das Regelarbeitsvermögen der einzelnen Ausbauvarianten errechnet und den Investitionskosten gegenübergestellt wurden. Die Wartungs- und Ersatzteilkosten verhalten sich analog der Investitionskosten. Die nutzbare Fallhöhe wird je nach gewähltem Ausbaudurchfluss beschränkt, da die Fallhöhenverluste im 1,27 km langen Ausleitungsergrinne mit dem Durchfluss steigen.

In Abb. 2 sind die unterschiedlichen Dauerlinien sowie näherungsweise der nutzbare Abfluss für die Energieerzeugung ersichtlich. Die Fallhöhenvariabilität wird in dieser Darstellung vernachlässigt und der Wirkungsgradverlauf über die Abweichung von der Dauerlinie angenähert.

Die zusätzliche Erzeugung der ursprünglichen Wasserkraftschnecke bei hohen Abflüssen wurde grün hinterlegt, die verminderte Erzeugung bei geringer Wasserführung ist rot gekennzeichnet. Die Abweichungen von der Dauerlinie für die hinterlegten Flächen wurden gewählt, um die Einbußen durch deutlich verminderte Wirkungsgrade

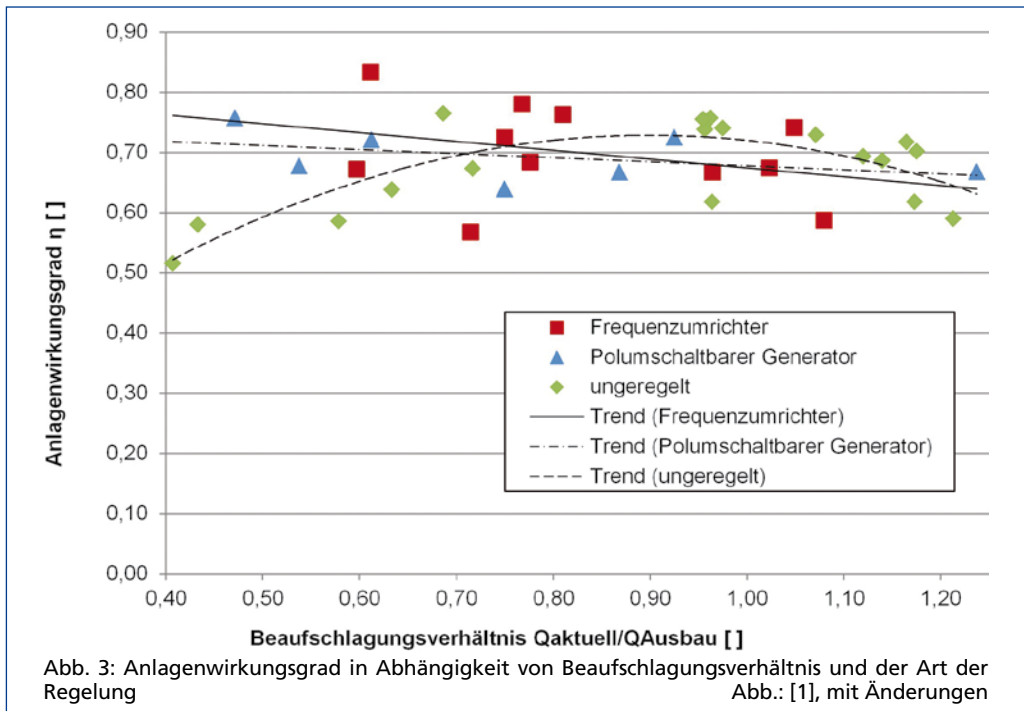
Tabelle 1: Vergleich unterschiedlicher Ausbauvarianten in Hinblick auf Durchfluss und Regelart

