

Optimierung der Durchgängigkeit an Flüssen in Oberösterreich – Geschiebehaushalt und Organismenwanderung

Endbericht



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,
Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren: flussbau iC GesmbH (DI Sattler, DI Los, DI Friedl)

Kap. Habitatmodellierung: Universität für Bodenkultur Wien (Dr. Hauer, DI Flödl,
DI Paster)

Gesamtumsetzung: flussbau iC GesmbH und Universität für Bodenkultur Wien

Fotonachweis: flussbau iC GesmbH; Abb. 39: Universität für Bodenkultur Wien (andere
Fotonachweise sind direkt in der jeweiligen Abbildungsbeschriftung gekennzeichnet)

Wien, 2022. Stand: 27. Oktober 2022

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind
ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger
Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Land-
und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft und der Autorin / des Autors
ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin /
des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls
vorgehen.

Inhalt

Zusammenfassung	6
1 Einleitung und Problemstellung	7
2 Projektziele	10
3 Projektstruktur	12
3.1 Zusammenfassung der Arbeitsschritte	12
3.2 Projektabwicklung	13
4 Standortbedingungen	14
5 Konzept	17
5.1 Ausgangslage / Analyse des Ist-Zustands	17
5.2 Zweck und Ziel der Maßnahmen	19
5.3 Grundlagen der Designentwicklung	20
5.3.1 Maßnahmenansatz Geschiebeabweiser	20
5.3.2 Maßnahmenansatz Strömungstrichter	21
5.4 Untersuchungsdesign	22
6 Methodik	25
6.1 Erhebung der Grundlagendaten	25
6.1.1 Vorprojekte	25
6.1.2 Hydrologie	25
6.1.3 Vermessung	27
6.1.4 Granulometrie-Daten Gewässerbezirk Gmunden	27
6.1.5 Bildanalyse mit Basegrain	29
6.2 Hydraulische Modellierung	32
6.3 Morphologische Modellierung	34
6.4 Habitatmodellierung	36
6.4.1 Korngrößenanalysen in Bezug auf Habitate	36
6.4.2 Hydrodynamisch-numerische Modellierung als Grundlage für die Habitatmodellierung	37
6.4.3 Habitatmodellierung	38
6.4.4 Mesohabitatmodellierung	38
6.4.5 Mikrohabitatmodellierung	39
6.5 Monitoring	41
6.5.1 Profilvermessung	41
6.5.2 Radiotelemetrie (RFID)	43

7 Ergebnisse	45
7.1 Hydraulische Modellierung.....	45
7.1.1 Ergebnisse der hydraulischen Modellierung	45
7.2 Morphologische Modellierung	47
7.2.1 Ergebnisse der morphologischen Modellierung.....	47
7.3 Habitatmodellierung.....	50
7.3.1 Korngrößenanalysen	50
7.3.2 Hydrodynamisch-numerische 2D-Modellierung	52
7.3.3 Habitatevaluierung	54
7.3.4 Ergebnisse der Habitatmodellierung	56
8 Baumsetzung	58
8.1 Erwirken der wasserrechtlichen Bewilligung.....	58
8.2 Baumsetzung	59
8.3 Durchflussmessung.....	61
9 Monitoring	65
9.1 Ergebnisse	65
9.1.1 Anlandung.....	65
9.1.2 Geschiebetelemetrie	66
10 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse	68
11 Übertragbarkeit auf andere Standorte	70
Tabellenverzeichnis	74
Abbildungsverzeichnis	75
Literaturverzeichnis	77
Abkürzungen	79

Zusammenfassung

Insgesamt weisen rund 41 % der Fließgewässer in Österreich einen sehr guten oder guten ökologischen Zustand laut Wasserrahmenrichtlinie auf, etwa 15 % befinden sich in unbefriedigendem bzw. schlechtem Zustand (NGP 2021). Ursache dafür sind überwiegend Eingriffe in die Gewässerstrukturen und Abflussverhältnisse, zu einem geringeren Teil Probleme mit der Wasserqualität. Etwas mehr als die Hälfte der Gewässer verfehlen aufgrund von hydromorphologischen Belastungen den Zielzustand, weil Ufer oder Sohle reguliert sind, Wasser aufgestaut ist, zu wenig Restwasser im Fluss fließt oder die Durchgängigkeit nicht gegeben ist (Broschüre des BMLFUW zum 2. NGP 2015). Diese Belastungen betreffen sowohl Wasserkraftwerke an großen Flüssen als auch die unzähligen Kleinwasserkraftanlagen in Österreich. Gerade für Betreiber von Kleinwasserkraftanlagen sind Maßnahmen zur Verbesserung dieser Defizite oftmals eine wesentliche wirtschaftliche Belastung und werden deshalb hinausgezögert. Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt soll daher ein Maßnahmenkonzept untersucht und vorgestellt werden, das einfach umsetzbar, effektiv und kostengünstig zur Lösung dieser Themen beiträgt.

Im Zuge des vorliegenden Forschungsprojektes wurde ein Naturversuch durchgeführt, in dem konstruktiv einfache Maßnahmen im Stauraumbereich dazu genutzt werden, in die Geschiebesituation lenkend einzugreifen und die morphologische Variabilität und Lebensraumvielfalt zu erhöhen. Das Hauptziel dieser Maßnahmen war dabei die Freihaltung der Organismenwanderhilfe von Geschiebe und dadurch die Erreichung und Erhaltung der Durchgängigkeit. Die geschiebeleitenden Effekte sollen auch die Effektivität künftiger Stauräumspülungen erhöhen und dadurch den Geschiebetransport verbessern.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes zeigen, dass die Geschiebesituation im Stauraum mit den untersuchten Maßnahmen nachhaltig so beeinflusst werden kann, dass der Bereich vor der Organismenwanderhilfe sowie die Organismenwanderhilfe selbst von Verlandungen freigehalten werden. Gleichzeitig wird die Tiefenvariabilität im Stauraum erhöht, was zur Entwicklung neuer Habitate führt, die rasch angenommen und besiedelt wurden. Die sedimentologischen Charakteristika besitzen auf Grund der Kornzusammensetzung und von der vertikalen Schichtung abgeleiteten dynamischen Verhältnissen geeignete Verhältnisse, um die bioregionsspezifische Verteilung von Organismen (Makrozoobenthos, Fische) zu fördern. Die hydromorphologische Komponente der Habitatbewertung flussauf und flussab der Anlage zeigen jedoch Defizite hinsichtlich einer dem Gewässertyp entsprechenden Ausprägung von Kolk-Furt Sequenzen.

1 Einleitung und Problemstellung

Die Stromgewinnung aus Wasserkraft steht im Spannungsfeld zwischen nachhaltiger Energiegewinnung und dem ökologischen Impact, die solche Anlagen auf die Gewässer haben. Daraus ergeben sich – gerade in Zeiten der Klimakrise und anhaltender Klima-proteste – Diskussionen zwischen Kraftwerksbetreibern, Umweltschützern und der öffentlichen Hand, die auf die aktuelle Situation (Minderung des CO₂-Ausstoßes, Klimaschutz) mit neuen Gesetzen und Richtlinien reagiert.

Die ökologischen Auswirkungen eines Wasserkraftwerkes betreffen einerseits den organischen Teil des Gewässers, andererseits den anorganischen. „Ende 2019 waren in Österreich 3.076 Wasserkraftwerke mit einer installierten Gesamtleistung von rd. 14,6 GW in Betrieb (davon 2.962 Laufkraftwerke und 114 Speicherkraftwerke). Fast 95 % aller Wasserkraftwerke sind dem Bereich der Kleinwasserkraft (bis 10 MW) zuzuordnen, diese machen aber weniger als 10 % der installierten Leistung aus und decken nur gut 13 % der Jahreserzeugung. Im Vergleich zum Vorjahr wuchs die Engpasseleistung der Wasserkraftwerke im Jahr 2019 um 81 MW, überwiegend im Bereich der Laufkraftwerke.“ (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), 2020). Jedes einzelne dieser Kraftwerke stellt eine nicht fisch- und geschiebepassierbare Barriere im Fluss dar, sofern nicht entsprechende Maßnahmen (wie z.B. Organismenwanderhilfen) gesetzt wurden. Für die Einhaltung bzw. Erreichung der in der EU-Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahr 2000 vorgegebenen Ziele des guten ökologischen Zustands bzw. guten ökologischen Potentials ist die Durchgängigkeit der Gewässer eines der maßgeblichen Ziele. Im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan 2021 wird aufgezeigt, dass noch bei etwa der Hälfte aller Wasserkörper die Durchgängigkeit eingeschränkt ist. Weiters wird ausgeführt, dass rund 51,4 % der Gewässer (> 10 km² Einzugsgebiet) den guten ökologischen Zustand aufgrund hydromorphologischer Belastungen verfehlen (BMLRT 2021).

Zur Wiederherstellung der Organismendurchgängigkeit ist die Errichtung von Organismenwanderhilfen obligat, um eine behördliche Genehmigung für Neubauten bzw. zur Bescheidverlängerung zu erhalten. In Hinblick auf die Geschiebedurchgängigkeit sind Stauanlagen jedoch weiterhin unüberwindbare Sperren, wo Geschiebetrieb nur im Hochwasserfall bei Spülung möglich ist. Dies sorgt nicht nur für Probleme im Unterlauf, wie zum Beispiel anhaltende Eintiefung von Flüssen durch das Geschiebedefizit oder Minderung des

ökologischen Zustands im Gewässer durch fehlende morphologische Dynamik, sondern auch für Probleme an der Anlage selbst (Verlandung und dadurch regelmäßige Räumung von Stauräumen, Verlegung von Organismenwanderhilfen oder Turbinengängen, usw.). An einer Lösung sind demnach sowohl der Staat als auch Kraftwerksbetreiber selbst interessiert.

Athropogene Beeinflussungen des Geschiebehaushalts und der Hydrologie sowie speziell die bereichsweise zeitliche Abflussreduktion in Restwasserstrecken sind verantwortlich dafür, dass sowohl im Staubebereich von Kraftwerksanlagen als auch in den Unterwasser- bzw. Restwasserstrecken die morphologische Entwicklung des Gewässers massiv beeinträchtigt wird bzw. nur mehr bei großen Ereignissen stattfindet. Geschiebetrieb und Umlagerungen sind aber ökologisch wichtige Bausteine für ein funktionierendes Gesamtsystem „Fluss“. Regelmäßig umgelagertes Geschiebe sorgt dafür, dass keine Kolmation (Verfüllung mit Feinsedimenten) auftritt. Dies ist wichtig für die ökologische Funktionsfähigkeit im Gewässer. Fische beispielsweise benötigen je nach Altersstadium unterschiedliche Lebensräume: für Kieslaicher sind lockere und durchströmte Kiesablagerungen wichtig, um ablaichen zu können und dem Laich genug Sauerstoff zuzuführen. Larven wiederum sind abhängig davon, verdriftet zu werden, und davon, dass genug Sauerstoff und Nährstoffe zur Verfügung stehen – ein gut durchströmtes Gewässerbett ist also Bedingung für die Erhaltung der Populationen. Weiters bieten monotone Gewässerabschnitte sowie durch Kolmation und fehlende Umlagerung verfestigte Gewässerbettbereiche keine Habitate für Fische in allen Altersstadien. Es fehlt die Variabilität der Lebensräume. Es fehlen lokale Tiefstellen bzw. Kolke, rasch durchströmte Flachwasserbereiche oder Unterstände, die Schutz vor Prädatoren bzw. in Extremsituationen wie Hochwasserereignissen bieten. Nicht nur für Fische sind morphologisch dynamische Gewässerstrecken notwendig, auch Klein- und Kleinstlebewesen wie Makrozoobenthos-Gesellschaften, welche im hyporheischen Interstitial leben, sind auf gut durchströmte, nährstoff- und sauerstoffreiche Kiesflächen angewiesen, wie sie in einem natürlichen Flusssystem zu finden sind.

Die im Gewässer lebenden Organismen, besonders Fische, konnten ursprünglich die für ihren jeweiligen Entwicklungszustand optimalen Habitate aktiv durch Wanderung oder passiv durch Drift aufsuchen (Schwevers, 1996). Diese freie Durchwanderbarkeit der Fließgewässer, die so genannte Durchgängigkeit, ist für viele Fischarten lebensnotwendig und somit für die Erhaltung stabiler Populationen Voraussetzung, da durch sie die Erreichbarkeit der verschiedenen Lebensräume für die Individuen erst möglich wird.

Die Geschiebeproblematik bei Kraftwerksanlagen betrifft nicht nur große Anlagen an Flüssen, sondern auch bzw. besonders die zahlreichen Kleinwasserkraftanlagen, die meist mit begrenzten ökonomischen Möglichkeiten diese Problematiken lösen müssen. Das vorliegende Forschungsprojekt beschäftigt sich genau mit diesem Thema. Bei der betrachteten Kraftwerksanlage (KW) in Gangljodl an der Alm kommt es durch eine schlecht situierte Organismenwanderhilfe zu einer Verlandung derselben, was zu regelmäßigen Räumungen führt bzw. zu kostspieligen Umbauarbeiten (im vorliegenden Fall wurde behördlich die Errichtung eines Vertical Slot Passes anstelle der bestehenden Organismenwanderhilfe vorgeschrieben). Regelmäßige Eingriffe in das Gewässer durch Baggerungen u. Ä. sind aber genauso wenig im Sinne des Naturschutzes wie verlegte Organismenwanderhilfen und dadurch vermindertes Restwasser. Eine Lösung dieses Themas sind geschiebelenkende Elemente im Stauraum, die einfach und kostengünstig umsetzbar sind und die Organismenwanderhilfe trotz ungünstiger Lage geschiebefrei halten. Diese Maßnahmen werden im vorliegenden Forschungsprojekt untersucht.

Weiterführend gedacht kann mit den untersuchten Maßnahmen zusätzlich zur Freihaltung von Organismenwanderhilfen bzw. der Verbesserung von Stauraumspülungen auch eine Strukturierung des an sich toten Lebensraumes „Stauraum“ erreicht werden. Die Leitelemente sorgen durch den Eingriff in die Strömung dafür, dass sich Bereiche mit unterschiedlichen Tiefen und Fließgeschwindigkeiten ausbilden, die dann als Lebensraum zur Verfügung stehen. Dies ist unter anderem ein Ergebnis des vorliegenden Projektes.

