

Ingenieurbüro für Hydraulik
und Hydrometrie
Dr.- Ing. R. Hassinger

Bürogemeinschaft für fisch- und gewässerökologische Studien
Marburg – Frankfurt
Büro Marburg

Dr. Reinhard Hassinger & Dr. Dirk Hübner

Erläuterung der Maßnahmen für Fischschutz und Fischdurchgängigkeit an der Wasserkraftanlage Kirschhofen / Lahn

**im Auftrag der
ELIKRAFT AG
34582 Borken-Dillich**

Habichtswald, Sept. 2022

Inhalt

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | Anlass und Überblick | 4 |
| 2 | Fischaufstieg | 4 |
| 2.1 | Vorbemerkungen | 4 |
| 2.2 | Kontrolle des Abflusses der FAA im Jahr 2020..... | 4 |
| 2.3 | Ertüchtigungsmaßnahmen am Auslaufteil des Fischaufstiegs..... | 5 |
| 2.4 | Anpassung an höhere Oberwasserstände | 6 |
| 2.4.1 | Normaler Zustand bei größerer Überfallhöhe am Wehr (Sicherstellung des Restabflusses)..... | 6 |
| 2.4.2 | Zustand bei höheren Abflüssen in der Lahn | 6 |
| 3 | Fischschutz und Fischabstieg | 8 |
| 3.1 | Vorbemerkungen | 8 |
| 3.2 | Überblick | 8 |
| 3.3 | Rechen..... | 9 |
| 3.3.1 | Anströmgeschwindigkeit | 9 |
| 3.3.2 | Technik des Rechens und der Reinigung | 10 |
| 3.4 | Aalabstieg..... | 11 |
| 3.4.1 | Konzept | 11 |
| 3.4.2 | Beschreibung der Systemteile | 11 |
| 3.4.3 | Hydraulische Berechnung..... | 13 |
| 3.4.4 | Spülung der Einstiegsöffnungen | 14 |
| 3.5 | Fischabstieg..... | 14 |
| 3.5.1 | Zielsetzung und Konzept..... | 14 |
| 3.5.2 | Unterstützung der Fische bei der Suche nach dem Abstiegskorridor | 15 |
| 3.5.3 | Übergang in das Abstiegs-Bypasssystem | 15 |
| 3.5.4 | Bestehender Bypasskanal..... | 16 |
| 3.5.5 | Neue Verlängerung der Abstiegsrinne als aufgeständerte, doppelt kippbare Blechrinne | 17 |
| 3.5.6 | Hydraulik und Sicherung günstiger Fließbedingungen im Fischabstiegskanal | 20 |
| 3.5.7 | Übergang in das Unterwasser..... | 21 |
| 3.5.8 | Betrieb der Unterwasserschützen | 22 |
| 3.5.9 | Ablauf bei einer Rechenreinigung mit Spülung..... | 22 |
| 3.5.10 | Weitere Hinweise | 23 |
| 4 | Maßnahmen zur Sicherstellung des Restabflusses..... | 24 |
| 5 | Kostenschätzung..... | 25 |
| 6 | Quellennachweis..... | 27 |

Verzeichnis der Abbildungen:

Abb. 1: Ausstattung des Fischpasseinlaufs mit zusätzlichen und oberflächennahen Rauheiten

Abb. 2: Grundriss des Zulaufbereiches mit Aalabstieg und Blenden auf Rechen

Abb. 3: Aufgeständerte, doppelt kippbare Abstiegsrinne

Abb. 4: Grundriss der beweglichen Abstiegsrinne

Abb. 5: Querschnitt durch die bewegliche Abstiegsrinne (schwenkbarer hinterer Teil)

Abb. 6: Doppelkipprinne bei der Rechenreinigung

Verzeichnis der Tabellen:

Tabelle 1: Ergebnisse der hydraulischen Berechnung des Aalabstiegssystems

Tabelle 2: Kostenzusammenstellung

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Tabelle zur Berechnung des Aalabstiegs

Anhang 2: Tabelle und Grafik zur Berechnung der Abflusskurve im gewählten Trapezprofil

Anhang 3: Spiegellinienverlauf in der ansteigenden Abstiegsrinne mit Hochpunkt am Ende

Anhang 4: Berechnung der Wurfparabel für Absturz in das Unterwasser

1 Anlass und Überblick

Im Zuge des wasserrechtlichen Antrages zum Weiterbetrieb der Wasserkraftanlage Kirschhofen/Lahn sind Maßnahmen zur Verbesserung des Fischschutzes und der Fischdurchgängigkeit geplant. Da der Rechen selber hinsichtlich Stabform und Stababstand den aktuellen Anforderungen weitestgehend entspricht, konzentrieren sich diese Maßnahmen auf folgende Aspekte

- Ertüchtigung des Fischaufstiegs
- Nachrüstung eines Aalabstiegs
- Unterstützung der Fische vor dem Rechen
- Ermöglichung eines permanenten Fischabstiegs über das Kraftwerk
- Maßnahmen zur Sicherstellung des Restabflusses

2 Fischaufstieg

2.1 Vorbemerkungen

Der seit 2010 in Betrieb befindliche Fischpass nach dem Konzept des Borstenpasses mit gruppierten Borstenriegeln nutzt eine recht schmale Rinne entlang des Kraftwerksgebäudes, in der früher ein Denil-Pass eingebaut war. Diese Rinne wurde mittels einer unterstrom des Bauwerks fortgesetzten, gefalteten Rinne aus Edelstahlblech verlängert und so im Gefälle stark reduziert. In einer Aufweitung im mit Beton eingefassten Rinnenbereich ist der neue Fischpass gefaltet.

Diese Bauweise führt bei engen Platzverhältnissen zu sichtbar ruhigen Strömungsverhältnissen und akzeptablen Aufstiegszahlen, so dass der Pass nicht grundsätzlich geändert werden soll, auch wenn die im nach seinem Bau erschienenen Merkblatt DWA-M 509 geforderten Abmessungen aufgrund der beengten Situation im Baubestand nicht eingehalten sind. Es verbleiben allerdings noch einige Punkte, die zukünftig Ertüchtigungsmaßnahmen erfordern:

- Keine stabile und dauerhafte Sohlbindung: Hierfür wurden bereits Konzepte mit verbesserter Verankerung nach unten mit der Aufsichtsbehörde abgestimmt.
- Eingeschränkte Auffindbarkeit des Einstiegs bei hohen Unterwasserständen
- Änderung der hydraulischen Situation infolge Wasserstandsänderungen im Oberwasser.

Im Folgenden werden diese Maßnahmen erläutert.

2.2 Kontrolle des Abflusses der FAA im Jahr 2020

Im Sommer 2020 wurden im Fischpass insgesamt acht Abflussmessungen nach der Salzverdünnungsmethode durchgeführt. Dazu wurde das Gerät SalinoMADD (Hersteller MADD Technologies, Schweiz) verwendet. Die erhobenen Daten sind detailliert im Gutachten HÜBNER&HASSINGER 2020 zusammengestellt. Das Ergebnis ist wie folgt zusammenzufassen:

- a) Durch die Wartung und die geschilderte Störkörperentnahme erhöhte sich der Abfluss auf deutlich über 200 l/s.
- b) Der Mittelwert für den Zustand nach der Reinigung liegt bei 206 l/s. Dies war unabhängig davon, ob die Extremwerte berücksichtigt wurden oder nicht.
- c) Dieser Durchschnittswert liegt im Bereich des Bemessungswerts von 210 l/s (siehe Anhang 1).
- d) Aus der Durchflussmessung ergibt sich kein Anlass einer baulichen Maßnahme zur Verbesserung des Durchflusses.
- e) Es ist erforderlich, die FAA regelmäßig und bei Bedarf zusätzlich zu warten.

Wenn allerdings in Zukunft zur Sicherstellung des Restabflusses über das Wehr in die Ausleitungsstrecke ein höherer Oberwasserstand zu fahren ist, dann wird auch die Einlaufhöhe in den Fischpass zunehmen. Diese würde ohne Gegenmaßnahmen zu einem erhöhten Durchfluss führen, der die hydraulische Belastung der Borsten auf Dauer steigert. Um den Durchfluss auf den Bemessungswert zu begrenzen, darf jedoch nicht das Einlaufschütz verwendet werden (s.o.). Vielmehr sollten mit zusätzlichen Borstenmodulen, die direkt hinter dem Schütz an Sohle und Wand geschraubt werden, die Reibung und die Verluste so erhöht werden, dass der zusätzliche Aufstau hier durch zusätzlichen Höhenabbau kompensiert wird (siehe auch 3.6.2).

2.3 Ertüchtigungsmaßnahmen am Auslaufteil des Fischaufstiegs

Bereits im Jahr 2012 nach der Funktionskontrolle wurden Maßnahmen zur Verbesserung der Auffindbarkeit und damit zur Vermeidung eines Sackasseneffekts vorgeschlagen (HÜBNER 2013). Diese sind bisher teilweise umgesetzt worden, ihr Effekt wurde bislang aber nicht durch eine weitere Funktionskontrolle überprüft. Folgende Maßnahmen können zu einer weiteren Verbesserung der Situation am Fischaufstieg beitragen und sind bei der Umsetzung der Gesamtmaßnahme an der WKA vorgesehen:

1. Bau eines neuen Sohlanschlusses.

Der Sohlanschluss im Einstiegsbereich der FAA wird neu geplant und installiert. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass diese in der Vergangenheit schon einmal realisierte Konstruktionsweise mit einer an den Fischpass angehängten Rampe den Turbulenzen aus dem Turbinenauslauf in Kombination mit höheren Abflüssen in der Lahn nicht standhalten konnte. Deshalb sind Bauweisen zu wählen (Betonanker, Verankerung mit Erdschrauben, etc.), die eine ausreichende Stabilität gewährleisten.

2. Verbesserung der Auffindbarkeit bei hohen Unterwasserständen. Problematisch ist, dass bei hohen Unterwasserständen der mit niedrigen Seitenwänden eingefasste Fischpass überstaut wird und damit der Durchfluss diffus und verteilt über die Wand austritt. Er wird damit nur eingeschränkt als Lockstrom wirksam. Als Gegenmaßnahme wurde bereits ein zweiter Einstieg realisiert, der mittels Schwimmer geöffnet wird, wenn der Unterwasserspiegel eine Höhe überschreitet, bei der die Auslaufgeschwindigkeit nicht zu groß ist. Da dieser zweite Einstieg bei Wasserständen

oberhalb der Seitenwand stark an Wirkung einbüßt und somit nur in einem schmalen Höhenbereich optimal funktioniert, sollte das Überlaufen durch eine Erhöhung der Seitenwand verhindert werden. Bei der Festlegung des Aufsatzes auf die Seitenwände sind statische und betriebliche Gesichtspunkte (Belastungen aus Makroturbulenz, Verklauungsneigung) zu beachten.

2.4 Anpassung an höhere Oberwasserstände

2.4.1 Normaler Zustand bei größerer Überfallhöhe am Wehr (Sicherstellung des Restabflusses)

Wenn in Zukunft eine Erhöhung des Mindestwasserabflusses über das Wehr in die Ausleitungsstrecke umgesetzt wird, dann ist das nur durch eine Erhöhung der Überfallhöhe am oberen Wehr möglich. Der Turbinenregler wird demnach über die Betriebsweise „Wasserstandsregelung“ für den Wasserstand am Drucksensor 1 (Nähe Inselspitze) den Oberwasserstand in einem engen Bereich halten müssen, solange der Lahnafluss kleiner ist als das Schluckvermögen der WKA (siehe HÜBNER & HASSINGER 2020).

Dadurch wird auch die Einlaufhöhe in den Fischpass zunehmen und hätte somit einen erhöhten Durchfluss zur Folge. Ohne Anpassungen des Bestandes würde dieser erhöhte Durchfluss die hydraulische Belastung der Borsten steigern und auf Dauer überfordern. Das Einlaufschütz darf jedoch keinesfalls verwendet werden, um den Durchfluss zu begrenzen. Vielmehr sollte mit zusätzlichen Borstenmodulen, die oberstrom des Schützes auf die Sohle und die Wände geschraubt werden, ein zusätzlicher Höhenabbau erzeugt werden. Man kann davon ausgehen, dass pro Borstenriegel eine Höhe von 5 cm abgebaut werden kann. Damit sollten zwei Riegel ausreichen, die veränderten OW-Stände zu kompensieren. Damit liegen hinter dem Schütz und im gesamten Fischpass annähernd die gleichen Wasserstände und der gleiche Durchfluss vor, wie sie bisher bei sommerlichen Zuständen waren. Dieser Durchfluss wurde bereits mittels der in Kap. 2.2 beschriebenen Kontrollmessungen bestätigt. Eine leichte Vergrößerung wird sich im Mittelteil durch den Zufluss aus dem Aalabstieg ergeben. Dieser Durchflusssanstieg liegt aber im Bereich der normalen Bemessungsunsicherheiten.