	Ausbau alt	mittlerer Ausbau	
Ausbau-Q Kraftwerk, m³/s	2,5	2,15	1,8
Fixdrehzahl			
max. Leistung, kW	47,8	44,3	38,4
Jahresarbeitsvermögen, kWh	143 000	152 000	153 000
Investitionskosten	höchste	mittlere	geringste
Ertrag	gering	hoch	hoch
variable Drehzahl			
max. Leistung, kW	48	44,4	37,2
Jahresarbeitsvermögen, kWh	230 000	226 000	216 000
Investitionskosten	höchste	mittlere	geringste
Ertrag	höchster	mittlerer	geringster
			Ausbau neu!



bei fixer Drehzahl zu kennzeichnen. Diese typspezifischen Wirkungsgrade wurden 2010 in einem Forschungsprojekt der Universität für Bodenkultur, Wien, ermittelt und sind in Abb. 3 dargestellt. Die Wirkungsgrade zeigten für jede der 14 gemessenen Anlagen gleichmäßige Verläufe. Die große vertikale

Streuung der Wirkungsgrade ergibt sich durch unterschiedlich „gute und schlechte“ Anlagen. Inzwischen hat sich die Effektivität der Anlagen nach oben angeglichen und es gibt mehr gute Anlagen mit geringerer Streuung. Einzelne schlechte Anlagen gibt es jedoch nach wie vor.



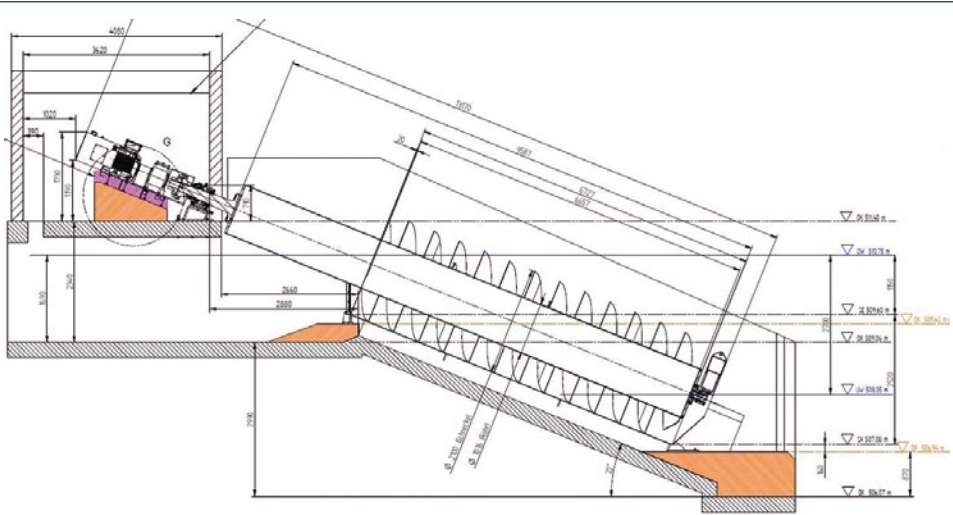


Abb. 4: Zusätzliche Sockel (orange) für geänderte Wasserkraftschnecke 2019
 Werkszeichnung des Herstellers, mit Änderungen

Aufgrund der eingeschränkten Möglichkeiten im Bestand wurde die „Trog-in-Trog“-Lösung über zusätzliche Sockel in den bestehenden Stahlbetontrog gesetzt (Abb. 4). Die

Auflager wurden dazu an den kleineren Schneckendurchmesser und die korrekte Höhenlage der Schnecke angepasst. Um die schwingungsarme Auflage des Abtriebs-