2 Projektziele

Anhand eines Naturversuchs soll in einer Kombination aus Ingenieurleistungen erfahrener Wasserbauplaner bzw. -planerinnen und Ökologen sowie Ökologinnen, wissenschaftlicher Betreuung und Bewertung (Universitäre Forschung) und Unterstützung von öffentlichen Stellen (Interessenten/Betreiber) eine praktikable, einfach umsetzbare und übertragbare Lösung für geschiebelenkende Maßnahmen – speziell im Hinblick auf schlecht situierte Organismenwanderhilfen – gefunden werden.

Das Forschungsprojekt besitzt drei zentrale Forschungsziele bzw. ist in zwei Teile der Bearbeitung gegliedert, welche aber inhaltlich aufeinander abgestimmt sind und einem dritten Gesamtziel unterliegen:

1. Optimiertes Geschiebemanagement für Kleinwasserkraftanlagen
2. Optimierung von Organismenwanderhilfen mit Hilfe der entwickelten Prototypen
3. Erreichung bzw. deutlicher Beitrag zur Erreichung der Ziele der EU-WRRL eines guten ökologischen Zustands bzw. guten ökologischen Potentials

Die erste Zielsetzung bezieht sich auf ein optimiertes Geschiebemanagement für Kleinwasserkraftanlagen, durchgeführt in einem 1:1 Naturversuch an einem Kraftwerksstandort an der Alm. Basierend auf umfangreichen Erkenntnissen aus der Forschung wird es für die Sanierung der Fließgewässer in Zukunft notwendig sein, die Sedimentdurchgängigkeit zu fördern und fordern. Nur unter Gewährleistung einer ausreichenden Feststoffdynamik und -durchgängigkeit kann der gute ökologische Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial nachhaltig erreicht werden. Lebensraumsituationen und die ökologische Funktionsfähigkeit werden maßgeblich vom Feststoff beeinflusst. Um Investitionen in diesem Bereich zielgerichtet zu ermöglichen, bedarf es anwendungsorientierter Forschungsprojekte, um die Rahmenbedingungen aus fachlicher Sicht zu definieren.

Unter dem Aspekt einer erhöhten Sedimentdynamik im Oberwasser und Unterwasser von Kleinwasserkraftanlagen, ist es das zweite Forschungsziel des Projekts, eine Optimierung von Organismenwanderhilfen durchzuführen. Erhöhtes Feststoffaufkommen (wie in Zukunft gefordert) kann zu ungünstigen Ein- und Ausstiegsverhältnissen bzw. auch kritischen Bedingungen der Durchwanderbarkeit durch Anlandungen führen. Die periodische Wie-

derherstellung der Funktionsfähigkeit, beispielsweise durch Baggerungen, ist sehr kostenintensiv, ein Um- bzw. Neubau übersteigt v.a. bei vielen kleineren Anlagen die Wirtschaftlichkeitsgrenze. Gleichzeitig wird der Ausbau der erneuerbaren Energie als wichtigster Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und somit gegen die Effekte des Klimawandels forciert.

Exemplarisch können am KW Gangljodl einfache Maßnahmen untersucht werden, die es ermöglichen, den Feststofftransport zu optimieren und gleichzeitig die Situation an grundsätzlich ungünstig situierter Organismenwanderhilfen (OWH) soweit zu verbessern, dass ein aufwändiger Um- oder Neubau nicht erforderlich ist. Das vorliegende Projekt kann somit einen wichtigen Beitrag zur Reduktion einzelner Probleme und den damit verbundenen negativen Auswirkungen, Aufwänden und Kosten leisten.

Das dritte Forschungsziel ist die Erreichung bzw. ein deutlicher Beitrag zur Erreichung der Ziele der EU-WRRL eines guten ökologischen Zustands bzw. guten ökologischen Potentials in Stauräumen durch Anwendung der entwickelten Prototypen.

Weiters sollen die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes so aufgearbeitet werden, dass die vorgestellten Maßnahmen auf andere Gebiete mit ähnlicher Fragestellung übertragbar sind. Diese Übertragbarkeit auf andere Standorte wird in einer eigenen Broschüre verfügbar gemacht. Die Ergebnisse des Forschungsprojektes können dadurch einfach in der Praxis umgesetzt werden um so einen Beitrag zur Verbesserung des ökologischen Zustands in anthropogen veränderten Flüssen und Bächen leisten zu können.

Erreicht werden sollen die dargestellten Projektziele durch die Entwicklung und Prüfung geschiebelenkender Maßnahmen, die in den Stauraum eingebaut werden und so dazu beitragen, dass durch Sedimentablagerungen hervorgerufenen Probleme zu lösen. Als Basis der Maßnahmen dient das Prinzip der Geschiebeabweiser bzw. Strömungstrichter.

3 Projektstruktur

Das vorliegende Projekt wurde in Kombination aus praktischer Ingenieurleistung erfahrener Wasserbauplaner bzw. -planerinnen und Ökologen bzw. Ökologinnen (Wirtschaft), wissenschaftlicher Betreuung und Bewertung (Universitäre Forschung) und Unterstützung von Nutzern und Nutzerinnen bzw. öffentlicher Stellen (Interessenten/Betreiber) in einem innovativen Naturversuch durchgeführt.

Konkret sollten die angestrebten Ziele durch die Umsetzung von geschiebeleitenden Elementen im Stauraum erreicht werden. Diese können beispielsweise aus Stahlbetonelementen, Holzpfählen, Wasserbausteinen oder Ähnlichem bestehen. Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde unter dem Grundsatz möglichst in das Gewässer eingriffssarmer Maßnahmen auf regionale und im Gewässer natürlich vorkommende Materialien zurückgegriffen und daher der Baustoff Holz vorgesehen.

3.1 Zusammenfassung der Arbeitsschritte

Arbeitsschritt 1 – Modellierung: In Vorarbeiten zu diesem Forschungsprojekt wurden bereits Untersuchungsdesigns erarbeitet, die im ersten Schritt ingenieurtechnisch und wissenschaftlich überprüft und analysiert wurden. Verschiedene Varianten wurden genauer ausgearbeitet und hydraulisch und morphologisch anhand numerischer Modelle analysiert. Die parallel durchgeführte Habitatmodellierung der wissenschaftlichen Projektgruppe betrachtete die ökologischen Aspekte der Untersuchungsdesigns.

Arbeitsschritt 2 – Bewilligung: Nach den ingenieurtechnischen und wissenschaftlichen Analysen wurde anhand der gewonnenen Erkenntnisse ein finales Maßnahmenkonzept ausgewählt und soweit ausgearbeitet, dass eine wasserrechtliche Bewilligung erteilt werden konnte.

Arbeitsschritt 3 – Bau und Monitoring: Nach behördlicher Bewilligung erfolgte der Versuchsaufbau (Feldversuch) des bewilligten Maßnahmenkonzeptes in der Niederwasserperiode 2019 / 2020. Anschließend begann das wissenschaftliche Monitoring, in dem der Feldversuch analysiert wurde.

3.2 Projektabwicklung

Zu Projektbeginn wurde nach der erfolgten Startbesprechung am 18.07.2018 mit der Vermessung und der Erhebung der Grundlagendaten gestartet. Diese umfasst unter anderem Daten zur Gewässergeometrie, zur Hydrologie, fischökologische Daten und Kenndaten des Kraftwerks sowie die Aufnahme von Daten zur Ermittlung der Korngrößenverteilungen, und bilden die Grundlage für die weitere Modellbearbeitung. Gleichzeitig wurde ein erstes Monitoring durchgeführt, um einen Referenzzustand für die begleitende Analyse der Maßnahmen zu erhalten. Dabei wurde die betrachtete Gewässerstrecke entlang von definierten Profillinien aufgemessen.

Nach Abschluss des ersten Monitorings und dem Einholen aller erforderlichen Daten konnte mit der wasserbaulichen Planung begonnen werden. Die Planung wurde ingenieurmäßig durchgeführt und wissenschaftlich begleitet. Nach Abschluss der Planungen wurden die Ergebnisse gewässermorphologisch bewertet und reflektiert. Nach endgültigem Abschluss der wasserbaulichen Planung wurde die Habitatmodellierung durchgeführt.

Nach erfolgter Bewilligung durch die Behörden wurden die eingereichten Maßnahmen umgesetzt. Die Bauumsetzung wurde dabei sowohl ingenieurtechnisch als auch wissenschaftlich begleitet.

Nach Umsetzung der Maßnahmen startete die Monitoringphase. Dabei wurden regelmäßig Vermessungen durchgeführt, um die Auswirkungen zu dokumentieren. Die Ergebnisse wurden wissenschaftlich untersucht und flossen in die Habitatmodellierung ein.

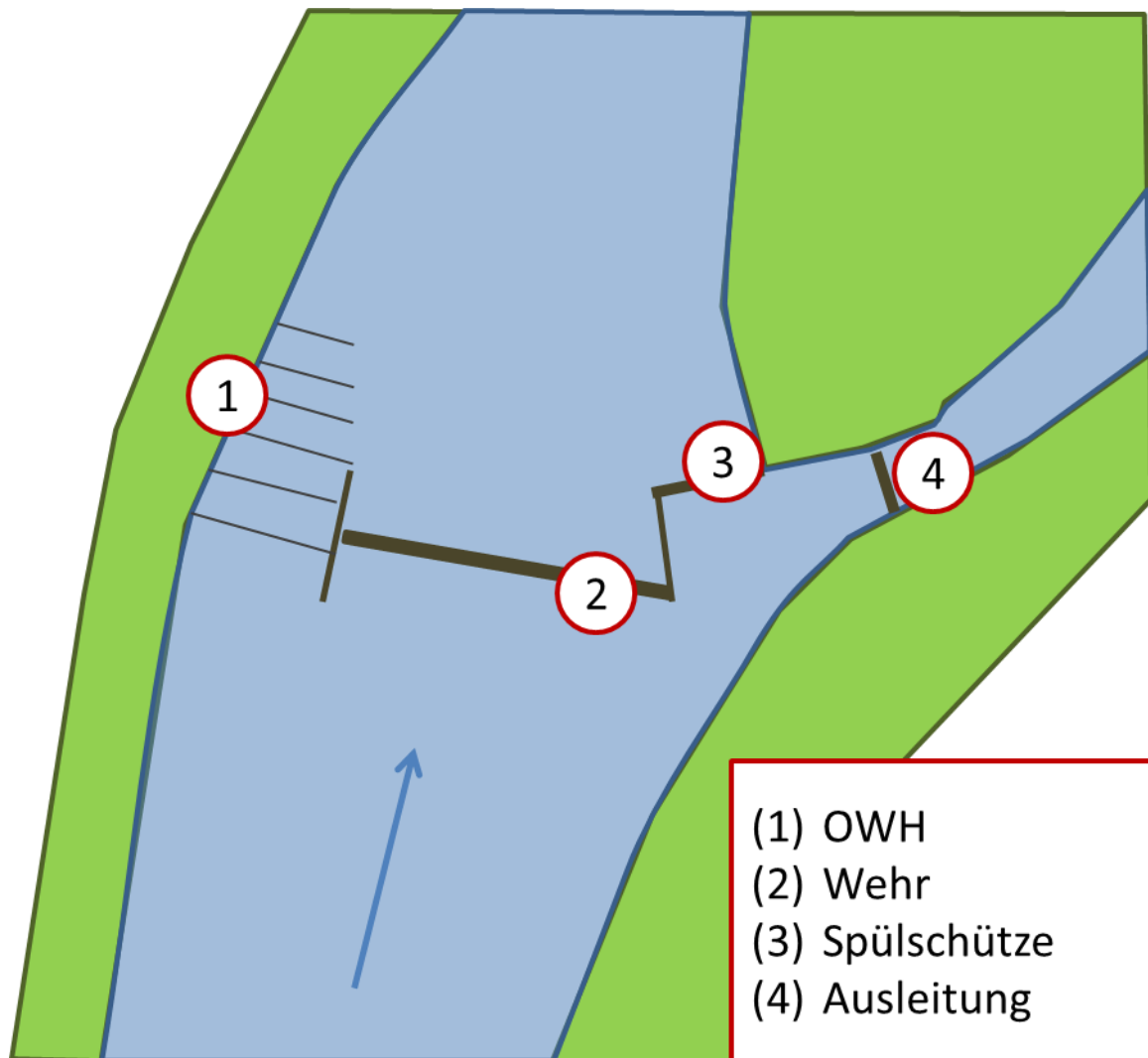
Der gesamte Projektablauf erfolgte in enger Koordination der verschiedenen Projektbeteiligten. Der Projektablauf und die Bauumsetzung verliefen problemlos bis auf zeitliche Verzögerungen, die den hydrologischen Randbedingungen geschuldet waren. Aufgrund einer ungewöhnlich trockenen Periode konnte während des Untersuchungszeitraumes, trotz einer verlängerten Projektlaufzeit, kein Hochwasserereignis und dessen Auswirkungen am Naturversuch beobachtet werden.

4 Standortbedingungen

Die betrachtete Wasserkraftanlage Gangljodlsäge (kurz: KW Gangljodl) befindet sich an der Alm (Flkm. 33,664), fluss-abwärts der Gemeinde Grünau im Almtal, Bezirk Gmunden, Oberösterreich. Laut EU-Wasserrahmenrichtlinie ist der Gewässerzustand der Alm von ihrem Ursprung (circa Flkm. 48) bis zur Ausleitung an der Redlmühle (Flkm. 34,21) kurz unterhalb von Grünau mäßig, von der Redlmühle stromabwärts bis knapp unterhalb von Fischböckau (Flkm. 11,50) schlecht und dann bis zur Mündung in die Traun (Flkm. 0,00) mäßig. Der Zustand der Traun im Bereich der Mündung wird als unbefriedigend eingestuft. Der Gewässerzustand im Projektabschnitt ist laut EU-Wasserrahmenrichtlinie als „schlecht“ definiert (DORIS, 2019). Die zahlreichen Unterbrechungen im Fließkontinuum tragen maßgeblich zu diesem durchwegs verbesserungswürdigen Zustand bei (Friedl, 2019). Fischökologisch in Bezug auf die durchzuführende Habitatmodellierung gesehen befindet sich die Alm im betrachteten Abschnitt im Metarhithral, der unteren Forellenregion. Leitfischarten dieser Region sind Bachforelle und Koppe.