2.4.2 Zustand bei höheren Abflüssen in der Lahn

Die Beobachtungen, u.a. auch am 22.02.2021, haben gezeigt, dass der Durchfluss im Fischpass zu groß wird, wenn der Oberwasserstand steigt, weil der Lahndurchfluss das Schluckvermögen des Kraftwerks übersteigt und somit erhebliche Abflüsse über das Wehr fließen müssen, was mit ansteigenden Überfallhöhen verbunden ist. Dies führt auch gegenüber Normalzuständen zu deutlich höheren Einlaufhöhen in den Fischpass. Wie beschrieben, darf das Schütz nicht zur Abflussbegrenzung eingesetzt werden, weil der Fischpass dann infolge des entstehenden Engpasses mit hohen Geschwindigkeiten nicht mehr passierbar ist und quasi außer Betrieb genommen wird.

Die Folgen sind einerseits eine hydraulische Überlastung (s.o.) und andererseits ein Überschießen des oberflächennahen Strahls (Strahl über den Borsten) in der Umlenkung nach links direkt nach dem Austritt des Fischpasses aus dem Betonbauwerk.

Eine zuverlässig wirkende, vergleichsweise einfache Gegenmaßnahme kann darin bestehen, direkt über den normalen Wasserspiegel im Bereich vor und nach dem Schütz eine mit Borsten bestückte Platte (z.B. GfK-Gitterrost) zu hängen, deren raue Seite nach unten weist. Im Normalzustand berührt das Wasser diese zusätzliche raue Fläche nicht und die Hydraulik entspricht dem bisherigen, nachgewiesenen Zustand. Wenn der WSP aber steigt, wird die extrem raue Abdeckung benetzt und beteiligt sich am Widerstand der Fischpasseinbauten. Dadurch wird der Gradient der Drucklinie deutlich steiler und der Durchfluss nimmt trotz höherer OW-Stände kaum zu. Die Abdeckung verlängert quasi die Borsten nach oben, so dass diese nicht überströmt werden können. Der Durchfluss nimmt nur so zu, wie es dem Flächenzuwachs entspricht. Auf diese Weise wird im Bereich dieser Abdeckung von oben die zusätzliche Energiehöhe infolge hoher Oberwasserstände abgebaut. Der Durchfluss im Fischpass nimmt nur geringfügig zu und die Fließgeschwindigkeiten liegen trotz steilerem Gradienten in einem Bereich, der eine Fischpassage ermöglicht.

Diese raue Abdeckung könnte aus einem Gitterrost aus GfK bestehen, an dem Borstenmodule angeschraubt sind. Er sollte zudem zweiteilig sein; vor dem Schütz sollte ein etwa 1 m langes Stück und hinter dem Schütz ein etwa 3 m langes Stück installiert werden. Dabei sollte eine gewisse Flexibilität in der Höhe ermöglicht werden, denn diese ist nötig, um das Einsetzen der zusätzlichen Rauheit in die Strömung zu steuern. Dazu sollten an die Fischpasswand Winkelkonsolen angeschraubt werden, an denen die Abdeckung mit Edelstahl-Gewindestangen höhenverstellbar befestigt werden kann (Abb. 1).

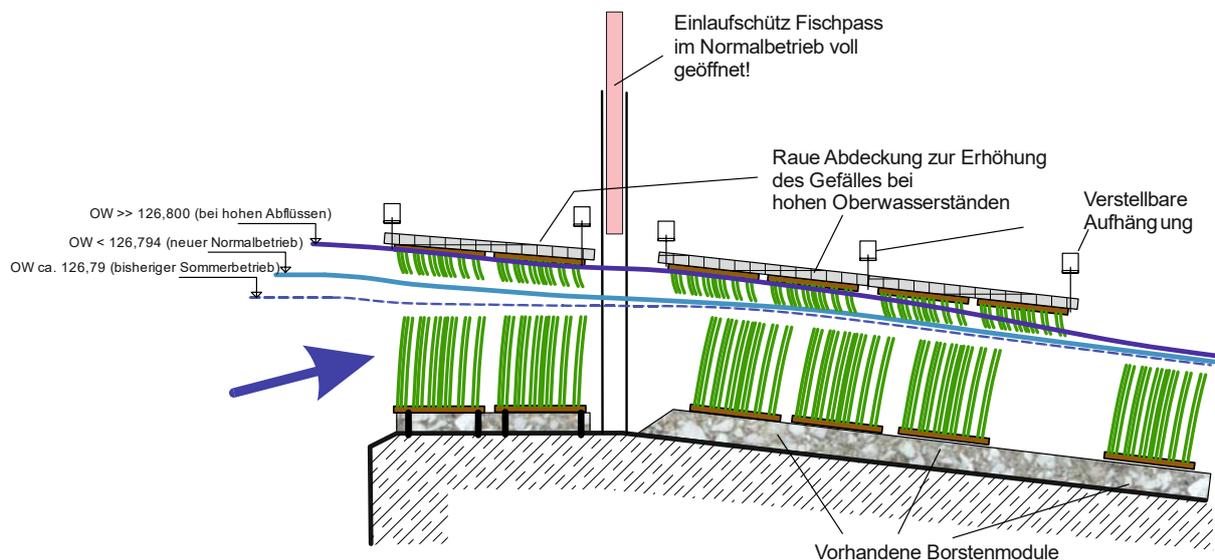


Abb. 1: Ausstattung des Fischpasseinlaufs mit zusätzlichen und oberflächennahen Rauheiten (Borsten an Gitterrosten).

3 Fischschutz und Fischabstieg

3.1 Vorbemerkungen

In dem Dokument zur Bewertung von Fischschutz und Fischdurchgängigkeit [Hübner/Hassinger 2020] wurden die sonst häufiger realisierten Konzepte, wie horizontaler, schräger Leitrechen oder flach geneigter Rechen für den Standort WKA Kirschhofen als deutlich zu aufwändig und praktisch nicht umsetzbar beschrieben. Die Geometrie, die Hydraulik und der bauliche Bestand bieten jedoch das Potential, mit angepassten Maßnahmen den Fischschutz deutlich zu steigern und einen leichten und raschen Fischabstieg zu ermöglichen. Dabei fließt der aktuelle Erkenntnisstand aus der Arbeitsgruppe der DWA WW 7.1 Fischschutz und Fischabstieg ein, da der Verfasser Mitglied dieser Arbeitsgruppe ist.

Die Maßnahmen umfassen folgende Einzelpunkte:

- Spezieller Aalabstieg
- Unterstützung der Fische bei der Suche nach dem Abstiegskorridor
- Einstellung der hydraulischen Verhältnisse im Bypassgerinne
- Führen der Fische über die UW-seitige Schützenanlage und Ableiten in das tiefe Wasser

Diese Maßnahmen müssen immer im Hintergrund berücksichtigen, dass wegen des Fehlens eines Grobrechens sehr grobes Rechengut (Baumstämme!) anfallen kann, welches filigran gebaute Komponenten leicht zerstören kann. Die Reinigungsmaschine kann sehr große Kräfte aufbauen, so dass in ihrem Arbeitsbereich keine Veränderungen möglich sind.

3.2 Überblick

Im Einzelnen umfasst das gesamte Konzept für Fischschutz und Fischabstieg folgende Komponenten:

- a) Feinrechen mit 15 mm Stababstand mit 75 Grad Neigung zur Sohle (Bestand),
- b) Aalabstieg auf der Sohle mit Anschluss an den Fischpass
- c) Erzeugung von helfendem Strömungsschatten und Leiteinrichtung von der Sohle zum Wasserspiegel in Form von Borstenriegeln auf beiden Seiten der getrennten Zulaufkanäle,
- d) Abstieg über Rechenkrone in Sammelrinne: Mittels aufgesetzter Blenden in der Mitte werden seitlich in Verbindungsgerinnen höhere Strömungsgeschwindigkeiten erzeugt.
- e) Erzeugung einer Abflusskontrolle im Bypasskanal mittels einer höhenmäßig verstellbaren Metallrinne als Verlängerung des derzeitigen Bypasskanals,
- f) Absturz über die vorhandenen UW-Schütztäfel hinweg in das maximal tiefe Unterwasser.

Nachstehend werden die einzelnen Komponenten im Detail erläutert.

3.3 Rechen

3.3.1 Anströmgeschwindigkeit

Mit den eingangs genannten Daten zu Kraftwerk und Rechen errechnet sich gemäß Gutachten HÜBNER & HASSINGER 2020 eine maximale Anströmgeschwindigkeit von 0,71 m/s. Die Rechenfläche beträgt jeweils ca. 26,5 m². Es wurde in jenem Dokument auch dargelegt, dass wegen des vergleichsweise hohen Ausbaugrades die Vollaustung des Wasserkraftwerks nur für eine relativ kurze Zeit im Jahr gegeben ist. Folgende Verhältnisse wurden im Gutachten HÜBNER & HASSINGER 2020 anhand hydrologischer Kennzahlen des Pegels Leun ausgearbeitet:

- An durchschnittlich 229 Tagen im Jahr bleibt die Turbinenbeaufschlagung so gering, dass eine Anströmgeschwindigkeit von 0,50 m/s unterschritten wird. Bei zunehmendem Kraftwerkszufluss ist es bezüglich Fischschutz günstig, wenn bei Überschreitung von 13,6 m³/s zur ersten Turbine die zweite Turbine zugeschaltet wird. Bei Überschreitung von 27,2 m³/s Gesamtzufluss würden dann die Turbinen gleichförmig hochgefahren werden, um die Zuflussgeschwindigkeit gleichverteilt und damit kleinstmöglich zu halten. Ob es bei einem Zufluss zwischen 13,6 und 27,2 m³/s günstiger ist, beide Turbinen gleich auszulasten oder den Durchfluss ungleich einzustellen, entscheidet sich anhand der Wirkungsgrade bzw. der bestmöglichen Stromerzeugung.
- An durchschnittlich 100 Tagen im Jahr könnten die Turbinen hinsichtlich Wasserverfügbarkeit auf Vollast laufen, so dass die Anströmgeschwindigkeit bei 0,71 m/s läge. In der Realität ist dieser Zeitraum aber nicht vollständig für Vollastbetrieb nutzbar.
- In dem Zeitraum dazwischen nimmt die Anströmgeschwindigkeit linear mit dem Durchfluss durch die Turbine zu. Die Erhöhung von 13,6 auf 19,0 m³/s je Einzelturbine entspricht einer Erhöhung der Anströmgeschwindigkeit von 0,50 auf 0,71 m/s.
- Die Anzahl der Tage mit Anströmgeschwindigkeiten zwischen 0,50 und 0,71 m/s liegt bei 265 – 229 = 36 Tagen.
- Durch den Klimawandel werden die Abflussverhältnisse in Zukunft ungleichförmiger. Das heißt, dass es eine Tendenz zu einer Verlängerung der jährlichen Zeit mit $v < 0,500$ und einer Verkürzung der Vollastzeit mit noch geringem Abfluss über das Wehr gibt.

Die Überschreitung der allgemein als Bemessungsvorgabe für neue Anlagen verwendeten Anströmgeschwindigkeit von 0,500 m/s für den genannten relativ kurzen Zeitraum pro Jahr ist aufgrund der nachstehend beschriebenen abmildernden Wirkungen und unterstützenden Maßnahmen als akzeptabel anzusehen:

- Durch die Überstauhöhe (ca. 36 cm) der Rechenoberkante ist in kurzem Abstand vor dem Rechen die Fließgeschwindigkeit deutlich kleiner.
- Durch die Erhöhung der Oberwasserstände zur Sicherstellung einer für den Restabfluss ausreichenden Überfallhöhe am festen Wehr nimmt die durchflossene Fläche in geringem Abstand weiter zu.

- Bei extremen Abflüssen wird das Kraftwerk abgestellt, da die Fallhöhenminderung und die Zunahme an Treibzeug den wirtschaftlichen Betrieb beeinträchtigen. Der Fischabstieg erfolgt dann über das Wehr.
- Durch den zukünftig höheren Restabfluss verschiebt sich die Aufteilung des Abflusses und auch der wandernden Fische gegenüber bisher deutlich zur Restabflusstrecke. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fisch in diesen Korridor gelangt, ist damit zukünftig höher.
- Bei Überschreitung des Schluckvermögens fließt der gesamte restliche Abfluss über das Wehr ab. Damit verschiebt sich das Abflussverhältnis weiter zum Wehr.
- Bei Extremabflüssen wird das Kraftwerk wegen unzureichender Fallhöhe und extremem Treibgutanteil abgestellt. Dann erfolgt der Abstieg praktisch nur über die Ausleitungsstrecke.
- Bisher wurde die Klappe im Bypasskanal, die dann den Fischabstieg freigibt, nur geöffnet, wenn die Rechenreinigung lief, was bei sauberem Wasser nur wenige Male am Tag passierte. In Zukunft wird der Rechen weiterhin nur bei Bedarf laufen, der Abstiegskorridor ist aber permanent geöffnet und durchflossen.
- Der Aufenthalt im Suchbereich vor dem Rechen wird durch den Strömungsschatten hinter dem Aalabstieg und Borstenriegel an den Seitenwänden erleichtert.
- Im Vorfeld der Rechen sind diverse Strömungsablösungen vorhanden, so dass Fische, die gegen die Strömung ausweichen wollen, genügend Möglichkeiten haben, Zonen mit geringem Geschwindigkeitsniveau zu erreichen.