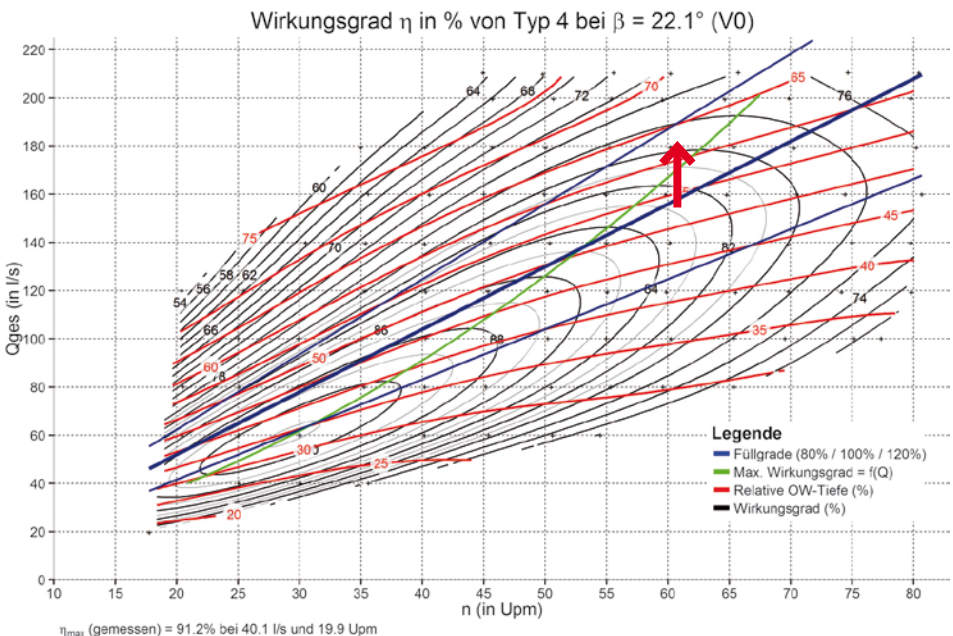


Abb. 5: Beispielhaftes Wirkungsgrad-Muscheldiagramm einer Wasserkraftschnecke aus Laborversuchen der BOKU Wien mit Füllgradkurven und Zulaufhöhen (Pfeil zeigt die Veränderung durch Überwassernutzung) [2]

stranges sicherzustellen, wurde der metallene Getriebestuhl gegen einen massiven Stahlbetonsockel ersetzt (Detail G in Abb. 4).

Da die Anlage an einem Ausleitungskanal liegt und der Wehrwasserspiegel autonom geregelt wird, ist der Oberwasserspiegel direkt am Kraftwerk variabel. Durch die Drehzahlregelung über einen Frequenzumrichter können Drehzahlen im Bereich von 20 bis 115% der Nenndrehzahl realisiert werden. Dieser Umstand wird in der Neuauslegung in Kombination mit einem adaptiven Oberwasserspiegel genutzt. Mittels des angepassten Wasserspiegels können in beiden Extremsituationen merklich höhere Leistungen erzielt werden. Durch die neue Steuerung konnte die Anlage mit individuellen Zusatzprogrammen zur automatischen Spülung und zur Anpassung des Oberwasserspiegels weiter automatisiert werden.

Aufgrund der Absenkung des Wasserspiegels wird die Schluckmenge verringert. Dadurch muss im Niederwasserfall die Drehzahl deutlich weniger weit reduziert werden als bei einem konstanten, mittleren Wasserspiegel und es werden folglich höhere Teillastwirkungsgrade erreicht. Damit steigt bei Wasserkraftschnecken die Leistung trotz bzw. wegen niedrigerer Oberwasserspiegel. Bei der Überwassernutzung werden der Wasserspiegel und damit die Anströmhöhe erhöht und durch den vergrößerten Querschnitt läuft mehr Wasser in die Schnecke. Das folgende Überlaufen über das Zentralrohr in die darunterliegende Kammer ergibt einen leicht reduzierten Wirkungsgrad. Gleichzeitig werden jedoch durch die Erhöhung der zur Verfügung stehenden hydraulischen Energie (Durchfluss) Mehrleistungen bis 12% erzielt (Abb. 5).