Laut Eintrag ins Wasserbuch hat das Ausleitungskraftwerk Gangljodlsäge, an dem der vorliegende Naturversuch durchgeführt wurde, eine Ausbauleistung von 163 kW, ein Jahresarbeitsvermögen von 1072 MWh mit einer nutzbaren Wassermenge von 6,5 m³/s und einer Fallhöhe von 2,96 m. Die vorgeschriebene Restwassermenge beträgt 1090 l/s (Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, 2018). Der Stauraum wird von einem Wehr mit einer Länge von rund 30 m (Abbildung 1 - 2) und zwei Spülschützen (3) begrenzt. Die Ausleitung in den Werkskanal (4) befindet sich am rechten Ufer oberhalb der Spülschütze. Die 2012/2013 errichtete bzw. adaptierte Organismenwanderhilfe (OWH) befindet sich am orographisch linken Ufer (1) und damit im Innenbogen der Alm gegenüber der Werksausleitung (Friedl, 2019).

Abbildung 1: Schema KW Gangljodl mit verschiedenen Bauteilen (Friedl, 2019)



Die Wehranlage befindet sich in einem Rechtsbogen der Alm, in dem auch der Abfluss-querschnitt verbreitert ist (siehe Abbildung 2).

Rein topographisch befindet sich die Organismenwanderhilfe damit an einer ungünstigen Stelle der Kraftwerksanlage. Die Lage im Innenbogen begünstigt die Sedimentation von mitgeführtem Geschiebe. Durch die gleichzeitige Querschnittsverbreiterung wird dieser Effekt verstärkt. Die Organismenwanderhilfe wird dadurch in ihrer Funktion eingeschränkt, da der Oberwasserausstieg nicht mehr ausreichend durchströmt werden kann.

Abbildung 2: Lage des KW Gangljodl/Alm (Quelle: DORIS, 2019)



Die projektierten Maßnahmen sollen dieses Problem lösen, indem die Morphologie so beeinflusst wird, dass die Wanderhilfe frei von Geschiebe bleibt. Dies soll durch hydraulische und morphologische numerische Modellierungen gezeigt und im Naturversuch bestätigt werden.

5 Konzept

5.1 Ausgangslage / Analyse des Ist-Zustands

Die 2012/2013 errichtete bzw. adaptierte Organismenwanderhilfe (OWH) befindet sich am orographisch linken Ufer und damit im Innenbogen der Alm gegenüber der Werksausleitung des KW Gangljodl. Die Lage der OWH ist morphologisch gesehen ungünstig, da im Innenbogen transportierte Feststofffrachten verstärkt abgelagert werden (siehe Abbildung 3). Dies führt dazu, dass die OWH bereits bei kleineren Hochwasser-Ereignissen verlandet und für Fische nicht mehr passierbar ist. Eine zeitlich durchgehende Funktionsfähigkeit der OWH war dadurch nicht gegeben. Weiter waren zur Wiederherstellung Räumungen erforderlich, die einerseits Kosten verursachten und andererseits Eingriffe ins Gewässer bedeuteten.

Abbildung 3: Oberwasserbereich OWH - KW Gangljodl (Aufnahme vom 02.08.2018)



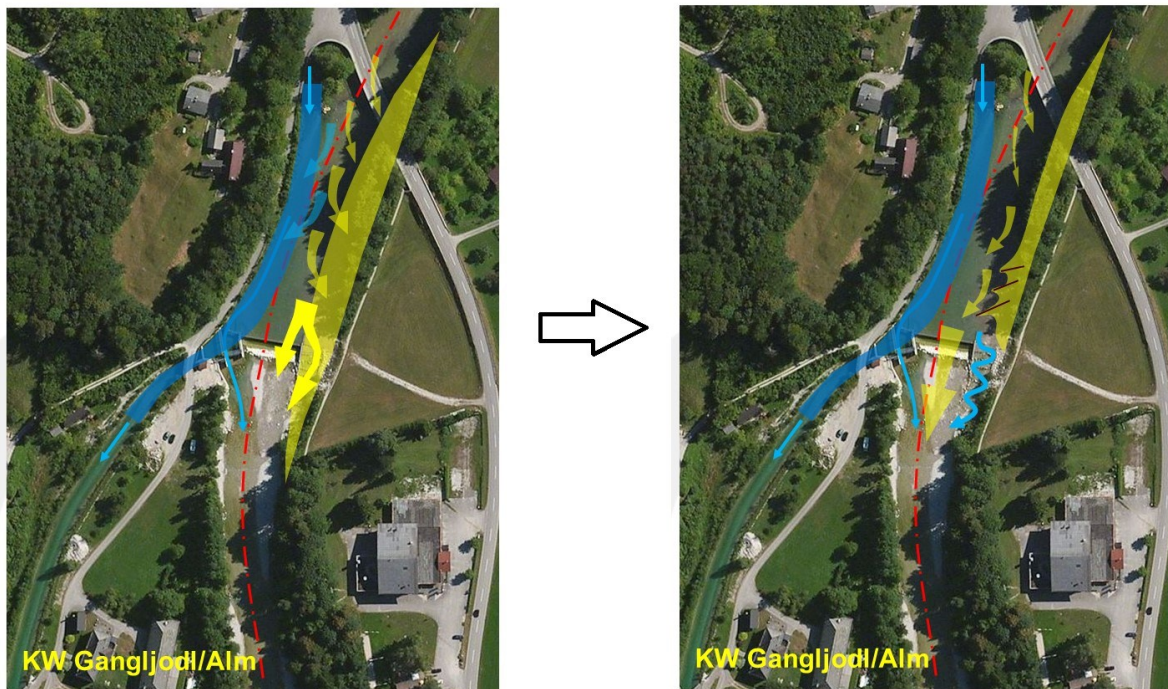
Der bestehende Einlauf der OWH weist eine große Breite auf, die dazu führt, dass sich nur sehr geringe Wassertiefen ausbilden. Dies wiederum verstärkt die Geschiebeablagerung zusätzlich. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass der Kieskörper direkt vor der Organismenwanderhilfe durch erhöhten Abfluss mobilisiert wird und diese weiter auffüllt (Abbildung 4).

Abbildung 4: Kieskörper im Ausstiegsbereich der OWH



Abbildung 5 bietet eine Übersicht über die gegenständliche Problemstellung (links) und den Lösungsansatz (rechts). Anhand von konstruktiven Maßnahmen soll ein an die rechte Abbildung angelehnter Zielzustand erreicht werden. In der derzeitigen Situation befindet sich vor der Organismenwanderhilfe eine Schotterbank, die eine ständige Dotation der Aufstiegshilfe verhindert. Dieser Zustand kann exemplarisch für zahlreiche Wasserkraftanlagen gesehen werden.

Abbildung 5: links: Problemstellung und rechts: Zielzustand am KW Gangljodl (Quelle: DORIS, eigene Darstellung; Norden befindet sich am unteren Bildrand)



In Abbildung 5 sind die derzeit herrschende Bedingung (links) und der Plan-Zustand (rechts) in Hinblick auf die Verteilung von Wasser (blau gefärbt) und Sediment (gelb gefärbt) dargestellt. Zurzeit wird Sediment im Innenbogen abgelagert und über das Wehr bzw. die Organismenwanderhilfe weitertransportiert (gelbe Pfeile). Dies führte zu einer Verfüllung der Organismenwanderhilfe und dadurch zu einer Einschränkung der Leistungsfähigkeit. Im Bild rechts sind die im vorgestellten Konzept vorgesehenen Geschiebeabweiser dargestellt und leiten die Sedimentablagerungen vom Ufer und der Organismenwanderhilfe weg in Flussmitte (gelbe Pfeile).

5.2 Zweck und Ziel der Maßnahmen

Die vorgesehenen Maßnahmen sollen die Passierbarkeit der Organismenwanderhilfe gewährleisten bzw. den Erhaltungsaufwand auf ein vertretbares Maß reduzieren. Durch Maßnahmen zur Lenkung des Feststoffeintrags soll eine wiederkehrende Verlandung speziell im Ausstiegsbereich der OWH vermieden werden. Das in diesem Projekt erforschte Konzept sieht den Einbau von möglichst einfach zu errichtenden konstruktiven geschiebeleitenden Maßnahmen vor, die den Transport und die Ablagerung von Sedimenten in Richtung Wehrmitte erzwingen sollen. So kann einerseits die Durchgängigkeit der OWH gewährleistet werden, und andererseits der Spülvorgang

optimiert und dadurch verkürzt werden, die Geschiebesituation unterhalb des Kraftwerks wird verbessert.

Mit Maßnahmen im Rahmen der Wartung, Sanierung und Wiederherstellung speziell nach größeren Hochwasserereignissen muss - wie bei jeder Anlage - weiterhin gerechnet werden.

Die Bearbeitung erfolgte hinsichtlich folgender konkreter Zielsetzungen:

- Optimierung der Feststoffverteilung im Oberwasserbereich der Kraftwerksanlage
- Erhaltung eines langfristig morphologisch stabilen Ausstiegsbereichs der OWH
- Positive Beeinflussung bzw. Lenkung der Feststofffrachten direkt oberhalb der OWH
- Optimierung des Ausstiegsbereichs hinsichtlich Robustheit gegenüber Feststoffablagerungen (Positionierung, Adaptierung) zur Gewährleistung einer langfristigen Funktionsfähigkeit
- Übertragbarkeit auf andere Standorte

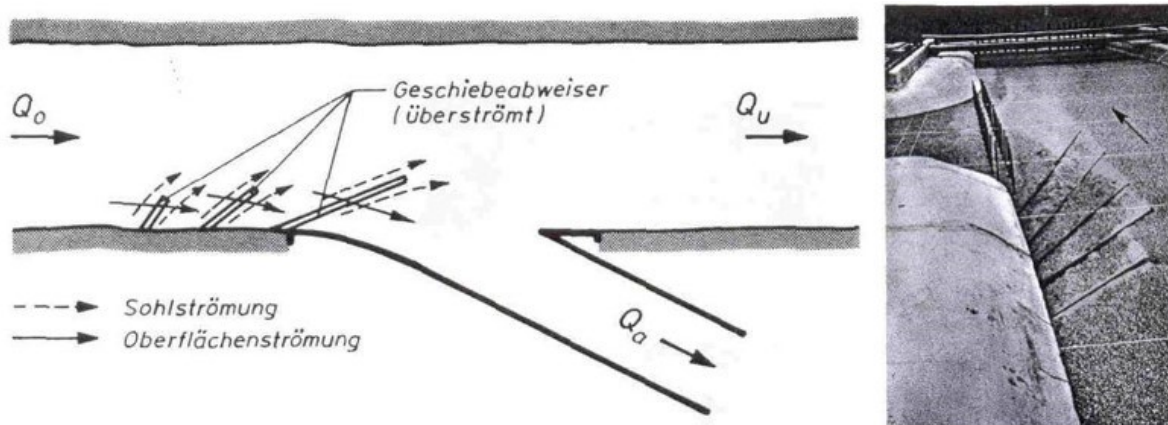
5.3 Grundlagen der Designentwicklung

Maßnahmen zur Strömungs- und Geschiebelenkung werden schon seit Jahrzehnten im Wasserbau eingesetzt. Für die betreffende Problemstellung wurden die beiden Konzepte des Geschiebeabweisers sowie des Strömungstrichters herangezogen und auf die vorliegende Situation angewendet. Nachfolgend sind diese beiden Ansätze genauer beschrieben.

5.3.1 Maßnahmenansatz Geschiebeabweiser

Als Maßnahme bieten sich für das vorliegende Thema fächerartige Leitschwellen (Abbildung 6) an. Das Prinzip ist physikalisch nachgewiesen und findet sich im Kern bei der Anwendung von Lenk- bzw. Sohlgrundbuhnen wieder.

Abbildung 6: Geschiebeabweisung durch fächerartige Leitschwellen (aus Scheuerlein, 1984)



Dabei werden fächerartig niedrige Bauelemente (z.B. verankerte Baumstämme oder „Mann-an-Mann“ gerammte Pfahlreihen) vor der Ausleitung errichtet. Umso höher die Fächerelemente, umso höher die Lenkwirkung aber auch die Beeinflussung der Wasserspiegellagen.

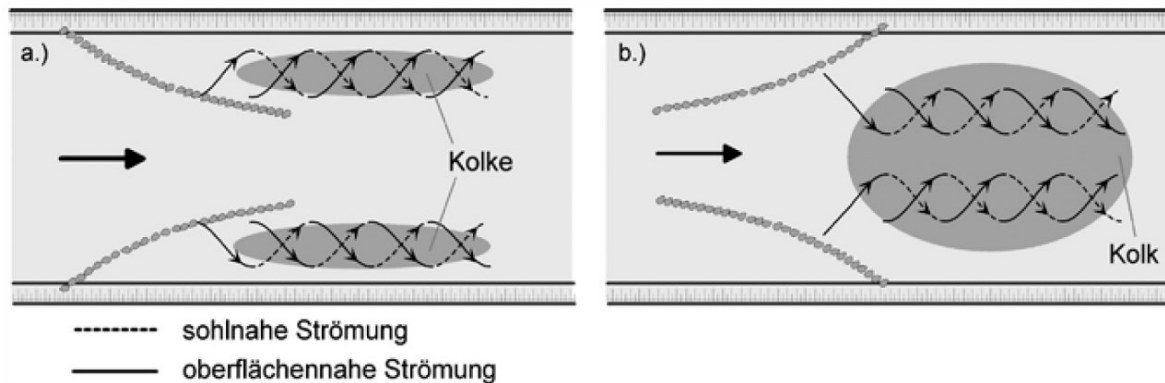
In den Räumen zwischen den Fächern soll sich eine Spiralströmung ausbilden, die Material aus den Fächerfeldern in Richtung Flussmitte transportiert. Wichtig dabei ist ein möglichst „scharfkantiger“ Übergang, um die Ausbildung starker Spiralströmungen zu fördern. Das Grundprinzip der Strömungsbildung ist auch in der nachfolgenden Konzeption (Abbildung 7) ersichtlich. Das Konzept kann schrittweise erweitert werden (Verlängerung der Fächer oder Erweiterung flussauf).

5.3.2 Maßnahmenansatz Strömungstrichter

Das Konzept deklinant angeordneter Strömungstrichter (Sindelar C., Mende M. 2009) ist ebenfalls ein günstiger Ansatz zur Problemlösung. In Abbildung 7/a ist der für die gegenständliche Problemstellung denkbare Ansatz dargestellt (vergleichbar mit Prinzip Geschiebeabweiser).