3.3.2 Technik des Rechens und der Reinigung

Der Rechen wurde vor wenigen Jahren erneuert und mit profilierten Stäben mit einem Abstand von 15 mm versehen. Das Profil ist so geartet, dass die Reinigung zuverlässig arbeitet und nicht zunehmende Verlegungen zu befürchten sind, wie es früher mit dem alten Rechen (Rechteckstäbe) der Fall war. Damit bleiben die Verlusthöhen im Rahmen, welche die Auflagekraft von Fischen auf dem Rechen maßgeblich bestimmen.

Die Vorderkante der Rechenstäbe ist abgerundet und wird durch die darüber abgestreiften Rechengutwülste auch immer glatt gehalten. Sollten Fische die Rechenfläche berühren, geht von den Stäben keine Gefahr aus.

Die Reinigung fährt relativ langsam, so dass Fische leicht ausweichen können.

Damit ist der Rechen auf einem vergleichsweise guten, aktuellen Stand und wird durch die Maßnahmen weiter hinsichtlich Fischschutz verbessert.

3.4 Aalabstieg

3.4.1 Konzept

Es ist vorgesehen, vor dem Rechenfuß einen Aalabstieg nach dem Prinzip des Zickzackrohrs der Firma Klawa GmbH anzuordnen. Das Rohr liegt auf der geneigten Sohle quer direkt zwischen Schütz und Rechenfuß. Wegen der beengten Verhältnisse ist dort die Anordnung eines sonst üblichen Borstenriegels vor dem Aalabstieg nicht möglich und auch nicht notwendig, weil der untere Teil der Wassersäule vor dem Rechen geringer durchströmt ist..

Bei einer Breite von 5,70 m sollte das Zick-Zack-Rohr jeweils 4 Schenkel erhalten, wobei die 4 Schenkel genügend Platz zur Mittelwand lassen, dass dort ein Rohrstück mit Quetschventil als Absperrarmatur eingebaut werden kann. Dieses Ventil kann dann mit Pressluft verschlossen werden, wenn einer der Turbinenzuläufe trockengelegt werden soll, während der andere in Betrieb bleibt.

Das Abgangsrohr des Aalabstieg wird über einen Bogen in die Vertikale geführt. Es verläuft vor der linken Wand des linken Turbinenzulaufs bis in eine Höhe knapp über dem Wasserspiegel des jenseits der Wand vorbeifließenden Fischpasses (Abb. 2). Dort wird das Rohr in die Horizontale umgelenkt, durchquert die Wand zwischen Kraftwerkszulauf und Fischpass mittels einer Kernbohrung, wird über dem Fischpass mit einem Krümmer in die Richtung des Fischpasses umgelenkt und endet dann mit einem Rohrstutzen über dem Wasserspiegel des Fischpasses. In diesem Rohrstutzen ist dann ein zweites Quetschventil DN 150 vorgesehen, das zur Spülung des Zick-Zack-Rohres dient.

3.4.2 Beschreibung der Systemteile

Beginnend an der orografisch rechten Seite besteht das Aalabstiegssystem aus folgenden Bauteilen:

- a) Rechtes Zickzack-Rohr 1 DN 150 mit 4 Schenkeln und 5 Löchern
- b) Durchführungsrohr DN 150 durch die Mittelwand durch Kernbohrung mit 2 Ringraumdichtungen,
- c) Quetschventil 1 DN 150, druckloser Zustand offen,
- d) linkes Zickzackrohr 2 DN 150 mit 4 Schenkeln und 5 Löchern,
- e) Krümmer $r/d = 1,5$ in die Vertikale parallel zur Wand,
- f) senkrechtes Steigrohr,
- g) Krümmer $r/d = 1,5$ in die Horizontale zur Wanddurchführung,
- h) Wanddurchführung als Kernbohrung mit 2 Ringraumdichtungen,
- i) Bogen in Längsrichtung des Fischpasses
- j) Anschlussstutzen für Druckluft mit handbetätigtem Hahn,
- k) Quetschventil 2 DN 150, druckloser Zustand offen,

- l) Auslauf in den Fischpass; dabei muss der Auslaufquerschnitt höhenmäßig so angeordnet werden, dass die Höhendifferenz in etwa dem Gesamtverlust entspricht.

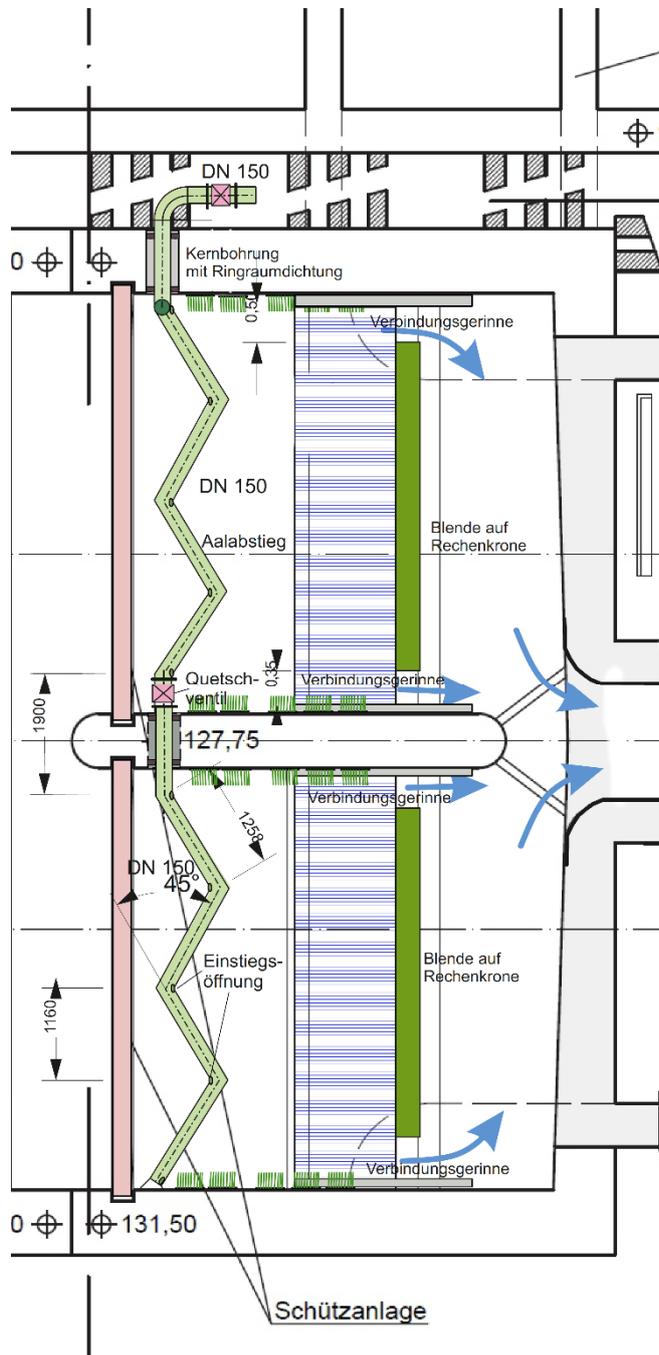


Abb. 2: Grundriss des Zulaufbereiches mit Aalabstieg und Blenden auf Rechen

Das Aalabstiegssystem mit Zick-Zack-Rohr ist eine Entwicklung der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau an der Universität Kassel und wird von der Firma Klawa Anlagenbau GmbH, Gudensberg, in Lizenz vertrieben. Es wird komplett incl. Steuerung geliefert und montiert. Die Kernbohrungen müssen bauseits hergestellt werden. Sollte eine vorhandene Steuerung (SPS) die Funktionen des Aalabstiegs mit übernehmen, wird ein Lastenheft für die Programmierung mitgeliefert.

3.4.3 Hydraulische Berechnung

Die Strömungsverhältnisse im Aalabstiegssystem sowie der Abbau der Druckhöhe wurde in einem EXCEL-Arbeitsblatt berechnet (Anhang 1). Darin sind alle kontinuierlichen und örtlichen Verluste berücksichtigt. Die Verluste in den Knicken des Zickzackrohres wurden nach Idelchik (1986) erfasst. Hier besteht eine gewisse Unsicherheit, weil in den Kniestücken jeweils auch noch gewisse Zuflüsse in das Rohr eintreten, die einen Einfluss auf die Strömungsverhältnisse im Knick haben werden. Diese Einflüsse sind derzeit noch unbekannt; sie können aber als klein eingeschätzt und vernachlässigt werden.

Für die angestrebte Situation mit 10 Löchern und 2 x 4 Schenkeln (mit einem geraden Zwischenstück) ergeben sich die Werte in der nachstehenden Tabelle 1:

Tabelle 1: Ergebnisse der hydraulischen Berechnung des Aalabstiegssystems

| Pos. | Parameter | Einheit | Wert | Bemerkung |
|------|---|---------|-------|---|
| 1 | Rohrdurchmesser Nennwert | mm | 150 | Edelstahlrohr $d_a = 163,1$ mm x 2,9; $d_i = 162,3$ mm |
| 2 | Lochdurchmesser | mm | 65 | Ovale Form |
| 3 | Gesamtdurchfluss | l/s | 16,54 | |
| 4 | Zuströmgeschwindigkeit am ersten Loch | m/s | 0,39 | |
| 5 | Zuströmgeschwindigkeit am letzten Loch | m/s | 0,74 | |
| 6 | Größte Geschwindigkeit im Rohr | m/s | 0,80 | |
| 7 | Größte Höhendifferenz der Drucklinie zum OWSP | m | 0,130 | |

Die größten Geschwindigkeiten an den Einstiegs-Löchern, die bei zu hohen Werten ($v > 1,0$ m/s) die Aale zurückschrecken lassen könnten, liegen in einem günstigen Bereich (0,74 m/s). Die Transportgeschwindigkeiten im Rohr sind so gering, dass den Aalen im Rohr kein Schaden zugefügt wird, zumal die Rohre und die Quetschventile eine glatte Oberfläche aufweisen und keine scharfen Kanten enthalten.

Der berechnete Durchfluss ist mit 16,5 l/s klein genug, dass die Hydraulik im Fischpass nicht unzulässig belastet wird.

Das Auslaufteil des Aalrohres muss mit seiner Sohle um 250 +/- 20 mm unter dem üblichen Oberwasserspiegel liegen. Die Höhendifferenz darf weder zu groß noch zu klein sein. Der Auslaufast sollte so lang sein, dass der abstürzende Strahl in einen Zwischenraum des Fischpasses trifft und nicht in ein Borstenfeld.

3.4.4 Spülung der Einstiegsöffnungen

Die Systemkomponenten Quetschventil 2, Anschlussstutzen für Pressluft und die zugehörige Luftversorgung dienen der automatischen Spülung des Zick-Zack-Rohres. Hierbei wird mittels einer kleinen Steuerungsanlage (Klein-SPS) folgendes Programm abgearbeitet:

1. Verschließen von Quetschventil 2 mittels Pressluft (mit Magnetventil 1).
2. Öffnen der Luftzufuhr (Magnetventil 2) aus dem Druckbehälter des Kompressors zu den Zickzack-Rohren, bis der Luftvorrat ausgetreten ist.
3. Schließen von Magnetventil 1; Entlüften/Öffnen von Quetschventil 2.
4. Schließen von Magnetventil 1.

Infolge der Tatsache, dass der Hochpunkt des Bypassrohres unterhalb des Oberwasserspiegels liegt, wird die Durchströmung des Aalabstiegssystems nach Öffnen des Quetschventils 2 von selber wieder starten.

Der zeitliche Ablauf der Spülungen kann in der Klein-SPS gesteuert werden. Da die vorgeschlagenen Armaturen wenig Energie benötigen und verschleißarm sind, müssen Energiebedarf oder Verschleiß bei der Festlegung des Intervalls keine Berücksichtigung finden. Für den Anfang sollten diese Spülungen mittels der Steuerung in einem Zeitraster von 48 Stunden durchgeführt werden. Die langfristigen Einstellungen, die auch jahreszeitabhängig variiert werden könnten, sollen gemeinsam mit der Behörde festgelegt werden. Eine zu häufige Spülung ist nicht sinnvoll, da beim Rückspülen auch Aale mit hoher Geschwindigkeit aus dem Zickzackrohr ausgetrieben werden könnten. Das Aalabstiegsrohr sollte ganzjährig betrieben werden, da es neben dem Aal auch anderen bodenlebenden Kleinfischarten den Abstieg ermöglicht.

Die Magnetventile für die Quetschventile müssen so beschaffen sein, dass die Sekundärseite bei Schließen des Druckluftzulaufs durch das Ventil rückwärts entlüftet wird (3-Wege-Ventil).

