



Technische Universität Graz
Dekanat für Bauingenieurwissenschaften
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Optimierung einer Kleinwasserkraftanlage in Bezug auf Restwassernutzung und Eisstoß

Masterarbeit
von
Johanna SONNWEBER, BSc

Vorgelegt zur Erlangung des akademischen Grades eines Masters der
Studienrichtung Bauingenieurwesen

Graz, im Februar 2010



Betreuer der Masterarbeit:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald ZENZ

.....

Mitbetreuender Assistent:

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmut KNOBLAUCH

.....



Eid (Ehrenwörtliche Erklärung)

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich dieses Masterthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin oder einem Beurteiler) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

.....

Ort, Datum	Unterschrift
------------	--------------

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei meinem betreuenden Assistenten Herrn Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmut Knoblauch für die umfassende Betreuung und Unterstützung. Ein Danke auch an Frau Dipl.-Ing. Simone Ortner für die Beantwortung meiner Fragen.

Vielen Dank an die Betreiber des Kraftwerkes Hammerhof Herrn Dipl.-Ing. Burkhard Neuper und Herrn Ing. Wernfried Neuper.

Ein herzliches Dankeschön auch an das Zivilingenieurbüro Dipl.-Ing. Karl Michael Pittino im Speziellen auch Herrn Dipl.-Ing. Robert Perci.

Mein Dank gilt auch all jenen die mich bei den Messungen im Vorfeld unterstützen, Markus Lienhart, BSc und Herbert Geiger, BSc vom Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Herrn Franz Enzinger vom Kraftwerk Hammerhof und Herrn Roland Fuchs vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau für das Zurverfügungstellen des Messinstruments und die Betreuung.

Der größte Dank gilt meiner Familie, meinem Partner mit Familie und meinen Freunden. Danke Papa, dass du mir dieses tolle Studium ermöglicht hast. Danke auch an Martin für das Zuhören, das Zureden und das einfach immer da sein. Auch bei Familie Mödlinger möchte ich mich herzlich bedanken. Ein Dankeschön auch meinen Freunden, die mich in so mancher Situation motivierten.

Kurzfassung

In dieser Masterarbeit werden für die Kleinwasserkraftanlage Hammerhof Optimierungsvorschläge zur verbesserten Nutzung und Steigerung der Energieeffizienz der gesamten Anlage, exklusive der maschinellen Ausrüstung, ausgearbeitet. Als Grundlage dienen eine Bestandsaufnahme vor Ort, Messungen, sowie hydraulische Berechnungen an maßgebenden Stellen.

Das Kraftwerk befindet sich in Unterzeiring am Pölsfluss im Bezirk Judenburg in der Steiermark.

Ein neuer Ist-Zustand wird sich in den kommenden Monaten einstellen, weil ein neuer Wasserrechtsbescheid Umbaumaßnahmen, welche die Restwasserabgabe betreffen, erforderlich macht. Diese zukünftige Situation wird in dieser Masterarbeit berücksichtigt. Vertiefend wird die Restwasserabgabe, welche vom Land Steiermark vorgeschrieben wurde und die Eisstoßproblematik des Kleinwasserkraftwerkes behandelt. Weitere Optimierungsvorschläge, welche geordnet nach ihrem Nutzen gegenüber den Kosten aufgelistet werden, sind Teil dieser Arbeit.

Das Restwasser wird einerseits durch den vorgeschriebenen Fischaufstieg und andererseits durch einen eventuellen Einbau einer Restwasserschnecke genützt werden. Die möglichen Fischaufstiege werden in dieser Masterarbeit näher erläutert, ebenso der Einbau einer Restwasserschnecke.

Die Eisstoßproblematik wird genau erfasst, klassifiziert und Maßnahmen zur Eisstoßvermeidung, -minderung und -bekämpfung besprochen.

Weitere Optimierungsvorschläge werden als Maßnahmenkatalog aufgelistet. Ziel hierbei ist es, z.B. bei anfallenden Instandhaltungsmaßnahmen am Gerinne, durch einen Umbau oder eine neue Oberflächenbeschichtung eine Verringerung der hydraulischen Verluste herbei zu führen.

Outline

Optimization of a Small Hydropower Plant in Terms of the Usage of Residual Water and Ice Jams

This Master Thesis will deal with the optimization of the small hydropower plant Hammerhof. Suggestions for improving the usage and increasing the energy efficiency of the entire facility, excluding the mechanical equipment, will be made. To serve as a basis for hydraulic calculations, measurements will be taken at critical places of the power plant.

The power plant is located in Unterzeiring along the River Pölsfluss in the region Judenburg, Styria.

In the next few months a change in the current water rights certificate will make construction measures necessary due to residual water usage. Deepening of the residual water delivery channel, which is required from the Styrian Provincial Administration, will be discussed to address the ice jam problems of this power plant. Also, as part of this paper, other optimization suggestions will be discussed in relation to their cost-benefit(s).

The residual water will be used for the required fish ladder (fish will pass from the bottom up) and for the possible installation of a hydraulic screw, also known as an Archimedean Spiral or Screw. Various kinds of fish ladders will be explained in detail in this thesis, as well as the installation of the hydraulic screw.

Ice jam problems will be accurately identified, classified and measured for the prevention, reduction and control of ice jams.

Further optimization suggestions will be listed and discussed. An example of this could be to minimize the hydraulic loss with modification of the channel or with a new surface coating of the channel.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Allgemeine Aufgabenstellung	1
1.2	Zielsetzungen der Masterarbeit	1
1.3	Charakteristika der Kleinwasserkraftanlage	2
2	Ist-Zustand der Kleinwasserkraftanlage	4
2.1	Bestandteile der Anlage	4
2.1.1	Ausleitungsstrecke	7
2.1.2	Stauraum	7
2.1.3	Wehranlage	8
2.1.4	Oberwassergerinne	8
2.1.5	Überlauf	9
2.1.6	Krafthaus	10
2.1.7	Unterwassergerinne	11
2.1.8	Absperrorgane Wehranlage und Krafthaus	12
2.2	Geschwindigkeitsmessungen	13
2.2.1	Das Messequipment	13
2.2.2	Messungen Oberwassergerinne	13
2.2.3	Messungen Ausleitungsstrecke	23
2.3	Ausbaupläne / zukünftige Gestaltung	27
3	Restwassernutzung unter den Gesichtspunkten der Wasserrahmenrichtlinie	28
3.1	Allgemeines	28
3.2	Grundlagen	29
3.2.1	Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie	29
3.2.2	Vorgaben des Landes Steiermark für das Kraftwerk Hammerhof	35
3.3	Zu beachtende Randbedingungen	35
3.3.1	Örtliche Randbedingungen	35
3.3.2	Technische Randbedingungen	36
3.4	Methoden und Möglichkeiten	37
3.5	Wasserkraftschnecke	37
3.5.1	Allgemeines	37
3.5.2	Grundlagen	38
3.5.3	Technische Randbedingungen	38

3.5.4	Wasserkraftschnecke im Kraftwerk Hammerhof	39
3.6	Fischwanderhilfen	41
3.6.1	Allgemeines	41
3.6.2	Naturnahe Bauweisen	42
3.6.3	Technische Bauweisen	44
3.6.4	Planungsgrundlagen	47
3.6.5	Randbedingungen	51
3.6.6	Fischaufstieg im Kraftwerk Hammerhof	51
3.6.7	Fischabstieg im Kraftwerk Hammerhof	53
4	Eisstoß	55
4.1	Allgemeines	55
4.2	Theoretische Grundlagen	55
4.2.1	Vorraussetzungen für das Entstehen von Eisstößen	56
4.2.2	Klassifikation von Eisstößen	57
4.2.3	Eisabgang	63
4.3	Maßnahmen zur Eisstoßvermeidung, -minderung und -bekämpfung	65
4.3.1	Bauliche Maßnahmen	65
4.3.2	Nichtbauliche Maßnahmen	67
4.4	Methoden und Möglichkeiten im Kraftwerk Hammerhof	70
4.4.1	Stauraum/Wehranlage	72
4.4.2	Oberwassergerinne	74
4.4.3	Unterwassergerinne	75
5	Optimierung der Anlage	76
5.1	Allgemeines	76
5.2	Optimierungsvorschläge	76
5.2.1	Gesamte Anlage	76
5.2.2	Wehranlage	77
5.2.3	Einlauf OW-Gerinne	79
5.2.4	Oberwassergerinne	84
5.2.5	Unterwassergerinne	92
5.3	Diskussion der Berechnungsergebnisse	95
5.4	Bewertung der Optimierungsvorschläge	95
6	Analyse und Schlussfolgerung	100
7	Verzeichnisse	103

7.1	Literaturverzeichnis	103
7.2	Abbildungsverzeichnis	105
7.3	Tabellenverzeichnis	106

1 Einleitung

1.1 Allgemeine Aufgabenstellung

Um einen möglichst hohen Wirkungsgrad einer Kleinwasserkraftanlage zu erreichen, sollte diese auf dem neuesten Stand der Technik sein. Die Kleinwasserkraftanlage der E-Werk & Kabel-TV Neuper GmbH am Pölsfluss im Bezirk Judenburg/Steiermark, welche 100 Jahre alt ist, kann einem Neubau durch ein wirtschaftlich vertretbares Maß nicht wirklich nahe kommen. Ein Neubau wäre kostengünstiger, doch der Charme der alten Anlage ginge dabei verloren. Daher soll die bestehende Anlage dem heutigen Stand der Technik, in wirtschaftlicher als auch in denkmalpflegerischer Hinsicht, so gut wie möglich angepasst werden.

Die Erhebung des Ist-Zustandes erfolgt durch eine Besichtigung der Wasserkraftanlage, Gespräche mit den Betreibern, sowie durch Messungen, welche am Oberwassergerinne (abgekürzt mit OW-Gerinne) und an der Ausleitungsstrecke durchgeführt werden. Weiters werden alte und neue Pläne miteinander verglichen und vorhandene Dokumente sowie Fotos bewertet.

In dieser Masterarbeit werden daraus zunächst allgemeine Optimierungsvorschläge ausgearbeitet und diese nach Dringlichkeit und Wirtschaftlichkeit eingestuft.

Ein Schwerpunkt dieser Arbeit wird die Restwasserproblematik mit einem Fischaufstieg, welcher laut EU-Wasserrahmenrichtlinie erforderlich ist, und eine Wasserkraftschnecke, welche zur Restwassernutzung dient, darstellen. Restwasser ist jenes Wasser, das laut EU-Wasserrahmenrichtlinie auf jeden Fall im natürlichen/naturnahen Gerinne verbleiben muss. Mehr dazu siehe Kapitel 3.

Der Eisstoß wird ein weiterer Schwerpunkt sein. Hierbei sind dem Flusslauf und der Sedimentführung besondere Beachtung zu schenken. Unter Eisstoß versteht man eine Anhäufung von Eisschollen, welche den Wasserabfluss stark beeinträchtigen und bewegliche Teile einer Wasserkraftanlage beschädigen können. Mehr dazu siehe Kapitel 4.1.

1.2 Zielsetzungen der Masterarbeit

Ziel der Masterarbeit ist es einen Maßnahmenkatalog zur Optimierung der Kleinwasserkraftanlage am Pölsfluss zu erstellen.

Optimierungsmaßnahme 1 wird die Restwasserproblematik behandeln und Optimierungsmaßnahme 2 die Eisstoßproblematik. Die weitere Reihenfolge der Optimierungsvorschläge wird sich nach dem Kosten-Nutzen-Faktor richten.

Ein Maßnahmenkatalog wird deshalb erarbeitet und vorgeschlagen, weil diese Anlage schrittweise optimiert werden soll, d.h. falls ein Teil dieser Anlage alterungsbedingt Probleme bereiten sollte, wird die jeweilige Maßnahme des Kataloges zur Umsetzung gebracht. Als Beispiel seien hier die Stützmaßnahmen des Oberwassergerinnes nahe dem Wohnhaus genannt. Diese sind bereits älter und müssen in naher Zukunft ausgetauscht werden. Im Zuge dessen könnte man das gesamte Triebwassergerinne, bestehend aus dem Ober- und Unterwassergerinne (abgekürzt mit UW-Gerinne), von Grund auf oder teilweise sanieren bzw. erneuern. Aufzuzeigen, welche Maßnahmen diesbezüglich am sinnvollsten sind, ist auch ein Ziel dieser Masterarbeit.

1.3 Charakteristika der Kleinwasserkraftanlage

Die Kleinwasserkraftanlage wurde 1910 in Betrieb genommen und ist bis auf ein paar kleine Ausnahmen noch im Originalzustand. Eine dieser Ausnahmen ist im Krafthaus zu finden. Die Generatoreinheit wurde dem heutigen Stand der Technik angepasst um einen höheren Wirkungsgrad der maschinellen Einrichtung zu erzielen. Kleine Änderungen wurden beim Einlauf in das Oberwassergerinne gemacht: Ein Grobrechen aus Holz hält im Winter das Eis vom Gerinne fern. Diese Maßnahme wurde notwendig, weil die Anlage seit ca. 1960 auch im Winter elektrische Energie erzeugen sollte, was ursprünglich nicht vorgesehen war. Bei der Einmündung vom Krafthaus kommend in das natürliche/naturnahe Flussbett wurden Wasserbausteine am orografisch linken Ufer des Auslaufes geschüttet um einen möglichst naturnahen Übergang zu erhalten und somit eine hydraulisch günstigere Situation herzustellen.

Sämtliche Bauwerke, wie die Wehranlage, die Sicherungsmaßnahmen am orografisch linken Ufer des Oberwassergerinnes und die Schütze sind aus Holz. Die Antriebseinheiten der Schütze sind aus Stahl und mittlerweile mit elektrischen Antrieb versehen. Auch ein Steg, der über das Oberwassergerinne führt, besteht aus Holz. Die Hochwasserentlastung sowie das Krafthaus sind aus Beton mit Stahlbauteilen. Das Oberwassergerinne, das als Trapezprofil ausgeführt ist, ist teilweise mit kleineren Flussbausteinen befestigt.

Nicht nur die Wasserkraftanlage, sondern auch die umliegenden Wirtschafts-

gebäude und das Wohnhaus sind schon etwas älter, was natürlich den Charme der Anlage ausmacht. Der Hammerhof, welcher sämtliche Bauwerke umfasst, ist liebevoll gepflegt und lädt zu einem Besuch ein. Dies ist auch durchaus erwünscht, weil es sich bei dieser Kleinwasserkraftanlage seit 2009 auch um ein Schauwerk handelt und daher Besuchern einen Einblick erlaubt.

Eine solche Anlage bedeutet stets Arbeit, durch Wartungen, Instandhaltungen und Erneuerungen, wenn man diese bestmöglich betreiben möchte. Deshalb überlegen die Betreiber den Wirkungsgrad der gesamten Anlage zu erhöhen, indem eine Wasserkraftschnecke eingebaut wird, um die Energie aus dem Restwassers zu gewinnen. Gleichzeitig sollen die neuen Auflagen der EU-Wasser-rahmenrichtlinie erfüllt werden. Ein Fischaufstieg im Bereich des Wehres soll errichtet werden. Somit entspricht die Kleinwasserkraftanlage im ökologischen Sinn der Durchgängigkeit und dem Stand der Technik.

Der erste Schritt für eine Optimierung wäre damit gesetzt, doch die Eisproblematik könnte sich damit zuspitzen und soll deshalb in dieser Masterarbeit besonders behandelt werden.

In Abbildung 1 ist ein kleiner Eindruck der Anlage zu sehen.¹



Abb. 1: Links - Einlauf Oberwassergerinne; hinten rechts Wehranlage; Fließrichtung ↓

¹Sämtliche Angaben zur Fließrichtung werden nachfolgend mit: Fließrichtung und einem stilisierten Pfeil (z.B. ↓ oder →) dargestellt.

2 Ist-Zustand der Kleinwasserkraftanlage

2.1 Bestandteile der Anlage

Die Gesamtheit aller Anlagenteile, wie Bauwerke, Maschinen und Einrichtungen zur Energieumwandlung (potentielle und kinetische Energie wird in elektrische Energie umgewandelt) und zur Einspeisung in das Verbundnetz, wird als Wasserkraftwerk bezeichnet. Ein Kleinwasserkraftwerk darf eine maximale Leistung von 10 MW besitzen, ansonsten darf es nicht als Kleinwasserkraftwerk betrieben werden.

Ein Ausleitungskraftwerk ist dadurch definiert, dass das eigentliche Kraftwerk am Triebwasserkanal, zwischen Ober- und Unterwassergerinne, situiert ist. [1, S. 26, 29-30]

Im großen und ganzen sind die ursprünglichen Pläne von 1910 noch aktuell. Ein geschichtlicher Exkurs der Anlage ist zu finden im Kapitel 4.4.



Abb. 2: Vorhandene Pläne (von 1910) - Lageplan

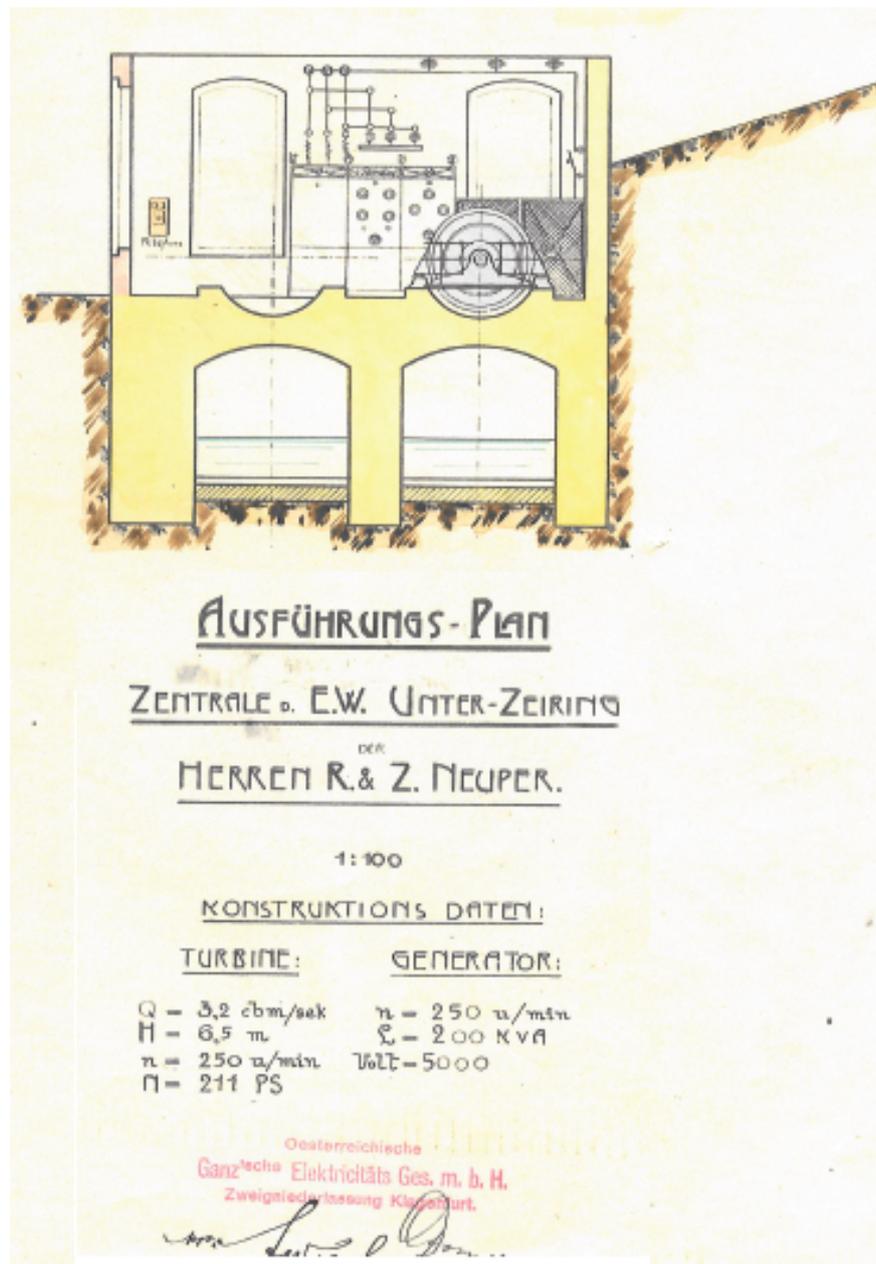


Abb. 3: Vorhandene Pläne (von 1910) - Krafthaus

In Abbildung 4 ist eine aktuelle Übersicht vom Kraftwerk (abgekürzt mit KW) Hammerhof zu sehen. Die wichtigsten Bestandteile der Anlage sind dort ersichtlich und werden nachfolgend näher erläutert.

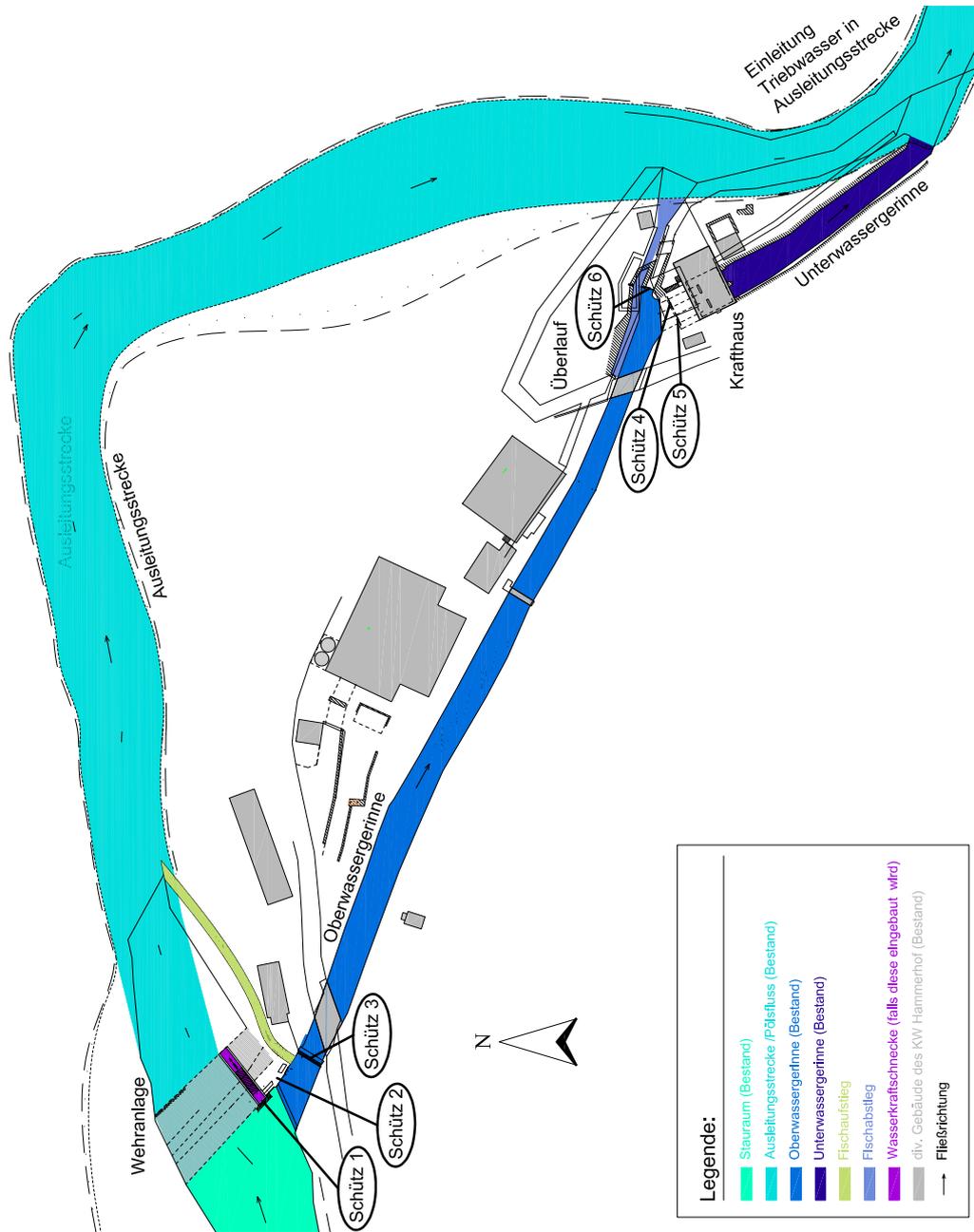


Abb. 4: Bestandteile der Kleinwasserkraftanlage

2.1.1 Ausleitungsstrecke

Als Ausleitungsstrecke wird das ursprüngliche Flussbett unterhalb einer Entnahmestelle bezeichnet. Das natürliche Abflussvolumen ist deutlich vermindert. Im Nachbarland Deutschland wird der Triebwasserweg als Ausleitungsstrecke bezeichnet. [1, S. 26]

Die Ausleitungsstrecke ist ca. 400 m lang, hat ein mittlere Breite von ca. 12 m und ein durchschnittliches Gefälle von 1 %. Zu Beginn fließt das Wasser in einem geradlinigen Verlauf dem Fluss entlang, nach ca. 185 m folgt ein Rechtsbogen mit einer Länge von ca. 20 m, der eine Richtungsänderung von ca. 90° bewirkt. Auf den nächsten 155 m folgt der Pölsfluss wieder einem leichten Rechtsbogen. Nach weiteren 270 m durchströmt das Wasser einen Linksbogen, dies hat eine Richtungsänderung von ca. 30° zur Folge. Nach weiteren 30 m mündet das Unterwassergerinne in das natürliche Flussbett. Das Kraftwerk befindet sich somit auf der Innenseite eines Mäanders des Pölsflusses, wie in Abbildung 4 zu sehen ist.



Abb. 5: Ausleitungsstrecke ca. 100 m unterhalb des Wehres; Fließrichtung ↑

2.1.2 Stauraum

Der Stauraum befindet sich oberhalb der Wehranlage. Eine Spülrinne ist nahe dem rechten Ufer ausgebildet, außerdem gibt es eine Anlandung auf der linken Seite etwa 70 m von der Wehrkrone entfernt. Sie hat die Aufgabe im Winter einen Eisstau vor der Wehrkrone zu erzeugen. (Abbildung 6)



Abb. 6: Stauraum; Fließrichtung ↓

2.1.3 Wehranlage

Ist ein Absperrbauwerk, das zum Aufstau und zur Regulierung des Wasserstandes oder des Abflusses dient. [1, S. 26]

Die Wehranlage des KW-Hammerhof besteht aus einem Wehrfeld mit fester Krone und angrenzendem Stufentosbecken ohne Gegenschwelle, das verwendete Baumaterial ist Holz. Das Wehrfeld mit einer Breite von ca. 26,5 m und einem Stauziel auf 883,35 m.ü.A. leitet das Wasser über 4 Stufen in die Ausleitungsstrecke.



Abb. 7: Wehranlage

Unterhalb der Wehranlage befindet sich eine Kolksicherung.

Seitlich befinden sich Sicherungsmaßnahmen aus Holz zur Uferbefestigung.

2.1.4 Oberwassergerinne

Die Länge des Oberwassergerinnes beträgt ca. 200 m, hat eine durchschnittliche Breite von 6 m und eine durchschnittliche Tiefe von 1,25 m und ist als offenes Gerinne ausgeführt. Ein Trapez sollte den Querschnitt des Gerinnes darstellen, doch die ursprünglichen Querschnitte sind durch mehrere Sanierungsmaßnahmen verändert worden, auch Unterspülungen im Uferbereich wirken sich hydraulisch ungünstig für das Oberwassergerinne aus.



Abb. 8: OW-Gerinne zwischen oberer Brücke und Steg - links Fließrichtung ↑
und rechts Fließrichtung ↓



Abb. 9: OW-Gerinne zwischen Steg und unterer Brücke - links Fließrichtung
↑ und rechts Fließrichtung ↓

Das Gerinne wird mit einer Geschwindigkeit von ca. 1,2 m/s und einer Durchflussmenge von ca. 6,5 m³/s durchflossen.

Das Sediment, das den Weg in das Oberwassergerinne findet, sinkt aufgrund der geringeren Fließgeschwindigkeit zu Boden. Spülungen sind deshalb notwendig.

2.1.5 Überlauf

Die Entlastung ist als seitlicher Überlauf ausgebildet und fließt in die Ausleitungsstrecke. Auf einer Länge von ca. 20 m kommt es hier im Winter immer wieder zu Vereisungen.