Analog dem Geschiebeabweiser wird hinter dem Trichterelement eine Spiralströmung erzeugt, die eingetragenes Material aus dem Bereich hinter dem Trichterelement transportiert. Die Bauanordnung selbst lenkt sohnnahe, gröberes Material entlang dem Bauwerk ab (über den Ausleitungsbereich hinaus).

Abbildung 7: Konzept Strömungstrichter: a) deklinante und b) inklinante Anordnung (Quelle WasserWirtschaft 1-2/2009 - Sindelar C., Mende M.,)



Wie beim Fächer ist ein möglichst „scharfkantiger“ Übergang wichtig, um die Ausbildung starker Spiralströmungen zu fördern. Es bietet sich daher an, den Strömungstrichter in Form von „Mann-an-Mann“ gerammten Pfählen zu errichten.

Das Konzept Strömungstrichter ist vom Prinzip ähnlich dem fächerartigen Geschiebeabweiser. Es bietet sich an, die Konzepte in Kombination (modular) anzuwenden. Für die Maßnahmenkonzepte wird das Konzept Strömungstrichter in fächerartige Geschiebeabweiser umgewandelt und durch Begleitmaßnahmen ergänzt.

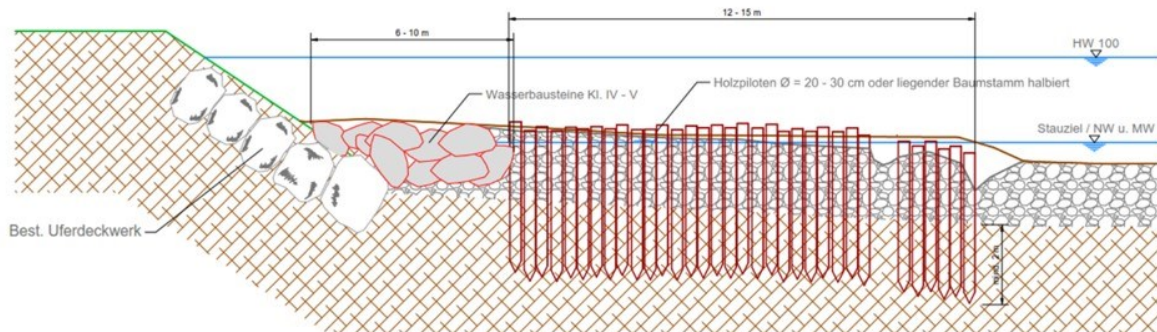
5.4 Untersuchungsdesign

Als Untersuchungsdesign für den Naturversuch wurde eine Kombination aus Steinbuhnen und Pfahlreihen gewählt, die durch Ansätze der Geschiebeabweiser und Strömungstrichter die morphologische Entwicklung im betrachteten Bereich beeinflussen sollen (siehe Abbildung 8). Das grundlegende Design (Anzahl der Pfahlreihen, Winkel zur Flussachse, Winkel der Buhnen) wurde anhand von Erfahrungswerten und allgemeinen Richtwerten erstellt. Die numerische Überprüfung zeigte, dass das Design erwartungsgemäß in die hydraulischen Strömungen eingreift und die gewünschten Effekte hinsichtlich Geschiebe- und Strömungslenkung brachte (siehe dazu nachfolgendes Kapitel). Daraufhin wurden mehrere Varianten erarbeitet, die sich in der Ausbildung der Pfahlreihen (mit Wanderkorridor, ohne Wanderkorridor, als Raubaum ausgebildet, mit zusätzlichem Raubaum als Strukturelement, usw.) unterscheiden. Aus diesen Varianten wurde ein endgültiger Prototyp zur Bauherstellung ausgewählt.

Nachfolgend wird der umgesetzte Prototyp näher erläutert.

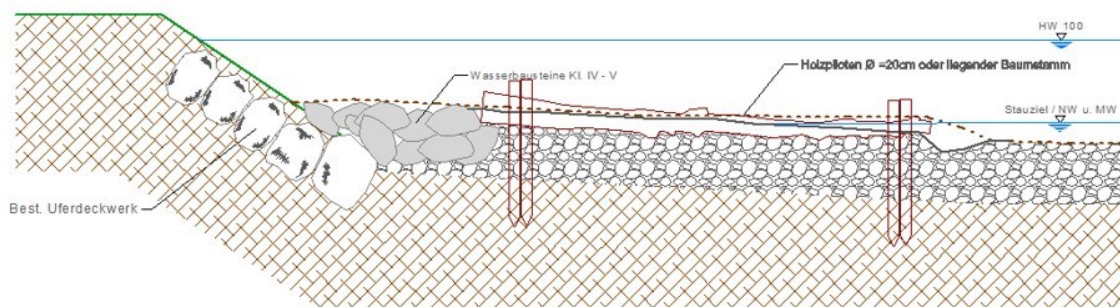
Abbildung 8: Zwei aus mehreren Untersuchungsdesigns - Profil (flussbau iC, 2019)

Schnitt 4 - 4: Prototype 5



Schnitt 4 - 4: Prototype 4

M 1 : 100



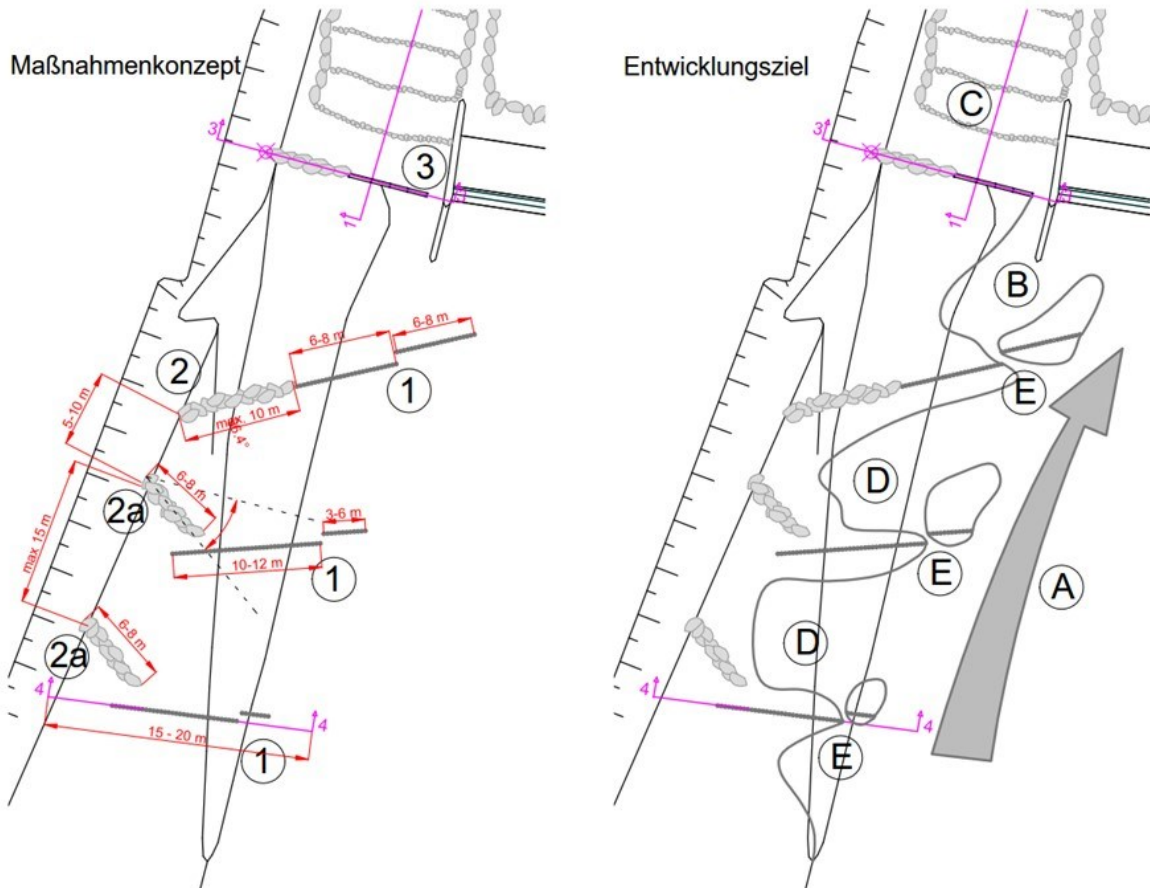
Das endgültige Design besteht aus drei bzw. vier unterbrochenen Geschiebeabweisern auf Höhe Stau-ziel, die deklinant geneigt sind (1 in Abbildung 9). Die Neigung ist jeweils in Fließrichtung erhöht. Die Herstellung dieser Geschiebeabweiser geschieht mittels Pfahlreihen, die „Mann-an-Mann“ gerammt werden, oder mittels verankerter Baumstämme. Die Strukturen werden dabei als Niedrigwasserstrukturen ausgebildet, sodass sie nur im Niedrig- und Mittelwasserbereich wirksam sind (siehe Abbildung 8).

Der Abschluss zur Uferböschung erfolgt mittels Wasserbausteinen, die – analog dem Geschiebeabweiser – deklinant geneigt ausgeführt werden (2 in Abbildung 9), und auch inklinant ausgebildet sind, um den Geschiebeaustrag zu fördern (2a in Abbildung 9).

Der Zulaufbereich zur Organismenwanderhilfe wird durch die Verringerung der Einlaufbreite mittels Balkensperre verkleinert (3 in Abbildung 9), um höhere Strömungen und eine geringere Sedimentationstendenz zu erreichen. Die Höhe der Balkensperre liegt auf

maximales Stauziel + 0,3 m. Der Abschluss zur Uferböschung erfolgt mittels Wasserbausteinen. Zusätzlich wird der Einlaufbereich um etwa 0,2 - 0,5 m vertieft.

Abbildung 9: Untersuchungsdesign (flussbau iC, 2019)



6 Methodik

Das Maßnahmenkonzept wurde mittels fachspezifisch unterschiedlicher numerischer Modelle überprüft. Es wurden dabei hydraulische, morphologische und habitatbezogene Analysen durchgeführt. Die Maßnahmen wurden dabei hinsichtlich ihrer jeweiligen fachspezifischen Wirkung als auch ihres Einflusses auf das Hochwasser (maßgeblich für die wasserrechtliche Einreichung) betrachtet. Mittels Habitatmodellierung wurden weiters ökohydraulische Analysen rund um die Kraftwerksanlage durchgeführt, um die allgemeine Lebensraumsituation theoretisch zu beschreiben.

6.1 Erhebung der Grundlagendaten

Zur Durchführung der dem Naturversuch vorausgehenden numerischen Modellierungen war die Erhebung von Grundlagendaten erforderlich. Dies umfasste die Aushebung der wesentlichen hydrologischen Kennwerte sowie die Durchführung von Analysen zur Bestimmung granulometrischer Eingangsgrößen wie beispielsweise des mittleren Korn-durchmessers, als Basis für die morphologischen und die Habitatmodellierungen.

6.1.1 Vorprojekte

Folgende Projekte wurden als Literatur und Datenquelle für das vorliegende Forschungsprojekt herangezogen:

- Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH (2011): Revitalisierung Wasserkraftanlage "Gangljodlwehr" - Hydraulisches Gutachten 2010 (mit Ergänzungen im März 2011). Wien.
- Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH, DHI Wasser & Umwelt GmbH (2006): Gewässerbetreuungskonzept Alm -Geschiebe.

6.1.2 Hydrologie

Die Hydrologiedaten wurden aus dem Onlineportal ehyd des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus ausgelesen. Für den Projektstandort wurden zwei Pegel verwendet. Die Berechnungen wurden quasistationär durchgeführt.

Die beiden Durchflussmesspegel im Projektgebiet sind die Pegel HZBNR 206508 Grünau und HZBNR 205500 Friedlmühle. Aus diesen wurden die hydrologischen Kennwerte ausgelesen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Auswertung Messwerte Grünau (Jahresreihe 1981-2013) und Friedlmühle (Jahresreihe 1976-2013) (Daten: BMLFUW, 2015; Quelle: Friedl, 2019)

Pegel	Grünau	Friedlmühle
HZBNR	206508	205500
EZG (km ²)	181,9	326,1
NQ (m ³ /s)	0,33	0,59
NQT (m ³ /s)	0,94	1,98
MJNQT (m ³ /s)	2,43	3,1
NJMQ (m ³ /s)	5,85	8,17
MQ (m ³ /s)	9,24	12,8
HJMQ (m ³ /s)	11,6	17,8
MJHQ (m ³ /s)	105	162
HQ (m ³ /s)	252	390

Die numerischen Modellierungen wurden mit mehreren Durchflüssen durchgeführt. Es wurden Niedrig-, Mittel- und Hochwasserabflüsse berechnet, sowie erhöhte Mittelwasserdurchflüsse. Die Kennwerte der Abflüsse für verschiedene Hochwasserereignisse sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Hochwasserkennwerte im Bereich KW Gangljodl

Jährlichkeit	Scheitelwert (m ³ /s)
1	103
5	174
10	213
30	265

Jährlichkeit	Scheitelwert (m ³ /s)
100	339
300	395

Die Werte für HQ1, HQ5 und HQ10 wurden aus Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH und DHI Wasser & Umwelt GmbH, 2006 entnommen, HQ30 und HQ100 stammen aus der Gefahrenzonenplanung 2006 (Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH, 2011), der Spitzenwert für das HQ300 wurde mithilfe eines Wahrscheinlichkeitspapiers für die Gumbel-Verteilung auf Basis der oben angeführten Werte ermittelt.

Die dargestellten hydrologischen Eingangswerte wurden für die hydraulischen und morphologischen Modellierungen herangezogen. Für die morphologische Modellierung wurden darüber hinaus noch Jahresganglinien erstellt und für die Analyse der langfristigen Entwicklung herangezogen.

6.1.3 Vermessung

Als Grundlage für die Erstellung der numerischen Modelle standen bereits Vermessungsdaten aus dem Jahr 2016 zur Verfügung. Diese wurden mit einer GPS-Vermessung im Jahr 2018 ergänzt. Aus diesen Daten und einem Airborn Laser Scan wurde das numerische Modell aufgebaut, mit dem anschließend alle numerischen Untersuchungen durchgeführt wurden.

6.1.4 Granulometrie-Daten Gewässerbezirk Gmunden

Im vom Gewässerbezirk Gmunden zur Verfügung gestellten Bericht (erstellt durch Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH und DHI Wasser & Umwelt GmbH, 2006) sind zwei Linienzahlanalysen (LZA) zu finden, die in der Nähe des Projektstandortes aufgenommen wurden.