3.5 Fischabstieg

3.5.1 Zielsetzung und Konzept

Da die Turbinenzuläufe, die Rechenanordnung und die Rechenreinigung im Wesentlichen unverändert bleiben sollen, muss es das Bestreben sein, aus diesem Bestand das Bestmögliche herauszuholen. Da das Kraftwerk überströmte Turbineneinläufe besitzt, liegt es nahe, das Abschwemmsystem über den Rechen baulich, hydraulisch und betrieblich so zu optimieren, dass die Abstiegsverhältnisse nach aktuellem Wissensstand optimal sind.

In der DWA-Arbeitsgruppe zum Fischschutz und Fischabstieg hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass folgende Parameter und Kriterien von besonderer Bedeutung sind, die im vorliegenden Fall auch verbessert bzw. eingehalten werden können:

- a) Unterstützung der Fische im Suchraum; Anbieten von strömungsberuhigten Rückzugsräumen

- b) Langsam und mit ausreichender Wassertiefe überströmte Übergänge als Verbindungsquerschnitte vom Oberwasser in den weiteren Abstiegskorridor
- c) Geringe Beschleunigungen, die ein Meideverhalten bestmöglich verhindern
- d) Unterkritische Durchströmung des Abstiegskorridors (strömender Abfluss) mit mäßigen Geschwindigkeiten und der Möglichkeit, Umlenkungen ohne Probleme vorzunehmen
- e) Anordnung der Abflusskontrolle ganz am Ende, um schießend durchflossene Abschnitte zu vermeiden
- f) Absturz in das tiefe Unterwasser, so dass die Eintauchtiefe und die Turbulenz in der Umgebung keine Probleme darstellen
- g) Allmählich beschleunigte Strömung zur Abflusskontrolle
- h) Kompakter Querschnitt, um die Wassertiefe im Kontrollquerschnitt, wo die Grenztiefe durchlaufen wird, hoch zu halten

Nachstehend wird erläutert, mit welchen Gestaltungsmaßnahmen diese Gesichtspunkte jeweils gelöst werden sollen.

3.5.2 Unterstützung der Fische bei der Suche nach dem Abstiegskorridor

Problematisch für die Auffindbarkeit des Abstiegskorridors für andere sohlnah wandernde Fischarten ist die Tatsache, dass der Rechen steil steht und somit eine Leitwirkung nach oben nur eingeschränkt vorhanden ist. Die Fische brauchen entsprechend länger, den oberhalb des Rechens in voller Breite zur Verfügung stehenden Einstieg zum Korridor zu finden. In dieser verlängerten Suchzeit dürfen sie nicht durch zu hohe Anströmgeschwindigkeiten übermäßig beansprucht werden. Es muss deshalb Ziel sein, den Fischen die Suche des Korridors möglich zu machen bzw. zu erleichtern.

Eine Verbesserung der Auffindbarkeit soll erzielt werden durch Borstenriegel an der Seitenwand der Turbinenzuläufe vor dem Rechen. Diese erzeugen einen strömungsberuhigten Bereich vor der Seitenwand, der es den Fischen erlaubt, den hohen Anströmgeschwindigkeiten auszuweichen. Zudem erhalten sie damit die Zeit und die Möglichkeit, entweder nach oben steigend den Abstiegskorridor oder den Fischpassausstieg zu erreichen. So können die auf der Innenseite des linken Zulaufkanals ankommenden Fische auch den Fischpass als Abstiegskorridor nutzen. Durch die schräg geneigte Anordnung wird sich im Strömungsschatten der Riegel eine Strömungskomponente einstellen, die den Fischen die gewünschte Migrationsrichtung aufzeigt. Bei einer Breite eines Zulaufkanals von 5,70 m und bei zweiseitig angeordneten Leitriegeln mit Borsten ist der Weg in den strömungsberuhigten seitlichen Bereich nicht weiter als 2,85 m.

3.5.3 Übergang in das Abstiegs-Bypasssystem

Die absteigenden Fische sollen die überströmte Rechenkrone nutzen, um in die dahinter liegenden Schwemmrinnen zu gelangen. Die Überströmhöhe der Rechenoberkante beträgt 0,316 m (Annahme Mindestoberwasserstand 126,78 m+NN und Höhe der Rechenoberkante 126,464 m+NN); die benetzte Querschnittsfläche ca. 1,80 m². Bei einer derart großen Fläche über der Rechenoberkante würden zwei Effekte auftreten:

- a) Die Füllung über der Sammelrinne würde an der Makroturbulenz der Rechenzuströmung teilnehmen, so dass keine gerichtete Strömung zum Ablauf erkennbar wäre.
- b) Das abfließende Wasser würde vorzugsweise nah zur Mittelwand abgezogen (kurzer Weg). Der zur Seitenwand liegende Teil der Sammelrinne würde an der Strömung in den Abstiegskorridor hinein praktisch nicht teilnehmen.

Um diese Effekte zu vermeiden wird der mittlere Teil des jeweiligen Überströmquerschnitts mit einer festen Blende verschlossen, somit also die Übergangsfläche deutlich kleiner gemacht. Die OW-seitige Fläche der Blende liegt genau in der Ebene der Rechenfläche, damit die Reinigung den Rechengutwulst darüber hinweg ziehen kann. Die Laufbahn des Rechenreinigers ist lang genug, dass dieser zukünftig über diese Blende hinaus angehoben werden kann.

Die Blende ist um 0,85 m schmaler als die lichte Breite zwischen den Räumlerlaufbahnen. Wenn sie annähernd zentral montiert wird, verbleiben zwei Lücken, die ungleich sein sollen. Der jeweils an der Außenseite liegende Übergangs-Querschnitt sollte breiter sein als der zur Mitte liegende. Der Grund dafür ist, dass der Wasserspiegel in der Sammelrinne zur Mitte hin abfällt und deshalb an der mittigen Lücke eine größere WSP-Differenz in die Rinne hinein vorliegt. Bei gleich breiten Übergangsquerschnitten würde in der Mitte deutlich mehr Wasser abfließen als außen. Im Mittel wird für die Lücken eine Geschwindigkeit von 0,50 m/s angestrebt. Es ergibt sich eine Gesamt-Lückenbreite je Seite von 0,85 m. Es gelten folgende technische Daten:

- a) Höhe der Blende: 0,35 m; eine zeitweise leichte Überströmung ist unproblematisch.
- b) Lückenbreite Außenseite: 0,50 m;
- c) Lückenbreite Innenseite 0,35 m
- d) Kanten gerundet

Bei einer angestrebten Geschwindigkeit von 0,50 m/s in den Lücken ergibt sich pro Seite ein Abfluss von $0,50 \times 0,35 \times 0,85 = 150 \text{ l/s}$; insgesamt sind für beide Seiten 300 l/s permanent als Betriebsdurchfluss abzuführen.

3.5.4 Bestehender Bypasskanal

Der bestehende Bypasskanal als Lücke im Betonbauwerk bleibt samt am Ende angeordneter Klappe unverändert. Die Klappe wird jedoch zukünftig anders angesteuert. Sie liegt im Normalbetrieb in der tiefsten Position und ermöglicht den ungehinderten Abfluss der Abstiegsströmung im unterkritischen Zustand. Sie wird im Normalbetrieb nur aufgestellt, wenn zur Abfuhr größerer Rechengutteile die gesamte schwenkbare Rinne hochgeklappt wird. In Sonderfällen wird sie angehoben, wenn die neue schwenkbare Abstiegsrinne trockengelegt werden soll.

Am Ende des Kanals in der Betonstruktur wird ein kurzes Rinnenstück aus Metall angesetzt, das mit einem Flansch endet (Abb. 3). Auf diesem Flansch wird eine Dichtung angebracht. Unterhalb dieses Anschlussstücks wird an die Wand eine stabile Konsole montiert, auf der die gesamte Kipprinne im Normalzustand abgelegt wird.

Um den Transport von grobem Treibzeug bis zur sich anschließenden beweglichen Rinne zu verhindern, was dort Schäden anrichten könnte, sollte im Bypasskanal vor der Klappe etwa 40 cm über dem Bemessungs-Wasserspiegel ein Querriegel aus einem Stahlträger angeordnet werden. An diesem wird Treibholz hängen bleiben (s. Kap. 3.5.10).

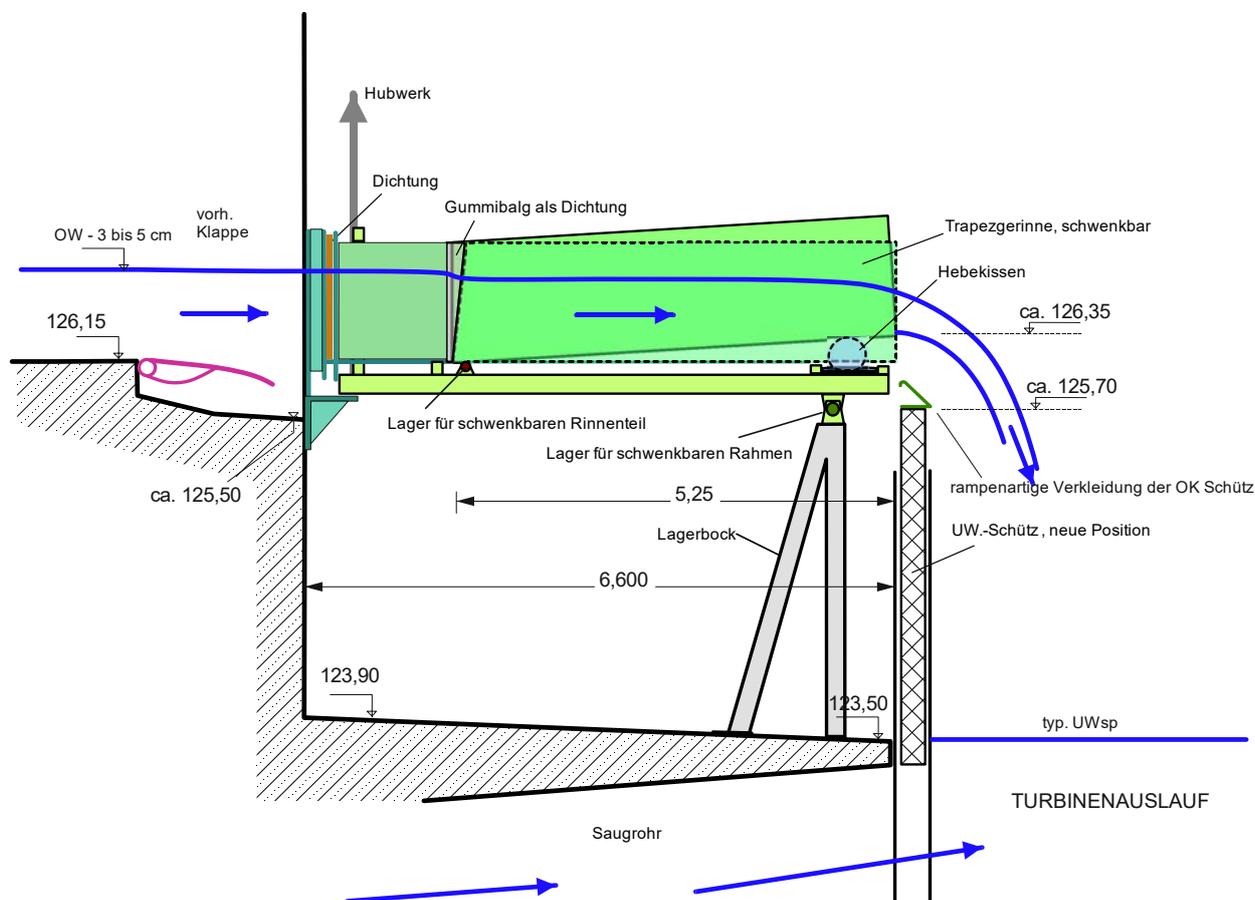


Abb. 3: Aufgeständerte, doppelt kippbare Abstieg Rinne

3.5.5 Neue Verlängerung der Abstieg Rinne als aufgeständerte, doppelt kippbare Blechrinne

Der weitere Abstiegskorridor bis über das Unterwasser wird zukünftig mit einer doppelt beweglichen aufgeständerten Rinne bereitgestellt (Abb. 3). Diese reicht bis kurz vor die oberwasserseitige Fläche der UW-Schütze. Dabei muss die Rinne gegenüber der Mittelachse seitlich verschwenkt werden, da sich in der Mittenachse Pfeiler und Führungen für die UW-Schützanlage befinden (Abb. 4).