Abb. 10: Links - Überlauf; rechts - Einlauf Turbinen; Fließrichtung ↑

2.1.6 Krafthaus

Das Krafthaus beinhaltet zwei Francis-Doppelturbinen und zwei Generatoren. Die technischen Daten sind in nachfolgender Tabelle ersichtlich:

Bauteil	Technische Daten
<i>Turbine 1</i>	Hersteller: Ganz [1910] Schluckvermögen: $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ Fallhöhe: 6,5 m Nenndrehzahl: 250 1/min Nennleistung: 135 kW
<i>Turbine 2</i>	Hersteller: Siemens [1917] Schluckvermögen: $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ Fallhöhe: 6,5 m Nenndrehzahl: 250 1/min Nennleistung: 157 kW
<i>Generator 1</i>	Hersteller: Ganz [1910] (Umbau Fa. Kunz/Knittelfeld) Nennleistung: 140 kVA Nennspannung: 400 V
<i>Generator 2</i>	Hersteller: Siemens [1917] Nennleistung: 195 kVA Nennspannung: 5.000 V

Tab. 1: Technische Daten des KW-Hammerhof



Abb. 11: Generatoren



Abb. 12: Krafthaus; Fließrichtung ↓

2.1.7 Unterwassergerinne

Das Unterwassergerinne ist als Rechteckgerinne ausgebildet, wie in Abbildung 12 zu sehen. Zwischen Krafthaus und Einleitung erfährt das Gerinne zwei Knicke, sowie eine Querschnittsverengung (Abbildung 13). Daraus resultieren hydraulische Verluste.

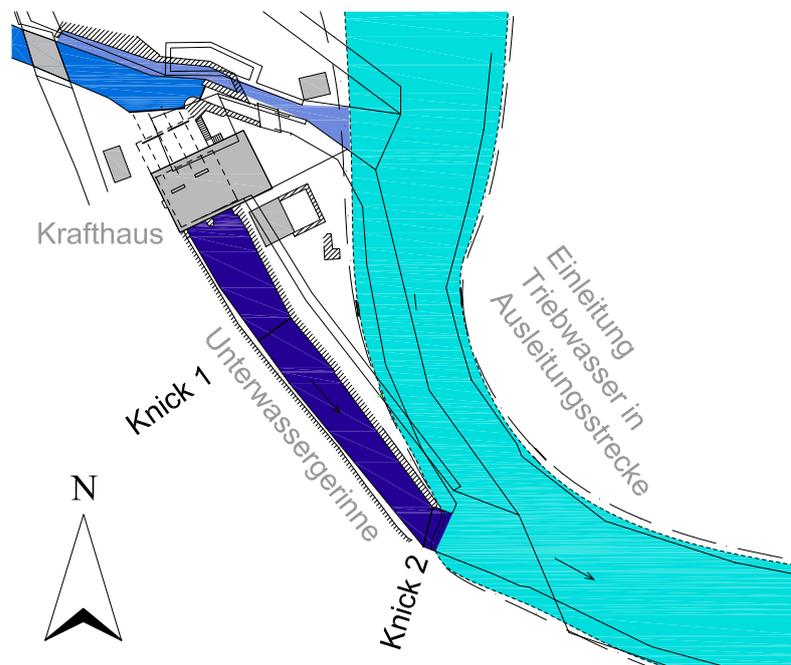


Abb. 13: Situation Unterwassergerinne

2.1.8 Absperrorgane Wehranlage und Krafthaus

Bei allen Schützen ist der Antrieb für die Hebevorrichtung elektrisch gesteuert. Die Querbalken der Gleitschütze sind aus Holz, die seitlichen Führungsschienen sowie die Hebeanlage bestehen auf rostfreiem Stahl. Schütz 1 und 2 sind mit Holzschindeln überdacht. Eine automatische Rechenanlage mit vorgeseztem Grobrechen befindet sich vor Schütz 3 und 4.

Schütz 1:

Dieser Schütz befindet sich orografisch rechts der Wehranlage und dient als Revisionsschütz für Schütz 2.

Schütz 2:

Das zweite Schütz befindet sich rechts neben Schütz 1 und dient zum Spülen. Angelandete Sedimente im Stauraum können hier abtransportiert werden.

Schütz 3:

Schütz 3 besteht eigentlich aus zwei Schützen, sie sind einzeln steuerbar. Die Schütze befinden sich ca. 13 m nach dem Einlauf in das Oberwassergerinne um dieses für Wartungszwecke schließen zu können.

Schütz 4:

Um für Wartungsarbeiten der Turbine 1 im Trocken arbeiten zu können ist dieser Schütz gedacht.

Schütz 5:

Schütz 5 dient demselben Zweck wie Schütz 4, nur für Turbine 2.

Schütz 6:

Dieser Schütz dient zur Spülung des Oberwassergerinnes, er befindet sich am Kopf der Hochwasserentlastung und führt in die Ausleitungsstrecke.

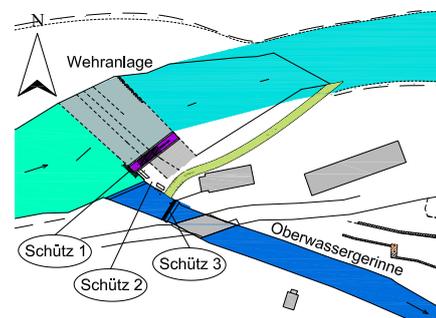


Abb. 14: Situierung Schütz 1, 2 und 3

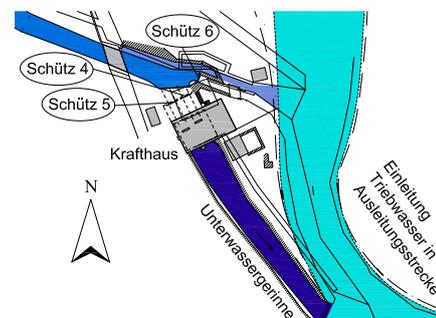


Abb. 15: Situierung Schütz 4, 5 und 6

2.2 Geschwindigkeitsmessungen

2.2.1 Das Messequipment

Das Messgerät:

Die Geschwindigkeitsmessungen wurden mit einem Sensor der Firma Ott des Types NAUTILUS C 2000 durchgeführt. Es handelt sich hierbei um einen elektromagnetischen Strömungsmesser, der speziell für geringe Fließgeschwindigkeiten (0,000 - 2,500 m/s) entwickelt wurde. Da es keine mechanisch bewegten Teile gibt ist das Messinstrument nahezu wartungsfrei, außerdem extrem robust und schlagfest.[2]

Das Auswertegerät:

Die gemessene Fließgeschwindigkeit ist auf dem Display des batteriebetriebenen Auswertegerätes SENSE Z 300 direkt in [m/s] ablesbar. Die Daten können aber auch direkt über eine integrierte RS-232-Schnittstelle auf den PC geladen werden, was bei diesen Messungen aber nicht erfolgte.[2]



Abb. 16: Messinstrument [2] Nautilus C 2000



Abb. 17: Auswertegerät [2]

2.2.2 Messungen Oberwassergerinne

Die Abbildungen ab Seite 16 stellen Querschnitte in regelmäßigen Abständen von ca. 23 m des Oberwassergerinnes dar.

Farblich gestaltet sind die gemessenen Geschwindigkeiten. Links neben den Querschnitten ist eine Legende ersichtlich. Rötliche Töne stellen dabei die jeweils höchsten und blaue Töne die jeweils geringsten Geschwindigkeiten dar. Die ersten 25 cm unterhalb des Wasserspiegels wurden bei den Messungen ver-

nachlässigt und sind daher weiß dargestellt, ebenso wie die ersten 50 cm von beiden Ufern.

Die Abmessungen der Querschnitte sind den Abbildungen zu entnehmen.

Im Lageplan (Abbildung 19) sind die Querschnitte ersichtlich, an welchen Messungen durchgeführt wurden.

Die hydraulische Berechnung und damit die Auswertung der Messergebnisse erfolgt in Kapitel 5.2.4.



Abb. 18: Geschwindigkeitsmessung im Oberwassergerinne

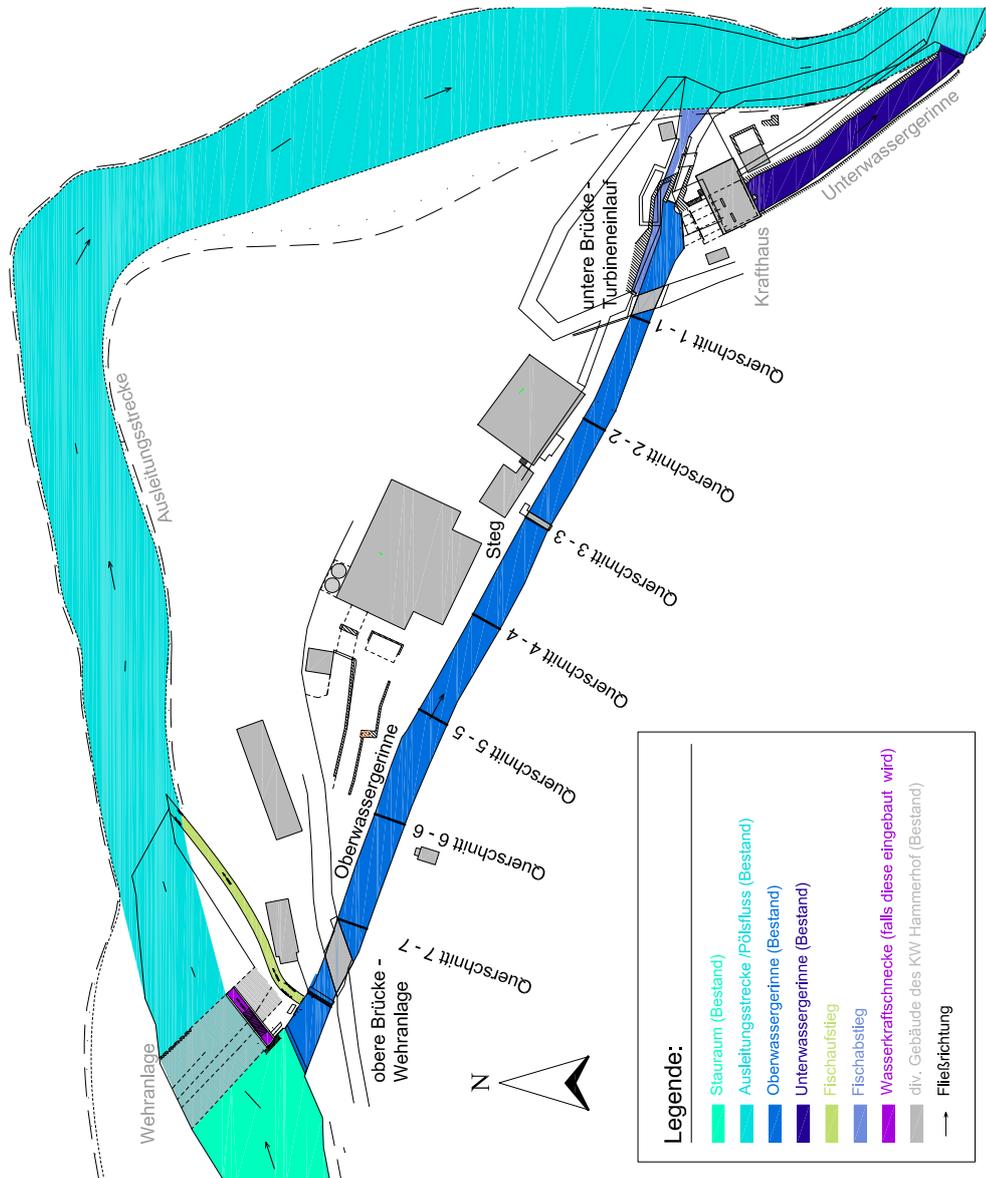
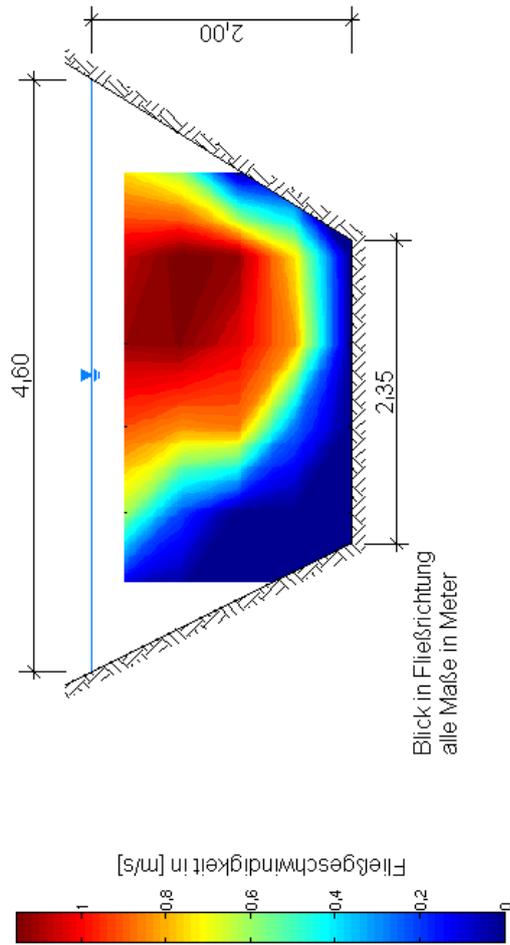
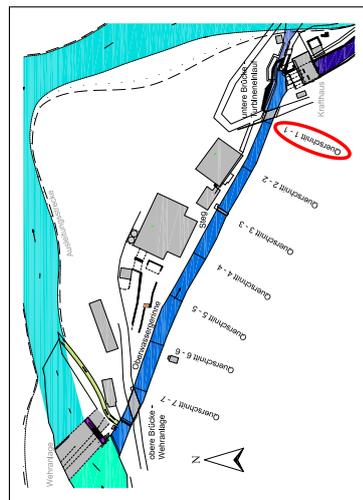


Abb. 19: Lageplan Oberwassergerinne

Querschnitt 1-1

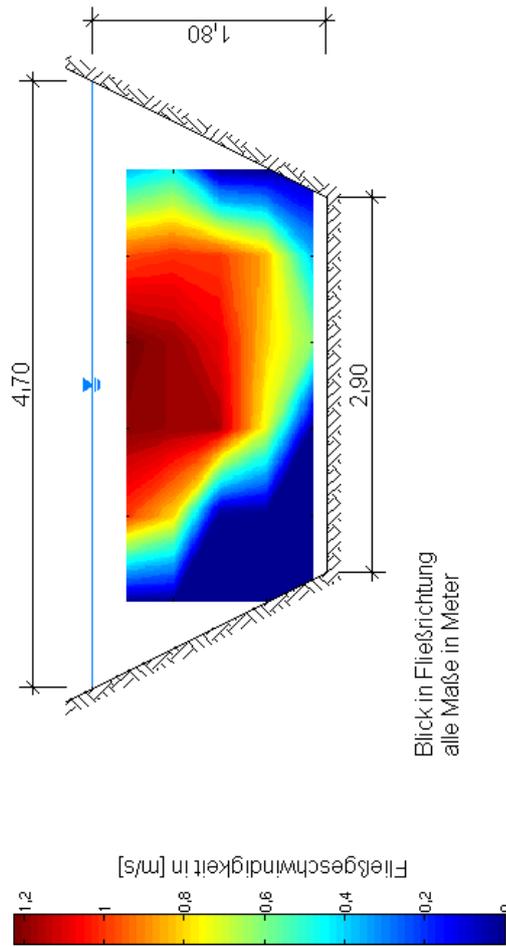
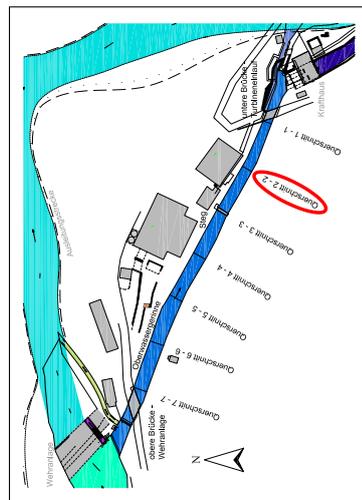


Entfernung [m]	Tiefe [m]	v [m/s]
0,5	0,25	1,330
0,5	0,50	1,475
1,5	0,25	1,626
1,5	0,50	1,618
2,5	0,25	1,260
2,5	0,50	1,257
3,5	0,25	1,658
3,5	0,50	1,630
4,5	0,25	1,581
4,5	0,50	0,634

Tab. 2: Fließgeschwindigkeiten QS 1-1

Abb. 20: Fließgeschwindigkeiten QS 1-1

Querschnitt 2-2



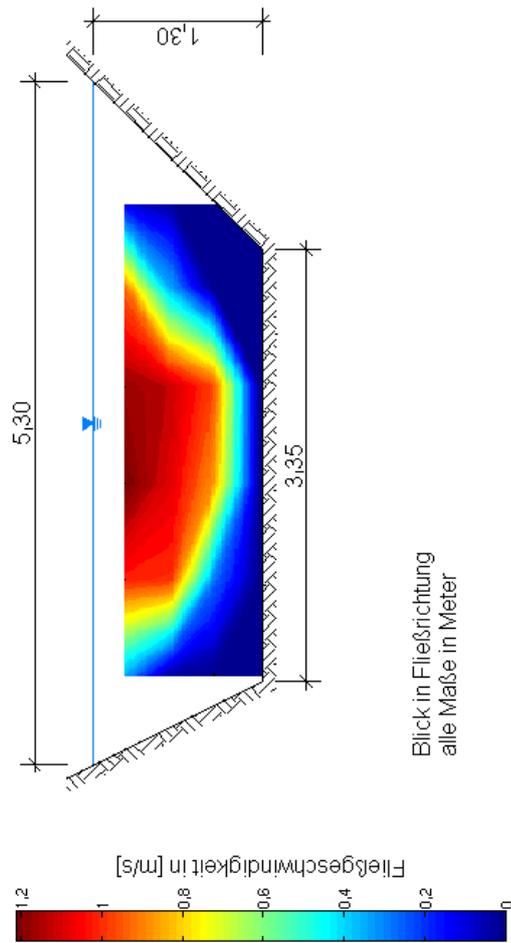
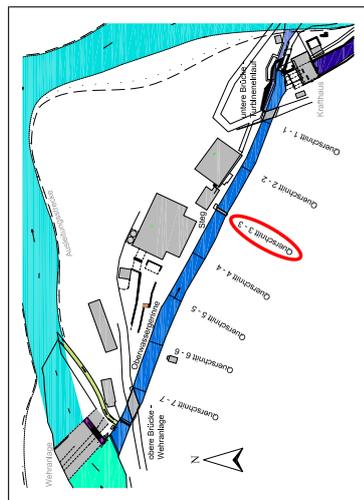
Blick in Fließrichtung
alle Maße in Meter

Entfernung [m]	Tiefe [m]	v [m/s]
0,5	0,25	1,255
0,5	0,75	0,990
0,5	1,25	-
1,5	0,25	1,466
1,5	0,75	1,454
1,5	1,25	1,044
2,5	0,25	1,407
2,5	0,75	1,312
2,5	1,25	0,873
3,5	0,25	1,423
3,5	0,75	1,416
3,5	1,25	1,028
4,5	0,25	1,208
4,5	0,75	1,127
4,5	1,25	-
5,5	0,25	0,980
5,5	0,75	-
5,5	1,25	-

Tab. 3: Fließgeschwindigkeiten QS 2-2

Abb. 21: Fließgeschwindigkeiten QS 2-2

Querschnitt 3-3



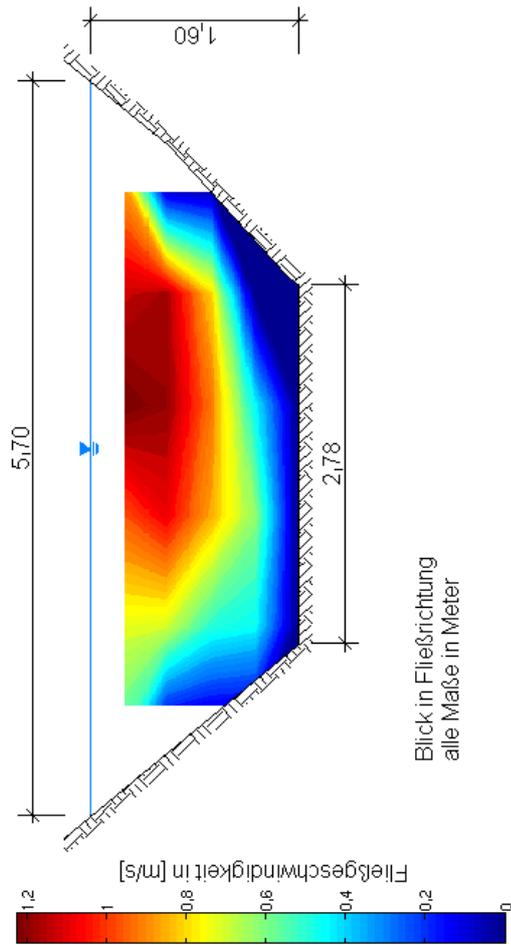
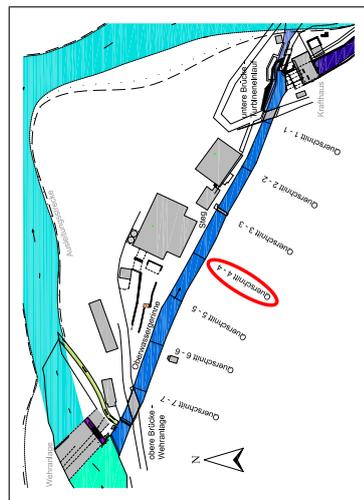
Blick in Fließrichtung
alle Maße in Meter

Entfernung [m]	Tiefe [m]	v [m/s]
0,5	0,25	0,583
0,5	0,75	0,455
0,5	1,25	-
1,5	0,25	1,000
1,5	0,75	0,998
1,5	1,25	0,814
2,5	0,25	1,290
2,5	0,75	1,199
2,5	1,25	0,490
3,5	0,25	1,338
3,5	0,75	1,144
3,5	1,25	0,889
4,5	0,25	1,228
4,5	0,75	0,995
4,5	1,25	0,747
5,5	0,25	0,695
5,5	0,75	0,507
5,5	1,25	-

Tab. 4: Fließgeschwindigkeiten QS 3-3

Abb. 22: Fließgeschwindigkeiten QS 3-3

Querschnitt 4-4



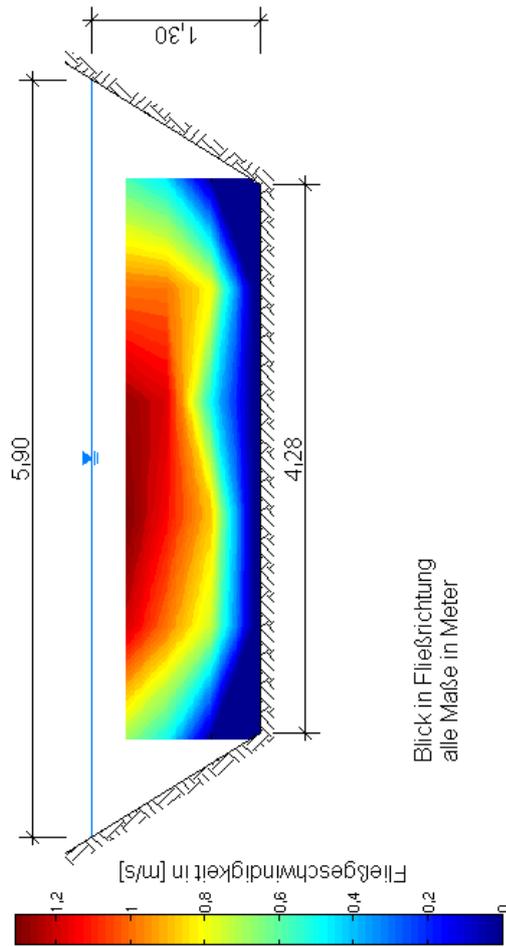
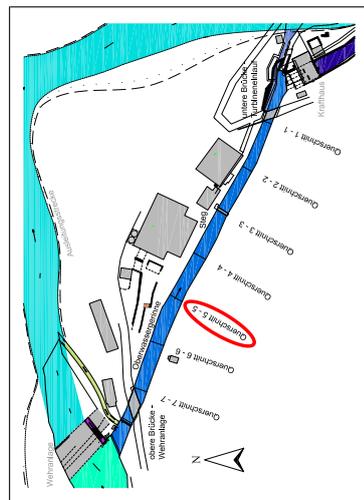
Blick in Fließrichtung
alle Maße in Meter

Entfernung [m]	Tiefe [m]	v [m/s]
0,5	0,25	0,530
0,5	0,75	-
0,5	1,25	-
0,5	1,75	-
1,5	0,25	0,734
1,5	0,75	0,714
1,5	1,25	0,508
1,5	1,75	0,464
2,5	0,25	0,981
2,5	0,75	1,092
2,5	1,25	0,866
2,5	1,75	0,631
3,5	0,25	1,250
3,5	0,75	1,204
3,5	1,25	0,933
3,5	1,75	0,454
4,5	0,25	1,142
4,5	0,75	1,182
4,5	1,25	0,820
4,5	1,75	-
5,5	0,25	0,873
5,5	0,75	-
5,5	1,25	-
5,5	1,75	-

Tab. 5: Fließgeschwindigkeiten QS 4-4

Abb. 23: Fließgeschwindigkeiten QS 4-4

Querschnitt 5-5



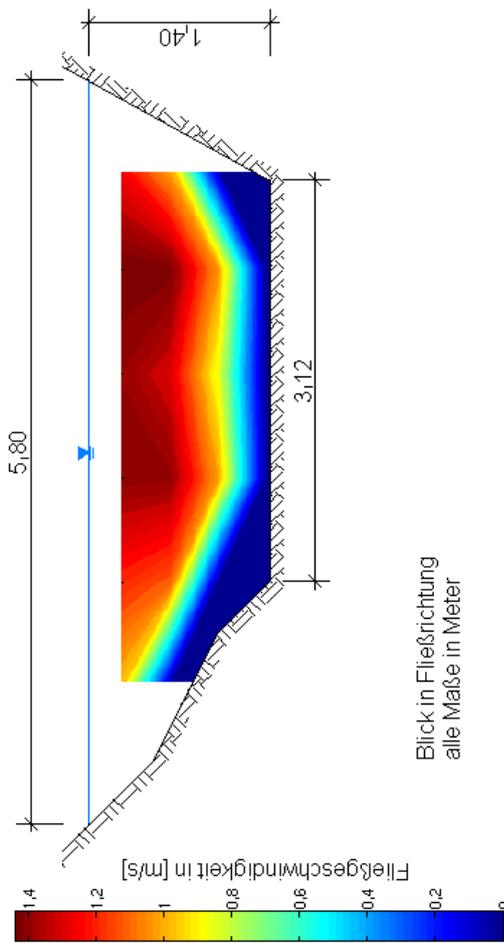
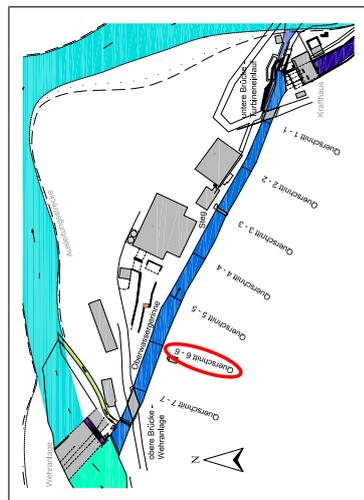
Blick in Fließrichtung
alle Maße in Meter

Entfernung [m]	Tiefe [m]	v [m/s]
0,5	0,25	0,336
0,5	0,75	-
0,5	1,25	-
1,5	0,25	1,027
1,5	0,75	1,014
1,5	1,25	0,286
2,5	0,25	1,238
2,5	0,75	1,103
2,5	1,25	0,876
3,5	0,25	1,184
3,5	0,75	1,138
3,5	1,25	0,976
4,5	0,25	0,947
4,5	0,75	0,366
4,5	1,25	-

Tab. 6: Fließgeschwindigkeiten QS 5-5

Abb. 24: Fließgeschwindigkeiten QS 5-5

Querschnitt 6-6

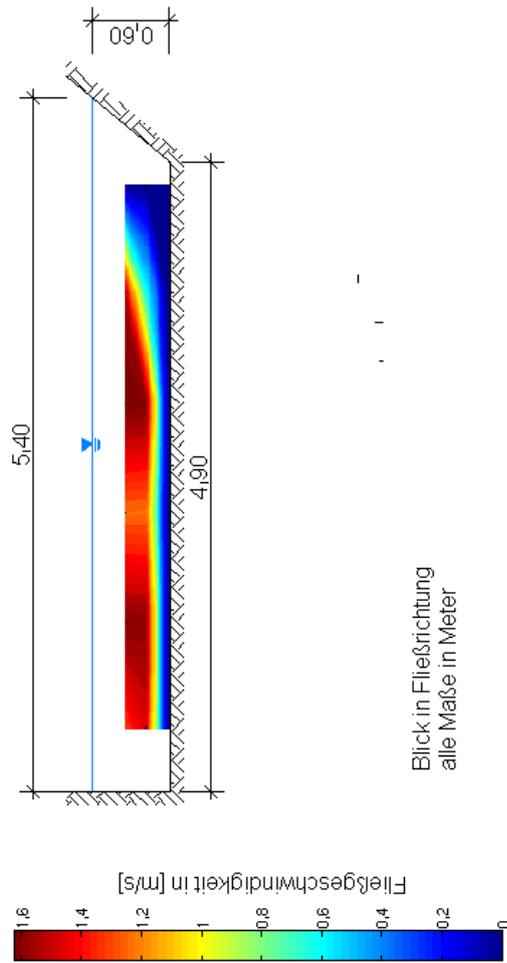
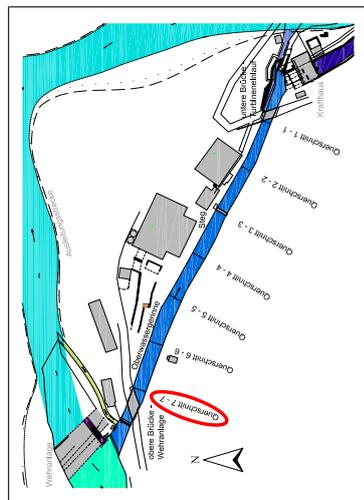


Entfernung [m]	Tiefe [m]	v [m/s]
0,5	0,25	0,365
0,5	0,75	0,458
0,5	1,25	-
0,5	1,75	-
0,5	2,00	-
1,5	0,25	0,980
1,5	0,75	1,017
1,5	1,25	1,005
1,5	1,75	0,856
1,5	2,00	0,380
2,5	0,25	1,248
2,5	0,75	1,189
2,5	1,25	1,096
2,5	1,75	0,823
2,5	2,00	0,624
3,5	0,25	1,215
3,5	0,75	1,196
3,5	1,25	1,175
3,5	1,75	0,736
3,5	2,00	-
4,5	0,25	1,006
4,5	0,75	0,813
4,5	1,25	-
4,5	1,75	-
4,5	2,00	-

Tab. 7: Fließgeschwindigkeiten QS 6-6

Abb. 25: Fließgeschwindigkeiten QS 6-6

Querschnitt 7-7



Blick in Fließrichtung
alle Maße in Meter

Entfernung [m]	Tiefe [m]	v [m/s]
0,5	0,25	0,746
0,5	0,75	0,595
0,5	1,25	-
0,5	1,75	-
1,5	0,25	1,076
1,5	0,75	1,177
1,5	1,25	1,140
1,5	1,75	0,752
2,5	0,25	1,130
2,5	0,75	1,157
2,5	1,25	1,044
2,5	1,75	0,845
3,5	0,25	0,924
3,5	0,75	0,848
3,5	1,25	0,875
3,5	1,75	0,271
4,5	0,25	0,631
4,5	0,75	0,223
4,5	1,25	-
4,5	1,75	-

Tab. 8: Fließgeschwindigkeiten QS 7-7

Abb. 26: Fließgeschwindigkeiten QS 7-7

2.2.3 Messungen Ausleitungsstrecke

Am 10.12.2009 wurden die Messung während der Mittagsstunden durchgeführt.