Das korrodierte und notdürftig an den Dauerbetrieb angepasste Zulaufschütz musste ersetzt werden. Das ebenfalls erneuerte Leerschussschütz (Abb. 6b) wurde geteilt ausgeführt und vermindert in Kombination mit einem Schwimmbaum den Rechenreinigungsaufwand spürbar. Das verbleibende Rechengut kann auch über die neue Wehrklappe (Abb. 6a) abgegeben werden, welche die Abfuhr des Triebwassers im Störungsfall sicherstellt.

Zuvor hatte der „Entenschnabel“ (Abb. 6c), eine rechteckige Ausbuchtung vom Ober- ins Unterwasser, analog einem einzelnen Piano-Key des gleichnamigen Wehres, diese Funk-



Abb. 6a: Wehrklappe mit Dotation



Abb. 6b: Schwimmbaum und Leerschussschütz



Abb. 6c: „Entenschnabel“ mit Erhöhung
Fotos: Ingenieurbüro Lashofer

tion, aber in den langen Stehzeiten kam es durch die hohe Lärmbelastung des Überfalls immer wieder zu Problemen mit den Anwohnern. Deshalb wurde vom Betreiber der Anlage der Wunsch nach einer Klappe eingebracht und diese konnte im Planungsprozess um die mittige Dotation für den unteren Mühlgraben erweitert werden.

Zum Personenschutz, für den Vereisungsschutz der Wasserkraftschnecke und um den sensibilisierten Anwohnern weiter entgegenzukommen, wurden zusätzliche Schallschutzmaßnahmen getroffen. Dazu wurden die Schnecke mit Holzbohlen eingehaust, am Auslauf ein Kunststoffvorhang (Abb. 7a) und im Innenbereich gegen die hochfrequenten Generatorgeräusche schalldämmendes Material angebracht (Abb. 7b).



Abb. 7a: Schallschutz außen



Abb. 7b: Schallschutz innen
Fotos: Ingenieurbüro Lashofer

4. Zusammenfassung

Bereits 2010 wurde in Oberfranken eine Wasserkraftschnecke in Betrieb genommen. Durch Fehler in der Planung, der Regelauswahl und bei der örtlichen Bauaufsicht kam es zu zahlreichen Problemen mit der Technik und mit Anwohnern. Deshalb stand das Kraftwerk über weite Strecken still.

Der Verfasser wurde 2018 als dritter Gutachter, nach zahlreichen Beratern, zu dem Projekt hinzugezogen. Folglich konnte im anhängigen Gerichtsprozess endlich ein zufriedenstellender Vergleich geschlossen werden. Die Planung und Bauaufsicht für den Umbau sowie die nachfolgende Betriebsoptimierung wurden beim Verfasser in Auftrag gegeben. Die erneute Inbetriebsetzung im Herbst 2019 war durch die belastete Vorgeschichte erschwert, verlief aber erfolgreich.

Kleinwasserkraftwerk Eger

Ausleitungs-Laufwasserkraftwerk	
Baujahr 2010, Umbau 2019	
Lage: Oberfranken/Bayern auf 500 m Seehöhe	
Bruttofallhöhe	2,8 m
Ausbaudurchfluss	1,8 m ³ /s
Abfluss	0,2–76 m ³ /s
Leistung	39 kW
Schneckendurchmesser	2,1 m
Gesamtkosten	ca. 450 000 Euro
Jahresproduktion	ca. 200 000 kWh
Versorgung	ca. 60 Haushalte
Pegelregelung über Frequenzumrichter	

Jetzt, nach zehn Jahren, da das Kraftwerk zusätzlich zum Umbau der Turbine und des Abtriebsstranges für eine 40-kW-Anlage stark automatisiert wurde, ist das Projekt zum Erfolg geworden – und der Betreiber ist zufrieden mit seinem Kraftwerk.

5. Referenzen

1. Lashofer, A., et al.: Wie gut bewährt sich die Wasserkraftschnecke in der Praxis. – WasserWirtschaft 7/8, 2011
2. Lashofer, A., et al.: Betriebsbereiche und Wirkungsgrade der Wasserkraftschnecke. – WasserWirtschaft 7/8, 2013