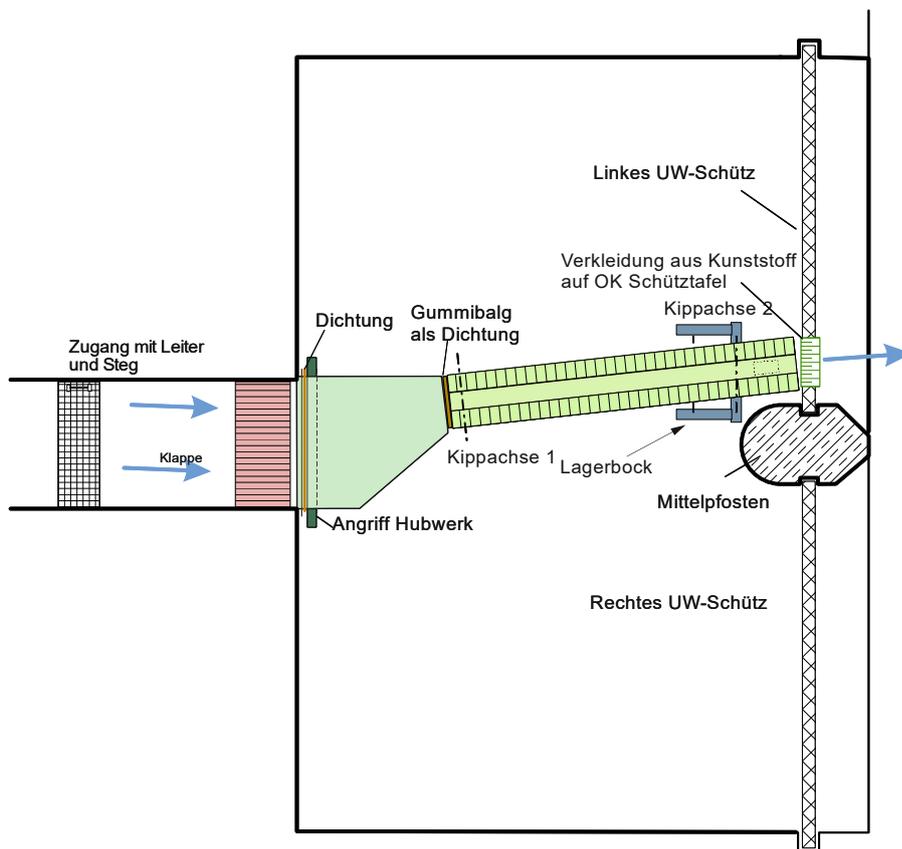


Abb. 4: Grundriss der beweglichen Abstiegsrinne

Der neu zu schaffende Bypasskanal aus Metall beginnt mit der gleichen Breite wie der vorhandene Bypass-Kanal (1,60 m) mit einem Flansch, der im abgelegten Zustand auf der Dichtung aufliegt. Sie wird dann aber nach kurzer Strecke auf ein Trapezrinne mit 0,60 m Breite zusammengeführt (Abb. 4 und 5).

Da bei höheren Oberwasserständen das Wasser nicht seitlich überlaufen soll, erhalten die Seitenwände der Trapezrinne eine Höhe zwischen 0,80 und 1,00 m. Das erforderliche Maß wurde anhand von Spiegellinienberechnungen ermittelt.

Etwa in Höhe der Vorderkante des Mittelpfeilers zwischen den UW-Schützen wird ein Lagerbock aufgestellt. Für die Abstiegsrinne wird eine Rahmenkonstruktion gebaut, die auf diesem Lagerbock gelenkig aufliegt und die an der Kraftwerksseite auf Konsolen aufliegt. Hier kann der gesamte Rahmen mit aufliegenden Rinnenteilen mit einem Hubwerk angehoben werden.

Der 60 cm breite Auslaufteil der Abstiegsrinne mit einem trapezförmigen Querschnitt (Abb. 5) ist wiederum oberwasserseitig auf dem Rahmen gelenkig gelagert. Am Ende der Rinne liegt zwischen dem Rahmen und der Rinne ein flacher Blechkasten, in dem ein Hebekissen angeordnet ist. Mit diesem Kissen kann mit Pressluft die Rinne unterwasserseitig leicht angehoben werden. Je nach gewähltem Kissen beträgt die maximale Hubhöhe etwa 25 cm. Durch dieses Gegengefälle entsteht am Auslauf die beabsichtigte hydraulische Abflusskontrolle mit einer allmählichen Beschleunigung zum Auslauf hin. Durch die Trapezform bleibt der Strömungsquerschnitt kompakt und bietet den abwandernden Fischen

eine ausreichende Wassertiefe ($h_{gr} = 0,361$ m; siehe Grenztiefe am Ende der Rinne in Anhang 2.1, Nr. 10 oder Anhang 3, Wassertiefe ganz rechts).

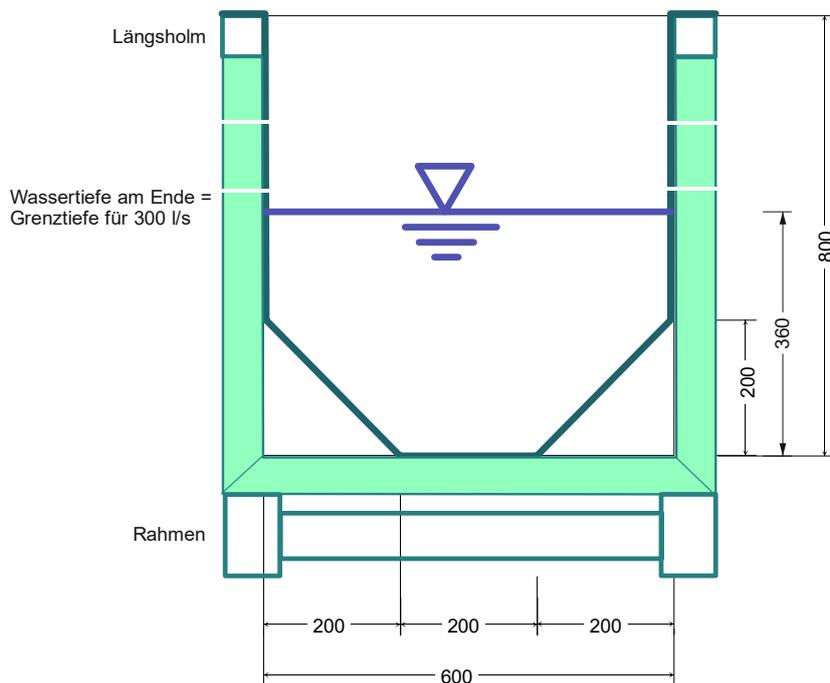


Abb. 5: Querschnitt durch die bewegliche Abstiegsrinne (Trapezrinne, (schwenkbarer hinterer Teil)

Die doppelte Beweglichkeit der Abstiegsrinne auf

Tragrahmen ist nötig, um folgende Funktionen zu erfüllen:

Normalbetrieb: Anheben des hinteren Abschnitts (gerade Rinne mit Trapezprofil) mittels eines Hebekissens:

1. Der Durchfluss durch den Abstiegskanal muss durch eine hydraulische Kontrolle bestimmt werden. Diese sollte am Ende liegen, weil so in der ansteigenden Rinne eine optimal niedrige Beschleunigung stattfindet. Weiterhin wird damit die im Kontrollquerschnitt erzeugte Fließgeschwindigkeit (kritische Fließgeschwindigkeit bei kritischer Tiefe) zum Überspringen der Schütztabelle genutzt.
2. Da der Oberwasserspiegel nicht konstant ist, müssen mit dem Hebekissen und einem verstellbaren Anschlag der Durchfluss und die Wasserstände insbesondere über dem Rechen so eingestellt werden, dass die Abwanderung unterstützt wird.
3. Zu dieser Kontrolle hin wird dann eine allmähliche Beschleunigung auftreten. Dies kann gut erreicht werden durch Anheben der geraden Rinne mittels des pneumatisch aufgepumpten Hubkissens. Die Hubhöhe sollte 0,250 m erreichen können (Reserve gegenüber Normalhubhöhe von 0,200 m). Durch die konische Form des Wasserkeiles in der angehobenen Rinne ist die Beschleunigung zum Kontrollquerschnitt optimal niedrig.

Spülbetrieb mit grobem Rechengut: Gesamte Rinne mit Rahmen vorne anheben (Abb. 6):

1. Diese Bewegungsmöglichkeit ist erforderlich, um den gesamten Querschnitt des Bypasskanals im Bauwerk mit 1,60 m Breite nach dem Ende der Betonrinne für das Abführen von grobem Treibzeug freizugeben. Dieses stürzt dann auf die Überdeckung

der Saugrohre ab. Der Lagerbock muss im unteren Teil sehr stabil ausgeführt werden, da mit Wasser abstürzendes Holz diesen Bock erreichen kann.

- Um das Anheben durch Absperren der Wasserzufuhr zu erleichtern und aus betrieblichen Gründen bleibt die vorhandene Klappe im Betonkanal erhalten und in Betrieb.

In der Normalposition wird die Rinne vom Hubwerk auf eine Konsole, die an der Wand befestigt ist, abgelegt.

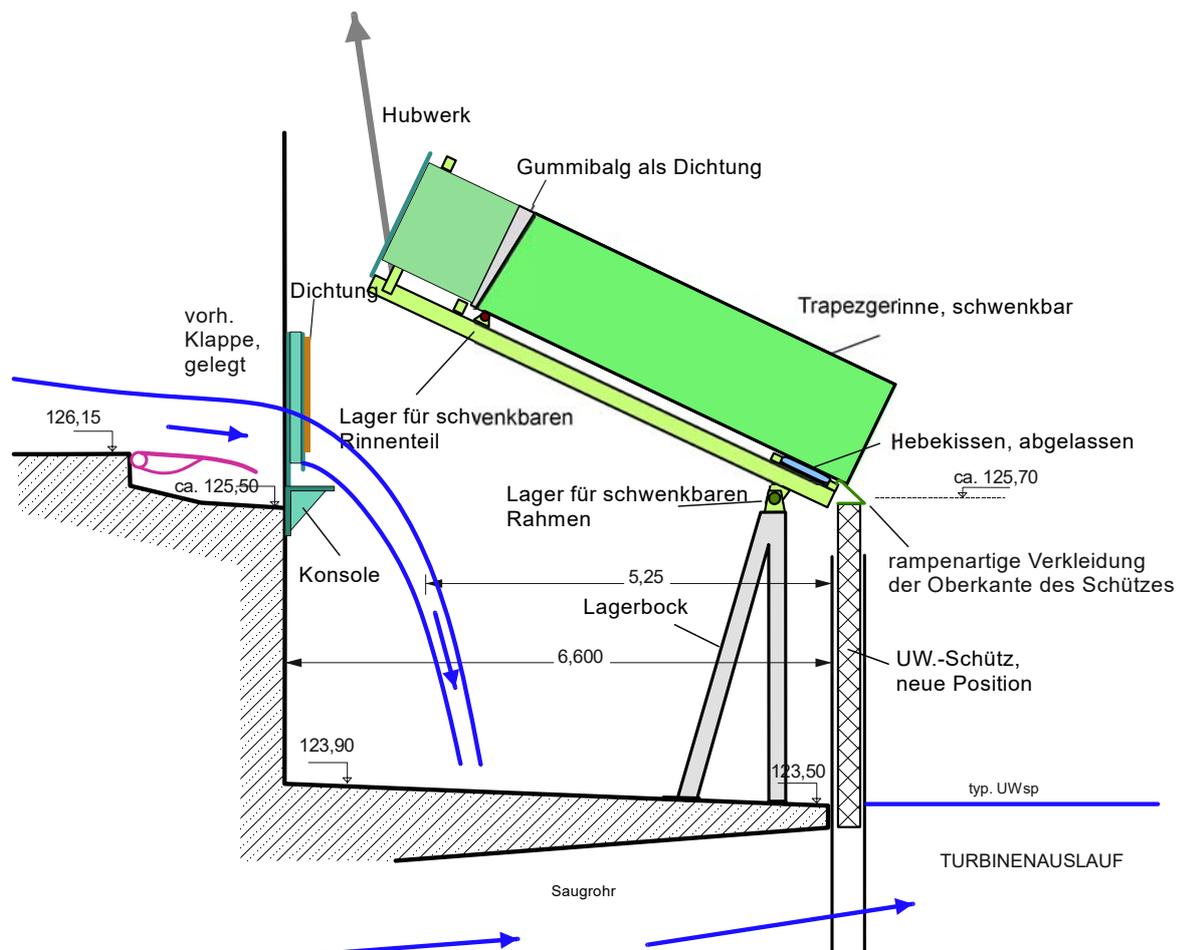


Abb. 6: Doppelkipprinne bei der Rechenreinigung

3.5.6 Hydraulik und Sicherung günstiger Fließbedingungen im Fischabstiegskanal

Zum Abstieg wandernder Fische muss die bisher temporär bei der Rechenreinigung und in den Wanderzeiten des Lachs-Smolts betriebene Überlauf-Schwemmrinne dauerhaft betrieben werden. Dabei ist es wichtig, die geometrischen und hydraulischen Kenngrößen im Abstiegskanal bestmöglich einzuhalten. Die hydraulischen Bedingungen für den Übergang in das weitere Abstiegssystem wurden im vorstehenden Abschnitt bereits erläutert. Für den Abstiegssystem gelten gemäß Abb. 5 folgende Maße und Bedingungen:

- Breite $\geq 0,60$ m

- Wassertiefe > 0,31 m über dem Rechen; > 0,30 m in der Abflusskontrolle), sonst > 0,50 m
- Strömender Abflusszustand
- Abflusskontrolle am Ende; keine Abschnitte mit schießendem Zustand
- Geringe Beschleunigung vor Abflusskontrolle
- Absturz in das tiefe und voluminöse Unterwasser

Die hydraulischen Bedingungen in der Abstiegsrinne werden dadurch eingestellt, dass die Abflusskontrolle am Ende der Rinne vor dem Absturz angeordnet wird. Diese Abflusskontrolle wird bewirkt durch einen Hochpunkt in der Rinnensohle ganz am Ende, der dadurch hergestellt wird, dass der bewegliche Rinnenteil mit einem LKW-Hebekissen zu einem Gegengefälle angehoben wird. Da mit solchen Luftkissen die Hubhöhe nicht besonders kontrollierbar ist, wird ein verstellbarer Anschlag angebracht, bis zu dem die Rinne gefahren wird. Somit nimmt die Rinne beim Aufblasen des Kissens immer die gleiche Position ein.