In Abbildung 28 ist der Querschnitt A - A dargestellt, welcher ca. 70 m von der Wehrkrone entfernt liegt. Der Querschnitt B - B (Abbildungen 30) liegt etwa 200 m, entlang der Flussmittellinie, vom Querschnitt A - A entfernt.

Farblich gestaltet sind die gemessenen Geschwindigkeiten. Links neben den Querschnitten ist eine Legende ersichtlich. Rötliche Töne stellen dabei die jeweils höchsten und blaue Töne die jeweils geringsten Geschwindigkeiten dar. Die ersten 5 cm unterhalb des Wasserspiegels wurden bei den Messungen nicht berücksichtigt und sind daher weiß dargestellt.

Die Abmessungen der Querschnitte sind den Abbildungen zu entnehmen.

Im Lageplan (Abbildung 27) sind die Querschnitte an welchen Messungen durchgeführt wurden, ersichtlich.

Die hydraulische Berechnung und damit die Auswertung der Messergebnisse erfolgt in Kapitel 5.2.2.

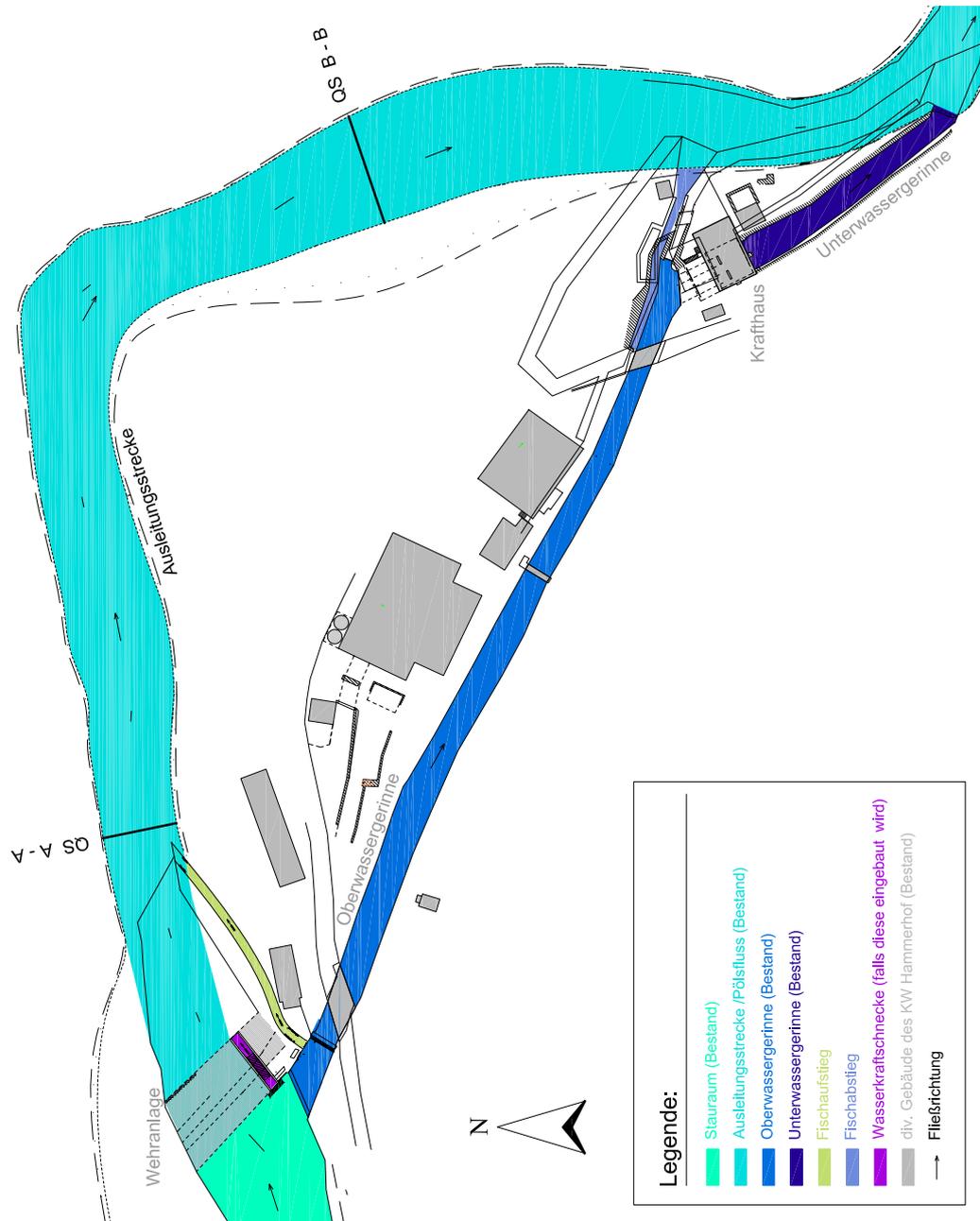


Abb. 27: Lageplan Ausleitungsstrecke

Querschnitt A-A



Abb. 28: Foto QS A-A; Fließrichtung ←

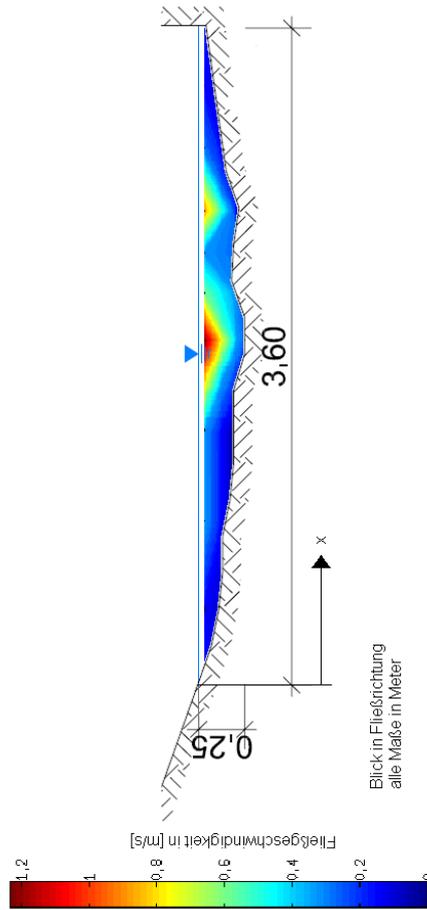
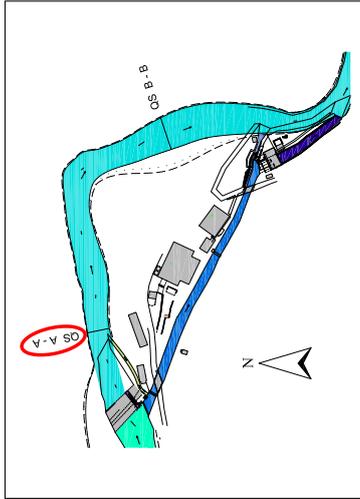


Abb. 29: Fließgeschwindigkeiten QS A-A

Entfernung x [m]	Tiefe [m]	v [m/s]
1,2	0,05	0,212
1,4	0,05	0,186
1,6	0,05	0,332
1,6	0,15	0,043
1,8	0,05	1,014
1,8	0,15	0,171
2,1	0,05	0,377
2,1	0,15	0,299
2,2	0,25	0,669
2,2	0,15	0,341
2,4	0,05	1,385
2,4	0,15	0,384
2,6	0,05	0,394
2,8	0,05	0,403
3,0	0,05	0,186
3,2	0,05	0,193

Tab. 9: Fließgeschwindigkeiten QS A-A

Querschnitt B-B



Abb. 30: Foto QS B-B; Fließrichtung ↑

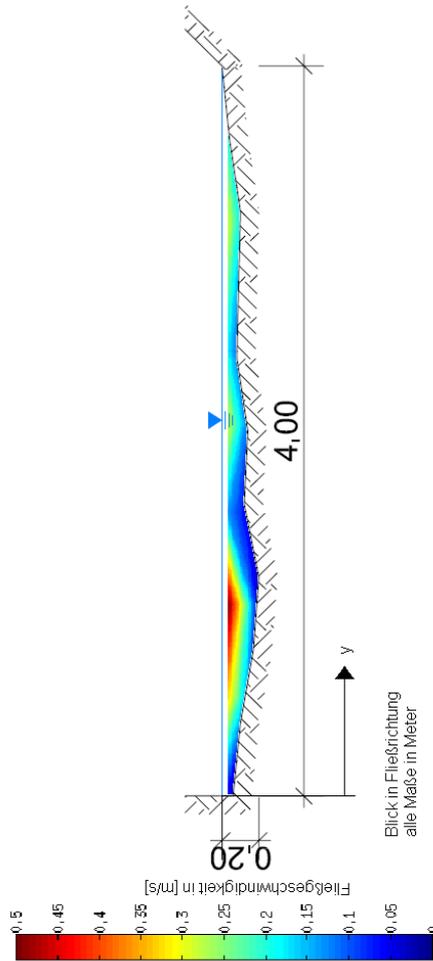
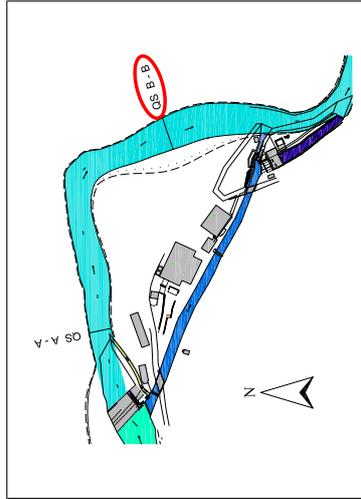


Abb. 31: Fließgeschwindigkeiten QS B-B

Entfernung y [m]	Tiefe [m]	v [m/s]
0,40	0,05	0,392
0,80	0,05	0,169
1,20	0,05	0,134
1,60	0,05	0,692
2,00	0,05	0,613
2,40	0,05	0,293
2,80	0,05	0,351
3,20	0,05	0,190

Tab. 10: Fließgeschwindigkeiten QS B-B

2.3 Ausbaupläne / zukünftige Gestaltung

Ein Maßnahmenkatalog wird erstellt, die Reihung erfolgt nach dem Kosten-Nutzen-Prinzip. Das heißt, was im Verhältnis zu den anderen Optimierungsvorschlägen mehr bringt, findet man zu Beginn der Liste wieder.

Ziel ist es, die gesamte Kleinwasserkraftanlage in den nächsten Jahren auf den Stand der Technik zu bringen. Erreicht wird dies durch ein schrittweises Sanieren, Renovieren oder Erneuern der einzelnen Anlagenteile.

Hierbei ist zu beachten, dass es sich bei dieser Wasserkraftanlage um ein Schauwerk handelt. Die Sicherungsmaßnahmen sind hier strenger, dies sollte bei etwaigen Planungen bedacht werden. Auch der Charme der ca. 100 Jahre alten Anlage sollte erhalten bleiben, die Charakteristik sollte so wenig wie möglich verändert werden.

Die erste Maßnahme bestand darin, den Generator der Firma Siemens zu optimieren. Damit ließ sich der Gesamtwirkungsgrad dieser Maschineneinheit um ca. 10 % erhöhen. Dies passierte zwischen Juni und September 2009.

Eine weitere Optimierung wird die gewässerökologische Funktionsfähigkeit oder auch Durchgängigkeit des Pölsflusses im Bereich der Wehranlage sein. Hierfür wird ein Fischaufstieg sowie eventuell eine Wasserkraftschnecke errichtet. Der Fischaufstieg wird ca. 60 m lang sein und auf der orografisch rechten Seite des Pölsflusses liegen. Der Einstieg wird in der Ausleitungsstrecke durch eine Gegenströmung positioniert, der Ausstieg wird sich im Oberwassergerinne zwischen Schütz und Wehranlage befinden. Die Wasserkraftschnecke würde ebenfalls hier ihren Platz finden nur etwas näher beim Wehr, wobei die Errichtung, von wirtschaftlichen Rahmendingungen abhängig ist und es bis zum jetzigen Zeitpunkt diesbezüglich noch keine Entscheidung gibt. Die Planung und Projektierung dieser Maßnahmen hat das Zivilingenieurbüro DI Michael Pittino aus Graz übernommen.

Weitere Maßnahmen können das Oberwassergerinne, das Unterwassergerinne, die Hochwasserentlastung oder aber auch die Automatisierung der Anlage betreffen. Weiters werden einige kleinere Maßnahmen die Eisproblematik behandeln.

Die detaillierten Vorschläge werden im Kapitel 5 behandelt.

3 Restwassernutzung unter den Gesichtspunkten der Wasserrahmenrichtlinie

3.1 Allgemeines

Der Restwasserabfluss ist jener Abfluss, der oberirdisch unterhalb einer Entnahmestrecke an einer bestimmte Stelle abfließt. Die Dotierwasserabgabe muss an der Entnahmestrecke abgegeben werden, eine spätere Versickerung oder Wasserzufuhr wird nicht berücksichtigt. Vom Land Steiermark wird der Restwasserabfluss als Restwasservorschreibung und die Dotierwasserabgabe als Dotierwasservorschreibung bezeichnet.² [1, S. 50]

Gründe dafür sind einerseits die Durchgängigkeit des Gewässers, damit Fische und andere Lebewesen wandern können und andererseits das Landschaftsbild, denn ein trockenes Bach- oder Flussbett wird meist nicht als positiv wahrgenommen.

Das sogenannte dynamische Restwasser ist eine Wassermenge, welche abgegeben werden muss und die sich nach dem natürlichen Zufluss orientiert. Im Winter, wenn sich weniger Wasser im Fluss befindet, muss weniger abgegeben werden als im Sommer bei höherer Wasserführung.

Die Menge des Restwassers, wird von den zuständigen Behörden vorgeschrieben. Die Restwassernutzung beinhaltet im Fall des KW Hammerhof einen Fischaufstieg sowie eine Blende, alternativ dazu kann auch eine Wasserkraftschnecke eingebaut werden.

Das Restwasser, welches den Fischaufstieg durchströmt, dient der Durchgängigkeit. Da die Vorgaben bezüglich der Pflichtwasserabgabe nicht nur über einen Fischaufstieg abgeleitet werden müssen, kann das überschüssige Wasser über das Wehr abgegeben werden. In diesem Fall wird das Wasser nicht energetisch genutzt. Als Alternative bietet sich an, das überschüssige Wasser über eine Wasserkraftschnecke, auch Restwasserschnecke genannt, abzuarbeiten. Hier kann bei einer relativ kurzen Amortisationsdauer Energie erzeugt werden.

Näheres zur Wasserkraftschnecke siehe Kapitel 3.5.

²Nachfolgend wird vereinfachend nur mehr der Begriff Restwasser verwendet.

3.2 Grundlagen

Die Grundlage zur Bestimmung der Restwassermenge findet sich in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. In dieser Richtlinie wurden Ziele sowie die dafür notwendigen Maßnahmen definiert. Mehr dazu unter Kapitel 3.2.1.

Im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie und aufgrund von Experten-Gutachten entscheidet die Behörde des Landes über die Menge der Restwasserabgabe und in welcher Form diese Abgabe erfolgen muss. Diese Vorgaben werden in einem Bescheid niedergeschrieben. Die genauen Vorgaben für das Kleinwasserkraftwerk Hammerhof siehe unter Kapitel 3.2.2.

3.2.1 Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie

Der offizielle Titel des Amtsblattes der Europäischen Gemeinschaften lautet „Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“ und wird nachfolgend mit WRRL abgekürzt. Die WRRL bezweckt, die Wasserpolitik innerhalb der EU zu vereinheitlichen und verfolgt eine nachhaltige und umweltverträgliche Wassernutzung.

Da die Vereinheitlichung von Gesetzen in sehr unterschiedlichen Regionen (Norwegen - wasserreich; Spanien - wasserarm) sehr schwierig ist, wurden Qualitätsziele aufgestellt, welche durch angegebene Methoden zu erreichen sind. [3]

Folgende Gründe haben zum Erlass der Richtlinie beigetragen:³

„[...] (11) Gemäß Artikel 174 des Vertrags soll die gemeinschaftliche Umweltpolitik zur Verfolgung der Ziele der Erhaltung und des Schutzes der Umwelt sowie der Verbesserung ihrer Qualität und der umsichtigen und rationellen Verwendung der natürlichen Ressourcen beitragen; diese Politik hat auf den Grundsätzen der Vorsorge und Vorbeugung, auf dem Grundsatz, Umweltbeeinträchtigungen mit Vorrang an ihrem Ursprung zu bekämpfen, sowie auf dem Verursacherprinzip zu beruhen. [...]

(19) Ziele der vorliegenden Richtlinie sind die Erhaltung und die Verbesserung der aquatischen Umwelt in der Gemeinschaft, wobei

³Es werden nur Inhalte der Wasserrahmenrichtlinie zitiert, welche für die Masterarbeit relevant sind.

der Schwerpunkt auf der Güte der betreffenden Gewässer liegt. Die mengenmäßige Überwachung spielt bei dem Versuch, eine angemessene Wassergüte zu gewährleisten, eine zusätzliche Rolle, so dass im Hinblick auf das Ziel einer angemessenen Güte auch Maßnahmen in Bezug auf die Wassermenge erlassen werden sollten. [...]

(25) Es sollten gemeinsame Begriffsbestimmungen zur Beschreibung des Zustandes von Gewässern sowohl im Hinblick auf die Güte als auch - soweit für den Umweltschutz von Belang - auf die Menge festgelegt werden. Umweltziele sollen sicherstellen, dass sich die Oberflächengewässer und das Grundwasser in der gesamten Gemeinschaft in einem guten Zustand befinden und eine Verschlechterung des Zustands der Gewässer auf Gemeinschaftsebene verhindert wird. [...]

(38) In den Maßnahmenprogrammen sollten die Mitgliedstaaten auch den Einsatz wirtschaftlicher Instrumente vorsehen. Der Grundsatz der Deckung der Kosten der Wassernutzung einschließlich umwelt- und ressourcenbezogener Kosten im Zusammenhang mit Beeinträchtigungen oder Schädigungen der aquatischen Umwelt sollte insbesondere entsprechend dem Verursacherprinzip berücksichtigt werden. Hierzu bedarf es einer wirtschaftlichen Analyse der Wassernutzung auf der Grundlage langfristiger Voraussagen für das Angebot und die Nachfrage von Wasser in der Flussgebietseinheit. [...]

(41) Ferner sollten im Hinblick auf die Wassermenge allgemeine Prinzipien für die Wasserentnahme und die Aufstauung festgelegt werden, um die ökologische Nachhaltigkeit für die betroffenen Wassersysteme zu sichern.[...]“ [3, L327/2 - L327/4]

Folgende Ziele wurden definiert:

„Ziel dieser Richtlinie ist die Schaffung eines Ordnungsrahmens für den Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers zwecks [...]

b) Förderung einer nachhaltigen Wassernutzung auf der Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen, [...]

womit beigetragen werden soll

- *zu einer ausreichenden Versorgung mit Oberflächen- und Grundwasser guter Qualität, wie es für eine nachhaltige, ausgewogene und gerechte Wassernutzung erforderlich ist; [...]* [3, Artikel 1: L327/5 - L327/6]

Umweltziele, welche verfolgt werden:

„(1) In Bezug auf die Umsetzung der in den Bewirtschaftungsplänen für die Einzugsgebiete festgelegten Maßnahmenprogramme gilt folgendes:

a) b e i O b e r f l ä c h e n g e w ä s s e r n :

i) die Mitgliedstaaten führen, vorbehaltlich der Anwendung der Absätze 6 und 7 und unbeschadet des Absatzes 8, die notwendigen Maßnahmen durch, um eine Verschlechterung des Zustands aller Oberflächenwasserkörper zu verhindern; [...]

iii) die Mitgliedstaaten schützen und verbessern alle künstlichen und erheblich veränderten Wasserkörper mit dem Ziel, spätestens 15 Jahre nach Inkrafttreten dieser Richtlinie gemäß den Bestimmungen des Anhang V, vorbehaltlich etwaiger Verlängerungen gemäß Absatz 4 sowie der Anwendung der Absätze 5, 6 und 7 und unbeschadet des Absatzes 8 ein gutes ökologisches Potential und einen guten chemischen Zustand der Oberflächengewässer zu erreichen; [...]

unbeschadet der in Artikel 1 genannten einschlägigen internationalen Übereinkommen im Hinblick auf die betroffenen Vertragsparteien;“ [3, Artikel 4: L327/9]

Das Maßnahmenprogramm beinhaltet folgende Punkte:

„[...] (3) ‚Grundlegende Maßnahmen‘ sind die zu erfüllenden Mindestanforderungen und beinhalten [...]

e) Begrenzungen der Entnahme von Oberflächensüßwasser und Grundwasser sowie der Aufstauung von Oberflächensüßwasser, einschließlich eines oder mehrerer Register der Wassereutnahmen und einer Vorschrift über die vorherige Genehmigung der Entnahme und der Aufstauung. Diese Begrenzungen

werden regelmäßig überprüft und gegebenenfalls aktualisiert. Die Mitgliedstaaten können Entnahmen oder Aufstauungen, die keine signifikanten Auswirkungen auf den Wasserzustand haben, von diesen Begrenzungen freistellen;[...]“ [3, Artikel 11: L327/14]

Im Anhang der WRRL findet man die normativen Begriffsbestimmungen zur Einstufung des ökologischen Zustands. Siehe hierfür Tabelle 11 und Tabelle 12 auf den folgenden Seiten.

Komponente	Schr guter Zustand	Guter Zustand	Mäßiger Zustand
Allgemein	<p>Es sind bei dem jeweiligen Oberflächengewässertyp keine oder nur sehr geringfügige anthropogene Änderungen der Werte für die physikalisch-chemischen und hydromorphologischen Qualitätskomponenten gegenüber den Werten zu verzeichnen, die normalerweise bei Abwesenheit störender Einflüsse mit diesem Typ einhergehen.</p> <p>Die Werte für die biologischen Qualitätskomponenten des Oberflächengewässers entsprechen denen, die normalerweise bei Abwesenheit störender Einflüsse mit dem betreffenden Typ einhergehen, und zeigen keine oder nur sehr geringfügige Abweichungen an.</p> <p>Die typspezifischen Bedingungen und Gemeinschaften sind damit gegeben.</p>	<p>Die Werte für die biologischen Qualitätskomponenten des Oberflächengewässertyps zeigen geringe anthropogene Abweichungen an, weichen aber nur in geringem Maße von den Werten ab, die normalerweise bei Abwesenheit störender Einflüsse mit dem betreffenden Oberflächengewässertyp einhergehen.</p>	<p>Die Werte für die biologischen Qualitätskomponenten des Oberflächengewässertyps weichen mäßig von den Werten ab, die normalerweise bei Abwesenheit störender Einflüsse mit dem betreffenden Oberflächengewässertyp einhergehen.</p> <p>Die Werte geben Hinweise auf mäßige anthropogene Abweichungen und weisen signifikant stärkere Störungen auf, als dies unter den Bedingungen des guten Zustands der Fall ist.</p>

Gewässer, deren Zustand schlechter als mäßig ist, werden als unbefriedigend oder schlecht eingestuft.

Gewässer, bei denen die Werte für die biologischen Qualitätskomponenten des betreffenden Oberflächengewässertyps stärkere Veränderungen aufweisen und die Biozönosen erheblich von denen abweichen, die normalerweise bei Abwesenheit störender Einflüsse mit dem betreffenden Oberflächengewässertyp einhergehen, werden als unbefriedigend eingestuft.

Gewässer, bei denen die Werte für die biologischen Qualitätskomponenten des betreffenden Oberflächengewässertyps erhebliche Veränderungen aufweisen und große Teile der Biozönosen, die normalerweise bei Abwesenheit störender Einflüsse mit dem betreffenden Oberflächengewässertyp einhergehen, fehlen, werden als schlecht eingestuft.