LZA 25 (Abbildung 10) wurde an einer Schotterbank am Gleitufer der Alm oberhalb des Gangljodlwehrs aufgenommen und zeigt daher sowohl in der Deck- als auch in der Unterschicht (Grundsicht) deutlich feinere Korndurchmesser als LZA 26 (Abbildung 11), die leicht stromabwärts des Gangljodlwehrs aufgenommen wurde (Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH und DHI Wasser & Umwelt GmbH, 2006). LZA 26 zeigt Korndurchmesser, die für Gebirgsflüsse wie die Alm repräsentativ erscheinen, während LZA 25 als tendenziell feiner auffällt.

Abbildung 10: Kornverteilung Linienzahlanalyse 25, Flkm. 34,25 (Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH und DHI Wasser & Umwelt GmbH, 2006)

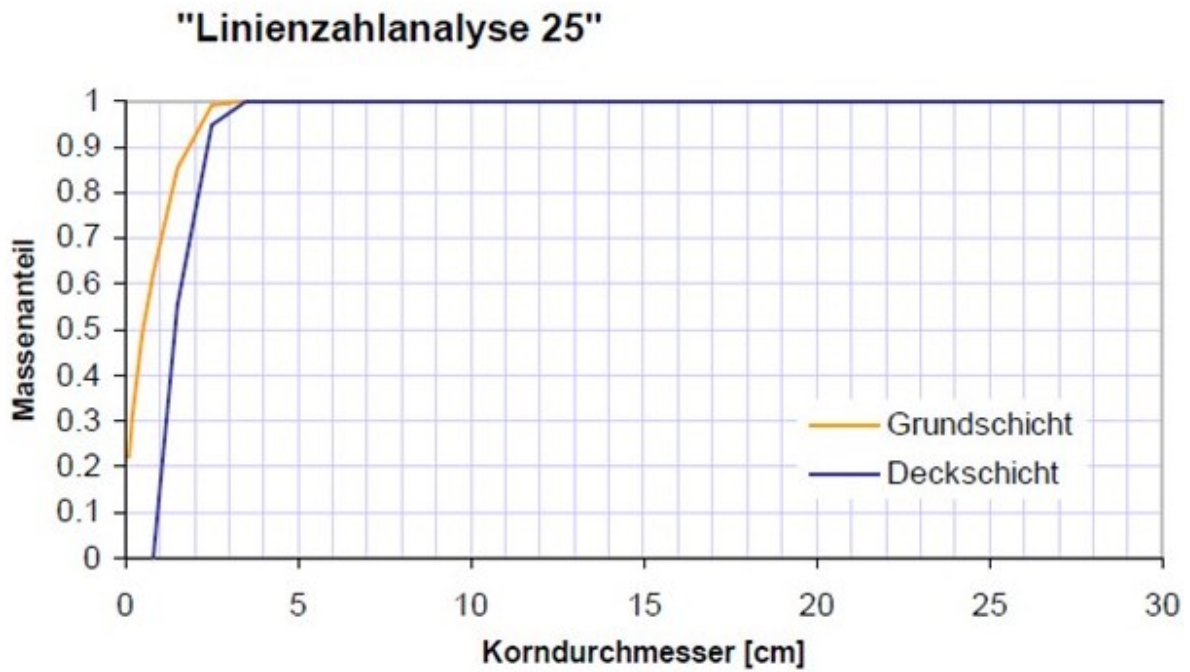
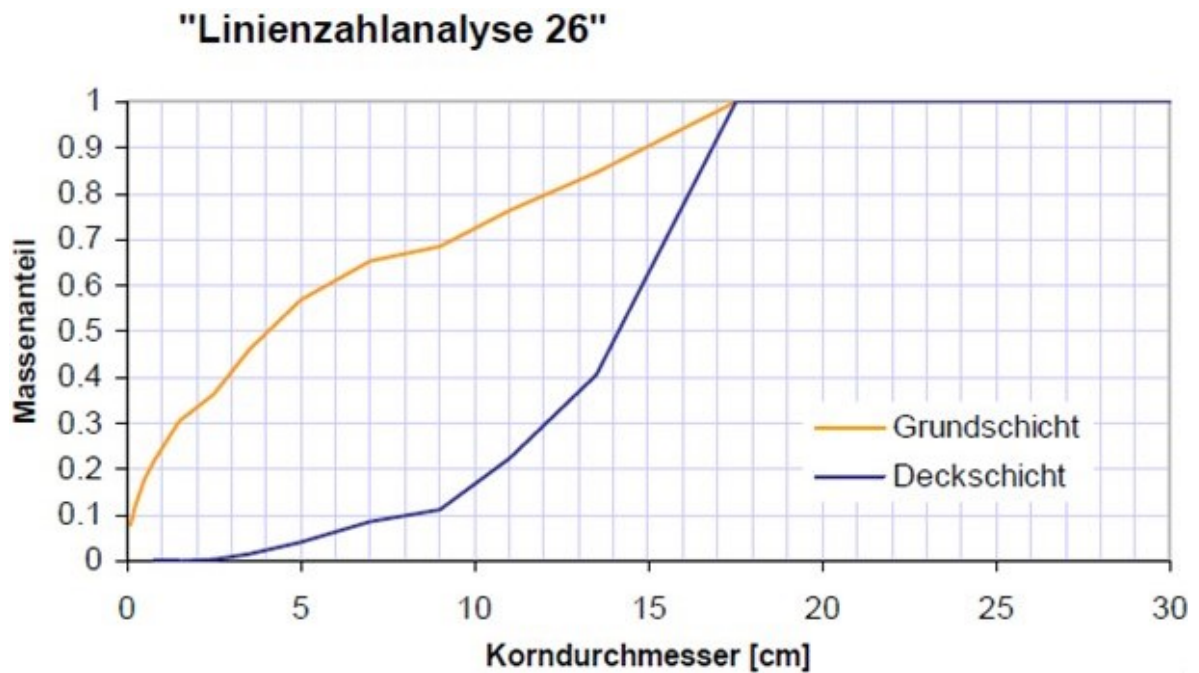


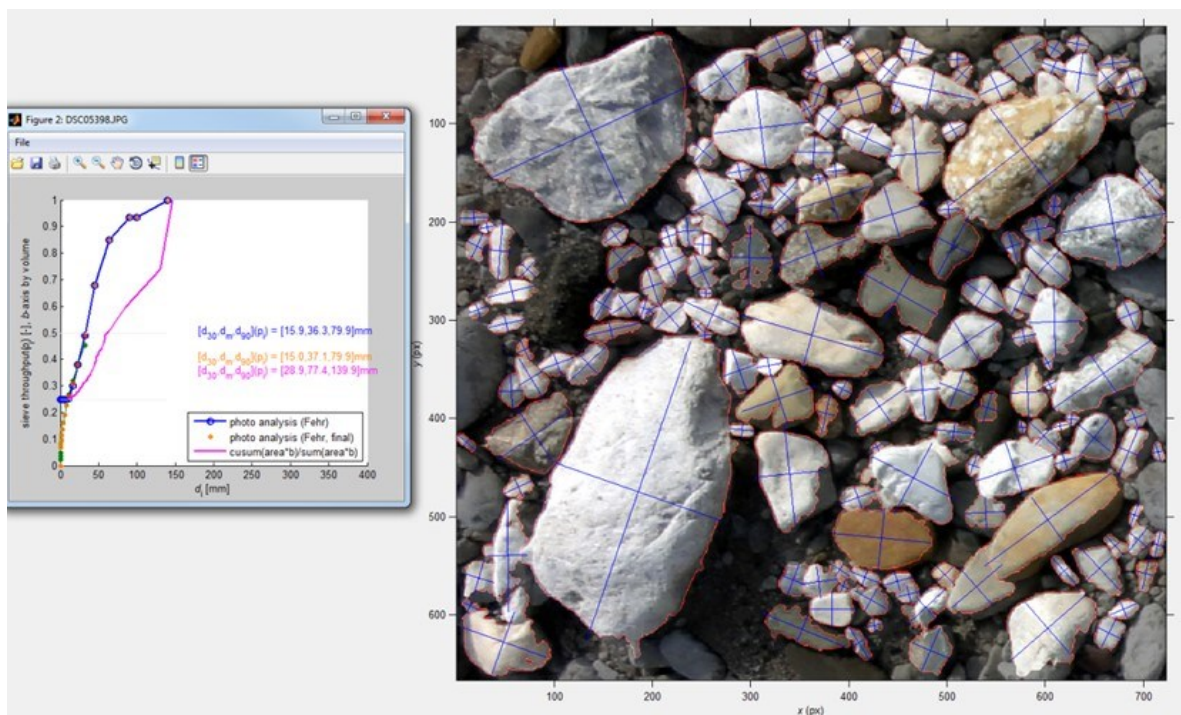
Abbildung 11: Kornverteilung Linienzahlanalyse 26, Flkm. 33,48 (Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH und DHI Wasser & Umwelt GmbH, 2006)



6.1.5 Bildanalyse mit Basegrain

Es wurden zusätzliche Kornproben erhoben und analysiert. Dazu wurde eine auf Matlab basierende automatische Objekterkennungssoftware für die granulometrische Analyse von fotografierten Geschiebeprobe eingesetzt. Eine Kornverteilungskurve wird analog der Linienzahlanalyse von Fehr (1987) erstellt. Das Programm Basegrain wurde in der Abteilung Flussbau der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich entwickelt. Abbildung 12 zeigt ein Auswertungsbild mit dieser Software.

Abbildung 12: Automatisierte Auswertung einer Geschiebeprobe mittels Basegrain.



Die für die Bildauswertung verwendeten Digitalaufnahmen wurden von flussbau iC im Rahmen einer Begehung am 16.7.2019 erstellt.

Für die Auswertung wird die Methodik nach Fehr (1987) verwendet (quasi line-sampling). Parallel wird eine Kornverteilungskurve als Funktion der Quadratsumme($a*b$) / $\text{Summe}(a*b)$ ermittelt (quasi area-sampling; a, b sind die Achsenlängen des Kornes). In den Graphiken sind die Ergebnisse der photo analysis (Fehr) und der photo analysis (Fehr, final) sowie als Funktion der Quadratsumme ($a*b$) / $\text{Summe}(a*b)$ dargestellt. In der photo analysis (Fehr, final) wird der Feinanteil mittels Fuller Verteilung (Grüne Linie in den Diagrammen) ergänzt. Es stehen zur Analyse umfangreiche Anpassungsparameter zur Verfügung.

Nachfolgend sind die Proben und Analyseergebnisse dargestellt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

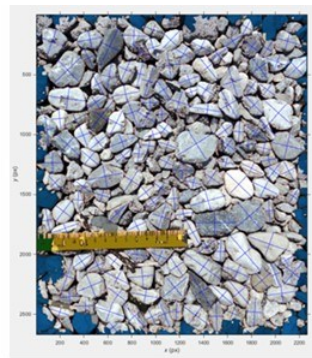
1. Deckschicht (DS) Schotterbank oberhalb der OWH

Die Probe A aus der Deckschicht (DS) (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14 - DS) wurde an der Schotterbank flussaufwärts der Organismenwanderhilfe (OWH) aufgenommen.

Abbildung 13: Probe A (DS) (a) Basisaufnahme und (b) Bildanalyse

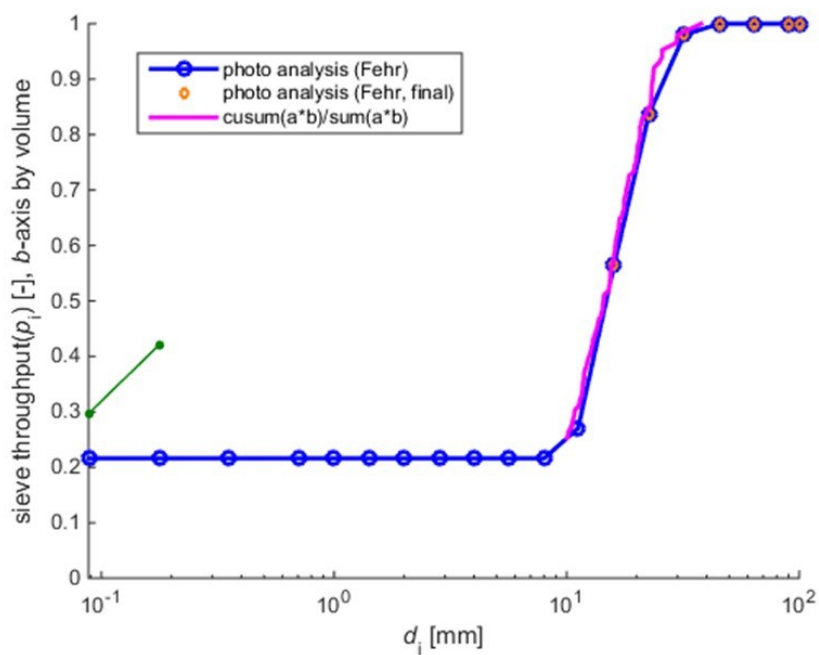


(a)



(b)

Abbildung 14: Probe Schotterbank oben A (DS) Kornverteilung – Bildanalyse



In der photo analysis (Fehr, final) wird der Feinanteil mittels Fuller Verteilung ergänzt. Aufgrund der feinen Kornverteilung war es hier nicht möglich diese Option einzusetzen.

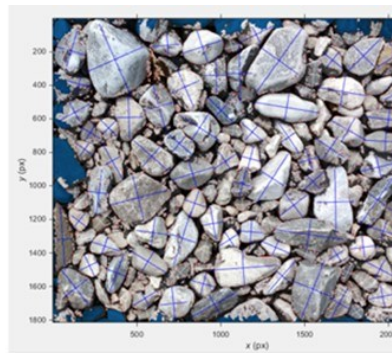
2. Deckschicht Schotterbank unterhalb der OWH

Die Probe B aus der Deckschicht (DS) (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16 - DS) wurde an der Schotterbank fluss-abwärts der OWH aufgenommen.