Durch das Gegengefälle des angehobenen Rinnenteils wird der Fließquerschnitt zur Abflusskontrolle hin allmählich kleiner, so dass eine ganz langsame Beschleunigung eintritt, von der erwartet wird, dass sie die Fische beim Abstieg am wenigsten irritiert.

3.5.7 Übergang in das Unterwasser

Wie bereits angedeutet erfolgt der Übergang für den Durchfluss im Bypasssystem mit den enthaltenen Fischen durch Absturz über die Schütztafel hinweg. Die Absturzhöhe beträgt etwa 3,50 m. Die Abstiegsrinne muss vor dem Schütz enden, um dessen vertikale Beweglichkeit nicht zu behindern. Die Rinnensohle am Absturzpunkt liegt im Normalbetrieb mindestens 55 cm über der Oberkante der Schütztafel in der zukünftig normalen Betriebs-Position (OK auf ca. 125,80). Diese Höhendifferenz reicht rechnerisch aus, um den Strahl über das Schütz springen zu lassen (Wurfweite 0,486 m bei Fallhöhe 0,40 m; siehe Anhang 4). Trotzdem ist vorgesehen, auf die Oberkante der Schütztafel eine Übergangskonstruktion aus Kunststoff aufzusetzen, um steil herabfallende Partikel und Fische, die den Strahl nach unten verlassen, über die Schütztafel gleiten zu lassen. Direkt unterstrom der Schütztafel liegt die volle Wassertiefe des Turbinenauslaufs vor.

Die Überwindung der Höhendifferenz zum Unterwasser als Absturz ist auch gemäß der Erkenntnislage in der DWA-AG WW7.1 als normal und unkritisch anzusehen, da die derzeit maßgebenden Richtlinien (ATV-DVWK 2004) für das Eintauchen hier wie folgt mit großem Abstand eingehalten sind. Nach ATV-DVWK 2004 gilt Folgendes:

- Aufprallgeschwindigkeit < 15 m/s (Planwert 8,28 m/s)
- Fallhöhe < 11,50 m (Planwert $\Delta h = \text{ca. } 3,50 \text{ m} \ll 11,50 \text{ m}$)
- Wassertiefe > 25 % der Fallhöhe (hier > $0,25 * 3,50 = 0,875$; Istwert > 3,00 m)
- Wassertiefe > 0,90 m (es gilt der größere Wert; Istwert > 3,00 m)
- Relative Tosbeckengröße > 10 m³ pro m³/s Abfluss (kein Tosbecken vorhanden; breites Gerinne mit großer Wassertiefe)

Diese Kriterien sind am Standort Kirschhofen somit mit weitem Abstand alle eingehalten. Im Übrigen enthalten praktisch alle in jüngerer Zeit genehmigten und gebauten Fischabstiegsanlagen Abstürze, die in den meisten Fällen (z.B. bei den schrägen Leitrechen nach Ebel/Gluch) in deutlich flacheres Wasser und in engere Räume erfolgen. Die alternativen Möglichkeiten der Überbrückung der Fallhöhe (Fischrutschen und Kaskaden) werden aus nachstehenden Gründen nicht als fischfreundlicher eingeschätzt: im Fall der Fischrutschen ist die erreichte Geschwindigkeit beim Eintauchen ähnlich groß, wobei noch die Gefahren hoher Geschwindigkeiten in flachem Wasser (innerhalb der Rutsche) und in der Nähe einer Wand hinzukommen. Zudem müssen Fischrutschen gegen das Herauspringen abgedeckt werden, wobei Netze problematisch sind, weil die Fische mit hoher Geschwindigkeit in die Netze springen und sich verletzen können. Kaskaden über mehrere, kleine Abstürze und Zwischenbecken sind nicht vorteilhaft, weil dort die Irritation durch starke Turbulenz gleich mehrfach vorkommt und zudem auch noch in engen Räumen stattfindet.

Es sei noch hinzugefügt, dass in der DWA-Arbeitsgruppe WW 7.1 Fischschutz und Fischabstieg Konsens herrscht, dass es keine belastbaren neueren Erkenntnisse gibt, die Anlass zu Änderungen an den genannten Kriterien aus dem ATW-DVWK-Themenband von 2004 geben. Weiterhin sei angemerkt, dass der Überfall über Wehre in Flüssen allgemein als vollwertiger Fischabstiegskorridor angesehen wird. Dort sind aber die Bedingungen deutlich weniger vorteilhaft als im oben erläuterten Konzept für die WKA Kirschhofen, weil auf dem Wehr und unterstrom davon praktisch alle genannten Kriterien nicht eingehalten sind. Diese deutlich schlechteren Verhältnisse für die Überwindung der Höhendifferenz treffen in Kirschhofen auch für den Abstiegskorridor über die zwei Wehre zu.

3.5.8 Betrieb der Unterwasserschützen

Bisher wurden die Unterwasserschützen bei Normalbetrieb in einer hohen Position gehalten, um das über die Schwemmlinne abgegebene Wasser mit Schwemmgut unter den Schützen hindurch ablaufen zu lassen. Zukünftig muss das orografisch linke Schütz, über das der Fischabstieg erfolgt, so tief positioniert werden, dass das aus der Bypassrinne auslaufende Wasser hier ohne Berührung hinüberspringen kann. Das orografisch rechte Schütz bleibt in der bisherigen Position. Das bei der Rechenreinigung abgegebene Wasser kann sich dann nach rechts orientieren und unter diesem Schütz ablaufen. Diese einseitige Abgabe von Rechengut auf der rechten Seite hat auch den Vorteil, dass das austretende Rechengut in einiger Entfernung am Fischpass vorbeitreiben kann.

Um diese Funktion zu realisieren, müssen die Arretierungen für die linke Schütztafel so verstellt werden, dass die Unterkante des Schützes bündig zur Saugschlauchdecke liegt.

3.5.9 Ablauf bei einer Rechenreinigung mit Spülung

Wenn einer der beiden Rechen gereinigt werden soll, ist folgende Abfolge zu durchlaufen:

- a) Aufstellen der vorhandenen Klappe: Dadurch wird der Durchfluss durch das Abstiegsystem unterbrochen.

- b) Ablassen der Luft aus dem Hebekissen.
Dadurch läuft die Rinne hinter der Klappe leer, ihr Gewicht wird verringert.
- c) Anheben des kompletten Rahmens, auf dem die Abstiegsrinne liegt: Die Drehachse liegt über dem Lagerbock. Die Rinne sollte vorne (Sohle) mindestens 1,50 m über den Oberwasserspiegel angehoben sein, damit ausreichender Raum für grobes Treibzeug verfügbar ist.
- d) Starten der Rechenreinigung.
- e) Absenken der Klappe.
- f) Abschwemmen des Rechengutes: Die Reinigerharke zieht das Rechengut über den Blendenwinkel hinweg, das Rechengut wird abgeschwemmt und fällt hinter dem Betonbauwerk auf das Saugrohr-Dach.
- g) Erneutes Aufstellen der vorhandenen Klappe: Nach kurzer Nachlaufzeit (z.B. 20 Sek.) wird Klappe wieder gestellt.
- h) Absenken der Abstiegsrinne mit Rahmen.
- i) Aufblasen des Hebekissens bis zum Anschlag.
- j) Absenken der Klappe: Damit ist der Zyklus durchlaufen und die Anlage befindet sich im Ausgangszustand.

Sollte sich im Betrieb ergeben, dass grobes Treibzeug (Treibholz, Baumstämme) nur bei bestimmten Hochwasserzuständen anfällt kann das Anheben der gesamten Doppelkipprinne unterbleiben. Normales Rechengut kann durch die Abstiegsrinne über das Unterwasser geschwemmt werden. Hier wäre bei Rechenreinigung nur der hintere Rinnenteil durch Ablassen der Luft aus dem Hebekissen abzusenken.

3.5.10 Weitere Hinweise

In der Betonrinne sollte vor der Klappe ein Querbalken aus solidem Stahl in einer Höhe angebracht werden, die deutlich niedriger ist als die Unterkante des Rahmens der Abstiegsrinne im angehobenen Zustand. Damit wird das Risiko verringert, dass grobes Treibholz an die Vorderkante der beweglichen Konstruktion (im angehobenen Zustand) anstößt. Allerdings wird sich Treibholz an dieser Traverse verkeilen, so dass nach ihr in einiger Höhe über dem Wasserspiegel im Bypasskanal ein Quersteg angeordnet werden sollte. Der Zugang zu diesem Steg erfolgt über eine Leiter.

Die Entfernung des Treibgutes von diesem Steg aus sollte leicht möglich sein (ggf. mit einer Akku-Kettensäge), da bei aufgestellter Klappe die Strömung abgestellt werden kann.

Wenn die Erfahrung zeigt, dass die Entfernung verkeilten Treibguts von diesem Steg aus problematisch ist, kann oben über dieser Traverse ein Hebezeug eingesetzt werden.

Die im Abstiegskanal vorhandene Klappe wird auch noch benötigt, wenn für Revisionszwecke die Abstiegsrinne trockengelegt werden muss. Sie wird regelmäßig eingesetzt werden, wenn das Gewicht der Klappe reduziert werden muss, indem der Wasserzufluss gestoppt wird.

Gleichzeitig sollte aber auch das Hebekissen zum Anheben des hinteren Klappenendes abgelassen werden. Im Normalbetrieb wird die vorhandene Klappe so tief wie möglich gelegt.

Es dürfen keine Bauteile in den Gerinnequerschnitt hineinragen, damit es keine Stoßpunkte für Fische und keine Beschädigungsmöglichkeit oder Ansatzpunkte für das Verkeilen von Treibholz gibt. Der Bock, auf dem die Rinne gelagert ist, muss besonders stabil sein, da bei höheren Unterwasserständen grobe Treibholzstücke in diesem Bereich rotieren können.

4 Maßnahmen zur Sicherstellung des Restabflusses

Der in einem gesonderten Gutachten ausgearbeitete Restabfluss [HÜBNER et. al., 2022] kann nur sicher eingehalten werden, wenn am Wehr die korrekte und konstante Überfallhöhe gehalten wird. Leider ist die Abflusskontrolle über ein sehr breites Wehr für die Aufgabe, den Abfluss konstant zu halten, denkbar ungeeignet. Besser wäre ein Organ, das den Restabfluss durch eine tiefliegende flächenmäßig begrenzte Öffnung abführt (Tiefliegendes Schütz, Heber, etc.) Derartige Kontrollorgane sind jedoch am bestehenden Wehr wegen des alten Bestandes und wegen der Besitzverhältnisse und Zuständigkeiten praktisch nicht möglich. Deshalb wird es so sein, dass infolge von Schwankungen des Wasserspiegels wegen Abflussänderungen aus dem Oberwasser oder Sunkwellen aus Schleusenbetrieb auch der Zufluss zur Restabflussstrecke schwanken wird.

Der Turbinenregler der WKA Kirschhofen wurde im Zuge der Messungen zum Einzelfallgutachten für die Funktion der Wasserstandsregelung verbessert und die Auflösung der Wasserstandsmessung auf mm-Anzeige gesteigert. Trotzdem kann der Turbinenregler die genannten Schwankungseinflüsse nicht vollständig ausregeln, weil ansonsten im Betrieb permanente Bewegungen mit erheblichem Verschleiß bei den Stellorganen auftreten würden. Während der Messungen in der Restabflussstrecke zeigte sich jedoch, dass Überfallhöhe und Abfluss relativ konstant waren und beim Regelvorgang keine unzulässige Unruhe auftrat. Deshalb beschränken sich die Maßnahmen zur Sicherstellung einer einigermaßen konstanten Dotation in der Ausleitungsstrecke nur auf folgende Punkte:

- Als Betriebsweise ist nur die Wasserstandsregelung mit dem Messwert der Drucksonde an der Inselspitze zu fahren (oberstrom des oberen Wehres).
- Die Drucksonde ist mittels einer Kontrollmessung zu kalibrieren. Hierzu kann der in der Nähe der Wehrkrone des oberen Wehres rechts installierte Messingbolzen dienen. Der Höhenunterschied zwischen diesem Bolzen (Oberkante) und dem korrekten Wasserspiegel kann mit einem Nivelliergerät leicht gemessen werden. Die Höhendifferenz zum korrekten Oberwasserspiegel ist im Einzelfallgutachten [Hübner et. al. 2022] und im Dokument [23] dargestellt. Die diesbezüglichen Daten sind wie folgt:
 - Zielhöhe Oberwasserspiegel: 126,794 mNHN
 - Höhe Messingbolzen: 127,907 mNHN
 - Höhendifferenz: 1,113 m

- Das System, insbesondere die Zielhöhe der Wasserstandsregelung, ist so einzustellen, dass der Regler den genannten Wasserspiegel 126,794 mNHN einhält. Näheres kann dem Einzelfallgutachten [Hübner et. al, 2022] und dem Anhang [23] zum Erläuterungsbericht entnommen werden.