Tab. 11: Allgemeine Begriffsbestimmungen für den Zustand von Flüssen [3, Anhang V: L327/38 - L327/40]

<i>Biologische Qualitätskomponenten</i>			
Komponente	Sehr guter Zustand	Guter Zustand	
[...] Fischfauna	Zusammensetzung und Abundanz der Arten entsprechen vollständig oder nahezu vollständig den Bedingungen bei Abwesenheit störender Einflüsse. Alle typspezifischen störungsempfindlichen Arten sind vorhanden. Die Altersstrukturen der Fischgemeinschaften zeigen kaum Anzeichen anthropogener Störungen und deuten nicht auf Störungen bei der Fortpflanzung oder Entwicklung irgendeiner besonderen Art hin.	Aufgrund anthropogener Einflüsse auf die physikalisch-chemischen und hydromorphologischen Qualitätskomponenten weichen die Arten in Zusammensetzung und Abundanz geringfügig von den typspezifischen Gemeinschaften ab. Die Altersstrukturen der Fischgemeinschaften zeigen Anzeichen für Störungen aufgrund anthropogener Einflüsse auf die physikalisch-chemischen oder hydromorphologischen Qualitätskomponenten und deuten in wenigen Fällen auf Störungen bei der Fortpflanzung oder Entwicklung einer bestimmten Art hin, so dass einige Altersstufen fehlen können.	Mäßiger Zustand Aufgrund anthropogener Einflüsse auf die physikalisch-chemischen oder hydromorphologischen Qualitätskomponenten weichen die Fischarten in Zusammensetzung und Abundanz mäßig von den typspezifischen Gemeinschaften ab. Die Altersstruktur der Fischgemeinschaften zeigt größere Anzeichen anthropogener Störungen, so dass ein mäßiger Teil der typspezifischen Arten fehlt oder sehr selten ist.
<i>Hydromorphologische Qualitätskomponenten</i>			
Komponente	Sehr guter Zustand	Guter Zustand	
Wasserhaushalt	Menge und Dynamik der Strömung und die sich daraus ergebende Verbindung zum Grundwasser entsprechen vollständig oder nahezu vollständig den Bedingungen bei Abwesenheit störender Einflüsse.	Bedingungen, unter denen die oben für die biologischen Qualitätskomponenten beschriebenen Werte erreicht werden können.	Mäßiger Zustand Bedingungen, unter denen die oben für die biologischen Qualitätskomponenten beschriebenen Werte erreicht werden können.
Durchgängigkeit des Flusses	Die Durchgängigkeit des Flusses wird nicht durch menschliche Tätigkeiten gestört und ermöglicht eine ungestörte Migration aquatischer Organismen und den Transport von Sedimenten.	Bedingungen, unter denen die oben für die biologischen Qualitätskomponenten beschriebenen Werte erreicht werden können.	Bedingungen, unter denen die oben für die biologischen Qualitätskomponenten beschriebenen Werte erreicht werden können.
Morphologie	Laufentwicklung, Variationen von Breite und Tiefe, Strömungsgeschwindigkeiten, Substratbedingungen sowie Struktur und Bedingungen der Uferbereiche entsprechen vollständig oder nahezu vollständig den Bedingungen bei Abwesenheit störender Einflüsse.	Bedingungen, unter denen die oben für die biologischen Qualitätskomponenten beschriebenen Werte erreicht werden können.	Bedingungen, unter denen die oben für die biologischen Qualitätskomponenten beschriebenen Werte erreicht werden können.
[...]			

Tab. 12: Begriffsbestimmungen für den sehr guten, guten und mäßigen ökologischen Zustand von Flüssen [3, Anhang V: L327/38 - L327/40]

3.2.2 Vorgaben des Landes Steiermark für das Kraftwerk Hammerhof

Ein Ansuchen um Verlängerung des Wasserrechtes des Kraftwerks Hammerhof, auf eigene Initiative hin, machte eine wasserrechtliches Bewilligungsverfahren notwendig. Die Vorgaben des Landes Steiermark wurden im wasserrechtlichen Bescheid vom 19.07.2007 behandelt. Die wichtigsten Inhalte sind hier erwähnt. Einer Abänderung des bestehenden Wasserrechtes wurde mit folgenden Auflagen zugestimmt und ist bis 31.12.2046 befristet:

Eine dynamische Rest-/Pflichtwassermenge für die Ausleitungsstrecke zwischen 550l/s und 1200l/s sind abzugeben. Die Abgabe des Restwassers erfolgt einerseits über einen zu errichtenden Fischaufstieg mit konstant zu haltenden 300l/s und andererseits über eine Blende (alternativ dazu: Restwasserschnecke), welche mit 250l/s bis 900l/s beaufschlagt werden soll.

Diese Maßnahmen dienen der gewässerökologischen Funktionsfähigkeit nach dem Stand der Technik und sind somit unumgänglich.

Mit 31.10.2006 tritt die Vorleistung, welche besagt, dass eine Restwasserabgabe von 400l/s erfolgen muss, in Kraft. Außerdem werden bei einem Wasserdargebot von weniger als 1000l/s die Francisturbinen aufgrund ihres Wirkungsgrades nicht betrieben.

Die Bauvollendung ist mit 31.10.2012 festgelegt. [4]

3.3 Zu beachtende Randbedingungen

Einige Randbedingungen sollten beachtet werden, weil ansonsten die hydro-morphologischen, biologischen, ökologischen und hydrologischen Einflussgrößen nicht im ausreichenden Maße vertreten werden und somit eine technische Umsetzung nur erschwert bzw. mit hohem Kostenaufwand machbar ist. [6, S. 714]

3.3.1 Örtliche Randbedingungen

Unter örtlichen Randbedingungen sind Randbedingungen gemeint, welche speziell für diese Wasserkraftanlage gelten. Sie betreffen:

- *Gewässerstruktur*: Die Ufer des Pölsflusses im Bereich der Kleinwasserkraftanlage sind mit heimischen Bäumen bewachsen. Der Querschnitt gleicht einem breiten U-Tal, das durch eine Eintiefung des Flusses ent-

standen ist. Die glaziale Abstammung der Umgebungscharakteristik erschwerte diesen Prozess nicht, weil hier ein Aufschüttungsgebiet des Gletschers zu finden ist.

- *Wasserspiegel:* Der Wasserspiegelniveau ist den normalen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen, Grundwasser spielt hierbei eine eher untergeordnete Rolle. In Jahren mit überdurchschnittlich viel Niederschlag kann es starke Quellen im nahegelegenen Karstgebiet der Niederen Tauern geben.
- *Strömung:* Die Strömung ist aufgrund des geringen Gefälles von ca. 1 ‰ gering, variiert aber querschnittsbedingt durch natürliche Gegebenheiten.
- *Feststoffhaushalt:* Der Feststoffhaushalt schwankt jahreszeitlich, das Geschwemmsel wird bei Bedarf aus dem Fluss entfernt und entsorgt, das Geschiebe wird durch regelmäßige Spülungen weitergeleitet. Die Besonderheit hierbei ist, dass es am Pölsfluss eine Kette von Kraftwerken gibt, welche ein gemeinsames Spülmanagement haben. Die Schwebstoffe müssen nicht extra behandelt werden, weil das natürliche Fließkontinuum hier gegeben ist. [5]
- *Fische:* Die heimischen Fische können derzeit nur bei Hochwasser die Wehranlage hinauf überwinden. Die Artenvielfalt ist jedoch nicht zu unterschätzen obwohl eine Reihe von Kraftwerken ihnen den Weg erschweren. Doch eine Verbesserung der derzeitigen Situation ist unabdingbar.

3.3.2 Technische Randbedingungen

- *Betriebsweise:* Das Kraftwerk wird als Laufkraftwerk ohne Schwellbetrieb mit Pegelregelung betrieben. [4]
- *Betriebssicherheit:* Die Betriebssicherheit muss stets gegeben sein, sprich ein Hochwasser muss ohne Schäden zu hinterlassen problemlos abgeleitet werden können.
- *Wirkungsgrad:* Der maximal ökologisch und wirtschaftlich vertretbare Wirkungsgrad sollte das Ziel sein und somit eine Randbedingung darstellen.
- *Fallhöhenverhältnisse:* Die Fallhöhenverhältnisse sollten der maschinellen Ausrüstung angepasst werden um ein optimales Ergebnis zu erhalten.

3.4 Methoden und Möglichkeiten

Es gibt zwei Arten der Restwassernutzung. Eine davon ist es, die potentielle Energie des Wassers in elektrische Energie umzuwandeln und die andere Möglichkeit besteht darin, das Wasser über einen Fischaufstieg auf direktem Weg dem Fluss wieder zurück zu geben und somit die Durchgängigkeit des Flusses zu gewährleisten. Im ersten Fall wird das Restwasser zur Energieerzeugung verwendet und im zweiten Fall zur Herstellung der Durchgängigkeit. Beide Arten können auch parallel betrieben werden, wobei der Fischaufstieg/-abstieg die sensiblere ist und somit einen geringeren Spielraum bezüglich der Wassermenge zulässt.

Im Kraftwerk Hammerhof kommen eventuell beide Möglichkeiten zum Einsatz, die elektrische Energie wird unter Umständen mittels einer Wasserkraftschnecke erzeugt und die Durchgängigkeit mit Hilfe von einer Fischwanderhilfe.

3.5 Wasserkraftschnecke

3.5.1 Allgemeines

Bei der Wasserkraftschnecke handelt es sich um eine archimedische Schraube. Die Wirkungsweise der Wasserkraftschnecke lässt sich folgendermaßen beschreiben: Wasser fließt die Spirale hinunter und erzeugt dadurch eine Rotationsbewegung. Mit einem Generator wird die Bewegungsenergie in elektrische Energie umgewandelt. Die anfängliche Drehung der Spirale muss allerdings durch einen Motor herbeigeführt werden, der Motor benötigt hierfür Energie. Das Wasser fließt nun die Spirale abwärts in das Unterwasser. Das bedeutet, durch den Höhenunterschied von Ober- und Unterwasser wird hier die potentielle Energie (auch Höhenenergie oder Lageenergie) in kinetische Energie (auch Bewegungsenergie) umgewandelt.

Das umgekehrte Prinzip, die Schneckenpumpe, findet schon seit jeher Verwendung in der Wasser- und Abwasserwirtschaft, seit jüngerer Zeit auch in

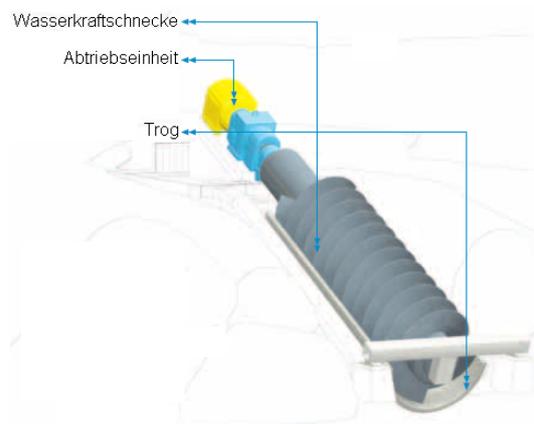


Abb. 32: Systemskizze [7]

der Verfahrenstechnik, z.B. in Papierfabriken. Hier wird das Wasser von unten nach oben gepumpt. Aufgrund der langsamen Drehbewegung von ca. 20 U/min ist dies möglich. Damit können auch Feststoffe transportiert werden.

Der wesentliche Unterschied zwischen Turbinen und der Wasserkraftschnecke ist der schnelle und leichte Einbau in eine bereits bestehende Wehranlage. Auch die Wirtschaftlichkeit durch die geringen Wassermengen, dem Restwasser, spricht für die Restwasserschnecke. Turbinen sind bei höheren Durchflüssen wirtschaftlicher, weil die Anschaffungskosten bei gleicher Bemessungsgrundlage doch um einiges höher sind als bei der Wasserkraftschnecke. Grundsätzlich kann man sagen, dass es eine Frage der Wirtschaftlichkeit ist, weitere Unterschiede gibt es, werden hier jedoch nicht weiter besprochen.

Fische und andere Lebewesen können die Wasserkraftschnecke im Allgemeinen passieren, ohne Schaden zu nehmen. Hierbei sei noch erwähnt, dass Fische eigentlich nicht freiwillig die Spirale passieren, weil sie diese instinktiv meiden. Die Wasserkraftschnecke ist in einem hohen Maße fischverträglich, allerdings nur zum Fischabstieg, somit ist eine Wasserkraftschnecke kein Ersatz für einen Fischaufstieg! Ein solcher ist laut EU-WRRL bei einer Wehranlage zusätzlich erforderlich. [3] [7] [8] [9]

3.5.2 Grundlagen

Um Energie mittels einer Wasserkraftschnecke zu gewinnen, muss bei einer Wehranlage eine nutzbare Wassermenge von 200 l/s bis 5.500 l/s gegeben sein, sowie genügend Platz für die Schnecke mit Generator und vorgeschaltetem Grobrechen.

Meist sind diese Voraussetzungen bei bereits bestehenden Kraftwasseranlagen vorhanden. [7] [9]

3.5.3 Technische Randbedingungen

Wie bereits erwähnt ist der max. Durchfluss pro Wasserkraftschnecke auf 5.500 l/s beschränkt, es können aber durchaus mehrere Wasserkraftschnecken parallel betrieben werden.

Die maximale Fallhöhe von 10 m sollte nicht überschritten werden.

Eine Leistung von bis zu 300 kW kann erzielt werden. Siehe dazu Abbildung 33.

Der maximale Wirkungsgrad beträgt 90 %, wobei der große Vorteil dieser Art der Energiegewinnung darin liegt, dass der Wirkungsgrad ab einem Durchfluss von ca 30 % relativ konstant bleibt (siehe Abbildung 34). [7]

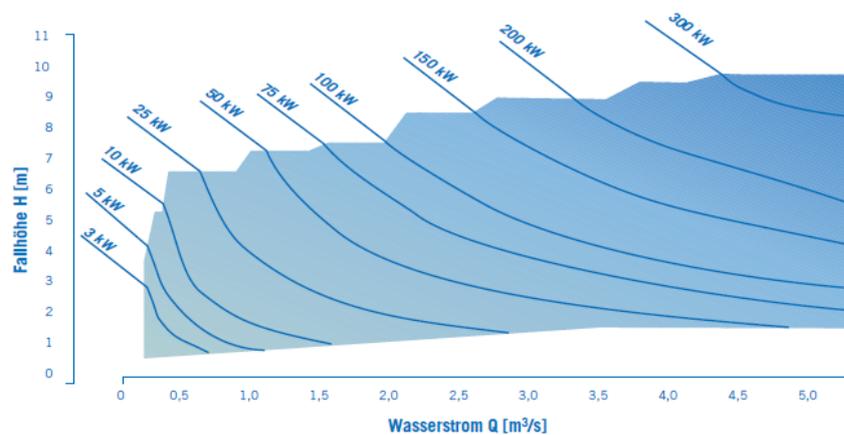


Abb. 33: Generatorleistungen der Kompaktwasserschnecke [7]

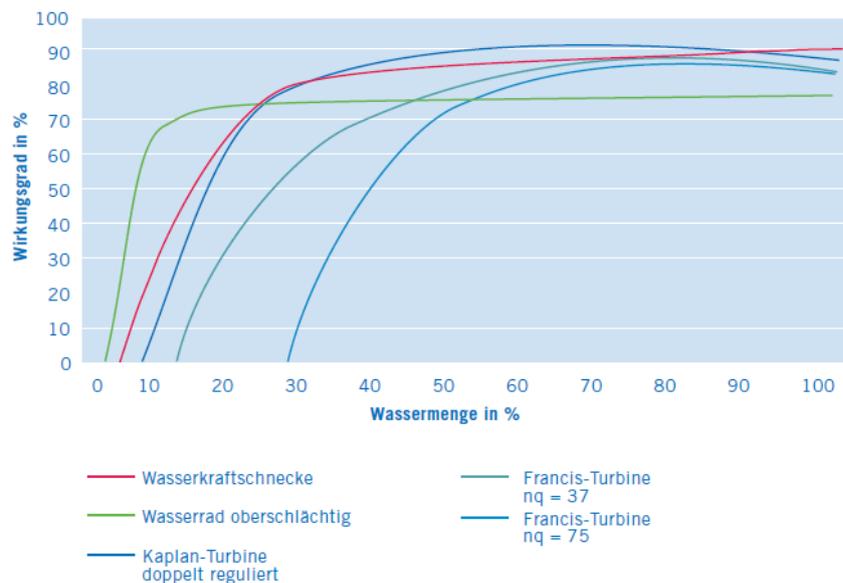


Abb. 34: Wirkungsgrade im Vergleich [7]

3.5.4 Wasserkraftschnecke im Kraftwerk Hammerhof

Die Schnecke ist in Abbildung 35 am rechten Ufer des Pölsflusses geplant und würde eine Länge von ca. 10 m haben, falls sie errichtet wird.

Hinter der Wasserkraftschnecke wird sich auch weiterhin die Spülschleuse befinden und dahinter wird der Fischaufstieg situiert. Mehr zum Fischaufstieg in Kapitel 3.6.

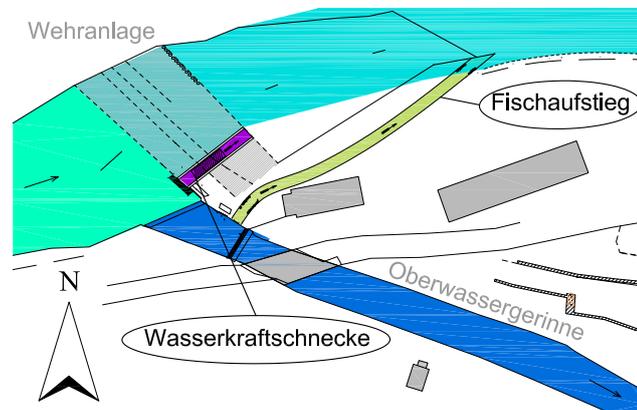


Abb. 35: Wasserkraftschnecke (Lageplan)

Die Wasserkraftschnecke hat den Einlauf (Abbildung 36) an der Stelle des derzeitigen Schützes. Hierfür ist ein Umbau der Wehranlage notwendig, weil die Wasserkraftschnecke einen Betontrog benötigt, sowie ein Krafthaus für die Generatoreinheit und die elektrotechnische Ausrüstung.



Abb. 36: Situierung der Wasserkraftschnecke

In Abbildung 37 ist die Wasserkraftschnecke aus Kindberg/Steiermark abgebildet, sie ist die weltgrößte. Die örtlichen Randbedingungen, womit die Si-

tuierung der Wasserkraftschnecke orografisch rechts und die Anordnung des Fischeufstieges gemeint sind, gleichen der bestehenden Anlage in Kindberg, abgesehen von den Abmessungen, welche im Hammerhof wesentlich kleiner sind.



Abb. 37: Wasserkraftschnecke (Kindberg)

Im Kapitel 4.4.1 werden noch einige zu beachtende Dinge für den Winterbetrieb der Wasserkraftschnecke behandelt.

3.6 Fischwanderhilfen

Hier wird hauptsächlich der Fischeufstieg besprochen, weil damit die Auflagen des Landes Steiermark erfüllt werden müssen. Jedoch sollte der Fischabstieg nicht außer Acht gelassen werden, denn auch dieser trägt zur Durchgängigkeit der Wasserkraftanlage bei und kostet nur einen Bruchteil des Fischeufstieges.

3.6.1 Allgemeines

Fischwanderhilfen sind dort erforderlich, wo durch Querbauwerke wie z.B. eine Wehranlage die Fischwanderwege unterbrochen sind und somit die Fortpflan-

Fischaufstiegsanlagen				fischpassierbare Quer- und Kreuzungsbauwerke
Beckenpässe	Gerinneartige Fischaufstiege	Sonderbauweisen	Umgehungsgerinne	
am/im Querbauwerk			weiträumig um Querbauwerk	Querbauwerke
<ul style="list-style-type: none"> - Konventioneller-Beckenpass - Schlitzpass - Rauhgerinne-Beckenpass - Tümpelpass - Wulstfischpass - Rhomboidpass - Mäanderpass - Mischbauweise 	<ul style="list-style-type: none"> - Störsteinbauweise - Borstenfischpass - Aalpass - Denilpass 	<ul style="list-style-type: none"> - Fische Schleusen - Fischaufzüge 	<ul style="list-style-type: none"> - Fließgewässer in Störsteinbauweise oder Mischbauweise 	<ul style="list-style-type: none"> - Sohlenbauwerke: <ul style="list-style-type: none"> - Sohlengleite - Rauhe Rampe in Riegelbauweise - Störsteinbauweise - Teilrampen - Pegel - Kreuzungsbauwerke: <ul style="list-style-type: none"> - Durchlässe - Dücker - Siel- & Schöpfbauwerke

Tab. 13: Arten von Fischaufstiegshilfen (neue Rechtschreibung [d. Verf.]) [6]

zung und der Wechsel zwischen den Teillebensräumen der Tiere gefährdet ist. Es gibt zwei Arten von Fischwanderhilfen, den Fischaufstieg, dieser wird gegen die Strömungsrichtung passiert und den Fischabstieg, dieser wird in Strömungsrichtung von den Fischen durchschwommen. Die Bauweise und die Dimensionierung sind jeweils von den heimischen Fischen und deren Lebensraum abhängig. [6] [10]

In Tabelle 13 sind gebräuchliche Fischaufstiege aufgelistet, wobei der Autor keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Grundsätzlich gibt es zwei Bauweisen von Fischaufstiegen, die naturnahe und die technische, eine Mischung aus diesen beiden Bauweisen stellen diverse Sonderformen dar. ⁴

3.6.2 Naturnahe Bauweisen

Die naturnahen Bauweisen sind bevorzugt einzusetzen, weil diese einen geringeren Eingriff in die Natur darstellen. Auch vom Menschen werden diese Bauweisen positiver wahrgenommen, als die technischen Bauweisen, daher ist eine höhere Akzeptanz zu erwarten, was sich wiederum positiv auf die Dauer des Bewilligungsverfahrens auswirken kann. Zu den naturnahen Bauweisen zählen z.B. das Umgehungsgerinne, die Fischrampe (auch Teilrampe), die Sohlenrampe und die Sohlengleite:

⁴Nachfolgend werden nur mehr Fischaufstiege behandelt, welche für das Kleinkraftwerk Hammerhof in Frage kommen.

- *Umgehungsgerinne*: Das Umgehungsgerinne bindet sich gut in das Landschaftsbild ein, im Nebenschluss wird das Querbauwerk (Wehranlage) umgangen womit keine Umbauten der Wehranlage notwendig sind. Der hohe Flächenbedarf wird oft als Nachteil genannt. Bei Hochwasserereignissen können kurzzeitig Probleme auftreten. Umgehungsgerinne sind oft steiler als andere Fischaufstiegshilfen, hier sollten kurze, steile Strecken im Auslaufbereich angeordnet werden, weil dort erhöhte Geschwindigkeiten für die Leitströmung (auch Lockströmung) sorgen. Das Gerinne sollte aufgrund der höheren Geschwindigkeiten stabil ausgeführt werden. An den steileren Stellen können Störsteine die mittlere Geschwindigkeit verringern. Die daraus entstehenden Becken oder Kaskaden sollte eine maximale Absturzhöhe von 20 cm nicht überschreiten. In unserem Fall, der Kleinwasserkraftanlage Hammerhof, sollten diese sogar nicht höher als 10 - 15 cm sein, weil die Koppe⁵ diese Absturzhöhe gerade noch überwinden kann. Näheres zur Koppe unter Kapitel 3.6.6. In Abbildung 38 ist ein Umgehungsgerinne dargestellt. [6] [10]

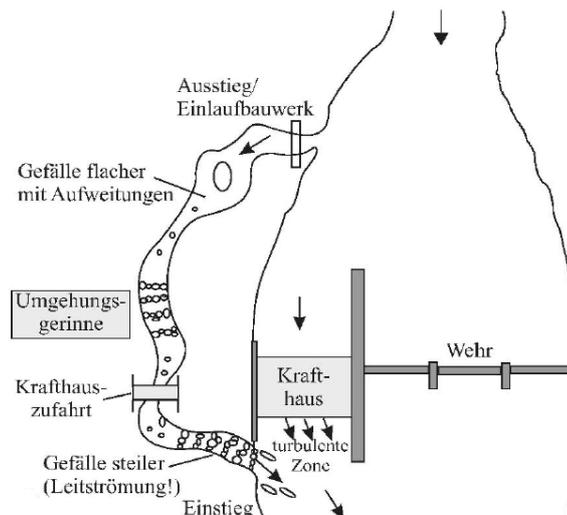


Abb. 38: Umgehungsgerinne [6]

- *Fischrampe*: Die Fischrampe wird in das feste Wehr integriert und sollte daher in massiver Bauweise z.B. mit Stampfbeton hergestellt werden. Der Beton sollte zusätzlich im plastischen Zustand mit einer eingedrückter Lage Schotter aufgeraut werden. Die Rampe kann auch geschüttet

⁵Die Koppe ist eine im Pölsfluss vorkommende Fischart.

werden, doch durch eine Durchsickerung des Rampenkörpers kann die Fischrampe trocken fallen. Am Ende des Bauwerkes wird ein Naturkolk als Tosbecken zur Energieumwandlung empfohlen. Dieser Fischaufstieg ist sehr wartungsfreundlich, weil er nicht zu Verklausungen neigt, auch ein nachträglicher Einbau ist sehr gut realisierbar. [6] [10]

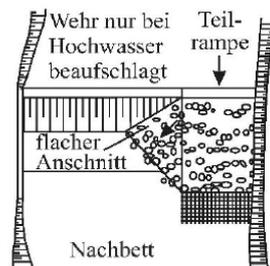


Abb. 39: Fischrampe [6]

- *Sohlenrampe/Sohlengleite*: Die Sohlenrampe ist eigentlich eine Fischrampe über den gesamten Querschnitt, die Neigung beträgt zwischen 1:3 und 1:10. Die Sohlengleite ist ähnlich der Sohlenrampe nur nicht ganz so rau und mit einem Gefälle von 1:10 bis 1:30. [6] [10]

3.6.3 Technische Bauweisen

Technische Fischaufstiegsanlage stellen die Durchgängigkeit des Gewässers her, doch es ist eine ökologische Kompromisslösung, denn die naturnahe Strukturierung bleibt auf der Strecke. Zu den technischen Bauweisen zählen die sogenannten Beckenpässe. Die Funktionsweise beruht auf einer Rampe mit seitlichen Wänden und Zwischenwänden, die beruhigte Becken erzeugen. Die Zwischenwände haben verschiedene Durchgänge, wodurch sich auch die verschiedenen Beckenpässe unterscheiden. Die Strömungen in der Rampe variieren, bei den Engstellen treten z.B. höhere Geschwindigkeiten auf. Beckenpässe werden dort angeordnet, wo naturnahe Gerinne aufgrund des hohen Gefälles nicht mehr möglich sind. [6] [10]

- *Konventioneller Beckenpass*: Der Konventionelle Beckenpass hat lotrechte Zwischenwände mit Kronenausschnitten oben und Schlupflöchern unten. [6]

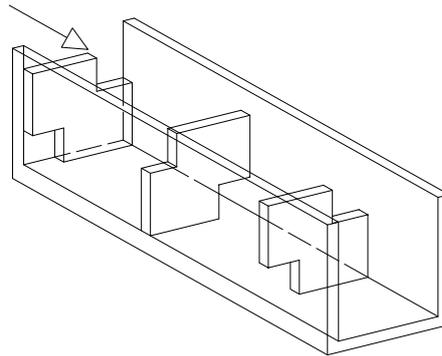


Abb. 40: Konventioneller Beckenpass (nach [6])

- *Rhomboidpass*: Der Rhomboidpass hat geneigte, schräg zur Beckenachse eingebaute Zwischenwände. [6]

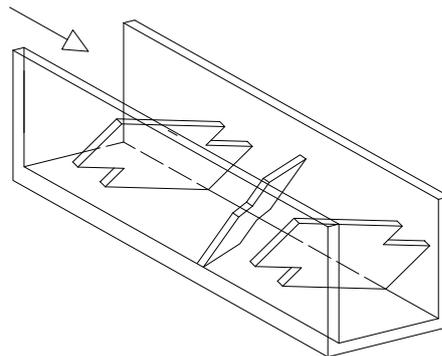


Abb. 41: Rhomboidpass (nach [6])

- *Schlitzpass (vertical-slot-pass)*: Beim Schlitzpass gibt es entweder zwei vertikale Schlitze an jeder Beckenwand wie in Abbildung 42 zu sehen oder nur einen auf immer der selben Beckenwand. Der vertical-slot-pass hat einen Schlitz, wobei die Beckenwand wechselt (siehe Abbildung 43).

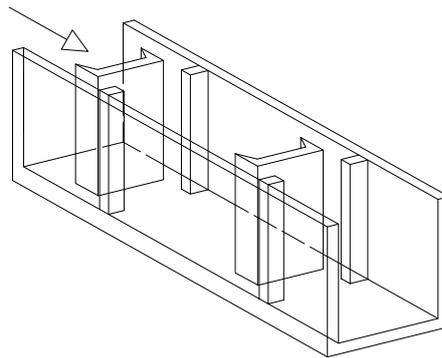


Abb. 42: Schlitzpass (nach [6])

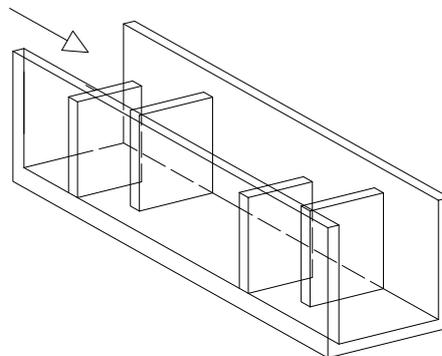


Abb. 43: vertical-slot-pass (nach [6])

- *Mäanderpass*: Der Mäanderpass besitzt hintereinander gereihete Rundbecken. Die Becken sind so angeordnet, dass jeweils Segmentausschnitte ineinander greifen und somit die Durchgängigkeit gegeben ist. Jedes Becken hat ein breites Strömungsspektrum von Ruhezeiten in der Mitte bis hohe Fließgeschwindigkeiten in den Engstellen. Der Boden der Becken wird mit Benthosgewebe ausgekleidet um auch für wirbellose Tiere den Aufstieg zu gewährleisten. [10]

Zu den Sonderformen zählt der Borstenfischpass:

- *Borstenfischpass*: Der Borstenfischpass ist eine künstlich hergestellte Rampe, welche mit elastisch schwingenden Borsten Zwischenwände und somit Schutz- und Ruhebereiche schafft. Da die Zwischenwände überströmt werden, sieht das Gerinne etwas natürlicher aus. [10]

3.6.4 Planungsgrundlagen

- *Situierung:* Bei der Anordnung des Fischaufstieges sollte die Auffindbarkeit des Einstiegs oberste Priorität haben. Siehe dazu Abbildung 44.