Abbildung 15: Probe B (DS) (a) Basisaufnahme und (b) Bildanalyse

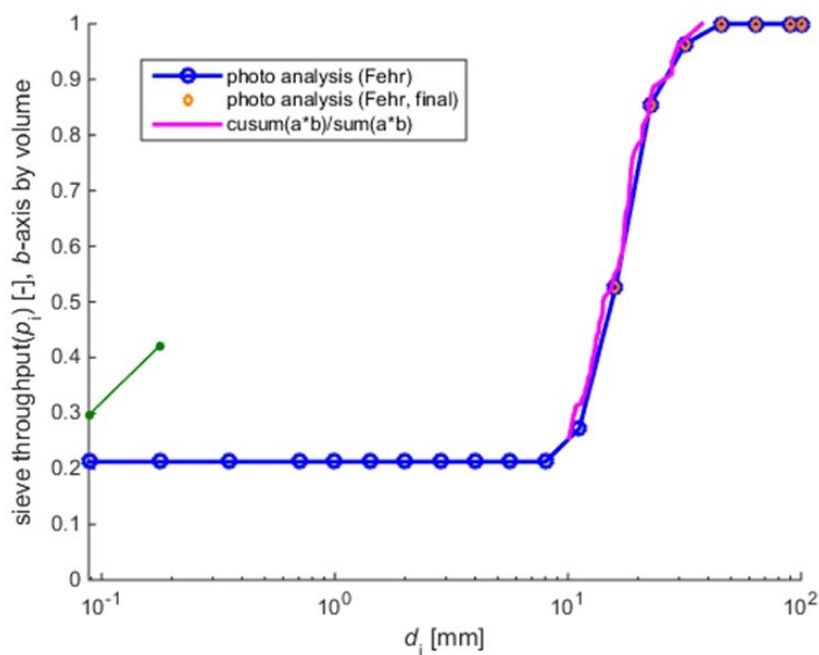


(a)



(b)

Abbildung 16: Probe B (DS1) Kornverteilung – Bildanalyse



In der photo analysis (Fehr, final) wird der Feinanteil mittels Fuller Verteilung ergänzt. Aufgrund der feinen Kornverteilung war es hier nicht möglich diese Option einzusetzen.

3. Zusammenfassung Basegrain-Auswertung

In Tabelle 3 sind die Linienzahlanalysen Ergebnisse der Bildanalyse zusammengefasst. Als plausible granulometrische Kenngrößen lassen sich aus den durchgeführten Linienzahlanalysen bei LZA 25 ein mittlerer Korndurchmesser (dm) der Deckschicht von 20 mm und ein dm der Unterschicht (Grundsicht) von 9,40 mm ausweisen (feine Probe) und bei LZ 26 ein dm der Deckschicht von 148 mm und ein dm der Unterschicht (Grundsicht) von 67,8 mm ausweisen (grobe Probe). Die Bandbreite für die nachfolgenden Analysen wird von 20 mm bis 67,8 mm gesehen. Diese Annahmen dienten als Eingangsparameter für die morphologische Modellierung.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Linienzahlanalysen (Bildanalyse)

Bereich/Probennummer Probe	Sohlmateral		Granulometrische Kenngrößen			
	DS	GS	dm	d30	d50	d90
	[mm]					
LZA 25						
Deckschicht	x		20.00	11.80	14.30	23.80
Grundsicht		x	9.40	1.80	5.20	18.50
LZA 26						
Deckschicht	x		148.10	120.50	141.40	168.30
Grundsicht		x	67.80	14.50	40.50	148.90
Schotterbank oben						
Deckschicht (Mittelwert)	x		16.70	11.24	15.29	24.64
Schotterbank unten						
Deckschicht (Mittelwert)	x		17.44	11.27	15.69	27.93

6.2 Hydraulische Modellierung

Die hydraulische Modellierung wurde zur Analyse der Strömungssituation der geplanten Maßnahmen sowie zum Verhalten der Wasserspiegel im Hochwasserfall eingesetzt. Sie war obligat zur Erlangung der wasserrechtlichen Bewilligung.

Für die hydraulischen Modellierungen wurden folgende Grundlagendaten herangezogen:

- Vermessungsdaten
- Airborne Laserscan (Rasterauflösung 10 m, Quelle: CORINE Landcover)
- Hydraulisches Gutachten 2019 zur Revitalisierung Wasserkraftanlage Gangljodlwehr, Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH, 2011
- Masterarbeit „Optimierung der Durchgängigkeit für Geschiebe am Kraftwerk Gangljodl an der Alm in Oberösterreich unter Berücksichtigung ökohydraulischer Aspekte“, Caroline Friedl, 2019
- Daten des Digitalen Oberösterreichischen Raum-Information-Systems [DORIS], Land Oberösterreich, Abteilung Geoinformation und Liegenschaft

Für das Geländemodell wurden die Daten des Airborenen Laserscan und die Vermessungsdaten verschnitten und mit Höhenkoten aus vorliegenden Plänen verfeinert. Mit der Software Laser_as-2D wurde das digitale Geländemodell generiert und manuell überprüft und korrigiert. Der Modellaufbau erfolgte mit der Software SMS (Surface-Water Modeling System, Pre- and Postprocessing-Modul, Brigham Young University, USA) der Firma Aquaveo, die Abflussmodellierung erfolgte mit der Software Hydro_AS-2D. Modellbeschreibung Hydro_AS-2D (Quelle: Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen): „Die Software Hydro_AS-2D (entwickelt von Dr. Nujić) dient zur zweidimensionalen Modellierung von Fließgewässern. Sie wird zur Erfassung komplexer Strömungsverhältnisse eingesetzt, bei denen eindimensionale Modelle keine zuverlässigen Aussagen mehr treffen können. Das in Hydro_AS-2D integrierte Verfahren basiert auf der numerischen Lösung der 2D-tiefengemittelten Strömungsgleichungen mit der Finite-Volumen-Diskretisierung. Das explizite Zeitschrittverfahren sorgt für eine zeitgenaue Simulation des Wellenablaufs.“

Nachfolgende Tabelle 4 zeigt die verwendeten Rauigkeitsbeiwerte nach Strickler (kSt) in den hydraulischen Modellen.

Tabelle 4: verwendete kSt-Werte (m^{1/3}/s)

Bereich	kSt
Sohle	34
Beton	50

Bereich	kSt
Organismenwanderhilfe	30
Ufer	20
Blockstein	22

Das hydraulische Modell wurde zur Verifizierung einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, mit der die verwendeten Rauigkeitsannahmen plausibilisiert wurden. Die in Tabelle 4 dargestellten Rauigkeitsparameter nach Strickler wurden für die Modellierung verwendet.

Mittels des numerischen hydraulischen Modells wurden Hochwassersimulationen zur Analyse der Auswirkungen der Maßnahme auf den Wasserspiegel im Hochwasserfall (wesentlich zur Erlangung der wasserrechtlichen Bewilligung) sowie Simulationen mit mittleren Durchflüssen und niedrigen Hochwasserabflüssen durchgeführt.

6.3 Morphologische Modellierung

Die morphologische Modellierung dient zur Abschätzung der Auswirkungen der geplanten Maßnahmen in Hinblick auf die Sedimentbewegungen.

Für die Modellierungen wurde das numerische Modell der hydraulischen Simulationen übernommen und das Netz für die morphologischen Berechnungen angepasst. Die Berechnungen wurden mit dem Programm Basement, entwickelt an der ETH Zürich, durchgeführt. Basement ist eine frei zugängliche Software für hydro- und morphodynamische Modellierungen.

Hauptmerkmale der Software:

- 1-D und 2-D Hydro- und Morphodynamik
- 3-D-Untergrundströmung
- Böschungskollaps
- Modellkoppelung
- automatische Kontrolle
- unterschiedliche Durchführungskonzepte

Die zugrundeliegenden ein- und zweidimensionalen Modelle basieren auf den Saint-Venant-Gleichungen für die Hydrodynamik, den Exner-Hirano-Gleichungen für das Geschiebe und einem Advektions-Diffusionsansatz mit Quelltermen für den Schwebstofftransport. Erwähnenswerte Besonderheiten der Software sind die beliebige Kombination von 1-D- und 2-D-Modelldomänen (Modellkoppelung), ein PID-Regler für verschiedene Überwachungswerte (automatische Steuerung) und die Verwendung eines unstrukturierten Dual-Mesh zur Verbesserung der topografischen Genauigkeit.“
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2019¹

Basement bietet mehrere Transportformeln an. Die morphologischen Berechnungen des Projektes wurden mit der Geschiebetransportformel von Smart & Jäggi durchgeführt. Die Formel von Smart & Jäggi macht den Geschiebetransport hauptsächlich von Abfluss und Gefälle abhängig. Das Pre- und Post-Processing erfolgte mit der Software SMS (Surface-Water Modeling System, Pre- and Postprocessing-Modul, Brigham Young University, USA) der Firma Aquaveo.

Für die morphologischen Modellierungen wurden zusätzlich zu den bereits vorliegenden Daten der hydraulischen Modellierung folgende Grundlagendaten herangezogen:

- Gewässerbetreuungskonzept Alm – Geschiebe (erstellt durch Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH und DHI Wasser & Umwelt GmbH, 2006), vom Gewässerbezirk Gmunden zur Verfügung gestellt
- Fotodokumentation zur bildanalytischen Auswertung vom 16.07.2019

Basement erlaubt die Abschätzung der morphologischen Entwicklung mit gesetzten Maßnahmen und die Bewertung der Reaktion des Flusses darauf. Reziprok können aufgrund der Modellergebnisse geplante Maßnahmen adaptiert und optimiert werden. Im gegenständlichen Projekt wurde damit die Sohlentwicklung abgeschätzt und die Maßnahmen in Konzeption und Lage optimiert.

Die Berechnungen erfolgten vereinfacht zum Zweck der Ermittlung von Sohlveränderungs- und Feststoffverteilungstrends sowie zur Optimierung der einzelnen Maßnahmen hinsichtlich Entwicklungsneigung und Funktionserhaltung.

¹ <https://basement.ethz.ch/about.html>, abgerufen am 12.08.2019

6.4 Habitatmodellierung

Wie bereits eingangs kurz beschrieben ermöglichte die Anwendung der integrativen Bewertung mittels Habitatmodellierung eine Beschreibung der Lebensraumverhältnisse ausgewählter Organismengruppen rund um das KW Gangljodl. Bisher fehlen im Stand-der-Technik in Bezug auf Ökohydraulische Modellierungen (z.B. Restwasser) morphodynamische Komponenten in der integrativen Habitatbewertung, vor allem in Bezug auf die Wasserkraftnutzung. Im Zuge der Untersuchungen des vorliegenden Forschungsprojekts sollten diese erarbeitet werden in Bezug auf (i) Bedeutung der Umlagerung auf die allgemeine Habitatverfügbarkeit von Zeigerarten (Jungfisch bis hin zu Adultfisch Stadien), (ii) strukturbedingte lokale Optimierung der Laichmöglichkeiten für Zeigerarten rund um die eingebrachten Strukturelemente des Freilandexperiments. Es wurden drei unterschiedliche methodische Arbeitsschritte gesetzt, um das Ziel dieses Arbeitspakets zu erfüllen.

Ziel dieses Arbeitspakets war es vor allem, die Qualität der Hydromorphologie in der Restwasserstrecke aber auch im Staubereich zu bewerten, da diese im Gegensatz zu einer Fischwanderhilfe selbst, nicht nur als „Wanderkorridor“ anzusehen ist, sondern über das Jahr gesehen für unterschiedliche Zeigerarten und Altersstadien einen nutzbaren Lebensraum ausbilden muss.

6.4.1 Korngrößenanalysen in Bezug auf Habitate

Die Korngrößenanalysen wurden im Untersuchungsabschnitt flussab des KW Gangljodl mittels volumetrischer Beprobung von Deck- und Unterschicht durchgeführt. Die Sedimentproben wurden hierbei nach standardisierten USGS – Verfahren (U.S. Geological Survey) mit einem 60 cm x 60 cm -Rahmen gewonnen. Zur Verhinderung des Ausschwemmens von Feinanteilen wurde der Rahmen bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten an der Sohle verankert. Entnommen wurden 26 Proben, verteilt auf sechs Querprofile, wobei orografisch links und rechts, volumetrische Proben der Deck- und Unterschicht entnommen wurden.

Sämtliche Proben wurden am Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (BOKU IWA) getrocknet und gesiebt. Die Siebungen dienen als Grundlage für die Erstellung von Kornverteilungskurven und die Ermittlung charakteristischer Korngrößen (z.B. d_m oder d_{90}).

6.4.2 Hydrodynamisch-numerische Modellierung als Grundlage für die Habitatmodellierung

Für die weiterführenden Habitatanalysen wurden hydrodynamisch-numerische Modelle in das Untersuchungsdesign implementiert. Diese numerischen Modelle zur Strömungsberechnung basieren auf den physikalischen Gleichungen der Massen-, Impuls- und Energieerhaltung. Angenommen wird hierfür ein Euler-Kontrollvolumen, welches durch fixe Begrenzung im Raum definiert ist und Flüssigkeit an den offenen Rändern ein- und ausströmen kann. Zur Anwendung kommt ein hydrodynamisch-numerisches 2D-Modell (Hydro_AS-2D v4.0). Pre- und Postprocessing erfolgt mit dem Softwarepaket Surface-Water Modeling System (SMS) von Aquaveo. Die für die Berechnung notwendige Geländegeometrie setzt sich aus zwei Datensätzen zusammen:

- Bestehende SMS-Netzgeometrie, zur Verfügung gestellt von flussbau iC
- Detailvermessung des Untersuchungsabschnittes

Die Vermessung mittels Totalstation (Leica TC405) wurde im Jahr 2018 durchgeführt. Aufgenommen wurden 17 Querprofile und zusätzliche, für die Habitatevaluierung notwendige, Geländepunkte ($n_{\text{Gesamt}} = 958$) – siehe dazu Abbildung 17.

Abbildung 17: (a) Orthofoto des Untersuchungsabschnittes (Quelle: basemap.at) und (b) Darstellung der verfügbaren und zusätzlich aufgenommenen Vermessungspunkte (Quelle: basemap.at; eigene Darstellung).