5 Kostenschätzung

Da es sich bei den vorgeschlagenen Maßnahmen um speziell angepasste Lösungen handelt, die mit Ausnahme des Aalabstiegs auch so noch nirgends realisiert wurden, sind erfahrungsbasierte Kostenansätze nicht möglich. Es gibt nur wenige Firmen, die für solche Maßnahmen infrage kommen. Entsprechend ist es schwierig, Ausschreibungen breiter zu streuen, um besser vergleichbare Angebote zu erzielen. Die bei Ausschreibungen angebotenen Preise hängen zudem von der momentanen Auslastung der wenigen einschlägig aktiven Firmen ab. Deshalb sind die nachstehend angegebenen Kosten nur als grobe Schätzwerte anzusehen. Von den Ingenieurleistungen wurden nur die Kosten für statische Nachweise aufgenommen.

Tabelle 2: Kostenzusammenstellung

| Pos. | Bauteil | Stückzahl | Kosten je Einheit € | Gesamt-Kosten € | Anmerkung |
|--|--|-----------|---------------------|-----------------|------------------|
| Gewerk 1: Borstenmodule incl. Montage | | | | | |
| 1.1 | Borstenmodule für Fischpass-Vorfeld | 5 | 300 | 1500 | |
| 1.2 | Gitterrostabdeckung incl. kurzer Borsten | 2 | 2500 | 5000 | GfK-Gitterrost |
| 1.3 | Borstenmodule für Seitenwände | 28 | 250 | 7000 | |
| 1 | Summe Gewerk 1 | | | 13500 | |
| Gewerk 2: Aalabstieg | | | | | |
| 2.1 | Kernbohrungen | 2 | 1500 | 3000 | |
| 2.2 | Aalabstieg incl. Montage | 1 | 40000 | 40000 | |
| 2.3 | Steuerung, Kompressor und Ventile | 1 | 15000 | 15000 | Separat oder SPS |
| 2 | Summe Gewerk 2 | | | 58000 | |
| Gewerk 3: Rechenaufsätze | | | | | |
| 3.1 | Rechenaufsätze aus Edelstahl | 2 | 2000 | 4000 | |
| 3.2 | Montage | 1 | 2000 | 2000 | |
| 3 | Summe Gewerk 3 | | | 6000 | |
| Gewerk 4: Abstiegsrinne | | | | | |
| 4.1 | Anschluss an Betonbauwerk | 1 | 5000 | 5000 | |
| 4.2 | Tragebock für Abstiegsrinne | 1 | 10000 | 10000 | |
| 4.3 | Doppelt kippbare Rinne | 1 | 40000 | 40000 | |
| 4.4 | Verkleidung Schützoberkante | 1 | 500 | 500 | |

| | | | | | |
|---|------------------------------------|---|-------|---------------|-------|
| 4.5 | Hubwerk | 1 | 6000 | 6000 | |
| 4.6 | Hubkissen | 1 | 1000 | 1000 | |
| 4.7 | Änderung des Betriebssystems (SPS) | 1 | 15000 | 15000 | |
| 4 Summe Gewerk 4 | | | | 77500 | |
| Gewerk 5: Modifikationen Fischpass | | | | | |
| 5.1 | Erhöhung Seitenwände | 1 | 5000 | 5000 | Im UW |
| 5.2 | Sohlanschluss | 1 | 60000 | 60000 | |
| 5.3 | Treibzeugabweiser | 1 | 2000 | 2000 | Im OW |
| 5 Summe Gewerk 5 | | | | 67000 | |
| Sonstiges | | | | | |
| 6.1 | Statische Berechnungen | 1 | 4500 | 4500 | |
| 6.2 | Prüfstatik | 1 | 1500 | 1500 | |
| 6.3 | Unvorhergesehenes | 1 | 20000 | 20000 | |
| 6 Summe Sonstiges | | | | 26000 | |
| Gesamtsumme | | | | 248000 | |

Aufgestellt

Habichtswald und Marburg, den 28.09.2022

Dr.-Ing. Reinhard Hassinger, Ing.-Büro f. Hydraulik u. Hydrometrie, Habichtswald

Dr. rer. nat. D. Hübner, bfs , Marburg

6 Quellennachweis

- ADAM, B.; SCHWEVERS, U.; GUMPINGER, C. (1997): Verhaltensbeobachtungen zur Abwanderung von Aalen (*Anguilla anguilla*) und Lachsen (*Salmo salar*) unter Laborbedingungen, Institut für angewandte Ökologie, Kirtorf-Wahlen 1997
- ATV-DVWK Themen (2004): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Hennef, ATV-DVWK Hennef, Juli 2004
- BWK (2006): Methodenstandard für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. Hrsg. Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau. BWK – Fachinformation 1/2006, 95 S.
- EBEL, G. (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen. Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. - Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, Band 4, 483 S., Halle (Saale).
- HASSINGER, R. & HÜBNER D. (2009): Entwicklung eines neuartigen Aal-Abstiegssystems mithilfe von Laborversuchen. Korrespondenz Wasserwirtschaft (KW) 2 NR. 5: 276-281
- HASSINGER, R. (2014): Verbesserung der Einstiegssituation am Fischpass der Wasserkraftanlage Kirschhofen / Lahn. Im Auftrag der Rudolph & Co. Wasserwerke oHG. 5 S.
- HUET, M. (1962): Influence du courant sur la distribution des poissons dans les eaux courantes. - Schweiz. Z. Hydrol. 24: 412-431.
- HÜBNER, D. (2009): Funktionskontrolle eines neuartigen Aalabstieges mit unterschiedlicher Einstiegsanordnung einschließlich des hydraulischen Tests eines neuartigen fischschonenden Rechens –Laboruntersuchungen- Im Auftrag der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau. Univ. Kassel, 61 S.
- HÜBNER, D. (2013): Funktionskontrolle des Fischaufstieges an der Wasserkraftanlage Kirschhofen (Lahn). Im Auftrag der Eli Kraft AG Borken-Dillich. 25 S.
- HÜBNER, D. (2014): Funktionskontrolle des Smoltabstieges über eine Rutsche an der WKA Kirschhofen. Im Auftrag der Eli Kraft AG Borken-Dillich. 14 S.
- HÜBNER, D. (2020): Monitoring der Smoltabwanderung in der Weilmündung zum Turbinenmanagement der Wasserkraftanlagen Kirschhofen und Diez an der Lahn. Im Auftrag der ELIKRAFT AG. 22 S.
- HÜBNER, D.; HASSINGER, R. (2020): Bewertung der linearen Fischdurchgängigkeit und des Fischschutzes und Lösungsmöglichkeiten zu deren Verbesserung am Standort der Wasserkraftanlage Kirschhofen an der Lahn. Gutachten im Auftrag der Elikraft AG Borken, Marburg, 2020
- HÜBNER, D. (2021): Turbinenmanagement für die Wasserkraftanlagen Kirschhofen und Diez (Lahn) zum Schutz der abwandernden Blankaale in der Saison 2014/2015 bis 2020/2021. Im Auftrag der Elikraft AG Borken. 22 S.
- HÜBNER, D.; FRICKE, R.; KAPPNER, J-P.; HASSINGER, R. (2022): Einzelfallgutachten zur Ermittlung der Mindestwasserführung in der Ausleitungsstrecke der Wasserkraftanlage Kirschhofen an der Lahn. Gutachten im Auftrag der Elikraft AG Borken, Marburg, 2022
- IDELCHIK, I.E. (1986): Handbook of Hydraulic Resistance. Springer Berlin 1986
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM GIEßEN (2019): Mindestwasserberechnung WKA Kirschhofen an der Lahn. Aufgestellt am 28.06.2019

WKA Kirschhofen/Lahn - Erläuterung Fischschutz und Fischdurchgängigkeit

Anhang 1

| | |
|---|---|
| Projekt: | Kirschhofen/LahnWKA |
| Projekt-Nr.: | Elikraft Borken |
| Hydraulischer Längsschnitt: Aalabstieg WKA Kirschhofen | |
| Hydraulische Berechnung: | |
| Gesamtdurchfluss Aalrohr: | Energie- und Drucklinienniveau bei der Einmündung: |
| Durchfluss Aalrohr: 16,54 l/s | Differenz WSP-Rohrmündung OK: 0,13 m |

| | | |
|--|---|---|
| Wasserspiegel- und Drucklinienniveau: | Geometriedaten Aalrohr: | Verlustbeiwerte |
| Angenommene Wasserspiegelhöhe (OW-Spiegel) außen: 126,820 m ü.NN | Knickwinkel Grad 45,0 | Durchflussbeiwert am Loch: μ^1 : 0,62 |
| Druck- und Energiehöhe am 1. Loch im Rohr: 126,800 m ü.NN | halber Knickwinkel Grad 22,5 | Reibungsbeiwert Rohr: λ^2 : 0,017 |
| | Abzudeckende Breite m 9,6 | Rohrkrümmung: $\zeta_{\text{Bogen}45}$ 0,100 |
| | Anzahl Schenkel 8 | $\zeta_{\text{Bogen}90}$ 0,180 |
| | Rohrabschnitt Querlänge 0,925 | ζ^3 Knick 0,318 |
| | Faktor 1,082 | ζ^4 Vereing. $1,55 \cdot \Delta Q/Q - (\Delta Q/Q)^2$ |
| Kenndaten Rohrabschnitte: | Rohrlänge schräg 1,0012 | |
| | Stich senkrecht 0,3831 | Verlustbeiwert Aalrohr - Knick: Winkel ζ^3 |
| | Gesamtbreite 0,5454 | 60 0,555 <i>Idelcik</i> |
| | | 45 0,318 <i>Idelcik</i> |
| d ₁ 0,1623 m A ₁ 0,020688 m ² | | |
| d ₂ 0,1623 m A ₂ 0,020688 m ² | | |
| d ₃ m A ₃ 0,000000 m ² | | |
| d _{Loch} 0,065 m A _{Loch} 0,003318 m ² | | |
| | A _{Loch_ges} 0,033183 m ¹³¹ | |
| Q _{erstes Loch} 1,289 l/s | Q _{zweites Loch} 1,296 l/s | |