Der Einstieg sollte nicht zu weit ins Unterwasser gezogen werden, weil das Auffinden dieses dadurch erschwert wird, dies ist häufig Ursache nicht funktionierender Fischaufstiegsanlagen.

Bei Ausleitungskraftwerken ist zu prüfen, ob der Fischaufstieg an der Wehranlage oder als Verbindung zwischen Ober- und Unterwassergerinne errichtet werden soll. Man kann auch am Wehr eine Fischaufstiegsanlage und zwischen Ober- und Unterwassergerinne (bzw. Ausleitungsstrecke) ein Fischabstiegsanlage errichten und hätte somit die Situation optimal gelöst.

Beim Bau des Fischaufstieges sollte auf eine gute Einbindung in das Landschaftsbild geachtet werden, wobei die Funktionsfähigkeit an oberster Stelle steht. [6] [10]

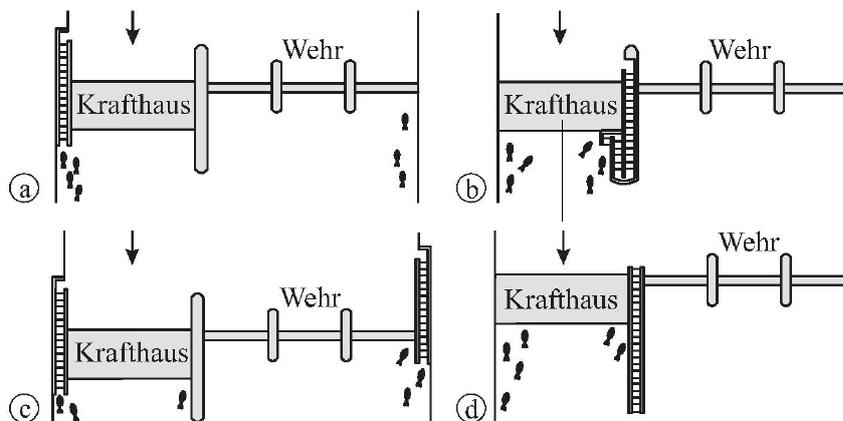


Abb. 44: a - c Wirksamer Einstieg; d Unwirksamer Einstieg [6]

- *Einstieg:* Der Einstieg des Fischaufstieges sollte in etwa auf gleicher Höhe mit dem Aufstiegshindernis liegen und maximal 45° von der Hauptströmung des Gewässers abweichen.

Für die Orientierung der Fische ist weiters eine Leitsrömung (auch Lockströmung) in diesem Bereich notwendig, die benötigten Fließgeschwindigkeiten liegen hier zwischen 0,8 und 2 m/s, aber allenfalls 0,3 m/s höher

als die übrige Strömungsgeschwindigkeit. Die Leitströmung sollte einen möglichst großen Bereich des Flusses erfassen und somit die Fische zum Einstieg locken.

Zu beachten ist, dass der Einstieg eine ausreichende Entfernung zu starken Turbulenzen (z.B. Tosbecken) hat, weil dort eine zielgerichtete Strömung fehlt und die Tiere sich nicht orientieren können.

Um auch bei Niedrigwasser einen reibungslosen Einstieg zu gewährleisten, bietet sich eine Anrampung zwischen Fischaufstiegsanlage und dem natürlichen Flussbett mit einer maximalen Neigung von 1:2 an.

Vom Einstiegsbereich sind alle Störungen fern zu halten. [6] [10]

- *Bereich zwischen Einstieg und Ausstieg:* Die Durchgängigkeit des Fischaufstieges muss stets gegeben sein.

Der Abfluss sollte strömend sein aber jedenfalls turbulenzarm. Eine Vielzahl von Ruhezone für schwächere Fische sind vorzusehen (soweit das die Konstruktion erlaubt).

Die Sohle sollte rau gestaltet sein, damit die Strömungsgeschwindigkeit in Bodennähe minimiert wird und somit ein differenziertes Strömungsbild entsteht. Eine 20 cm Schicht aus Grobsubstrat an der Sohle hat sich bewährt. Das Grobsubstrat sollte dem Gewässer angepasst werden und mit einem Korndurchmesser von > 5 cm bedeckt sein, die dadurch entstehenden Zwischenräume bieten Klein- und Jungfischen Unterschlupf. [6] [10]

- *Ausstieg:* Der Ausstieg des Fischaufstieges sollte mindestens 5 m vom Turbineneinlauf (oder Einlauf einer Wasserkraftschnecke) entfernt liegen, weil Fische ab einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 m/s verdriftet werden können. Falls dies nicht möglich ist, kann der Ausstieg auch ins Oberwasser verlängert werden.

Eine durchgängige Sohle sollte im Übergangsbereich errichtet werden. Außerdem ist dieser Bereich von Störungen frei zu halten. Um z.B. vor Treibgut zu schützen, kann entweder eine Tauchwand oder ein Schwimmbalken angeordnet werden.

Eine Absperrvorrichtung der Fischaufstiegshilfe kann für Wartungszwecke sinnvoll sein, ebenso wie eine automatische Regeleinrichtung um

schwankende Oberwasserstände kontrolliert über den Fischaufstieg abzugeben. Dies kann auch mit einer einfachen Blende erzielt werden. [6] [10]

- *Dimensionierung:* Bei technischen Fischaufstiegshilfen sind Neigungen zwischen 1:5 und 1:15 üblich, bei naturnahen bis maximal 1:15.

Die Breite, Länge und Wassertiefe orientiert sich an den heimischen bzw. dort lebenden Organismen (Fische und sonstige Lebewesen, welche den Fischaufstieg nutzen), sowie am zur Verfügung stehenden Abfluss. Bei sehr langen Aufstiegen sind Ruhebecken bzw. Ruhezone vorzusehen.

Eine maximale Geschwindigkeit von 2 m/s und eine maximale Wasserspiegeldifferenz von 20 cm dürfen nicht überschritten werden. Wobei bei dieser Kleinwasserkraftanlage die Wasserspiegeldifferenz von 10 bis maximal 15 cm nicht überschritten werden soll. Grund dafür ist die Koppe. Näheres unter Kapitel 3.6.6.

Abstürze, bei denen ein Lufteintrag passiert, sind strikt zu vermeiden. Die Fischaufstiegsanlage sollte so dimensioniert werden, dass der Abfluss strömend ist. [6] [10]

- *Betrieb:* Eine ganzjährige Funktionsfähigkeit des Fischaufstieges ist u.a. Bemessungsziel. Im Winter sollte z.B. Grundeis keine Probleme bereiten. Während der Niedrig- bzw. Hochwasserabflüsse kann an maximal 30 Tagen jeweils eine eingeschränkte Funktionsfähigkeit hingenommen werden, weil zu diesen Zeiten die Wanderaktivität der Fische deutlich reduziert ist. [6]
- *Wartung:* Regelmäßige Kontrollen der Fischaufstiegsanlage sind notwendig, um eine Funktionsfähigkeit sicherzustellen, empfohlen wird einmal wöchentlich. Auch nach einem Hochwasserereignis ist die Anlage zu überprüfen. [6]
- *Öffentlichkeit:* Die Bevölkerung sollte miteinbezogen werden, dadurch können eventuelle Missverständnisse und Probleme bereits im Vorfeld gelöst werden, weiters bietet es sich an, Verbotsschilder („Angeln verboten“, „Badeverbot“, etc.) sowie Informationstafeln zur Fischaufstiegsan-

lage aufzustellen. Führungen sollten nicht gemacht werden. Eine räumliche Trennung hält davon ab dieses Gebiet als Naherholungsgebiet anzusehen, denn es handelt sich hierbei um eine Bauwerk, welches nur für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen betreten werden sollte. Stattdessen sollte an ein oder zwei Stellen der Fischaufstieg für jedermann zu sehen sein. [6]

- *Fischabstieg*:⁶ Da die Fischabwärtswanderung biologisch anders als die Fischaufwärtsbewegung abläuft (die Lockströmung funktioniert nicht), müssen hier andere Bedingungen beachtet bzw. geschaffen werden.

Die Neigung der Fischabstiegshilfe kann durchaus steiler als bei einer Fischaufstiegshilfe gewählt werden, konkrete Aussagen gibt es hierzu allerdings (noch) nicht.

Im Einlaufbereich des Abstieges sollte eine Strömungsgeschwindigkeit von 2 m/s vorherrschen.

Bei der Planung sollte auch beachtet werden, dass tagaktive Fische vermeiden, in dunkle Kanäle/Rohre einzuschwimmen. Durch eine möglichst naturgetreue Beleuchtung kann dieses Problem gelöst werden.

Fische lassen sich gerne verdriften, daher werden sie meistens durch eine Sogwirkung „angelockt“. Außerdem müssen die Fische vom Turbineneinlauf zum Fischabstieg geleitet werden. Spezielle Fische- und leitanlagen wurden hierfür entwickelt. Ein Feinrechen vor dem Turbineneinlauf ist Voraussetzung.

Der eigentliche Abstieg kann mit Hilfe einer Bypassleitung erfolgen. Hierbei muss beachtet werden, dass ein maximaler Druckunterschied von 1,2 bar (12 m Wassersäule) nicht überschritten werden darf. Der Bypass sollte die Fische in ein Umgehungsgerinne führen, welches als Freispiegelgerinne oder -rohr ausgebildet sein sollte. Falls der Bypass direkt in das Unterwasser (keine Luftkontakt) führt, kann es zu Problemen bezüglich des Druckhaushaltes der Fische kommen. Ebenso eine zu freie Ausmündung mehrere Meter über dem Unterwasserspiegel (mit Luftkontakt) kann die Fische benommen machen.

⁶Planungsgrundlagen über den Fischabstieg gibt es derzeit de facto nicht (werden zur Zeit in Versuchen bestimmt), allerdings hat das Land Salzburg bereits einen Planungsbefehl herausgebracht.

Allenfalls muss der Fischabstieg auf seine Funktionsfähigkeit überprüft werden. [12] [6]

3.6.5 Randbedingungen

Folgende Randbedingungen müssen vorhanden sein, um einen Fischauf- bzw. abstieg sinnvoll zu machen und errichten zu können:

- Eine ausreichende Fischpopulation, welche eine ökologische Verbesserung des Gewässerzustandes bedürfen, sowie andere Lebewesen, welche die Fischwanderhilfe/n nützen würden, sollten vorhanden sein.
- Genügend Restwasser muss für diesen Zweck vorhanden sein, denn eine Fischwanderhilfe funktioniert nur mit ausreichend Wasser.
- Der Platzbedarf einer solchen Anlage darf auf keinen Fall unterschätzt werden. Die Art/en der Fischwanderhilfe/n muss auf den vorhandenen Platz abgestimmt werden.

3.6.6 Fischaufstieg im Kraftwerk Hammerhof

Es wurden vier Vorschläge vom Planungsbüro PITTINO ZT GmbH, Graz, ausgearbeitet:

„Variante A:

Situierung des Fischaufstieges auf der linken Seite der Wehranlage parallel zur Flussachse. Ein- u. Ausstieg liegen auf der linken Uferseite. Ein Umbau der Wehranlage ist nur örtlich erforderlich. Es ist zu prüfen, ob für die Herstellung des Fischaufstieges über das öffentlich [!] Gut hinaus auch Privatgrund erforderlich ist.

Variante B:

Situierung des Fischaufstieges unterstrom der Wehrkrone quer zur Flussachse. Der Einstieg liegt auf der rechten, der Ausstieg auf der linken Uferseite. Diese Konstruktion ist unüblich, es existiert jedoch ein ausgeführtes Beispiel für die Integration eines Fischaufstieges in den Wehrkörper parallel zur Wehrachse.

Variante C:

Situierung des Fischaufstieges in die Wehranlage auf der rechten Uferseite. Der Einstieg liegt auf der Uferseite, der Ausstieg auf der

linken Seite des Grundablassschützes. Ohne wesentliche Verlängerungsmöglichkeit stellt diese Variante die Kürzeste [!] und somit jene mit dem größten Gefälle dar.

Variante D:

Situierung des Fischaufstieges in das Einlaufbauwerk des Oberwasserkanals. Ein- u. Ausstieg liegen auf der rechten Uferseite. Ausführung der Fischaufstiegshilfe als eine, einem natürlichen Bachbett nachempfundene Rampe.“[4, S. 7 - 8]

Aufgrund der abiotischen Untersuchung des Pflichtwassers von der Ziviltechnikkanzlei Dr. Hugo Kofler hat man sich für Variante D entschieden. In Abbildung 45 ist die Situation im Lageplan ersichtlich. [11] [4, S. 7 - 8]

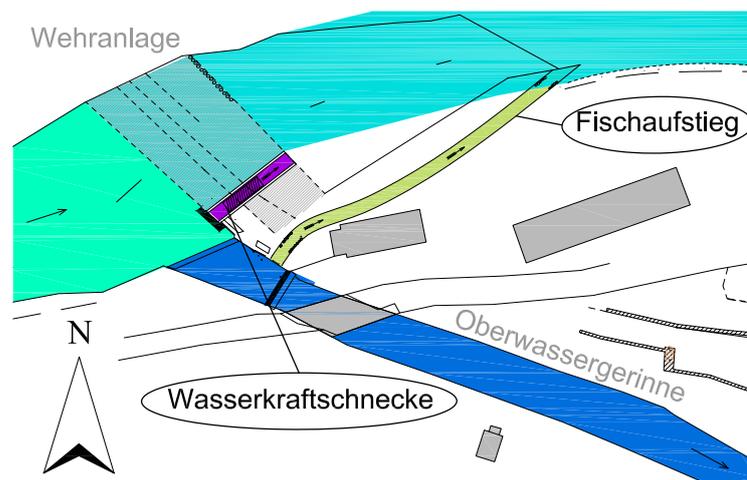


Abb. 45: Fischaufstieg (Lageplan)

In Abbildung 46 wird der Fischaufstieg hinten im Grasabschnitt beginnen und durch die Bäume in die Ausleitungsstrecke münden.



Abb. 46: Situierung - Fischaufstieg

Diese Entscheidung wurde nicht zuletzt aufgrund der heimischen Fische getroffen:

„[...]Nach Maßgabe einer fischökologischen Untersuchung der Bodenkultur Wien vom Februar 2005 sind in diesem Gewässerabschnitt Bachforellen, Regenbogenforellen, Äschen sowie Koppen zu erwarten.[...]“ [4, S. 20, Stellungnahme Mag. Franz WALCHER]

Die Koppe ist hier ein Indikator, wie sich in den Planungsgrundlagen gezeigt hat. Zum Indikator wird die Koppe, weil diese als Grundfisch maximal 10 - 15 cm an Höhe überwinden kann. Zusätzlich sollte eine raue Sohle ausgebildet werden, weil die Koppe sich tagsüber zwischen Steinen und Wasserpflanzen versteckt hält. [6] [10] [13]

3.6.7 Fischabstieg im Kraftwerk Hammerhof

Der Fischabstieg im Kraftwerk Hammerhof würde am besten als Verbindung zwischen dem Oberwassergerinne und der Ausleitungsstrecke (siehe Abbildung 47) in die Anlage passen. Es wären nur geringe Umbauten in Form eines Bypasses zwischen dem Oberwassergerinne und dem Überlaufgerinne sowie ein Scheuch- bzw. Leiteinrichtung für die Fische notwendig.

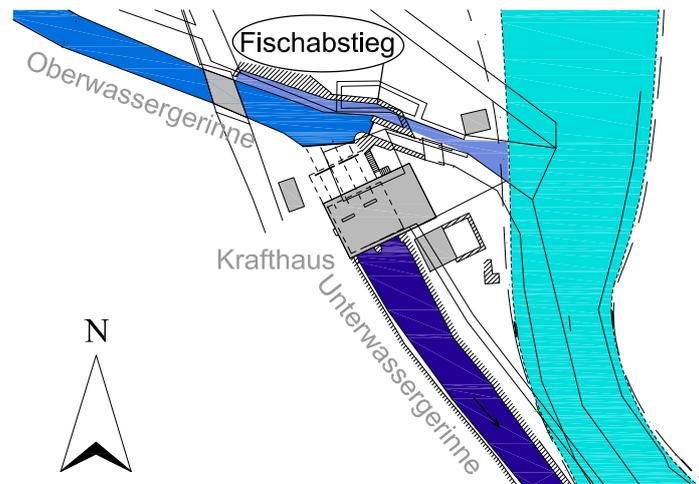


Abb. 47: Fischabstieg (Lageplan)

In Abbildung 48 ist rechts das Oberwassergerinne direkt vor dem Turbineneinlauf zu sehen und links die obere Kante des Überlaufgerinnes, welches dann zum Fischabstieg umfunktioniert werden würde.



Abb. 48: Situierung - Fischabstieg (links)

4 Eisstoß

4.1 Allgemeines

Eis ist Wasser im gefrorenen Zustand und besitzt einen kristallinen festen Aggregatzustand, Wasser wechselt in diesen Zustand bei etwa 0 °C. Durch die geringere Dichte des Festkörpers gegenüber der Flüssigkeit schwimmt Eis auf Wasser.⁷

In unseren Breiten entsteht Eis von etwa Oktober bis April, wobei dies von der Luft- und Wassertemperatur abhängig ist. Probleme für Kraftwerksbetreiber entstehen aber erst bei länger andauernden tiefen Temperaturen. Je tiefer die Temperaturen sind und je länger die Kälteperiode andauert, desto gravierender sind die Probleme und das Gefahrenpotential, das das Eis in sich birgt, steigt. Schneefall und einzelne „warme“ Tage können das Gefahrenpotential noch einmal stark erhöhen.

Eis wächst entweder immer von beiden Ufern in Richtung Mitte, dieses Phänomen wird Randeisbildung genannt und tritt bei ruhigen Strömungen auf, oder bei turbulenter Strömung als Schwebeeis. Feine Kristalle (oder auch Schneeflocken) dienen als Keimpartikel, kalte klare Nächte, starker Wind und trockene Luft beeinflussen den Prozess. Die daraus entstandene Eisdecke kann unterschiedliche Dicken haben.

Durch mechanische oder thermische Einwirkungen entstehen Eisschollen. Diese Eisschollen können sich dann an bestimmten Stellen wie z.B. Engstellen oder Querbauten türmen und erneut aneinander frieren. Somit bezeichnet man als Eisstoß eine Ansammlung von kleineren und/oder größeren Eisschollen, welche durch Engstellen und/oder Hindernisse im Gewässer entstehen. Dadurch werden die Abflüsse eingeschränkt und Überschwemmungen können die Folge sein. [14, S. 7 - 25]

4.2 Theoretische Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen sollen einen Einblick in die komplexen Mechanismen der Eisstoßbildung und deren Klassifikation geben. Richtlinien oder

⁷Hier wird nicht näher auf die Besonderheiten des Eises und die genaue Eisentstehung eingegangen, nur für die Masterarbeit Relevantes wird besprochen. Für nähere Informationen sei auf einschlägige Fachliteratur verwiesen.

dergleichen gibt es nicht, nur eine Empfehlung, dass bei Gefahr in Verzug die örtliche Feuerwehr entweder eine Ausbaggerung oder eine Eissprengung veranlassen oder vornehmen sollte.

4.2.1 Voraussetzungen für das Entstehen von Eisstößen

In nachfolgender Tabelle 14 werden die wichtigsten Ursachen einer Eisstoßbildung aufgelistet.

Geometrische und morphologische Eigenschaften des Flusses	Engstellen
	Scharfe Richtungsänderungen
	Schotterbänke
	Inseln
	Verringerung der Flussbettneigung
	Verringerung der Fließgeschwindigkeit, z.B. beim Übergang von seichtem in tieferes Wasser
	Sohlräumigkeit
Topografische Gegebenheiten	Beschattung von Gewässerabschnitten, etwa in Kurvenbereichen
	Mündungsgebiete von Flüssen in Seen, aufgrund der dort vorherrschenden dickeren Eisdecken
Ufervegetation	In den Fluss hereinragende Bäume oder Gebüsche bzw. umgefallene Bäume im Fluss
Anthropogene Eingriffe in den Fluss	Wehranlagen und daraus resultierende geringere Fließgeschwindigkeiten
	Brücken und Brückenpfeiler
	Stauhaltung von Kraftwerken: - negative Beeinflussung durch plötzliches Abführen von Wasser - positive Beeinflussung durch vorsichtige Stauraumregulierung während Gefrier- und Aufbruchsperioden
Meteorologische Bedingungen	Ausreichende Kälteperioden zur Ausbildung von Eis
	Temperaturzunahme nach einer Kälteperiode
	Erhöhung des Abflusses durch Schneeschmelze oder Niederschlag
	Starker Wind als Hindernis für das Weiterdriften von sich bewegenden Eismassen infolge des Gegendrucks
Sonstiges	Auftreffen von bewegten Eismassen auf eine intakte Eisdecke

Tab. 14: mögliche Ursachen einer Eisstoßbildung (nach [14, S. 14])

4.2.2 Klassifikation von Eisstößen

Die folgenden Einteilungen wurden aus [14, S. 14 - 21] übernommen.⁸

Zeitpunkt des Auftretens	Dominierende Entstehungsart	Räumliche Ausdehnung	Zustand ihrer Entwicklung
Beim Zufrieren	Eisdamm	Horizontale Eisstöße	Sich entwickelnde Eisstöße
Beim Eisaufbruch	Oberflächeneisstoß	Vertikale Eisstöße	Eisstöße, die konstant bleiben
Kombination aus beiden	Hängender Damm		
	Eisstöße in schmalen Flüssen		
	Eisstöße in weiten Flüssen		

Tab. 15: Klassifikation von Eisstößen (nach [14, S. 15])

„Klassifikation nach dem Zeitpunkt des Auftretens:

- *Eisstöße - in der Gefrierphase*

Im Frühwinter bis Mitte des Winters treten diese Arten von Eisstößen auf. Als Ausgangsmaterial dient Schwebeeis mit Beteiligung von einigen fragmentierten Eisteilen, die aus oben beschriebenen Gründen zum Stillstand kommen und sich anzusammeln beginnen. Charakteristisch für diese Eisstöße sind geringe Luft- wie auch Wassertemperaturen und ein relativ konstanter Wasser- und Eisabfluss. [...] Die Wahrscheinlichkeit, dass sich solche Eisstöße auflösen ist sehr gering. In der Regel frieren sie an Ort und Stelle zusammen und verursachen lokal dickere Eisdecken.“ [14, S. 15]

Abbildung 49 zeigt einen schematischen Querschnitt einer Gefrierphase.

⁸Es werden nur Eisstoßklassifikationen näher besprochen, welche im Kraftwerk Hammerhof auftreten können.

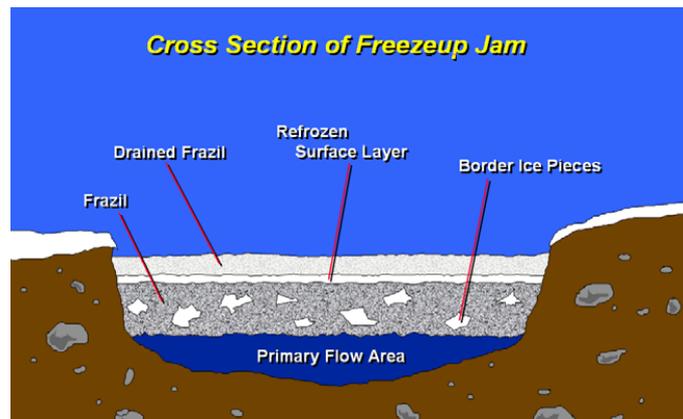


Abb. 49: Schema - Gefrierphase ([14, S. 16])

Das folgende Foto (Abbildung 50) zeigt eine Gefrierphase unterhalb des Ausleitungskraftwerkes Hammerhof.



Abb. 50: Gefrierphase am Bsp. KW Hammerhof; Fließrichtung →

- „Eisstöße - bei Eisauflauf“
Diese Art von Eisstoß tritt generell im Spätwinter und Frühfrühling mit Ansteigen der Lufttemperaturen auf [...] und be-

steht hauptsächlich aus fragmentiertem Eis, welches das Resultat eines Aufbruchs einer Eisdecke oder eines Eisstoßes, der sich in der Gefrierphase gebildet hat, ist. Die Eisteile werden solange flussabwärts transportiert bis sie auf ein Hindernis stoßen, eine Akkumulation einsetzt und somit der Initialpunkt für die Entstehung eines Eisstoßes erreicht ist. Ausschlaggebend für den Umfang des Eisstoßes (Länge und Mächtigkeit) und das Ausmaß der Überflutung sind die Strömungsbedingungen, das Eisangebot sowie die Größe und Mächtigkeit der Eisteile. Durch Warmlufteinbrüche in der Mitte des Winters kann es ebenfalls zu aufbruchsbedingten Eisstößen kommen, die aber in der Regel nicht so heftig ausfallen. Nach Wiedereinstellung einer kalten Witterung friert dieser Eisstoß fest und wird so möglicherweise selbst zu einem Ausgangspunkt für einen Eisstoß im Frühling. Betrachtet man den Querschnitt des aufbruchsbedingten Eisstoßes [...] so sieht man eindeutig die viel größeren beteiligten Eisfraktionen und den höheren Wasserspiegel, als es bei Eisstößen in der Gefrierphase der Fall ist.“ [14, S. 16 - 18]

Die beiden folgenden Abbildungen (51 und 52) zeigen jeweils einen schematischen und einen realen Eisstoß in der Aufbruchphase.

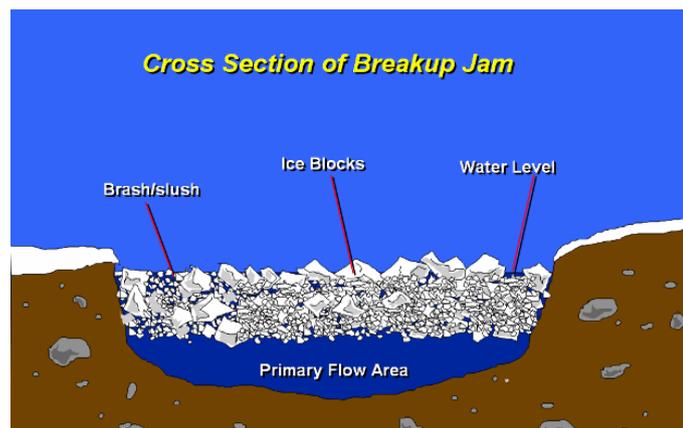


Abb. 51: Schema - Aufbruchphase ([14, S. 18])



Abb. 52: Aufbruchphase am Bsp. KW Hammerhof; Fließrichtung ↑

- *„Eisstöße - Kombination aus Gefrieren und Aufbrechen
Zu Beginn des Winters formt sich ein Eisstoß, der vor der
Schmelzperiode als Sammelpunkt für fragmentiertes Eis dient.
Zu einem späteren Zeitpunkt kommt es zu einem gleichzeitigen
Aufbrechen der Eisdecke und des Eisstoßes und somit erhöht
sich das Eisangebot im Fluss durch das frei gewordene Eis des
Eisstoßes deutlich und damit auch die Gefahr einer neuerli-
chen Bildung eines Eisstoßes.“ [14, S. 18]*

„Klassifikation nach ihrer dominierenden Entstehungsart:

- [...]
- *Oberflächeneisstoß*
*Bei relativ geringen und gleich bleibenden Fließgeschwindig-
keiten können durch natürliche Engstellen, Randeiswachstum
oder auch Barrieren wie Brücken Eispfannen oder -schollen
zusammengeschoben werden und zu einem Eisstoß heranwach-
sen [...]. Sowohl bei der Aufbruchs-, aber vor allem bei Ereig-
nissen während der Gefrierphase spielt diese Art der Eisstoß-
formation eine wesentliche Rolle.“ [14, S. 19]*

Hier ist eine beginnende Randeisbildung kurz vor dem Einlauf in das Oberwassergerinne zu sehen.