(a)



(b)

Das Berechnungsnetz für die hydrodynamisch-numerische 2D-Modellierung war in Summe durch 20 007 Knoten und 29 262 Elementen aufgebaut. Die hydraulischen Parameter

Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe und Sohlschubspannung wurden für folgende Durchflüsse berechnet:

- $Q = 1,11 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q = 7,6 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q = 11,1 \text{ m}^3/\text{s}$
- Lamellenberechnung $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $10 \text{ m}^3/\text{s}$

6.4.3 Habitatmodellierung

Für die Modellierung der unterstromigen aber auch oberstromigen morphologischen Randbedingungen der Ausgangssituation beim KW Gangljodl kamen unterschiedliche Modellkomponenten einer integrativen Habitatbewertung zum Einsatz. Es waren dies numerische Ansätze der (i) Mesohabitat- und (ii) Mikrohabitatmodellierung, die wie folgt näher erläutert werden;

6.4.4 Mesohabitatmodellierung

Das Habitatbewertungsmodell MEM (Mesohabitat Evaluation Model) ermöglicht die Ausweisung von sechs verschiedenen Mesohabitattypen über eine funktionale Verknüpfung von tiefengemittelter Fließgeschwindigkeit (m/s), Wassertiefe (m) und Sohlschubspannung (N/m²) (Hauer et al., 2009; Hauer et al., 2011). Der Anwender ist in der Lage, basierend auf den hydrodynamisch-numerischen Berechnungen (Hydro_AS-2D), Fließgewässer auf einer Mesoskala zu bewerten. Das MEM-Modell unterscheidet Furt, Kolk, Rinner, Schnelle Rinner, Flachwasser und Rückstaubereiche als so genannte hydro-morphologische Einheiten. Das Arbeiten auf dieser gröberen Skala ermöglicht eine Generalisierung der Habitatpräferenzen im Untersuchungsgebiet unter der Miteinbeziehung von Expertenwissen. Als Beispiele seien hier die potentielle Nutzung von Furten (Riffles) zum Ablaichen, die Bedeutung der Flachwasserbereiche als potentielle Jungfischhabitate und die zentrale Funktion als Refugial- und Nahrungshabitat der Kolke im Lebenszyklus der Adultfische genannt.

Beschreibung der morphologischen Einheiten:

- Furten (Riffles): entstehen speziell in Zonen mit erhöhtem Gefälle und erstrecken sich oftmals über das gesamte benetzte Querprofil eines Flussarmes. Furten werden vor

allem durch geringe Wassertiefen und sehr hohe Fließgeschwindigkeiten charakterisiert.

- Schnelle Rinner (fast run): sind in der morphologischen Beschreibung ähnlich dem Habitattyp Rinner. Charakteristisch für den Schnellen Rinner sind jedoch sehr hohe Fließgeschwindigkeiten und gröberes Sohlsubstrat.
- Rinner (run): kennzeichnen langgezogene, tiefere Gewässerbereiche, die sich im Hauptgerinne oder in großen Flussarmen ausbilden. Moderate Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen werden in diesen Abschnitten ausgewiesen.
- Kolke (pool): sind lokale Tiefstellen im Gewässer, die sich zumeist im Außenufer von Flusskrümmungen bzw. im Einflussbereich von Strömungshindernissen bilden und durch vergleichsweise geringe Fließgeschwindigkeiten gekennzeichnet sind.
- Rückstaubereiche (backwater): bilden sich ähnlich wie Flachwasserhabitate in Buchten oder im Strömungsschatten von Gewässerstrukturen aus. Die Fließgeschwindigkeiten werden bei der Ausweisung als sehr gering und die Wassertiefen als moderat bis hoch eingestuft. Dieser Habitattyp ist auch flussauf von Querbauwerken (Wehranlagen, Schwellen) vorhanden.
- Flachwasserhabitate (shallow water): bilden sich entlang von Sedimentbänken, in Buchten, im Strömungsschatten von Gewässerstrukturen oder generell im Bereich der Ufer aus. Kennzeichnend sind die geringen Wassertiefen und geringe bis sehr geringe Fließgeschwindigkeiten.

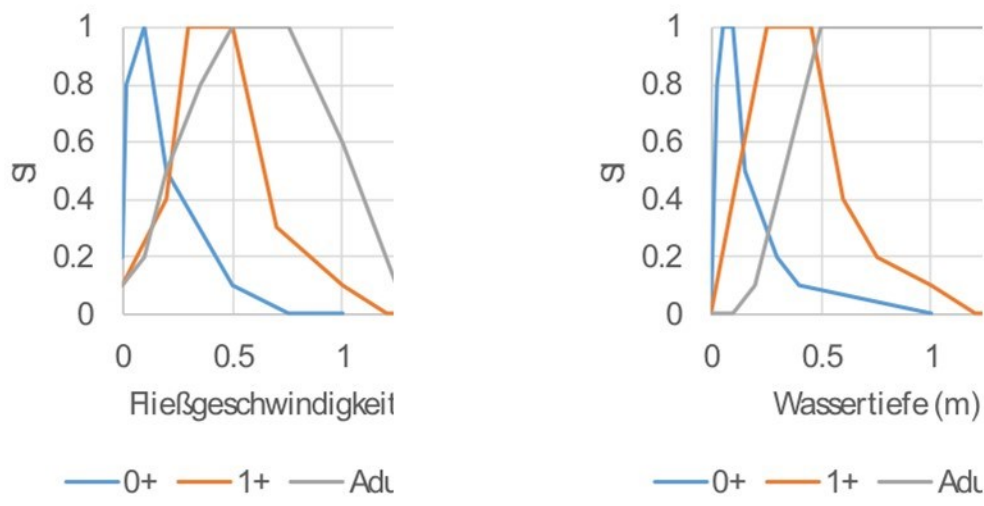
6.4.5 Mikrohabitatmodellierung

Für eine fachlich fundierte Aussage zur Bewertung der hydromorphologischen Situation am Standort Gangljodl (KW Gangljodl) war es auch notwendig, Verschneidungen der Gewässermorphologie bzw. Hydraulik mit bestimmten Zeigerorganismen durchzuführen. Nutzungskurven, als Form der standardisierten Häufigkeitsverteilung mit einem numerischen Wert zwischen 0 und 1 (Raleigh et al., 1986), wurden für die Zeigerart Bachforelle (*Salmo trutta* ff.) im Altersstadium 0+, 1+ und Adulte in das Untersuchungsdesign implementiert. Nutzungsindizes (SI) und Nutzungskurven liefern gegenüber einem singulären abiotischen Parameter (z.B. Fließgeschwindigkeit) generelle Informationen der Habitatnutzung und werden bei der Standardisierung an der häufigsten genutzten Klasse relativiert bewertet (Bovee & Cochnauer, 1977; Bozek & Rahel, 1992). Für die Untersuchungen wurde sowohl die Wassertiefe als auch die zweidimensionale-tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit mittels der multiplikativen Verknüpfung der Nutzungsindizes (Bovee, 1986, Gleichung 3) in die Mikrohabitat-evaluierung integriert.

$$SI_{total} = SI_d \cdot SI_v \quad \text{zusammengefasst} \quad SI_{total} = \prod_{i=1}^I SI_i$$

wobei: SI_d = Nutzungsindex Wassertiefe, SI_v = Nutzungsindex Fließgeschwindigkeit, SI_{total} = Nutzungsindex total, SI_i = Nutzungsindex variabel.

Abbildung 18: Standardisierte Habitatnutzung (SI) von Bachforellen (*Salmo trutta* ff.) verschiedener Altersklassen: (a) SI für 2D-tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit (ms⁻¹), (b) SI für Wassertiefe (m).



(a)

(b)

Für quantitative Aussagen der Habitatänderungen, wurde die Methode der gewichteten nutzbaren Flächen (Weighted Usable Areas, WUAs, Bovee, 1986) als Funktion von Elementanzahl und kumulativen Nutzungsindizes für jedes benetzte Element gewählt.

$$WUA = \sum_{i=1}^n HSI_i \cdot A_i$$

wobei: n = Anzahl der Modellelemente, (-), HSI_i = Habitatnutzungs-Index gesamt: $SI_{\text{Fließgeschwindigkeit}} \cdot SI_{\text{Wassertiefe}}$ (-), A_i = Fläche der einzelnen Zellen (m²).

6.5 Monitoring

6.5.1 Profilvermessung

Als Monitoringmethode wurde eine Profilvermessung gewählt, die eine lineare Vermessungsmethode darstellt, wobei hier orthogonal auf die Fließrichtung einzelne Punkte (Lage, Höhe) eingemessen werden. Mit Hilfe eines Vermessungsgerätes (GPS oder Totalstation + Reflektorstab) kann damit die Geometrie bestimmter Abschnitte und Veränderungen über die Zeit detailliert erfasst werden. Die Punktdichte (Punktzahl je Profil) wird bei dieser Methode vom Träger des GPS bzw. Reflektorstabes nach örtlichen Gegebenheiten und je nach Fragestellung bestimmt.

Für die Profilvermessungen im Maßnahmenbereich am KW Gangljodl wurden während der Maßnahmenplanung sieben Profile definiert (Abbildung 19). Diese wurden um das Profil 2a (in rot) für (i) einen regelmäßigeren Profilabstand und (ii) Informationen über mögliche Anlandungen im Bühnenfeld 2 nachträglich (vor 1. Monitorings-Vermessung) ergänzt.

Abbildung 19: Übersichtsplan mit der Lage der Querprofile (nicht maßstäblich).



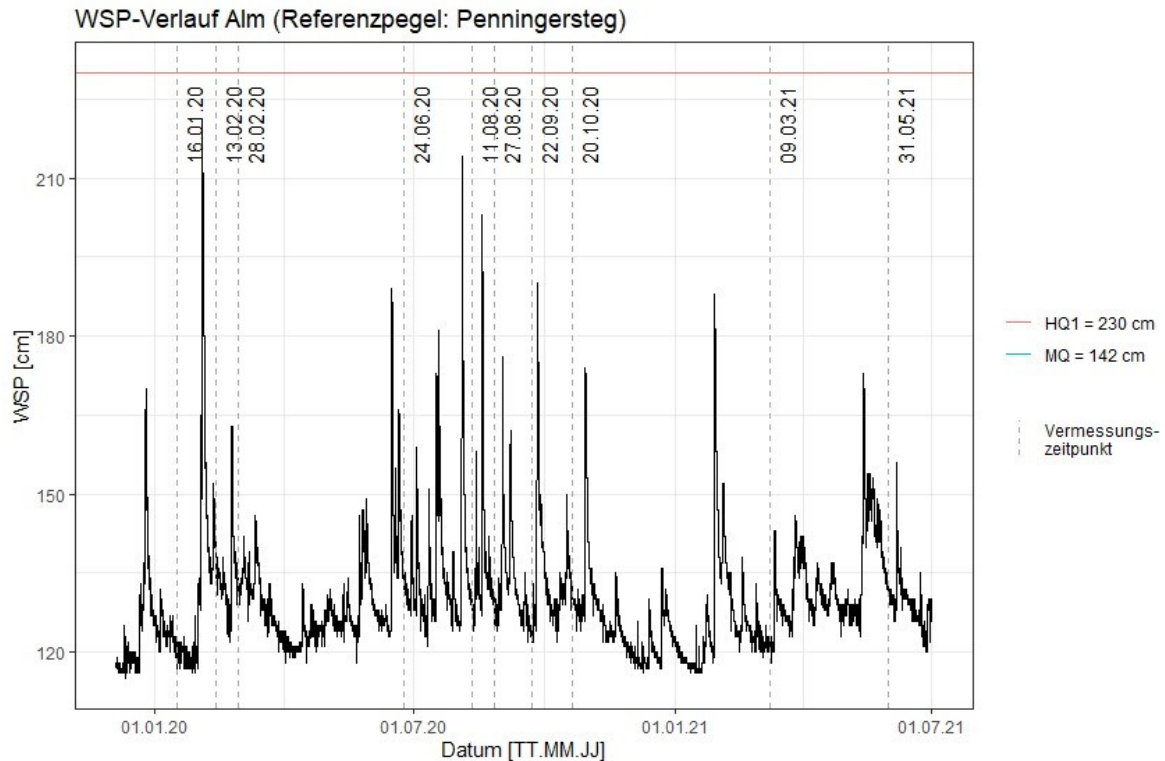
Diese acht Querprofile wurden vor der ersten Vermessung ausgepflockt, die Vermessung selbst erfolgte immer mit einer Totalstation + Reflektorstab (Typ: Leica TS07). Die Vermessungen reichen vom orographisch linken Ufer bis mindestens zur Flussachse und haben damit eine Mindestlänge von $L \geq 35$ m. Abhängig von der Wasserspiegelhöhe (WSP) wurde über die Flussachse hinaus vermessen, durchschnittlich wurden 280 Punkte pro Vermessung aufgenommen. Seit Monitoringbeginn wurden insgesamt zehn Vermessungen durchgeführt. Ein maßstabsgetreuer Lageplan (M 1:500) liegt im Anhang bei.

Ein Geschiebetransport und die damit verbundenen und zu erwartenden Veränderungen der Sohlhöhe sind ab einem Durchfluss $Q > MQ$ zu erwarten. Um diesen Vermessungszeitpunkt abschätzen zu können, diente der Pegel Penningersteg (HZB 205518) als Referenz ($MQ \triangleq WSP = 142$ cm). Tabelle 5 listet alle Ereignisse auf, in denen im Anschluss eine Vermessung durchgeführt wurde, Abbildung 20 zeigt die Ganglinie am Referenzpegel ab Beginn (12/2019) und bis zum Abschluss des Monitorings (06/2021). Nach dem Abklingen des jeweiligen Ereignisses wurden die Profile im Freiland erhoben.

Tabelle 5: Zehn HW-Ereignisse (WSP am Referenzpegel Penningersteg), nach denen eine Vermessung durchgeführt wurde ($Q > MQ \triangleq WSP = 142$ cm).

Datum HW-Ereignis	WSP [cm] (% von MQ)	Datum Vermessung
25.12.2019	170 (110 %)	16.01.2020
03.02.2020	220 (155 %)	13.02.2020
24.02.2020	163 (115 %)	28.02.2020
15.06.2020	189 (133 %)	24.06.2020
04.08.2020	213 (150 %)	11.08.2020
18.08.2020	203 (142 %)	27.08.2020
01.09.2020	176 (124 %)	22.09.2020
26.09.2020	189 (133 %)	20.10.2020
29.01.2021	188 (132 %)	09.03.2021
13.05.2021	173 (122 %)	31.05.2021

Abbildung 20: Abflussganglinie am Referenzpegel Penningersteg seit Beginn des Monitorings (12/2019); die vertikalen strichlierten Linien markieren das Vermessungsdatum (Quelle: Hydrographischer Dienst Oberösterreich).



Aufbereitet wurden diese Vermessungsdaten schließlich mit der Software AutoCAD Civil3D (Autodesk, Inc.), wo die Veränderungen der Sohlhöhe zwischen den jeweiligen Vermessungen in den entsprechenden Profilen dargestellt wurden.