| Punkt | Steuerziffer | Station | Länge | Quer- | ΔQ | Q _{aus} | V _{ein} ^{2/2g} | V _{aus} | V _{aus} ^{2/2g} | ζ^2 | ζ | ζ_{ges} | ΔH_e | He _{anf} | He _{ende} | hp _{anfang} | hp _{ende} | Zufluss | V _{Loch} | |
|--------------------|--------------|---------|-----------|--------|------------|------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------|---------|----------------------|--------------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------|-------------------|-------|
| Abschnitt | Loch | D | Abschnitt | koord. | l/s | l/s | mm | m/s | mm | örtl. | kont. | | m | m+BN | m+BN | m+BN | m+BN | Löcher | m/s | |
| Loch1 | 1 | 1 | | | 0,000 | 0,000 | 1,289 | 1,289 | 0,00 | 0,062 | 0,20 | 0,550 | 0,550 | 1,09E-04 | 126,8000 | 126,8000 | 126,8000 | 126,8000 | 1,289 | 0,388 |
| A1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Knick1 * Loch 2 | 1 | 1 | 1,001 | 1,001 | 0,925 | 1,296 | 2,584 | 0,20 | 0,125 | 0,80 | 0,276 | 0,105 | 0,105 | 2,07E-05 | 126,8000 | 126,8000 | 126,7998 | 126,7998 | | |
| A2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Knick 2 + Loch 3 | 1 | 1 | 2,002 | 1,850 | 1,850 | 1,328 | 3,912 | 0,80 | 0,189 | 1,82 | 0,187 | 0,369 | 0,369 | 6,72E-04 | 126,7996 | 126,7989 | 126,7988 | 126,7971 | 1,328 | 0,400 |
| A3 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Knick 3 + Loch 4 | 1 | 1 | 3,004 | 2,775 | 2,775 | 1,386 | 5,297 | 1,82 | 0,256 | 3,34 | 0,144 | 0,349 | 0,349 | 1,17E-03 | 126,7987 | 126,7975 | 126,7969 | 126,7942 | 1,386 | 0,418 |
| A4 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Knick 4 + Loch 5 | 1 | 1 | 4,005 | 3,700 | 3,700 | 1,474 | 6,771 | 3,34 | 0,327 | 5,46 | 0,120 | 0,340 | 0,340 | 1,86E-03 | 126,7972 | 126,7953 | 126,7938 | 126,7899 | 1,474 | 0,444 |
| Rohr durch Wand | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Knick 5 + Loch 6 | 1 | 1 | 6,405 | 6,100 | 6,100 | 1,617 | 8,388 | 5,46 | 0,405 | 8,38 | 0,050 | 0,322 | 0,322 | 2,70E-03 | 126,7940 | 126,7913 | 126,7885 | 126,7829 | 1,617 | 0,487 |
| A5 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Knick 6 + Loch 7 | 1 | 1 | 7,406 | 7,101 | 7,101 | 1,678 | 10,067 | 8,38 | 0,487 | 12,07 | 0,050 | 0,322 | 0,322 | 3,89E-03 | 126,7944 | 126,7906 | 126,7861 | 126,7785 | 1,678 | 0,506 |
| A6 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Knick 7 + Loch 8 | 1 | 1 | 8,407 | 8,026 | 8,026 | 1,884 | 11,951 | 12,07 | 0,578 | 17,02 | 0,087 | 0,330 | 0,330 | 5,61E-03 | 126,7893 | 126,7837 | 126,7772 | 126,7667 | 1,884 | 0,568 |
| A7 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Knick 8 + Loch 9 | 1 | 1 | 9,408 | 9,027 | 9,027 | 2,139 | 14,090 | 17,02 | 0,681 | 23,65 | 0,083 | 0,329 | 0,329 | 7,78E-03 | 126,7819 | 126,7741 | 126,7649 | 126,7505 | 2,139 | 0,645 |
| A8 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Loch 10 | 1 | 1 | 10,410 | 9,952 | 9,952 | 2,445 | 16,535 | 23,65 | 0,799 | 32,57 | 0,081 | 0,328 | 0,328 | 1,07E-02 | 126,7716 | 126,7610 | 126,7480 | 126,7284 | 2,445 | 0,737 |
| Bogen | 90 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rohrstück vertikal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bogen | 90 | 1 | 14,940 | 1,200 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rohrstück d. Wand | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bogen | 90 | 1 | 16,140 | 0,800 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rohrstück | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Auslauf | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 16,940 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

1: Durchflusskoeffizient für die Lochströmung
 2: Verlustbeiwert anzuwenden auf Austrittsgeschwindigkeit V_{aus}
 3: Verlustbeiwert nach Idelcik, 1986
 4: Verlustbeiwert nach Bollrich/Preissler, 1992

WKA Kirschhofen

Anhang 2.1

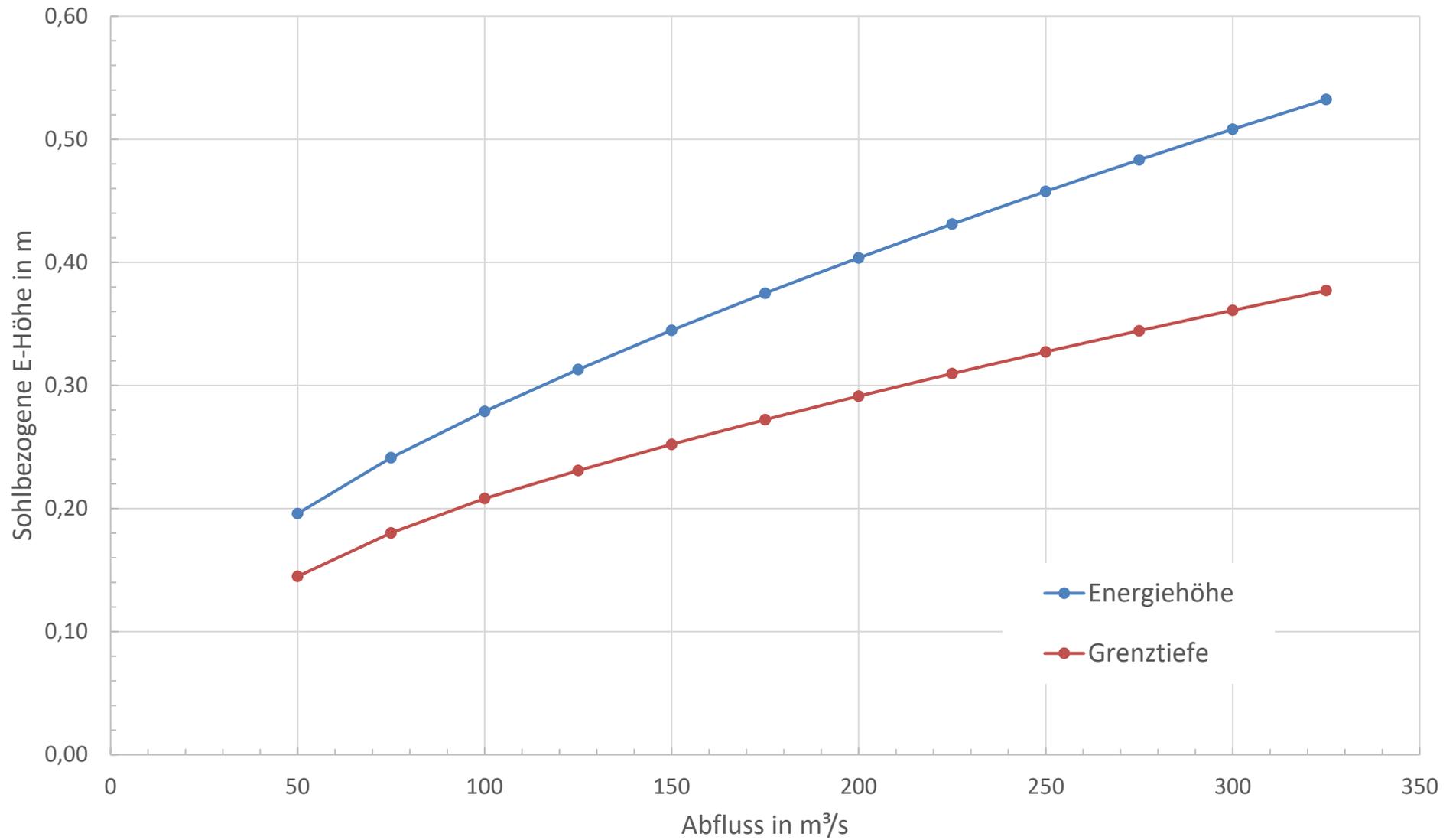
Abflusskurve für Trapezkontrolle am Ende der Abstiegsrinne

Vorwerte: b0 0,2 m
 m 1 [-]
 b1 0,6 m

| Nr. | Abfluss | | h _{gr} m | A _{gr} m ² | v _{gr} m/s | v _{gr} ² /2g m | Ho _{min} m |
|-----|-------------------|-----|----------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| | m ³ /s | l/s | | | | | |
| 1 | 0,050 | 50 | 0,145 | 0,04997 | 1,00057 | 0,051 | 0,196 |
| 2 | 0,075 | 75 | 0,180 | 0,06851 | 1,09476 | 0,061 | 0,241 |
| 3 | 0,100 | 100 | 0,208 | 0,08490 | 1,17791 | 0,071 | 0,279 |
| 4 | 0,125 | 125 | 0,231 | 0,09851 | 1,26887 | 0,082 | 0,313 |
| 5 | 0,150 | 150 | 0,252 | 0,11125 | 1,34838 | 0,093 | 0,345 |
| 6 | 0,175 | 175 | 0,272 | 0,12329 | 1,41947 | 0,103 | 0,375 |
| 7 | 0,200 | 200 | 0,291 | 0,13476 | 1,48408 | 0,112 | 0,404 |
| 8 | 0,225 | 225 | 0,310 | 0,14577 | 1,54351 | 0,121 | 0,431 |
| 9 | 0,250 | 250 | 0,327 | 0,15638 | 1,59868 | 0,130 | 0,458 |
| 10 | 0,275 | 275 | 0,344 | 0,16664 | 1,65029 | 0,139 | 0,483 |
| 11 | 0,300 | 300 | 0,361 | 0,17659 | 1,69885 | 0,147 | 0,508 |
| 12 | 0,325 | 325 | 0,377 | 0,18627 | 1,74479 | 0,155 | 0,532 |

Fischabstieg Kirschhofen
Abflusskurve hydraulische Kontrolle

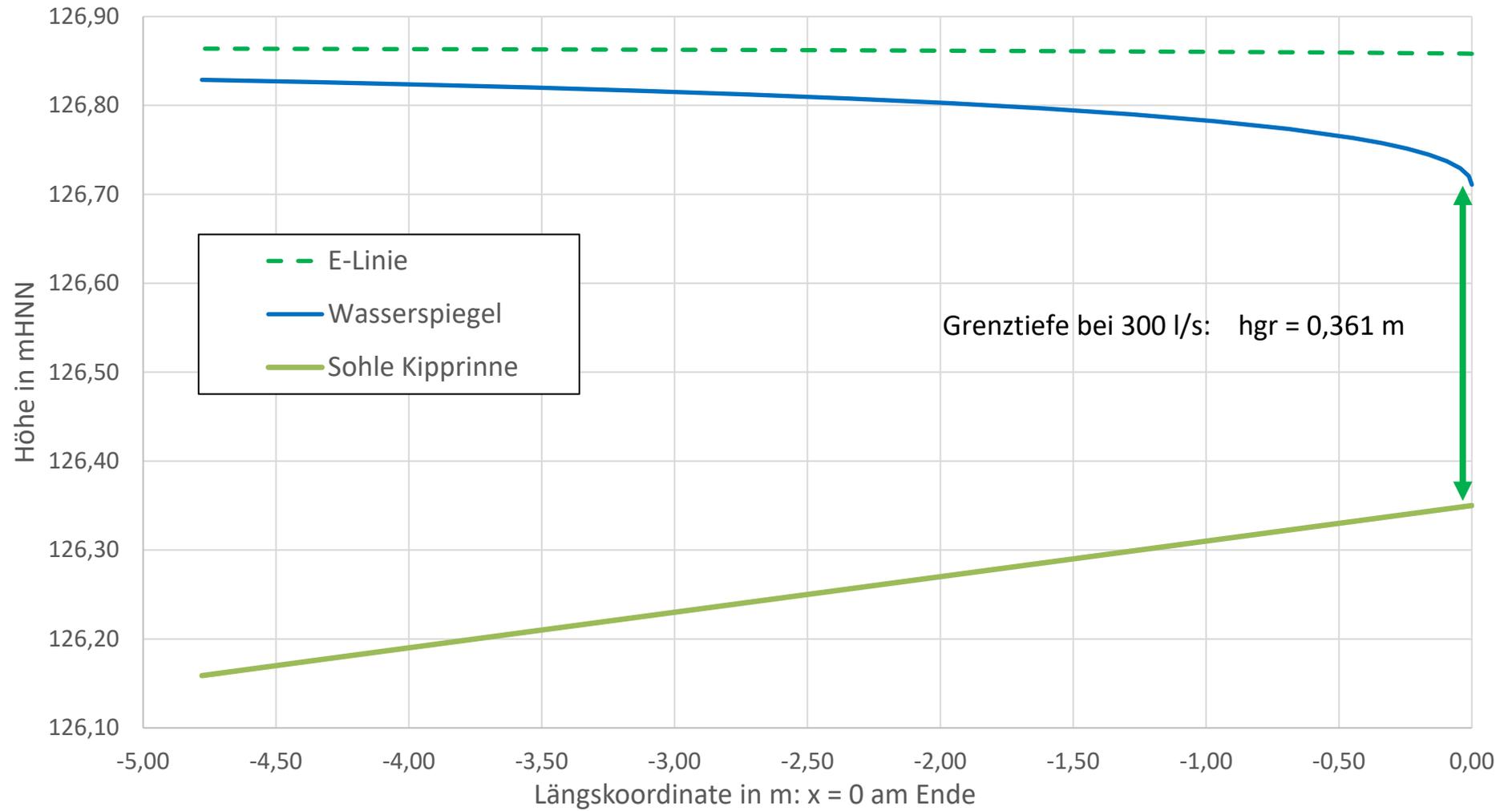
Anhang 2.2



WKA Kirschhofen

Anhang 3

Spiegellinie in der beweglichen Abstiegsrinne im Normalzustand



WKA Kirschhofen Anhang 4

Berechnung Kurve Fallstrahl

Abwurfwinkel

horizontal

v_0 1,7 m/s

g 9,80665 m/s²

Reichweite als Funktion der Höhe

| Fallhöhe | Wurfweite |
|----------|-----------|
| h | x |
| m | m |
| 0,000 | 0 |
| 0,050 | 0,172 |
| 0,100 | 0,243 |
| 0,150 | 0,297 |
| 0,200 | 0,343 |
| 0,250 | 0,384 |
| 0,300 | 0,420 |
| 0,350 | 0,454 |
| 0,400 | 0,486 |