Abb. 53: Randeisbildung am Bsp. Hammerhof; Fließrichtung ↓

- „hängender [!] Damm
Unter einem hängenden Damm versteht man die „Aufeinanderschichtung von Eis unter der Eisdecke eines Flusses, wodurch der Flussquerschnitt verkleinert wird“ [...]. Herandrifendes Schwebeseeis wird [...] unterhalb einer existierenden Eisdecke bis zu einer Stelle geringerer Fließgeschwindigkeit transportiert. Dort kommt es zu einer lokalen Ansammlung von Schwebeseeis, das Mächtigkeiten von bis zu 90 m (!) (beobachtet am Ottawa River, Kanada [...]) erreichen können. Die Größe des ankommenden Eises ist ausschlaggebend für die Geschwindigkeit die benötigt wird, damit das Eis unter eine bestehende Eisplatte abtaucht, wohingegen für den Transport unter der Eisdecke die Eisschollenform und -porosität sowie die Rauheit des Flussbettes und der Eisdecke eine Rolle spielt. Besonders häufig betroffene Stellen sind Flussmündungen oder tiefe Stellen in Flüssen, wo sie solange anwachsen solange es genügend Eisnachschub gibt. Durch die Verengung und damit der Zunahme der Strömungsgeschwindigkeiten können hängende Dämme wieder aufgelöst werden. Dieser Prozess tritt

vornämlich während der Gefrierphase auf und kann den Wasserfluss stark behindern.

- *Eisstöße - in schmalen Flussbetten*

Diese Art von Eisstoß bildet sich typischerweise an querstehenden Hindernissen, wie einer intakten Eisdecke. Dabei tauchen ankommende Eispannen und -schollen unter und wachsen flussaufwärts zu einer Schicht an. Unterhalb des Eisstoßes gibt es nur eine geringe Transportkapazität. Beobachten kann man diese Entstehungsart primär während des Gefrierprozesses, jedoch nur selten während des Eisaufbruchs.“ [14, S. 19 - 20]

In Abbildung 54 ist ein Rückstau aufgrund einer intakten Eisdecke zu sehen.



Abb. 54: intakte Eisdecke am Bsp. Hammerhof, Fließrichtung ↑

- „[...]“

Klassifikation nach ihrer räumlichen Ausdehnung:

Nach ihrer räumlichen Ausdehnung unterscheidet man horizontale und vertikale EisstöÙe. EisstöÙe, die sich über die ganze Breite eines Flusses ausgedehnt haben werden als vollständige horizontale EisstöÙe angesprochen. Ist dies nicht der Fall, spricht man

von einem partiell ausgebildeten Eisstoß. Abhängig von der Tiefe, in die EisstöÙe hinabreichen, unterscheidet man erdgebundene EisstöÙe, die den Flussgrund erreichen und zu einer beträchtlichen Einschränkung des Abflusses und somit zum Anstieg des Wasserstandes führen können oder frei schwebende EisstöÙe [!] die nicht bis zum Grund reichen.“ [14, S. 21]



Abb. 55: horizontaler Eisstoß unterhalb des Wehres

Klassifikation nach dem Zustand ihrer Entwicklung:

Als ein sich entwickelnder Eisstoß bezeichnet man einen Eisstoß, dessen Mächtigkeit sowie der damit verknüpfte Wasserstand sich im Laufe der Zeit ändern. Wenn es zu keiner Änderung kommt wird er als gleich bleibender Eisstoß bezeichnet. Existiert ein Abschnitt im Eisstoß, wo sich dessen Mächtigkeit und Wassertiefe nicht ändert [!] spricht man von einem Gleichgewichtsstadium und umgekehrt.“

4.2.3 Eisabgang

Die genauen Umstände, welche einen Eisabgang auslösen, sind nicht bekannt. Thermische und/oder mechanische Einwirkungen oder Belastungen, sowie ein zunehmender Abfluss tragen aber dazu bei. Bei einem Eisabgang wirken hohe Kräfte, die mechanische Teile (z.B. eine Wasserkraftschnecke) beschädigen können, daher sind diese unbedingt zu schützen.

In den Abbildungen 56 und 57 sind Eisaufläufe im Kleinwasserkraftwerk Hammerhof zu sehen.



Abb. 56: Eisabgang zwischen Kraftwerk Hammerhof und dem Unterliegerkraftwerk; Fließrichtung →



Abb. 57: Eisabgang im Kraftwerk Hammerhof - Ausleitungsstrecke beim Krafthaus; Fließrichtung ↓

4.3 Maßnahmen zur Eisstößvermeidung, -minderung und -bekämpfung

Darunter sind Verbesserungen oder Lösungen zu verstehen, welche Hochwässer (entstanden durch einen Eisstöß) und/oder mechanische Schäden, verringern oder ganz beseitigen.

Eine genaue Überprüfung der Sachlage (Schadensfälle, -höhe, Auftrittswahrscheinlichkeit, etc.) ist stets durchzuführen und danach sind geeignete Maßnahmen auszuwählen.

Unterschieden wird in bauliche und nichtbauliche Maßnahmen.⁹ Die entstehenden Kosten sind meist bei den baulichen Maßnahmen höher. [14, S. 30 - 45]

4.3.1 Bauliche Maßnahmen

Bei baulichen Maßnahmen ist zu beachten, dass die Kosten in einem Verhältnis zum Nutzen stehen. Es ist nicht sinnvoll, eine dauerhafte Lösung zu installieren, wenn es nur sehr selten zu Schadensfällen infolge eines Eisstoßes kommt. Hingegen, wenn die seltenen Fälle große Schäden verursachen, kann es wiederum sinnvoll sein.

Es ist stets zu prüfen, welche baulichen Maßnahmen über welchen Zeitraum (nur während der Wintermonate oder ganzjährig) zur Verfügung stehen sollten.

Eingriffe in die Ökologie gehen meist mit einher und sind daher besonders zu beachten und gegebenenfalls auszugleichen, aber allenfalls in den „Ruhephasen“ der einheimischen Lebewesen, möglichst rasch und mit möglichst geringem „Schaden“ durchzuführen. Zum Beispiel sollten beim Einbau von Pfeilern (um einen Eisaufbruch abzufangen) die Bauarbeiten nicht während der Laichzeit der Fische stattfinden, sondern davor oder danach um der Natur etwas Zeit zu geben, sich selbst zu regenerieren. Die Maßnahmen sollten so schnell wie es das Gewässer zulässt (Gewässer mit feinem Bodensubstrat sollte man nicht über Wochen hinweg immer wieder aufwirbeln, sondern die Bauarbeiten so schnell wie möglich durchführen) ablaufen. Unter geringem „Schaden“ ist z.B. zu verstehen, dass die Sohle nicht 20 m aufgerissen wird, wenn die Elemente lediglich über 5 m aufgestellt werden sollen. [14, S. 31]

⁹In diesem Kapitel werden nur Maßnahmen besprochen, welche im Kleinwasserkraftwerk Hammerhof tatsächlich zur Umsetzung kommen könnten.

- *Schwebeeis Retentionsstrukturen:*

Mit Hilfe von künstlich angelegten Inseln oder Buhnen kann bei Gewässern mit niedrigen Fließgeschwindigkeiten und strömendem Abfluss das Schwebeeis zurück gehalten werden. Diese Inseln oder Buhnen werden einige Meter vor der eigentlichen Problemzone errichtet. Aufgrund der Querschnittsverengung bildet sich dort eine Eisdecke, welche nachkommende Eisschollen auffängt.

Auch Querbauwerke wie beispielsweise eine Wehranlage können eine Eisdecke ausbilden und somit den Weitertransport des Schwebeeises verhindern, jedoch nur, wenn diese nicht überströmt werden. [14, S. 32]



Abb. 58: Eisdecke oberhalb der Wehranlage KW Hammerhof

- *Kontrollstrukturen bei Eisbruch:*

Um bei einem Eisbruch den Schaden zu minimieren oder zu vermeiden, können Einbauten die Eismassen an geeigneter Stelle zurück halten. Auch Veränderungen des Flussbettes durch Ausbaggerungen können diesen Effekt erzielen. Beispielsweise werden Steine oder Pfeiler in regelmäßigen Abständen in der Gewässersohle verankert. Die dabei wirkenden Kräfte sind nicht zu unterschätzen, oft werden dadurch die natürlichen Ufer stark beschädigt und somit die Gewässercharakteristik verändert. Diese Einbauten sind meist sehr teuer und bereiten nach Abschluss der Maßnahmen weiterhin Probleme. [14, S. 33]

- *Flussbettmodifikation:*

Das Eis wird im Fluss durch eine Veränderung der Gewässertiefe,

-breite und deren Variationen zurück gehalten. Einbauten und/oder regelmäßige Ausbaggerungen können das Flussbett für diesen Zweck modifizieren. Ökologisch betrachtet ist diese Art des Eisbruchrückhaltes, aufgrund des regelmäßigen Eingriffs in die Natur, umstritten. [14, S. 34]

– *Eisablagerungszonen:*

Eisablagerungszonen sind Bereiche, in denen das Eis ohne Schäden zu verursachen liegen bleiben kann. Erzielt wird das durch eine Abflachung des Ufers und einem dadurch entstehenden erdgebundenen Eisstoßes. [14, S. 34]



Abb. 59: Eisablagerungszone unterhalb der Wehranlage KW Hammerhof

4.3.2 Nichtbauliche Maßnahmen

Der Vorteil von nichtbaulichen Maßnahmen ist die Möglichkeit, sehr schnell zu handeln, entweder bevor Probleme entstehen oder zur Minimierung von Schäden. Auch die meist geringeren Kosten gegenüber den baulichen Maßnahmen tragen zu einer Entscheidung bei.

Chemische, thermische und mechanische Methoden sowie eine angepasste Betriebsführung zählen zu den nichtbaulichen Maßnahmen.

Die Ökologie spielt auch hier eine wichtige Rolle, daher werden chemische Maßnahmen nicht mehr angewandt. [14, S. 38]

- *Mechanische Maßnahmen:*

Ziel ist es, mit Hilfe von mechanischen Mitteln, die Eisdecke zu schwächen oder ganz zu entfernen.

- *Eiszerschneidung:*

Hierfür wurden spezielle Geräte entwickelt (z.B. Eissäge, Eispflug, etc.), wobei eine handelsübliche Motorsäge auch zum Einsatz kommen kann. Die Eisdecke wird in etwa gleich große Blöcke gesägt, somit wird der Abtransport des Eises erleichtert. Der Zeitpunkt des Zerschneidens sollte gut gewählt sein, denn ein Aneinanderfrieren der Blöcke kann durchaus passieren, wenn die Temperaturen wieder sinken oder der Abstand zwischen den Blöcken zu gering war. [14, S. 39]

- *Formung von Löchern in der Eisdecke:*

Löcher werden in die Eisdecke gebohrt oder gesprengt. Der Wärmetransport vom Wasser zum Eis löst so den Schmelzprozess aus und wird dann von der Sonnenstrahlung beschleunigt. Auch hier können die Löcher wieder zufrieren, wenn der Durchmesser zu gering gewählt wurde, ab 20 cm sollte dies jedoch nicht mehr passieren. [14, S. 40]

- *Einsatz von Baggern:*

Der Einsatz von Baggern ist entweder vom Ufer aus oder von Brücken herab möglich. Die Eisdecke wird aufgebrochen und kann so gleich abtransportiert werden. [14, S. 42]



Abb. 60: Zerstörung eines Eisstoßes mit Hilfe eines Baggers im KW Hammerhof; Fließrichtung →

– *Sprengungen:*

Diese Sprengungen müssen von einem fachkundigen Sprengbefugten durchgeführt werden. Die Feuerwehr ist hier, im Rahmen eines Katastropheneinsatzes, der erste Ansprechpartner.

Bei einer Eisdecke von bis zu 60 cm Stärke werden Sprenglöcher im Abstand von 10 - 15 m und einem Durchmesser von 30 - 40 cm hergestellt. Durch diese Löcher werden dann geballte Ladungen an Stangen oder Drähten angebracht und in etwa 1 - 2 m unterhalb der Eisdecke fixiert. Es ist darauf zu achten, dass die Eisschollen ungehindert davon schwimmen können.

Ein Eisstau mit einer Höhe von bis zu 10 m wird am Besten zwischen den Schollen mit eingeschobenen Ladungen, welche gut verdämmt werden müssen, beseitigt. Der Abtransport des Eises muss auch hier gegeben sein.

Treibeis bzw. treibende Eisschollen werden am Besten durch geballte Wurfladungen zerkleinert. [15, S. 246 - 249]

Sprengungen sollten nur dann durchgeführt werden, wenn es unbedingt erforderlich ist, weil stets die Möglichkeit besteht, dass eine Ladung nicht sofort, sondern erst später unkontrolliert detoniert. Auch für Lebewesen im Wasser sind die verwendeten Sprengstoffe und die entstehenden Druckwellen gesundheitsschädlich, daher sollte nur in Einzelfällen gesprengt werden.

– *Natürliche Eissperre:*

Eine Eisscholle wird aus dem vorhandenen Randeis ausgeschnitten und an einer geeigneten Stelle über den gesamten Flussquerschnitt platziert, dadurch entsteht eine Eissperre, welche nachfolgende Eisschollen auffängt. [14, S. 42]

• *Thermische Maßnahmen:*

Darunter sind Maßnahmen zu verstehen, welche den Energieaustausch an der Eis-Luft-Grenzfläche durch Manipulation der Absorptionsraten der Eisdecke nutzen, um die Eisdecke zu schwächen. [14, S. 43]

– *Förderung der Zunahme der solaren Absorption:*

Sand, Flugstaub, Kohlenstaub, Farbstoffe, Ruß aber auch Mulch oder Blätter werden auf die Eisdecke aufgebracht und erhöhen dadurch den Energieaustausch an der Eis-Luft-Grenzfläche. Der Zeit-

punkt der Aufbringung sollte gut gewählt werden, denn eine neue Schneedecke würde wieder den ursprünglichen Zustand herstellen und daher keinen Effekt erzielen. Mit dieser Methode kann lediglich die Stärke der Eisdecke in kürzerer Zeit abnehmen, jedoch nicht sofort auflösen. [14, S. 43 - 44]

4.4 Methoden und Möglichkeiten im Kraftwerk Hammerhof

Im Wasserkraftwerk Hammerhof kann es an drei Stellen zu Eisstößen kommen, wie in Abbildung 61 zu sehen ist. Diese unterscheiden sich durch Gefahrenpotential, Intensität und Gegenmaßnahmen.

Da es sich beim KW Hammerhof um ein Kleinwasserkraftwerk handelt, sind die wirtschaftlich sinnvollen Ausgaben begrenzt, auch deshalb wurde in der Vergangenheit schon einiges ausprobiert, mit teils sehr guten Erfolgen. Diese Maßnahmen werden in den folgenden Unterpunkten besprochen, diskutiert und durch neue Empfehlungen ergänzt.

Die neue Situation, welche aufgrund des erneuerten Wasserrechtes zu errichten ist, fließt dabei mit ein. Das heißt gerade im Bereich der Wehranlage könnte es einige Veränderungen durch eine Wasserkraftschnecke (mehr dazu unter 3.5) und einen Fischaufstieg (siehe auch 3.6) geben.

An dieser Stelle ein kleiner geschichtlicher Exkurs des KW Hammerhofes:

Als das Kleinkraftwerk geplant wurde, war ein Winterbetrieb nicht vorgesehen.

In den 1960er Jahren begann man mit dem Winterbetrieb. Die dadurch entstanden Probleme wurden im Laufe der Zeit so gut es ging minimiert bzw. behoben.

Zu Beginn der 1970er Jahre kam es dann zu massiven Problemen während eines Winters. Der aufgehaltene Eisstoß des Unterliegerkraftwerkes staute sich bis zum Unterwassergerinne des KW Hammerhofes zurück, wodurch ein Betrieb nicht mehr möglich war. Um dies zukünftig zu vermeiden wurde entschieden, den Stauraum oberhalb der Wehranlage zu vergrößern. Dort wird seit dieser Zeit der Eisstoß zurückgehalten, meistens erfolgreich.

Im Laufe der Zeit wurden auch Optimierungen des Oberwassergerinnes im Bereich des Turbineneinlaufs vorgenommen. Der seitliche

Überlauf wurde um ein Vielfaches nach hinten verlängert, dadurch

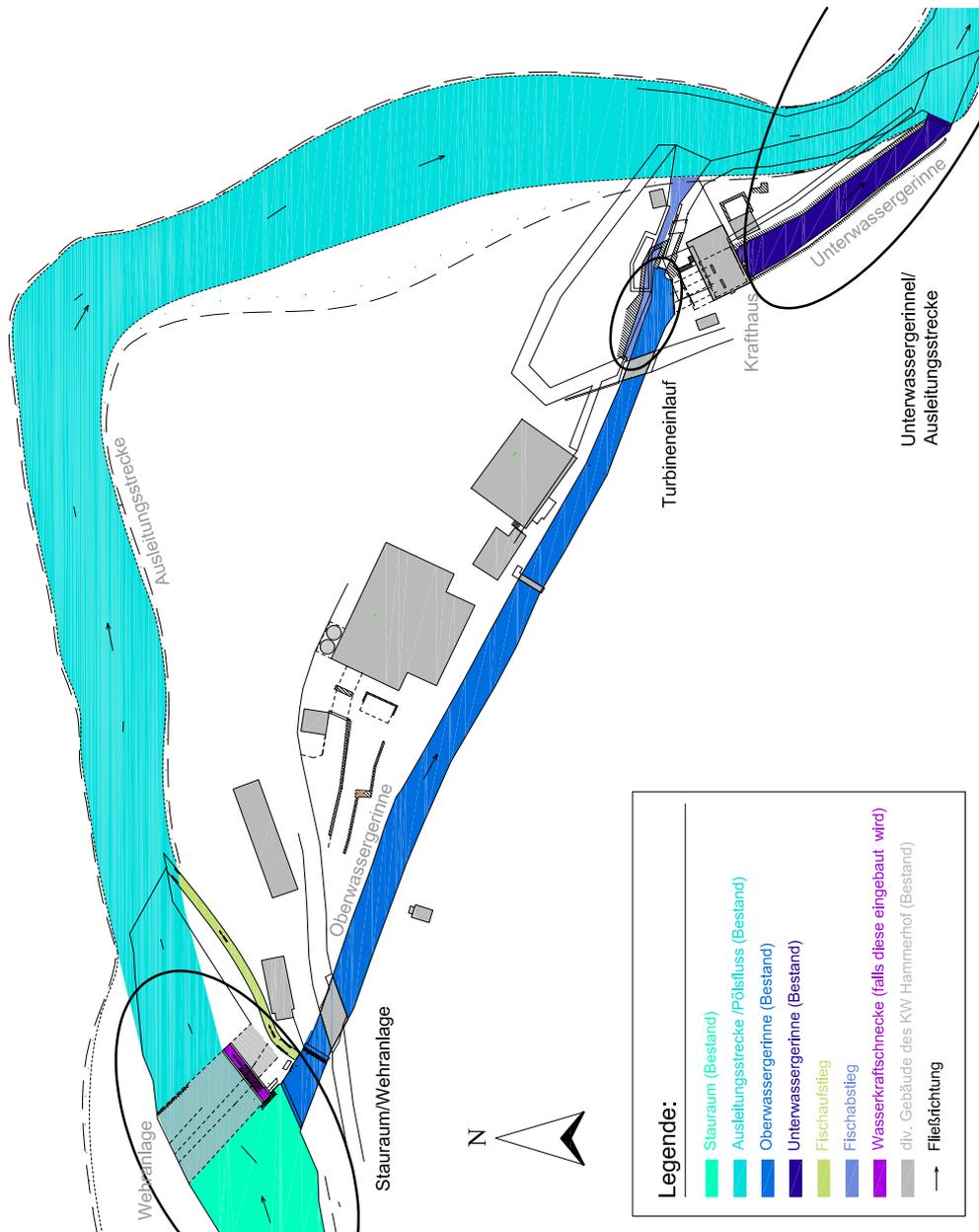


Abb. 61: Mögliches Auftreten eines Eisstoßes

veränderte sich die Strömungsgeometrie hydraulisch günstig und es kam deutlich seltener zu Eisproblemen.

In den letzten Jahren wurde das Unterlieger-Kraftwerk erneuert. Im Zuge dessen wurde die Wehranlage so umgebaut, dass ein Eisstoß jederzeit abgegeben werden kann. Somit wäre ein Rückstau bis zum Kraftwerk Hammerhof verhindert.

Im Zuge der Verlängerung bzw. Erneuerung des Wasserrechtes wurde auch der Stauraum bewilligt.

4.4.1 Stauraum/Wehranlage

Wie bereits erwähnt, wurde der Stauraum erst in den 1970er Jahren errichtet. Dieser Stauraum wurde durch eine Anlandung am orografisch linken Ufer des Pölsflusses optimiert. Entstanden ist dies, durch eine Anlandungen des Flusses, welche zu Beginn noch entfernt wurden, später aber nicht mehr. Mittlerweile wachsen dort auch Bäume. Im Winter wird durch die Engstelle das Eis im Normalfall zurück gehalten. Bei einem häufigen Frost-Tau-Wechsel und während der Übergangszeiten passieren einzelne Eisschollen die Engstelle, treiben über die Wehranlage und bleiben dort liegen.

Ein ausgebildetes Leitgerinne, welches in regelmäßigen Abständen gespült bzw. ausgebaggert wird, führt direkt zum Einlauf des Oberwassergerinnes. Dieses Leitgerinne bleibt sehr lange eisfrei und trägt dadurch wesentlich zur Aufrechterhaltung des Winterbetriebes bei. Ein vorgesetzter Winterrechen, bestehend aus Holzbrettern, verhindert dort ein allzu rasches Anfrieren der Eisdecke und hält die Eisschollen vom Oberwassergerinne fern.



Abb. 62: Anlandung - rechts im Bild; Fließrichtung ↓



Abb. 63: Leitgerinne und Grobrechen; Fließrichtung ↓

Die Wasserkraftschnecke könnte auch im Winter betrieben werden. Bei geringem Zufluss eventuell auch alleine, d.h. dass die beiden Turbinen im Krafthaus abgeschaltet werden und der Zufluss geschlossen wird. Dies ist erforderlich um eine Wiederinbetriebnahme der Turbinen gewährleisten zu können.

Ein vorgesehener Grobrechen würde die Restwasserschnecke vor Eisschollen schützen. Schneematsch oder Schneebruch können die Wasserkraftschnecke ungehindert passieren.

Um ein Aneisen der rotierenden Spirale an das seitliche Blech zu verhindern, wird eine Überdachung, sowie eine Umgebungstemperatur der Wasserkraftschnecke von nicht weniger als 0 °C empfohlen. Dies kann erreicht werden durch eine Dämmung des Bauwerkes, wobei Styroporplatten auf keinen Fall verwendet werden sollten¹⁰ und/oder durch eine Einleitung der Abwärme aus dem Maschinenraum.

Mehr Informationen zur Wasserkraftschnecke im Kapitel 3.5.

Der Fischaufstieg sollte unbedingt so konstruiert werden, dass es auf keinem Fall zu einer Grundeisbildung kommen kann. Ebenso sollten der Ein- und Ausstieg eisfrei sein, ein vorgesehener Grobrechen beim Ausstieg kann dies garantieren. Beim Einstieg ist lediglich darauf zu achten, dass ein möglicher Eisstoß nicht beim Einstieg liegen bleibt, wobei dies aufgrund der Entfernung zum Wehrfeld eher unwahrscheinlich ist.

Unterhalb der Wehranlage können und sollen Eisstöße liegen bleiben. Um dies zu garantieren wäre es möglich, große Wasserbausteine oder Betonpfeiler zu errichten, wie in Kapitel 4.3.1 unter „Kontrollstrukturen bei Eisbruch“ besprochen wurde. Weil jedoch durch die Erneuerung des Unterliegerkraftwerkes dort ein Eisstoß weiter auftreten kann, stellt ein möglicher Eisabgang nach der Wehranlage des KW Hammerhof keine Gefährdung für den Winterbetrieb mehr dar.

¹⁰Styroporplatten können, durch den Generator, eine hörbare Schwingung erzeugen und eine Lärmbelästigung zur Folge haben.



Abb. 64: Liegegebliebene Eisstöße im KW Hammerhof; UW des Wehres

4.4.2 Oberwassergerinne

Im Oberwassergerinne kommt es immer wieder zur Bildung einer Eisdecke im Bereich des Turbineneinlaufs.

In der Vergangenheit versuchte man diese zu schwächen bzw. zu beseitigen, indem man Eissprengungen durchführte, oder mit Hilfe einer Motorsäge diese in Blöcke schnitt. Dann wurden die Schollen über die seitliche Entlastung abtransportiert. Diese Maßnahmen wurden aber nur in Notfällen durchgeführt, wenn beispielsweise ein dadurch entstehendes oder entstandenes Hochwasser das Wohnhaus bedrohte. Ansonsten versuchte man, mit Drosseln der Turbinen und einer damit verbundenen Wasserspiegelsenkung, die Bildung einer Eisdecke zu verlangsamen und einen Rückstau, welcher über das Oberwassergerinne treten könnte, zu vermeiden.

Diese Maßnahmen erscheinen auch heute noch sinnvoll. Eine Verbesserung der Situation könnte ein Umbau des bestehenden Schützes, welcher die direkte Verbindung zur Ausleitungsstrecke darstellt, sein. Das bestehende Schütz müsste durch eine bewegliche Klappe mit einem speziellen, für die beengten Platzverhältnisse geeignetem Antrieb, ersetzt werden. Dadurch würde ein hydraulisch optimierter Ablauf und Überlauf des Oberwassergerinnes entstehen, welcher auch Eisstöße ohne Probleme abtransportieren könnte. Die Verbesserung basiert auf einem geradlinigen Verlaufs des Oberwassers. Zusätzlich müsste der seitliche Überlauf geschlossen bzw. erhöht werden, dies stellt je-

doch keine Herausforderung dar. Positiver Nebeneffekt dieses Umbaus wäre der einfache Einbau eines Fischabstieges im alten Überlaufgerinne (mehr dazu im Kapitel 3.6.7).

4.4.3 Unterwassergerinne

Im Unterwassergerinne sollten eigentlich keine Probleme mehr entstehen, weil diese Problematik durch den Umbau des Unterliegerkraftwerks behoben wurde.

5 Optimierung der Anlage

5.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden noch einmal alle bisherigen Optimierungsvorschläge, welche das Restwasser und den Eisstoß betreffen, aufgezählt und durch zusätzliche ergänzt. Die neuen Vorschläge werden diskutiert und Varianten untersucht. Anschließend erfolgt eine Bewertung aller ausgewählten Optimierungsvorschläge nach ihrem Kosten-Nutzen-Verhältnis.

5.2 Optimierungsvorschläge

Betrifft	Kurzbeschreibung	Siehe Kapitel
<i>Gesamte Anlage</i>	Automatisierte Steuerung	5.2.1
<i>Wehranlage</i>	Spülschütz	5.2.2
	Wasserkraftschnecke	3.5.4
<i>Einlauf OW-Gerinne</i>	Eisproblematik	4.4.1
	Rechen	5.2.3
	Anströmsituation	5.2.3
	Fischaufstieg	3.6.6
<i>OW-Gerinne</i>	Eisproblematik	4.4.2
	Verlandung	5.2.4
	Gerinneoberfläche	5.2.4
<i>UW-Gerinne</i>	Gerinnegeometrie und Einbindung	5.2.5

Tab. 16: Übersicht Optimierungsvorschläge

5.2.1 Gesamte Anlage

Automatisierte Steuerung des gesamten Kleinwasserkraftwerks

Eine automatisierte Steuerung der gesamten Anlage würde sämtliche Schütze betreffen. Zusätzlich könnten auch die Turbinen bzw. Generatoren so von einem Steuerelement aus bedient werden. Situieren würde man dieses Steuerelement im Krafthaus.

Aus technischer Sicht wäre die Umsetzung kein Problem, jedoch sehr aufwändig. Eine elektrische Hebevorrichtung gibt es bereits an allen Schützen,

diese müsste man mit dem Steuerelement im Krafthaus verbinden, kostenintensive Erdarbeiten wären dazu notwendig. Bei der Steuerung der Turbinen wären einige Umbauarbeiten notwendig, weil die Frequenz- und Phasen Anpassung, um die Spannung ins Energieverbundnetz einzuspeisen, derzeit noch händisch erfolgt. Mit einem elektronischen Regelungssystem könnte diese Anpassung jedoch automatisch erfolgen.

5.2.2 Wehranlage

Umbau Wehranlage

Um einen genaueren Eindruck zu erhalten, ist in Abbildung 65 das gesamte Querbauwerk dargestellt, wobei diese Aufnahme nicht während der Messungen entstanden ist. Bei den Messungen floss kein Wasser über die Wehrkrone, weil dies die Ergebnisse verfälscht hätte.



Abb. 65: Wehranlage des KW Hammerhof (mit Überlauf, Aufnahme vom 30.11.2009)

In Abbildung 66 ist der orografisch gesehen rechte Schütz neben der Wehranlage zu sehen. Dieser Schütz wird zum Spülen des Staurams genutzt und weist jeweils rechts und links in einer Höhe von ca. 30-40 cm ab Unterkante der Absperrvorrichtung eine beachtliche Durchlässigkeit auf. Diese könnte bei den nächsten Erneuerungsmaßnahmen (z.B. bei der Errichtung des Fischaufstieges oder beim Einbau einer Wasserkraftschnecke) korrigiert werden. Bei der Messung vom 10.12.2009 konnte dieser über das Schütz abgegebene Förderstrom



Abb. 66: Unterläufigkeit rechtes (Spül)-Schütz vom 10.12.2009

nicht von der durch die Unterläufigkeit hervorgerufene Wassermenge getrennt erfasst werden und ist daher in dem gemessenen Abfluss enthalten.

Im Verhältnis dazu ist die Unterläufigkeit des Wehres gering, es sind drei kleinere Abflüsse während der Messung erkannt worden. Der mittlere dieser drei Abflüsse ist in Abbildung 67 festgehalten. Die zwei weiteren Abflüsse führten in etwa die gleiche Wassermenge.



Abb. 67: Unterläufigkeit Holzwehr vom 10.12.2009

Folgende Ergebnisse hat die Auswertung der Messergebnisse geliefert:

Querschnitt	A [m ²]	v _m [m/s]	Q [m ³ /s]
A - A	0,60	0,412	0,247
B - B	0,45	0,354	0,159

Tab. 17: Auswertung der Messergebnisse

Die Lage der Querschnitte ist Abbildung 27 auf Seite 24 zu entnehmen.

Der große Verlust von ca. 40 % des Durchflusses zwischen den beiden Messquerschnitten A - A und B - B kann durch die geologische Situation vor Ort erklärt werden, weil es sich hier um eine glaziale Ablagerungszone handelt und somit die Durchlässigkeit des Untergrundes dementsprechend groß ist.

Die gemessene Unterläufigkeit der gesamten Wehranlage ist geringer als angenommen. Auffallend ist, dass die überwiegenden Abflüsse aus der Durchgängigkeit des rechten (Spül)-Schützes der Wehranlage kommen, welche relativ einfach saniert und somit weitestgehend behoben werden könnte.

Um die Netto-Wassermenge der Unterläufigkeit alleine bestimmen zu können, müsste entweder das derzeit durchlässige rechte (Spül)-Schütz saniert werden bzw. baulich eine Trennung der beiden Förderströme (Unterläufigkeit und Abfluss über (Spül)-Schütz) hergestellt werden.

5.2.3 Einlauf OW-Gerinne

Rechenanlage

Um im Winter durchgehenden Betrieb fahren zu können, ist es notwendig das Eis vom Oberwassergerinne fern zu halten. Dies kann mit einem Winterrechen erreicht werden. Derzeit hat das KW Hammerhof einen provisorischen Rechen wie in Abbildung 68 zu sehen ist.



Abb. 68: Winterrechen bei der Wehranlage des KW Hammerhof; Fließrichtung



Eine Optimierung dieses Rechen könnte im Zuge des Umbaus des Einlaufs in das Oberwassergerinne (näheres unter 5.2.3) erfolgen. Ein regelmäßiger Stababstand von ca. 25 cm, sowie der Einbau von Rundhölzern würden die hydraulischen Verluste minimieren, wie am Beispiel des Kraftwerks Mürzzuschlag in Abbildung 69 zu sehen ist. Dieser Rechen befindet sich das ganze Jahr über im Wasser. Im Sommer hat er die Aufgabe das Geschwemmsel zurück zu halten.



Abb. 69: Rechen bei der Wehranlage des KW Mürzzuschlag

Verbesserung der hydraulischen Anströmsituation

Um eine günstigere Anströmsituation im Bereich des Einlaufs in das Oberwassergerinne zu erreichen, wäre eine Ausrundung des orografisch rechten Ufers erforderlich. Im Zuge dessen könnte man die Sohle ebenfalls anpassen, dadurch erhält man eine stetige Anpassung der Fließgeschwindigkeiten (v) und kann somit die hydraulischen Verluste (h_v) minimieren.

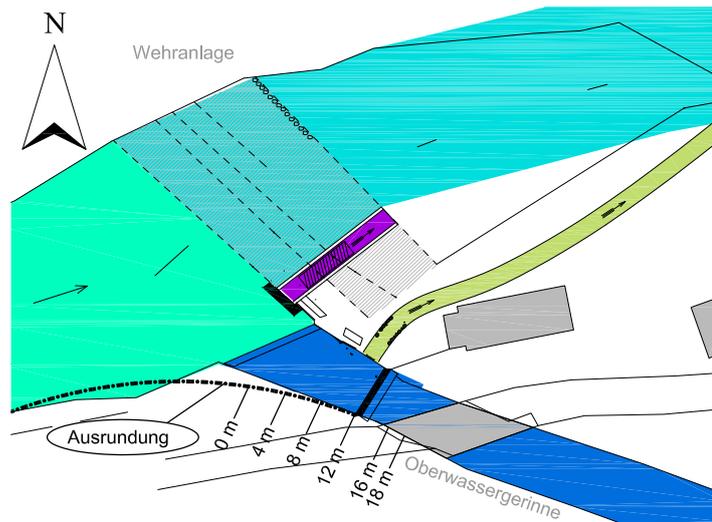


Abb. 70: Einlauf in das Oberwassergerinne

Die Ausrundung hat einen Radius von 53,0 m und eine Länge von 40,0 m.

Die hydraulischen Verluste wurden für drei Zustände ermittelt. Der erste Zustand „ h_v derzeit“ stellt den Ist-Zustand nach den Vermessungsplänen von Dipl.-Ing. Johannes Lessing von 2004 dar. Zustand Zwei „ h_v optimiert (Böschung)“ beinhaltet die Ausrundung der orografisch rechten Böschung und der dritte Zustand „ h_v optimiert (Böschung & Sohle)“ behandelt neben der Ausrundung der Böschung auch noch eine neue „begradigte“ Sohle.

Zuerst wurden die Fließgeschwindigkeiten mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung

$$Q = v \cdot A$$

berechnet. Die hydraulische Rauigkeit (k) wurde durch das Gleichsetzen der Fließgeschwindigkeiten nach der vereinfachten Fließformel

$$v = (20,75 + 17,71 \cdot \lg \frac{R}{k}) \cdot \sqrt{R \cdot S}$$

ermittelt, wobei R den hydraulischen Radius

$$R = \frac{A}{U}$$

und S das Gefälle darstellt.

Danach wurde die hydraulische Rauigkeit (k) in den Strickler-Beiwert (k_{St}) mit Hilfe der Beziehung

$$k_{St} = \frac{26}{k^{\frac{1}{6}}}$$

umgerechnet. Hierbei ist zu beachten, dass k in Meter einzusetzen ist.

Der hydraulische Verlust (h_v) wurde dann mit der umgeformten Strickler-Formel

$$h_v = \frac{v^2 \cdot l}{k_{St}^2 \cdot R^{\frac{2}{3}}}$$

berechnet, l ist die Länge. [16, S. 263 - 274]

Nachfolgend sind die Ergebnisse in Tabelle 71 und in Abbildung 18 zu sehen.

Anströmsituation beim Einlauf in das OW Gerinne derzeit und optimiert

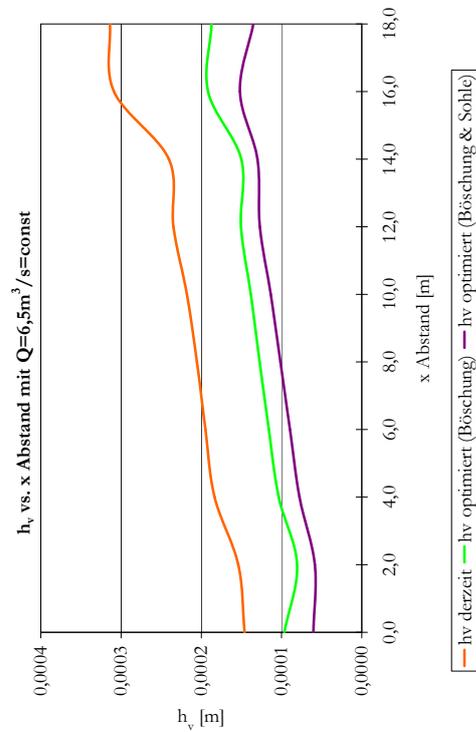
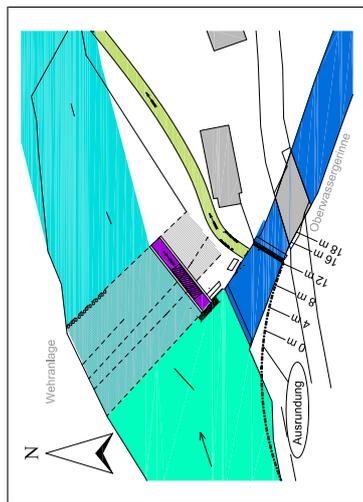


Abb. 71: Verluste beim Einlauf ins OW-Gerinne

x [m]	b [m]	t [m]	A [m ²]	v [m/s]	h _v [m]
0,0	9,313	1,414	13,170	0,494	0,000146
2,0	8,734	1,442	12,590	0,516	0,000154
4,0	7,682	1,469	11,285	0,576	0,000183
6,0	7,265	1,496	10,871	0,598	0,000195
8,0	6,898	1,524	10,511	0,618	0,000205
10,0	6,532	1,551	10,133	0,641	0,000218
12,0	6,124	1,579	9,668	0,672	0,000235
14,0	5,929	1,606	9,523	0,683	0,000240
16,0	5,401	1,542	8,327	0,781	0,000309
18,0	5,650	1,477	8,346	0,779	0,000314
k _{S(gerinn)} =53					
0,0	10,626	1,414	15,026	0,433	0,000097
2,0	9,622	1,442	13,870	0,469	0,000081
4,0	8,227	1,469	12,085	0,538	0,000104
6,0	7,546	1,496	11,292	0,576	0,000116
8,0	6,992	1,524	10,654	0,610	0,000127
10,0	6,516	1,551	10,108	0,643	0,000138
12,0	6,072	1,579	9,586	0,678	0,000151
14,0	5,916	1,606	9,502	0,684	0,000150
16,0	5,401	1,542	8,327	0,781	0,000192
18,0	5,650	1,477	8,346	0,779	0,000187
k _{S(gerinn)} =60 (rau; BruchsteinMW weniger sorgfältig ausgeführt)					
0,0	10,626	1,600	17,002	0,382	0,000060
2,0	9,622	1,419	13,654	0,476	0,000058
4,0	8,227	1,427	11,740	0,554	0,000078
6,0	7,546	1,436	10,836	0,600	0,000090
8,0	6,992	1,444	10,096	0,644	0,000101
10,0	6,516	1,453	9,468	0,687	0,000113
12,0	6,072	1,461	8,871	0,733	0,000127
14,0	5,916	1,470	8,697	0,747	0,000130
16,0	5,401	1,478	7,983	0,814	0,000152
18,0	5,650	1,487	8,402	0,774	0,000155
k _{S(gerinn)} =65 (rau; BruchsteinMW sorgfältig ausgeführt)					
					0,001045

Tab. 18: Verluste beim Einlauf ins OW-Gerinne

5.2.4 Oberwassergerinne

Verlandung des Oberwassergerinnes

Die Verlandung des Oberwassergerinnes sollte durch regelmäßige Spülungen minimiert werden. In Abbildung 72 ist eine Entlandung zwischen 2004 und 2009 zu erkennen. Die Entlandung entstand durch regelmäßige Spülungen im Rahmen eines Spülmanagements am Pölsfluss. Angemerkt sei hier, dass die Genauigkeit der Messung von 2004 jedenfalls höher liegt, als die von 2009, weil 2004 eine Vermessung von Dipl.-Ing. Johannes Lessing durchgeführt wurde. Eine Messlatte wurde 2009 als Messgerät verwendet, die Ablesegenauigkeit liegt hier bei ± 5 cm, weiters konnte die Latte nicht immer senkrecht gehalten werden aufgrund der Strömung und der Situation vor Ort, daher eine weitere Ungenauigkeit von etwa ± 10 cm. Die gemessenen Wasserstandstiefen sind somit etwas ungenau, mit Ausnahme bei den beiden Brücken und beim Steg, weil hier die Messlatte senkrecht gehalten werden konnte. Daher ist in Abbildung 72 die Sohle von 2009 rein qualitativ als Trendlinie zu sehen. [5]

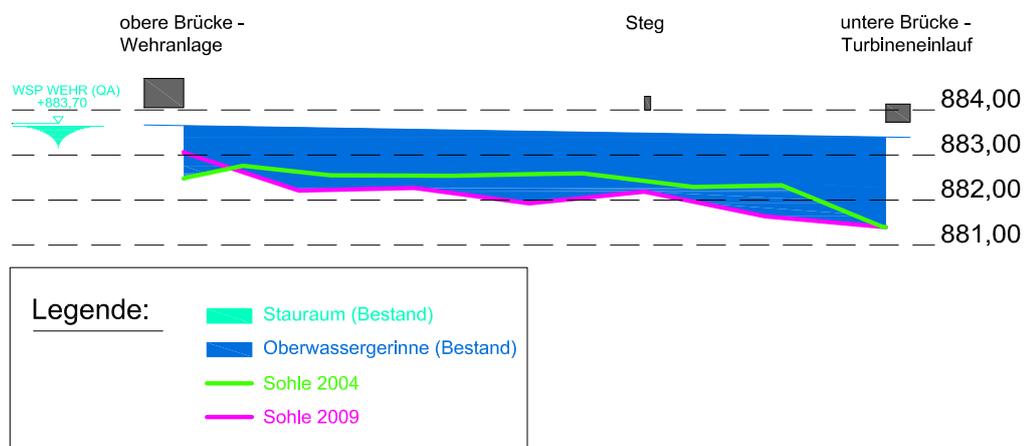


Abb. 72: Verlandung im Oberwassergerinne

Datum	Anmerkung
30.09.2009	neue Regelspülung
10.09.2008	neue Regelspülung
26.05.2008	für Diplomarbeit Edelsbrunner und Friess
16.04.2008	für Diplomarbeit Edelsbrunner und Friess
3.09.2007	
Okt. 2004, 2005, 2006	

Tab. 19: Auflistung der Spülungen des Oberwassergerinnes zwischen der Vermessung von Dipl.-Ing. Lessing vom Mai 2004 und den Geschwindigkeitsmessungen vom 6.08.2009

Auch im Unterwassergerinne sollte auf eine regelmäßige Spülung bzw. Räumung geachtet werden. In Abbildung 73 ist das Unterwassergerinne während einer fischereibiologischen Untersuchung zu sehen.



Abb. 73: Verlandung im Unterwassergerinne; Fließrichtung ↑

Erneuerung der Gerinneoberfläche

Grundlagen:

Die nachfolgenden Berechnungen wurden mit der Software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), Version 4.0 Beta, durch-

geführt.

Dieses Programm kann unentgeltlich von der Homepage des U.S. Army Corps of Engineers bezogen werden. Die Software arbeitet mit einer eindimensionalen Strömungsberechnung.

Das Dezimaltrennzeichen wird nicht wie bei uns üblich, als Komma sondern, als Punkt dargestellt.

Damit ist es möglich, auf drei Arten, hydraulische Berechnungen durchzuführen:

- stationäre Wasserspiegelberechnungen,
- instationäre Abflusssimulationen und
- die Modellierung von Sedimenttransport in ausgedehnten Netzen natürlicher und künstlicher Flussläufe.

Für diese Masterarbeit wurden stationäre Wasserspiegelberechnungen durchgeführt. Nachfolgend eine kleine Einführung in die stationäre Strömungsberechnung der Software HEC-RAS.

Der wesentliche Berechnungsprozess basiert auf der stationären Energiegleichung

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_e$$

mit Y_1, Y_2 den Wasserspiegeln in den zwei Querprofilen,
 Z_1, Z_2 den geodätischen Höhen der Gerinnesohle,
 V_1, V_2 den mittleren Geschwindigkeiten in den zwei Querprofilen,
 α_1, α_2 den Wichtungskoeffizienten der Fließgeschwindigkeit,
 g der Erdbeschleunigung und
 h_e dem Energiehöhenverlust.

Der Energiehöhenverlust

$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} \right|$$

mit L dem Abfluss gewichtete Gerinnelänge,
 \bar{S}_f dem Reibungsgefälle zwischen zwei Querprofilen,
 C dem Expansions- bzw. Kontraktionskoeffizient

wird jeweils zwischen zwei Querschnitten bestimmt.

Die Eingabe von mehreren Manning Rauigkeitsbeiwerten (n) in einem Querschnitt ist anhand der Zerlegung in Teilbereiche möglich. Hierfür dient die Kontinuitätsgleichung nach dem Ansatz von Manning-Strickler

$$Q = K \cdot S_f^{\frac{1}{2}}$$

mit

$$K = \frac{1,486}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

- und K der hydraulischen Kapazität im Teilquerschnitt,
- n dem Manning Rauigkeitsbeiwert im Teilquerschnitt,
- A der Querschnittsfläche des Teilquerschnitts,
- R den hydraulischen Radius des Teilquerschnitts.

Die Umrechnung vom Manning Rauigkeitsbeiwert (n), welcher hauptsächlich im anglikanischen Raum Verwendung findet, in den bei uns gebräuchlichen Strickler-Beiwert (k_{St}) lautet:

$$k_{St} = \frac{1}{n}$$

Der Wichtungskoeffizient

$$\alpha = \frac{A_t^2 \cdot \left(\frac{K_l^3}{A_l^2} + \frac{K_m^3}{A_m^2} + \frac{K_r^3}{A_r^2} \right)}{K_T^3}$$

- mit A_T der gesamte Fließquerschnitt,
- A_l, A_m, A_r der linken, mittleren und rechten Teilfläche,
- K_T der Gesamtleitfähigkeit des Querschnitts,
- K_l, K_{ch}, K_r der hydraulischen Leitfähigkeit der Teilquerschnitte

wird benötigt um in jedem Querschnitt einen Wasserspiegel darstellen zu können. Dies wird mit Hilfe einer durchschnittlichen Energiehöhe erreicht. K wird hier auch als die hydraulische Kapazität bezeichnet.

Das Reibungsgefälle

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

mit \bar{S}_f dem Reibungsgefälle zwischen zwei Querprofilen,
 Q_1, Q_2 dem Durchfluss im Querschnitt 1 bzw. 2,
 K_1, K_2 der hydraulischen Kapazität im Querschnitt 1 bzw. 2

welches das Gefälle der Energielinie darstellt, wird in jedem Querschnitt berechnet (weitere Gleichungen sind aus dem Benutzerhandbuch der Software HEC-RAS zu entnehmen). Anhand dieser Gleichung werden die Wasserspiegellagen in der Querschnitten iterativ bestimmt.

Bei häufigen Wechselsprüngen kommt der Impulssatz (2. Newton'sche Gesetz)

$$\Sigma F = m \cdot a$$

mit ΣF der Summe aller Kräfte,
 m der Masse,
 a der Beschleunigung bzw. Verzögerung

zum Einsatz.

Für eine Zeiteinheit kann die Impulsänderung

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

mit P_i dem hydrostatischen Druck in den Querschnitten 1 und 2,
 W_x der Kraft aus Masse des Wassers in x-Richtung mal g,
 F_f der Kraft aus Reibungsverlusten im Gerinne,
 Q dem Durchfluss,
 ρ der Dichte des Wassers,
 ΔV_x der Änderung der Geschwindigkeit von 1 bis 2 in x-Richtung

zwischen zwei Querschnitten berechnet werden.

Genauere Informationen dazu sind im Handbuch der Software HEC-RAS nachzulesen. [17, S. 2-2 - 2-21]

Berechnungen:

Als Eingabedaten dienten die gemessenen Querschnitte und der durchschnittliche Abfluss von 6,5 m³/s vom 6.08.2009. Ein Ist-Zustand sowie zwei Varianten wurden berechnet. Die erste Variante entspricht einem Gerinnequerschnitt mit einer Asphaltoberfläche (rau) und die zweite Variante einer Auskleidung mit

Kunststoffolie (EPDM, ethylene-propylene-diene monomer).

Zuerst wurde der Ist-Zustand berechnet und mit den Messergebnissen auf Plausibilität überprüft, mit Hilfe der bekannten Wasserstandshöhen konnte der Manning-Beiwert ermittelt werden. Das berechnete Gerinne ist zu sehen in Abbildung 74.

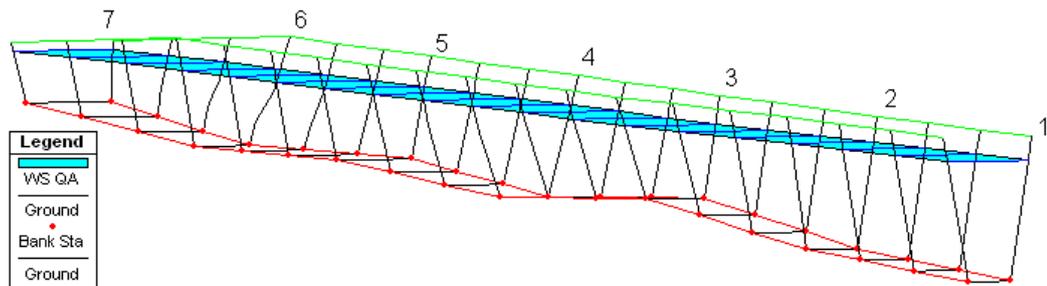


Abb. 74: Oberwassergerinne derzeit, berechnet mit HEC-RAS

Ergebnisse:

Das Ergebnis des derzeitigen Zustandes ist Tabelle 20 zu entnehmen.

Danach wurden die Manning-Werte einer Asphaltoberfläche ($n=0,016$) eingegeben, in Tabelle 21 sind die Ergebnisse ersichtlich. [17, S. 3-15]

Als weiterer Vorschlag wurde dann eine Auskleidung mit Kunststoffolie berechnet ($n=0.012$), Ergebnisse dazu siehe Tabelle 22. [18]

Sanierung einzelner Teilabschnitte:

Im Zuge einer neuen Oberflächenbeschichtung könnten auch das Trapezgerinne zwischen Querschnitt 5 und 7 saniert werden. Hier sind Einbrüche bzw. unterspülte Teilstücke des orografisch rechten Ufers zu beobachten (siehe Abbildung 75). Natürlich kann dieser Teilabschnitt auch unabhängig von einer neuen Oberflächenbeschichtung saniert werden. Das Gerinne zwischen Querschnitt 1 und 4 ist in einem sehr guten Zustand, wie in Abbildung 76 zu sehen ist.



Abb. 75: Unterspülung des OW-Gerinnes - Fließrichtung ←



Abb. 76: Ist-Zustand OW-Gerinne - Fließrichtung ↓

Gegenüberstellung der verschiedenen Oberflächen

HEC-RAS Plan: derzeit		River: Poelsfluss		Reach: OW-Gerinne		Profile: OA							
Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Mann Wtd Left	Mann Wtd Right	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude #	Chl
OW-Gerinne	7	6.50	0.040	0.030	882.65	883.51	883.62	0.002422	1.49	4.54	5.65	0.51	
OW-Gerinne	6	6.50	0.050	0.030	882.21	883.48	883.57	0.001369	1.45	5.52	5.60	0.41	
OW-Gerinne	5	6.50	0.050	0.030	882.27	883.47	883.54	0.001021	1.20	6.01	5.77	0.35	
OW-Gerinne	4	6.50	0.030	0.030	881.93	883.45	883.51	0.000776	1.23	6.40	5.56	0.32	
OW-Gerinne	3	6.50	0.030	0.030	882.19	883.40	883.49	0.001205	1.32	5.17	5.17	0.38	
OW-Gerinne	2	6.50	0.020	0.030	881.64	883.41	883.46	0.000472	1.06	6.69	4.67	0.25	
OW-Gerinne	1	6.50	0.020	0.030	881.40	883.40	883.45	0.000382	1.03	6.95	4.60	0.23	

Tab. 20: Derzeitige Situation

HEC-RAS Plan: asphalt		River: Poelsfluss		Reach: OW-Gerinne		Profile: OA							
Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Mann Wtd Left	Mann Wtd Right	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude #	Chl
OW-Gerinne	7	6.50	0.016	0.016	882.65	883.40	883.55	0.001110	1.72	3.91	5.54	0.63	
OW-Gerinne	6	6.50	0.016	0.016	882.21	883.42	883.52	0.000417	1.45	5.20	5.51	0.42	
OW-Gerinne	5	6.50	0.016	0.016	882.27	883.43	883.50	0.000318	1.23	5.78	5.72	0.36	
OW-Gerinne	4	6.50	0.016	0.016	881.93	883.42	883.49	0.000235	1.25	6.25	5.52	0.33	
OW-Gerinne	3	6.50	0.016	0.016	882.19	883.38	883.48	0.000425	1.45	5.07	5.14	0.42	
OW-Gerinne	2	6.50	0.016	0.016	881.64	883.40	883.46	0.000157	1.14	6.67	4.66	0.27	
OW-Gerinne	1	6.50	0.016	0.016	881.40	883.40	883.46	0.000138	1.16	6.95	4.60	0.26	

Tab. 21: Mit Asphaltoberfläche (rau)

HEC-RAS Plan: Kunststoff		River: Poelsfluss		Reach: OW-Gerinne		Profile: OA							
Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Mann Wtd Left	Mann Wtd Right	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude #	Chl
OW-Gerinne	7	6.50	0.012	0.012	882.65	883.37	883.53	0.000716	1.79	3.75	5.52	0.67	
OW-Gerinne	6	6.50	0.012	0.012	882.21	883.41	883.50	0.000246	1.47	5.11	5.48	0.43	
OW-Gerinne	5	6.50	0.012	0.012	882.27	883.42	883.49	0.000185	1.24	5.72	5.71	0.37	
OW-Gerinne	4	6.50	0.012	0.012	881.93	883.42	883.48	0.000135	1.26	6.21	5.51	0.33	
OW-Gerinne	3	6.50	0.012	0.012	882.19	883.38	883.48	0.000243	1.46	5.04	5.13	0.43	
OW-Gerinne	2	6.50	0.012	0.012	881.64	883.40	883.46	0.000089	1.14	6.66	4.66	0.28	
OW-Gerinne	1	6.50	0.012	0.012	881.40	883.40	883.46	0.000077	1.16	6.95	4.60	0.26	

Tab. 22: Mit Kunststofffolie (EPDM)

5.2.5 Unterwassergerinne

Erneuerung der Gerinnegeometrie und Einbindung

Eine neues Unterwassergerinne und eine neue Einbindung in den Pölsfluss wären sinnvoll, weil derzeit einige Knicke und Änderungen der Querschnittsflächen sehr hohe Geschwindigkeitsunterschiede und damit hydraulische Verluste verursachen. Die derzeitige Situation ist in Abbildung 77 zu sehen.



Abb. 77: UW-Gerinne - wegen Knick nur rechter Turbinenauslass zu sehen;
Fließrichtung ↓

Im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen könnte man mit einer neuen Einbindung einen sanfteren Übergang, damit ist eine stetige Geschwindigkeitsänderung gemeint, schaffen. Das dadurch wieder neu entstehende Dreieck zwischen Unterwassergerinne und dem Fluss, könnte mit befestigten Wasserbausteinen möglichst naturnah und hydraulisch günstig ausgerundet werden. In Abbildung 78 ist die derzeitige Situation zu sehen. Diese Wasserbausteine wurden lose verlegt, dadurch entwickelte sich eine Eigendynamik und das Dreieck wanderte, dies sollte zukünftig durch eine Befestigung der Wasserbausteine verhindert werden.

Der Innenbogen hat einen Radius von 225,0 m und eine Länge von 45,0 m. Beim Außenbogen beträgt der Radius ebenfalls 225,0 m und die Länge 58,0 m. Ein Übergangsbogen mit einem Radius von 82,0 m und einer Länge von 40,0 m schafft einen sanften Übergang ins natürliche Flussbett. Der Querschnitt soll,

wie der vorhandene, als Rechtecksquerschnitt ausgebildet werden. Grund dafür ist die beengte Situation vor Ort.



Abb. 78: Unterwassergerinne mündet in den Pölsfluss; Fließrichtung ↑

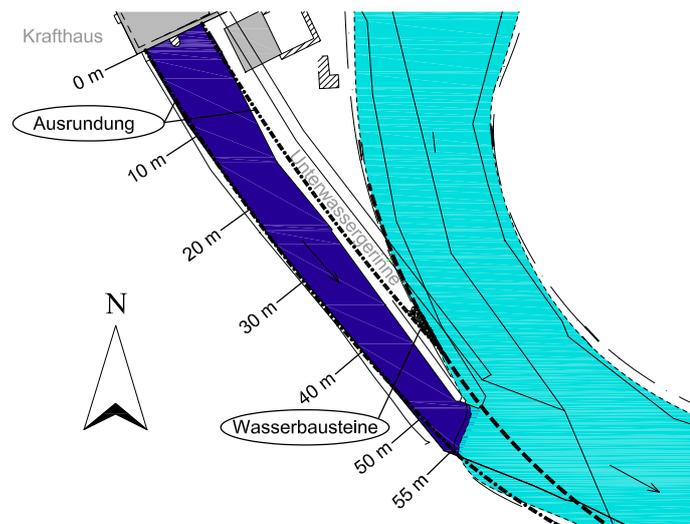
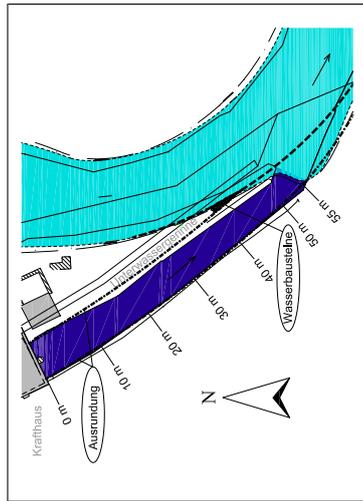


Abb. 79: Einleitung Unterwassergerinne in Ausleitungsstrecke

Die Berechnung erfolgte ident, wie in Kapitel 5.2.3 gezeigt.

In Tabelle 80 und in Abbildung 23 sind die hydraulischen Verluste berechnet und dargestellt.

Anströmungssituation bei der Einbindung in das natürliche Flussbett derzeit und optimiert



x [m]	b [m]	t [m]	A [m ²]	v [m/s]	h _w [m]	h [m]	
						derzeit	optimiert (Böschung)
0,0	6,944	1,011	7,021	0,926	0,000396		
5,0	7,190	0,974	7,002	0,928	0,000398		
10,0	6,717	0,938	6,300	1,032	0,000464		
15,0	5,916	0,902	5,337	1,218	0,000675		
20,0	5,699	0,866	4,937	1,317	0,000809		
25,0	5,979	0,831	4,966	1,309	0,000812		
30,0	5,667	0,802	4,546	1,430	0,000994		
35,0	5,364	0,783	4,202	1,547	0,001188		
40,0	5,090	0,765	3,892	1,670	0,001413		
45,0	4,812	0,746	3,590	1,810	0,001696		
50,0	4,540	0,702	3,187	2,039	0,002241		
55,0	5,750	0,839	4,824	1,347	0,000984		
k _{Stroml} =74							0,012071
0,0	6,944	1,011	7,021	0,926	0,000359		
5,0	6,905	0,974	6,724	0,967	0,000399		
10,0	6,887	0,938	6,459	1,006	0,000441		
15,0	6,943	0,902	6,263	1,038	0,000478		
20,0	6,821	0,866	5,909	1,100	0,000551		
25,0	6,833	0,831	5,675	1,145	0,000610		
30,0	6,784	0,802	5,441	1,195	0,000677		
35,0	6,749	0,783	5,287	1,229	0,000727		
40,0	6,711	0,765	5,132	1,267	0,000782		
45,0	6,776	0,746	5,056	1,286	0,000816		
50,0	7,185	0,702	5,044	1,289	0,000842		
55,0	6,581	0,839	5,521	1,177	0,000644		
k _{Stroml} =75 (rau; Beton aus fugenloser Holzschalung)							0,007327
0,0	6,944	0,980	6,805	0,955	0,000341		
5,0	6,905	0,995	6,870	0,946	0,000352		
10,0	6,887	1,010	6,956	0,934	0,000322		
15,0	6,943	1,025	7,117	0,913	0,000305		
20,0	6,821	1,040	7,094	0,916	0,000305		
25,0	6,833	1,055	7,209	0,902	0,000293		
30,0	6,784	1,070	7,259	0,895	0,000288		
35,0	6,749	1,085	7,323	0,888	0,000281		
40,0	6,711	1,100	7,382	0,881	0,000275		
45,0	6,776	1,115	7,555	0,860	0,000260		
50,0	7,185	1,130	8,119	0,801	0,000222		
55,0	6,581	1,145	7,535	0,863	0,000259		
k _{Stroml} =80 (mäßig rau; Beton gtr. geschalt)							0,003482

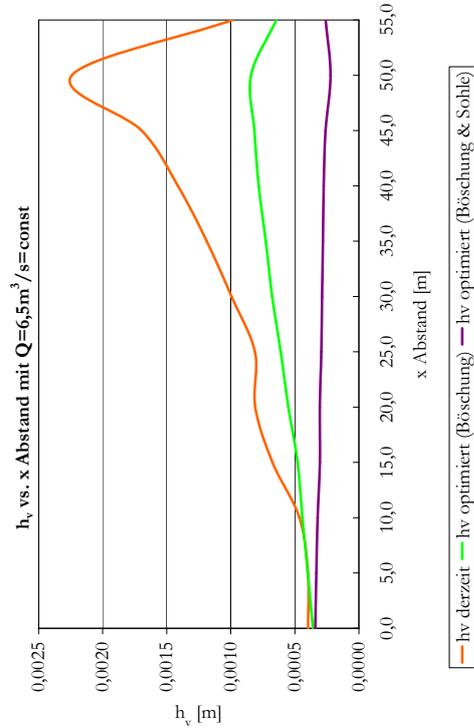


Abb. 80: Verluste bei der Einbindung in den Fluss

Tab. 23: Verluste bei der Einbindung in den Fluss

5.3 Diskussion der Berechnungsergebnisse

Verbesserung der hydraulischen Anströmsituation

Die hydraulische Anströmsituation im Bereich des Einlaufs des Oberwassergeinnes könnte geringfügig verbessert werden. Der derzeitige Zustand wird mit einem Verlust der Energielinie von 2,2 mm beschrieben. Eine geometrische Anpassung der Sohle und der Böschung hätten eine Halbierung der Verluste auf 1,0 mm zur Folge. Da sich die Verbesserung im Bereich von einem Millimeter befindet, ist es aus hydraulischer Sicht nicht sinnvoll.

Erneuerung der Gerinneoberfläche

Eine Erneuerung der Gerinneoberfläche würde den Verlust der Energielinie von derzeit 170 mm auf 90 mm mit einer neuen Asphaltoberfläche bzw. auf 70 mm mit einer Kunststoffbeschichtung verringern, jedoch ist der finanzielle Aufwand beträchtlich und steht daher in keiner Relation zum Nutzen.

Erneuerung der Gerinnegeometrie und Einbindung

Bei einer Erneuerung des Unterwassergerinnes und dessen Einleitung in den Pölsfluss würden die Verluste von derzeit 12,1 mm auf 3,5 mm reduziert werden. Eine Sanierung der Einleitung würde eine Verbesserung von 6,5 mm auf 1,0 mm bringen. Eine Erneuerung des Unterwassergerinnes sollte daher in Betracht gezogen werden, der Einleitungsbereich jedoch in jeden Fall umgebaut werden.

5.4 Bewertung der Optimierungsvorschläge

Die Tabelle 24 zeigt im Überblick sämtliche Optimierungsvorschläge und deren Bewertung.

Das gewählte Bewertungsverfahren wird ABC-Analyse genannt, hierbei bedeutet A sehr empfehlenswert, B empfehlenswert und C weniger empfehlenswert. Der Unterschied liegt darin, wie das Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen zu bewerten ist bzw. ob die Maßnahme so bald wie möglich, anstelle von Instandhaltungsmaßnahmen oder überhaupt nicht sinnvoll ist.

Nachfolgend werden die einzelnen Vorschläge noch besprochen und die Empfehlungen begründet.

Betrifft	Kurzbeschreibung	Kosten-Nutzen-Verhältnis
<i>Gesamte Anlage</i>	Automatisierte Steuerung	C
<i>Wehranlage</i>	Spülschütz	A (falls WKS)
	Wasserkraftschnecke	A
<i>Einlauf OW-Gerinne</i>	Eisproblematik	B
	Rechen	B
	Anströmsituation	C
	Fischaufstieg	A (Bescheid)
<i>OW-Gerinne</i>	Eisproblematik	B
	Verlandung	A
	Gerinneoberfläche	A (teilweise)
<i>UW-Gerinne</i>	Gerinne & Einbindung	B

Tab. 24: Auswertung der Optimierungsvorschläge

Automatisierte Steuerung

Von einer automatisierten Steuerung der Anlage ist abzuraten, weil der Aufwand in einem schlechten Verhältnis zu den Kosten steht. Dadurch könnte zwar Personal eingespart werden, aber bei einer Kleinwasserkraftanlage sind die Kosten hierfür verhältnismäßig gering bezogen auf sonstige Kosten wie Wartung, Instandhaltung oder Erneuerung.

Spülschütz

Den Spülschütz zu sanieren macht nur Sinn, wenn die Wasserkraftschnecke eingebaut wird. Eine Abdichtung der seitlichen Wände würde die Unterläufigkeit der Wehranlage verringern und es wäre mehr nutzbarer Durchfluss für die Wasserkraftschnecke vorhanden. Ansonsten ist es für die Restwassermenge nicht relevant ob das Wasser über das Wehr oder durch einen Schütz in die Ausleitungsstrecke gelangt.

Wasserkraftschnecke

Die Wasserkraftschnecke kann ohne weiteres in die Wehranlage des Kleinwasserkraftwerks eingebaut werden. Dabei ist, verglichen mit ähnlichen Anla-

gen, eine etwas längere Amortisationsdauer zu erwarten. Der geringe nutzbare Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser bei der Wehranlage ist der Grund dafür.

Eisproblematik beim Einlauf in das OW-Gerinne

Um das Eis vom Oberwassergerinne fern zuhalten hat sich der Rechen bewährt, ebenso die natürlich entstandene Anlandung im Staauraum. Die Eisschollen, welche am orografisch linken Ufer vor der Wehranlage und im gesamten Querschnitt nach der Wehranlage liegen bleiben, stören nicht. Auch ein Weitertransport entlang der Ausleitungsstrecke bleibt ohne Konsequenzen, weil das Unterliegerkraftwerk seit der Erneuerung der Wehranlage Eisstöße abgeben kann. Probleme könnte es geben wenn die Wasserkraftschnecke eingebaut wird, wobei dies nicht zu erwarten ist, weil die Schnecke mindestens 10 m lang sein wird und daher weit genug ins Unterwasser reicht um das Wasser problemlos in die Ausleitungsstrecke abgeben zu können.

Rechen

Der Winterrechen kann mit geringen finanziellen Mitteln erneuert werden und würde dadurch die hydraulischen Verluste minimieren. Ein neuer Rechen könnte ohne weiters ganzjährig betrieben werden, im Sommer hätte dieser die Aufgabe, das Geschwemmsel vom Oberwassergerinne fern zuhalten. Diese Maßnahme kann aber auch im Zuge einer Sanierung bzw. Erneuerung des Einlaufs in das Oberwassergerinne umgesetzt werden, d.h. der Einbau des Rechens kann auch in den nächsten Jahren erfolgen.

Anströmsituation

Eine verbesserte Anströmung des Einlaufs in das Oberwassergerinne könnte im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen realisiert werden. Wenn in den nächsten Jahren die orografisch rechten Böschungswände des Einlaufs, welche aus Holzbrettern bestehen, erneuert werden, könnten durch zusätzliche Erdbauarbeiten das Ufer neu ausgerundet und anschließend wieder wie bisher mit Holzbrettern und einer geeigneten Unterkonstruktion eingefasst werden. Die hydraulischen Verluste beim Einlauf könnten dadurch etwas reduziert werden.

Fischaufstieg

Die Errichtung eines Fischaufstieges ist obligatorisch. Es wird dadurch die Auflage des Landes Steiermark, welche im Bescheid vermerkt ist, erfüllt.

Eisproblematik im OW-Gerinne vor Turbineneinlauf

Vor dem Einlauf der Turbinen sammeln sich immer wieder im Oberwasserkanal entstandene Eisschollen, welche meist mechanisch entfernt werden. Es wird vorgeschlagen den bestehenden Schütz links neben dem Turbineneinlauf durch eine Fischbauchklappe mit einem speziellen hydraulischem Antrieb zu ersetzen, wie in Kapitel 4.4.2 besprochen. Damit könnte das überschüssige Wasser und die Eisschollen über diese Klappe geleitet werden, der seitliche Überlauf könnte dann für einen Fischabstieg verwendet werden. Diese Maßnahme kann natürlich auch anstelle von anfallenden Instandhaltungsmaßnahmen in den nächsten Jahren durchgeführt werden.

Verlandung

Das Verlanden kann durch regelmäßige Spülvorgänge des Oberwassergerinnes vermindert und hinaus gezögert werden. Geringe Kosten, welche durch das nicht bzw. weniger Einspeisen von Energie in das Verbundnetz entstehen, relativieren sich langfristig wieder, weil ein längerer Stillstand der Anlage, um das Oberwassergerinne auszuräumen, teurer wäre.

Gerinneoberfläche

Eine neue Beschichtung der Oberflächen ist nicht empfehlenswert, weil dadurch sehr hohe Kosten entstehen und es einige Jahre dauern würde bis sich diese Kosten amortisiert hätten. Eine Pflege des derzeitigen Bestandes ist mit wesentlich weniger Aufwand verbunden, aber bringt dennoch Verbesserungen. Es sollte zwischen Querschnitt 5 und 7 die orografisch rechte Böschung saniert werden, weil hier bereits Unterspülungen bzw. Uferabträge aufgetreten sind.

Gerinnegestaltung und Einbindung in den Pölsfluss

Beim Unterwassergerinne sollte anstelle von Instandhaltungsmaßnahmen überlegt werden, ob nicht eine komplette Neugestaltung vorteilhafter wäre. Die

Probleme bezüglich der Verlandung, wären dadurch in den Griff zu bekommen.

Eine neue Oberflächenbeschichtung des Unterwassergerinnes ist aus den selben Gründen wie beim Oberwasserkanal abzulehnen.

6 Analyse und Schlussfolgerung

Zunächst werden die einzelnen Anlagenteile des Kleinwasserkraftwerk Hammerhof besprochen.

Die Ausleitungsstrecke hat sich in den vergangenen 100 Jahren, aufgrund der energetischen Nutzung des Pölsflusses und dem dadurch fehlenden Geschiebe im gesamten Verlauf eingetieft. Für die Kraftwerksanlage hat dies aber keine nachteiligen Aspekte, im Gegenteil, im Bereich der Wehranlage kann eine Wasserkraftschnecke gewinnbringend eingebaut werden, denn diese nützt den Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser.

Der Stauraum wurde erst nachträglich errichtet, um das Eis im Winter zurückhalten zu können. Eine natürliche Anlandung, welche etwa 70 m oberhalb der Wehranlage entstanden ist, trägt ebenso dazu bei. Diese Situation sollte durch regelmäßige Spülungen bzw. Ausbaggerungen beibehalten werden.

Die Wehranlage besteht aus Holz. Dadurch wird mit kompletten Erneuerungen in regelmäßigen Abständen von 30-40 Jahren weiterhin zu rechnen sein. Abhilfe könnte ein totaler Neubau der Wehranlage aus Beton schaffen, dies würde jedoch den Charme der 100 Jahren alten Anlage zunichte machen, was verständlicherweise von den Betreibern nicht erwünscht ist, zumal sie das Kraftwerk seit 2009 als Schaukraftwerk betreiben.

Ein Fischaufstieg ist orografisch rechts der Wehranlage möglichst einer dem natürlichen Bachbett nachempfundenen Rampe zu errichten, damit wird die Durchgängigkeit der Wehranlage erreicht und die Auflagen der „Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“, kurz Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), eingehalten.

Das Oberwassergerinne ist als Trapezgerinne ausgeführt, bestehend aus Natursteinen welche mit Mörtel hintergossen sind. Kleinere Instandhaltungsmaßnahmen sind im oberen Bereich zwischen der oberen Brücke und dem Steg durchzuführen. Auch der Einlauf könnte hydraulisch optimiert werden, wobei der Einlauf anstelle von Instandhaltungsmaßnahmen umgebaut werden könnte.

Im Bereich des bestehenden Überlaufs könnte ein Umbau des Schützes links neben dem Turbineneinlauf die Eisproblematik entschärfen. Hierzu müsste der

Schütz gegen eine Klappe ausgetauscht werden, die Kosten wären bezüglich vergleichbarer Anlagen etwas höher, weil ein besonderer Antrieb zur Steuerung der Klappe aufgrund der beengten Platzverhältnisse notwendig wäre. Das Trockenfallen des Überlaufs könnte dadurch zum Gewinn der Anlage beitragen, denn dort könnte mit verhältnismäßig geringen Mitteln eine Fischabstiegsanlage errichtet werden. Das würde die Anlage zum Vorzeigobjekt machen, denn ein Fischabstieg wurde von den Behörden nicht vorgeschrieben, jedoch von Umweltschützern verlangt, weil nur dadurch eine 100%ige Durchgängigkeit der Anlage gegeben ist.

Das Krafthaus wird großteils noch per Hand betrieben, was für einen Besucher des Schaukraftwerks interessant ist, jedoch Personal benötigt. Die Turbinen und Generatoren werden regelmäßig gewartet und eine der Einheiten (Turbine und Generator) wurde 2009 generalüberholt. Nun ist abzuwarten, ob sich ein erhöhter Wirkungsgrad einstellt. Wenn ja, wird auch die zweite Einheit dem heutigen Stand der Technik angepasst.

Aus hydraulischer Sicht ist das Unterwassergerinne ungünstig angelegt. Wenn man bedenkt, dass Beton eine mittlere Lebenserwartung von etwa 100 Jahren aufweist, wird eine Erneuerung des Unterwassergerinnes in naher Zukunft anstehen. Diese Gelegenheit sollte genutzt werden, um das Gerinne vom Turbinenauslauf zum Pölsfluss in einem Bogen zu führen, dabei ist auf einen gleichmäßigen Rechtecksquerschnitt zu achten. Der Übergang sollte dann mit Wasserbausteinen, welche befestigt werden sollten, möglichst naturnahe und damit hydraulisch günstig gestaltet werden.

Die Absperrorgane bei der Wehranlage und beim Krafthaus sind noch original, lediglich der Antrieb wurde elektrifiziert und die Holzbretter zwischendurch erneuert. Diese sollten so lange wie möglich weiter verwendet werden und bei Versagen entweder repariert oder ausgetauscht werden, eine regelmäßige Wartung, wie das Ölen der beweglichen Teile und das Pflegen der Metallteile trägt zu einer langen Lebensdauer bei.

Alles in allem kann gesagt werden, dass die Wasserkraftanlage in einem guten Zustand ist, obwohl sie schon 100 Jahre alt ist, doch jedes Wasserkraftwerk hat seine Tücken. Die vier Jahreszeiten mit ihren Wasserstandsschwankungen, den drei Aggregatzuständen des Wassers und dem Kreislauf der Erdgeschichte mit dem Abtrag der Gebirge halten einige Überraschungen bereit. Nichtsdestotrotz hat diese Anlage folgende Besonderheiten:

Der Großteil der Probleme ist durch den Winterbetrieb entstanden, dieser war nicht von vornherein geplant. Da die auftretenden Probleme jedoch, weder der Bevölkerung noch der Ökologie schaden, ist ein Winterbetrieb auch weiterhin gewinnbringend möglich und sinnvoll. Kleinere Anpassungen können im Laufe der nächsten Jahre eine Verbesserung der derzeitigen Situation schaffen.

Das Ober- und Unterwassergerinne wurde nicht nach allen hydraulischen Grundsätzen geplant bzw. errichtet, denn es gibt sehr viele Knicke und Querschnittsänderungen, welche sich auf den Betrieb durch einen niedrigeren Wirkungsgrad ungünstig auswirken. Dieses damalige Versäumnis kann im Unterwassergerinne durch einen Neubau rasch behoben werden, im Oberwassergerinne ist es aufwändiger aber auch nicht so notwendig wie im Unterwassergerinne, mit Ausnahme des Einlaufs, dieser sollte erneuert werden.

Die meisten Optimierungsvorschläge, welche in Tabelle 24 aufgelistet sind und vorhin besprochen wurden, können bei Instandhaltungsmaßnahmen umgesetzt werden. Lediglich im Bereich des Turbineneinlaufs und am Unterwassergerinne ist es sinnvoll, größere Maßnahmen durchzuführen.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

- [1] Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke-VDEW-e.V (1992): Begriffsbestimmung in der Energiewirtschaft. Teil 3. Wasserkraft, Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerken m.b.H.-VWEW, 6. Auflage
- [2] OTT MESTECHNIK GmbH & Co. KG (2004): Strömungsmesser NAUTILUS C 2000; Werbeprospekt der OTT MESTECHNIK GmbH & Co. KG, Kempten
- [3] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT (2000): RICHTLINIE 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik
- [4] BESCHIED wasserrechtliche Bewilligung vom 19.07.2007 der Bezirkshauptmannschaft Judenburg - ANLAGENREFERAT Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wirtschaftswesen, Bearbeiter ORR Mag. WERNI
- [5] EDELSBRUNNER, Georg/FRIESS, Jakob (2008): Diplomarbeit, Wasserwirtschaftliches Management der Kraftwerksanlagen an der Pöls, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz
- [6] GIESECKE, Jürgen/MOSONYI, Emil (2005): Wasserkraftanlagen. Planung, Bau und Betrieb, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg, 4. aktualisierte und erweiterte Auflage
- [7] RITZ-ATRO GmbH (2006): Wasserkraftschnecken. Energiegewinnung - effizient und fischverträglich, Werbeprospekt der RITZ-ATRO GmbH, Nürnberg
- [8] RITZ-ATRO GmbH (2006): Schneckenrotpumpe. Zuverlässig - robust - bewährt, Werbeprospekt der RITZ-ATRO GmbH, Nürnberg
- [9] SPÄH, H (2001): Fischereibiologisches Gutachten zur Fischverträglichkeit der Patent geschützten Wasserkraftschnecke der RITZ-ATRO GmbH - Gutachten im Auftrag der RITZ-ATRO GmbH, S. 3 - 4
- [10] PATT, Heinz/JÜRGING, Peter/KRAUS Werner (2009): Naturnaher Wasserbau. Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg, 3. aktualisierte Auflage
- [11] KOFLER, Hugo Dr. (2006): Pflichtwasser. Abiotische Untersuchung - Un-

-
- tersuchung im Auftrag der Bezirkshauptmannschaft Judenburg, S. 33 - 36
- [12] PLANUNGSBEHELF Fischabstiegshilfen. Rahmenbedingungen für einen ökologischen Fischabstieg bei Kraftwerken aus Sicht des Gewässerschutzes - Behelf im Auftrag des Amtes der Salzburger Landesregierung, Referat 13/04 - Gewässerschutz, Bearbeiter Hofrat Dr. Paul JÄGER
- [13] ARTIKEL Fisch des Jahres 2006: Die Koppe (*Cottus gobio*), Verband Deutscher Sportfischer e. V. Referent für Öffentlichkeitsarbeit: Wolfgang Düver, www.vdsf.de (vom 04.11.2009)
- [14] FORSCHUNGSPROJEKT (2008): Eisstoßproblematik an Krems und Thaya. Grundlagenstudie - im Auftrag von *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft* und *Amt der Niederösterreichischen Landesregierung Abteilung WA3 - Wasserbau* bearbeitet vom *Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft an der TU Graz*: Dr. ZENZ, G (Institutsvorstand)/Dr. HEIGERTH, G (ehem. Institutsvorstand)/Dr. HAMMER, A (Projektleiter)/Mag. JÖBSTL, C (Projektmitarbeiterin) und *Hydroingenieure Umwelttechnik GmbH*: DI SEITZ, P (Projektleiter)
- [15] PETRI, Peter (2005): Handbuch Sprengtechnik. Nachschlagewerk und Leitfaden für Sprengbefugte, Verlag Plöchl, 1. Auflage
- [16] PREISSLER, Günter/BOLLRICH, Gerhard (1985): Technische Hydromechanik. Band1, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 2. bearbeitete Auflage, S. 263 - 274
- [17] US Army Corps of Engineers (2008): HEC-RAS Hydraulic Reference Manual. Version 4.0 Beta, www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras (vom 16.09.2009)
- [18] AXIOM-BLAIR ENGINEERING (2003):ENGINEERING REPORT FOR THE LA FERIA IRRIGATION DISTRICT CAMERON COUNTY NO. 3 CANAL REHABILITATION & IMPROVEMENT PROJEKT FOR CANAL 6.0 www.axiomblair.com/awbprojs/lfid/bnsproj/ProjRpt_AppA.pdf (vom 20.02.2010), S. 8

7.2 Abbildungsverzeichnis

33	Elektrische Klemmenleistung (Generatorleistung)	39
34	Wirkungsgrad der Wasserkraftschnecke	39
38	Abb. 20.8: a) Prinzipielle Anordnung eines Umgehungsgerinnes an einer Stauanlage; b) Teilrampe an einem Wehr mit beweglichen Verschlüssen; c) Teilrampe an einem festen Wehr [20.2] . .	43
39	Abb. 20.8: a) Prinzipielle Anordnung eines Umgehungsgerinnes an einer Stauanlage; b) Teilrampe an einem Wehr mit beweglichen Verschlüssen; c) Teilrampe an einem festen Wehr [20.2] . .	44
40	Abb. 20.5: 1) Beckenpässe: 1a) ohne 1b-c) mit Kronenausschnitten und Schlupflöchern; 1d) Rhomboidpaß; 1e) Wulstfischpaß; 2a-c) Schlitz- bzw. Vertical-Slot-Pässe; 3) Denilpaß	45
41	Abb. 20.5: 1) Beckenpässe: 1a) ohne 1b-c) mit Kronenausschnitten und Schlupflöchern; 1d) Rhomboidpaß; 1e) Wulstfischpaß; 2a-c) Schlitz- bzw. Vertical-Slot-Pässe; 3) Denilpaß	45
42	Abb. 20.5: 1) Beckenpässe: 1a) ohne 1b-c) mit Kronenausschnitten und Schlupflöchern; 1d) Rhomboidpaß; 1e) Wulstfischpaß; 2a-c) Schlitz- bzw. Vertical-Slot-Pässe; 3) Denilpaß	46
43	Abb. 20.5: 1) Beckenpässe: 1a) ohne 1b-c) mit Kronenausschnitten und Schlupflöchern; 1d) Rhomboidpaß; 1e) Wulstfischpaß; 2a-c) Schlitz- bzw. Vertical-Slot-Pässe; 3) Denilpaß	46
44	Abb. 20.2: Beispiele für die wirksame (a-c) und unwirksame (d) Anordnung von Fischaufstiegsanlagen an Wasserkraftanlagen . .	47
49	Abb. 2-9 Querprofil Eisstoß in der Gefrierphase und Aussehen in Natur	58
51	Abb. 2-11 Querprofil Eisstoß in der Aufbruchphase und Aussehen in Natur	59

7.3 Tabellenverzeichnis

11	Tabelle 1.2 Allgemeine Begriffsbestimmungen für den Zustand von Flüssen, Seen, Übergangsgewässern und Küstengewässern	33
12	Tabelle 1.2.1 Begriffsbestimmungen für den sehr guten, guten und mäßigen ökologischen Zustand von Flüssen	34
13	Tabelle 20.1: Anlagen zur Herstellung des Fischaufstiegs: Einordnung nach deren Lage zum Querbauwerk im Gewässer, Aufzählungsreihenfolge ohne Wertung	42
14	Tab. 2-1 Mögliche Ursachen einer Eisstoßbildung	56
15	Tab. 2-2 Klassifikation von Eisstößen	57
19	Aufzählung der Spülungen des Oberwassergerinnes zwischen der Vermessung von Dipl.-Ing. Lessing vom Mai 2004 und den Geschwindigkeitsmessungen vom 6.08.2009	85