6.5.2 Radiotelemetrie (RFID)

Die RFID-Methode (Radio Frequency Identification) ist eine Tracermethode, mit der unter anderem Transportweiten oder das Ablagerungsverhalten ermittelt werden können. Dafür wird ein RFID-Tag (32x4 mm) in ein Bohrloch des Natursteins eingebracht, mit Silikonkleber verschlossen und eine Datenbank (a-, b-, c-Achsen; Masse) erstellt. Die Steine können in Kleingruppen, anhand definierter Profile oder punktuell eingebracht werden. Dabei soll auf mögliche „Hiding“- und „Exposure“-Effekte geachtet und diese möglichst vermieden werden. Befindet sich bei der Detektion nun ein RFID-Tag (Stein) in dem von der Antenne aufgebauten elektromagnetischen Wechselfeld, wird dieser aktiviert und sendet somit dessen Kennung an das Auslesegerät. Die Genauigkeit einer Detektion bei der verwendeten

Antenne liegt bei ca. 0,5 m, die jedoch stark abhängig von der Lage des RFID-Tags im Stein zur Position der Antenne ist (Habersack et al., 2020).

Die für die Telemetrie verwendeten Steine wurden im Juni 2020 auf einer Schotterbank am Gleitufer flussauf des KW Gangljodl gesammelt. Die verwendeten Korngrößen bilden somit die lokal vorhandenen Fraktionen ab, wobei die kleinste Fraktion durch die Tag-Größe (min. 32x4 mm) limitiert ist. Anschließend wurden von jeder Fraktion (b-Achse) jeweils n= 40 Steine (Summe = 5*40= 200 Steine) mit einem RFID-Tag ausgestattet (Tabelle 6).

Tabelle 6: Überblick über die zugegebenen Stein-Fraktionen (b-Achse).

Fraktionen: b-Achse (Bandbreite)	Länge des RFID-Tags	Anzahl der Steine
22,4 mm (23,97–43,34 mm)	32 mm	40
31,5 mm (33,95–71,89 mm)	32 mm	40
56 mm (56,64–79,25 mm)	32 mm	40
63 mm (66,79–105,53 mm)	32 mm	40
90 mm (87,79–822,1 mm)	32 mm	40

Diese Steine wurden schließlich am 28.08.2020 entlang der definierten Profile eingebracht, wobei einige Steine bereits vor der ersten Buhne und damit vor Profil 1 zugegeben wurden. Die Position der einzelnen Steine wurde mit einem GPS-Gerät aufgezeichnet und in weiterer Folge planlich dokumentiert. Ähnlich wie bei den Profilvermessungen war vorgesehen, Detektionen nach HW-Ereignissen ($Q > MQ$ am Referenzpegel Penningersteg) durchzuführen (Tabelle 5, Abbildung 20). Hierfür wurde mit der RFID-Antenne der Stauraum abgesucht und bei einer Detektion die Position des jeweiligen Steines erneut mit einem GPS-Gerät eingemessen. Aufgrund der kaum detektierten Transportweiten nach den ersten beiden Suchen wurde beschlossen, Detektionen erst wieder bei einem Ereignis, welches deutlich den Mittelwasserabfluss übersteigt ($Q \gg MQ$), durchzuführen. Daher kam es nur zu insgesamt zwei Detektion (22.09.2020 bzw. 21.10.2020) nach der Zugabe am 28.08.2020.

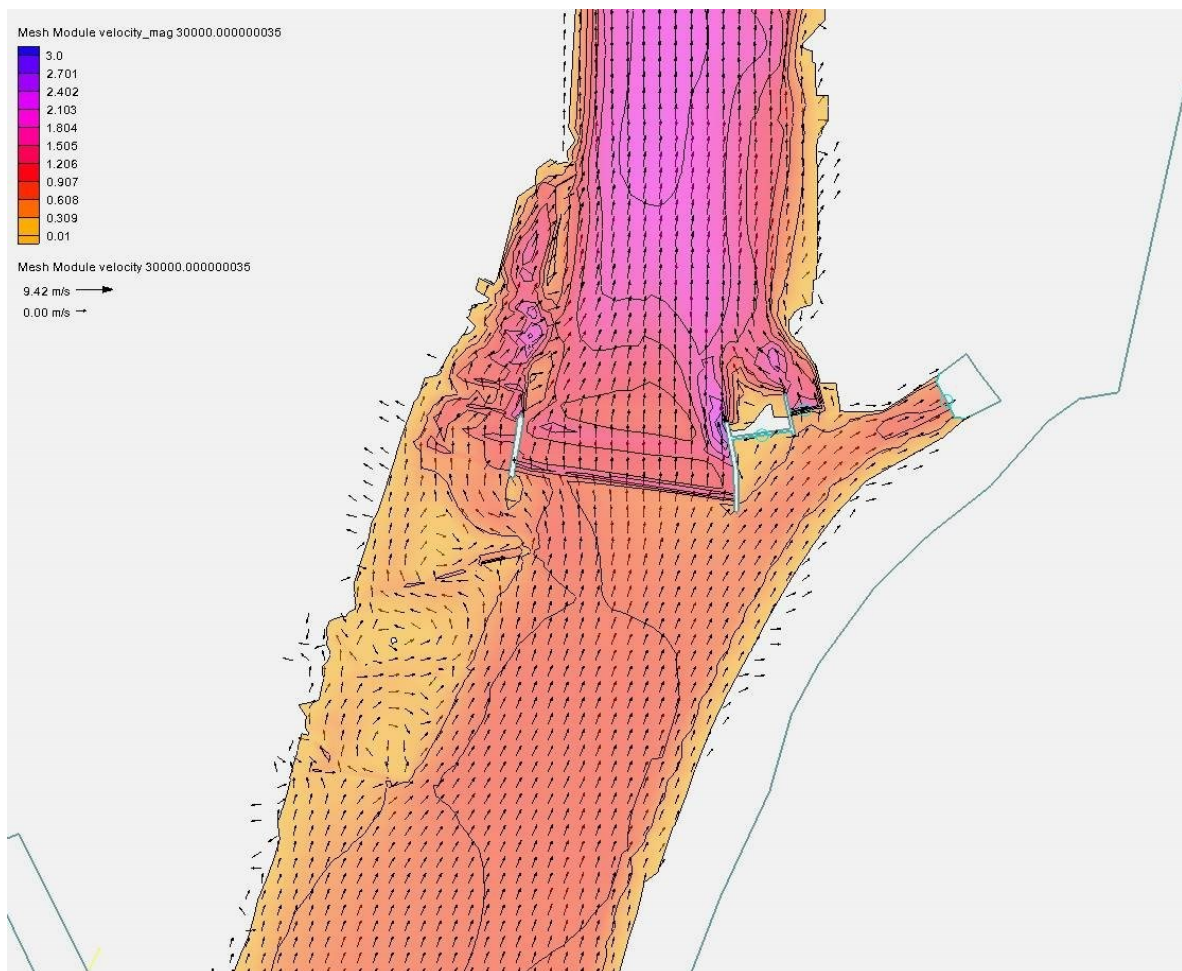
7 Ergebnisse

7.1 Hydraulische Modellierung

7.1.1 Ergebnisse der hydraulischen Modellierung

Die hydraulischen Untersuchungen zeigen die Ergebnisse der Berechnungen mit einem erhöhten Mittelwasserabfluss von $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Ausbaudurchfluss von $QA = 6 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde am Beginn des Ausleitungskanals abgezogen, weiters wurde das rechte Schütz, an dem auch die Restwasserturbine angeschlossen ist, dotiert. Das Wehr selbst wird überströmt, auch die Organismenwanderhilfe wird dotiert.

Abbildung 21: Fließgeschwindigkeiten und Fließvektoren im Planzustand bei $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$



Zu erkennen ist, dass im Stauraum Fließgeschwindigkeiten von bis zu 1 m/s auftreten (siehe Abbildung 21). Bei Darstellung der Werte bis zu einem Grenzwert von 1 m/s ist im Maßnahmenbereich deutlich die strukturierte Geschwindigkeitsverteilung zu sehen (siehe Abbildung 22). An den Köpfen der Pfahlreihen bilden hohe Geschwindigkeiten eine Strömung, die nach der letzten Pfahlreihe in Richtung Organismenwanderhilfe geleitet wird. Zwischen den Pfahlreihen finden sich sowohl Bereiche mit niedrigeren Geschwindigkeiten (Kehrströmungen), als auch höhere Geschwindigkeiten direkt an den Pfahlreihen.

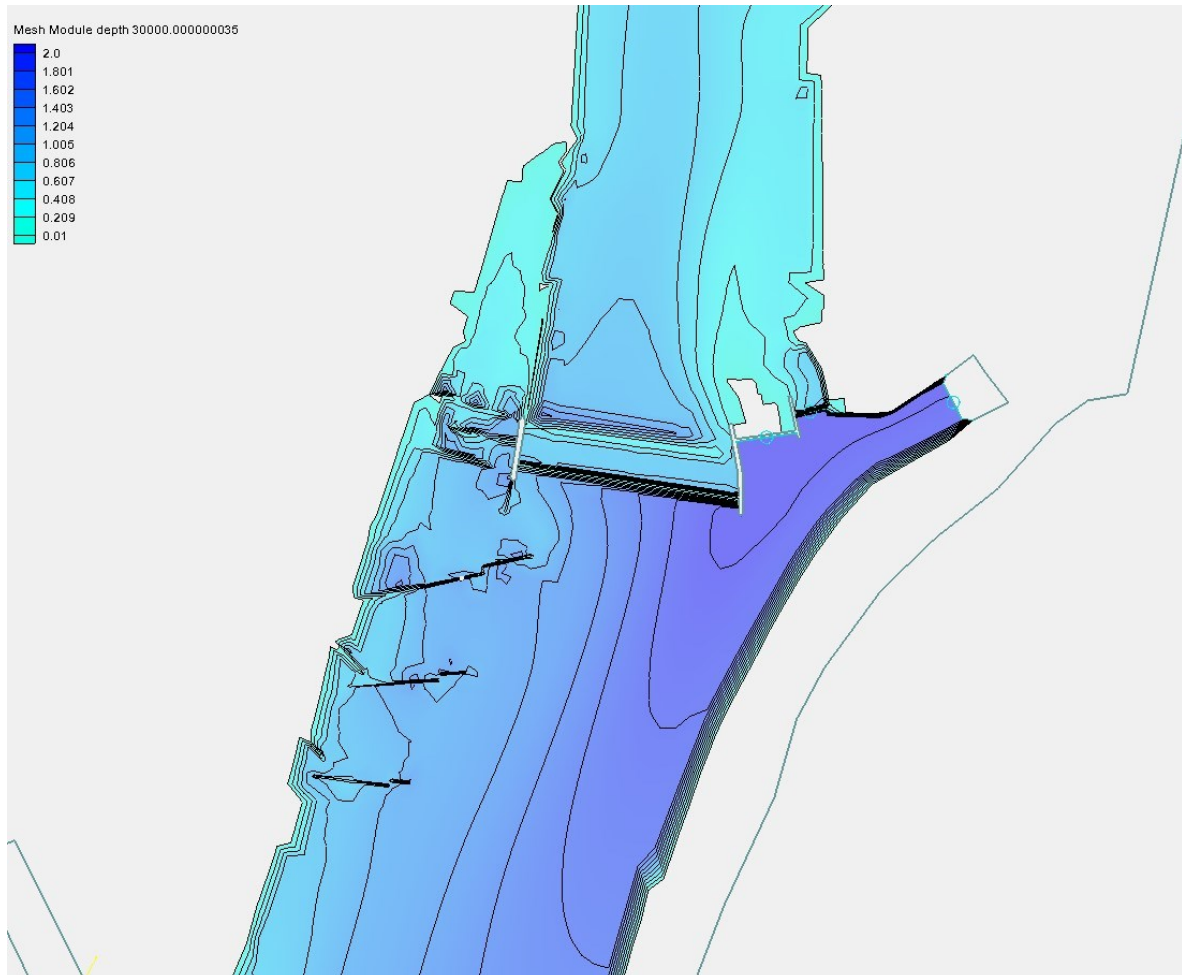
Abbildung 22: Fließgeschwindigkeiten bis 1 m/s und Fließvektoren im Planzustand bei $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$



Die Darstellung der Wassertiefen in Abbildung 23 zeigt eine Überströmung der Buhnen (die als Niedrigwasserstrukturen ausgebildet sind) von etwa einem halben Meter. Deutlich ist auch die Durchströmung der Becken der Organismenwanderhilfe zu sehen. Auch die

Zuströmung zur Organismenwanderhilfe ist klar erkennbar. Im Uferbereich sind die Fließgeschwindigkeiten niedrig genug, um keine Ufererosion auszulösen.

Abbildung 23: Wassertiefen im Planzustand bei $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$



7.2 Morphologische Modellierung

7.2.1 Ergebnisse der morphologischen Modellierung

Mit einer morphologischen Modellierung können Feststofftransportprozesse berechnet und dargestellt werden. Die Ergebnisse der morphologischen Modellierung werden als geometrische Veränderungen dargestellt, aus denen Erosions- und Sedimentationsbereiche bestimmt werden können.

Die dargestellten Ergebnisse sind die Veränderung nach mehreren Rechenläufen mit unterschiedlichen Durchflüssen, um den Jahresgang im Abflussverhalten abzubilden. Dazu wurden anhand der Überschreitungsdauerlinie ein Abflussregime herausgearbeitet, anhand dessen die Modellierungen durchgeführt wurden.

Mit Hilfe von errechneten Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten bei bestimmten Durchflüssen aus der Dauerlinie am Gangljodlwehr konnten potenzielle Jahresfrachten für verschiedene Transportformeln abgeschätzt werden. Die Jahresfrachten des Geschiebes wurden anschließend auf die Jahresfracht des Abflusses (Dauerlinie) bezogen, jedem Abfluss der Dauerlinie (Q in m^3/s) wurde ein Geschiebetransport (Q_{sed} in m^3/s) zugeordnet. In dem vom Gewässerbezirk Gmunden zur Verfügung gestellten Bericht wird am Projektstandort eine jährliche Geschiebefracht von $20.000 \text{ m}^3/\text{a}$ ausgewiesen. Dieser Wert wird in Folge als Eingangsgröße verwendet. Zu jedem Durchfluss Q aus der Dauerlinie wird (gegebenenfalls durch Extrapolation) ein Spitzenwert für Q_{sed} gesucht. Im nächsten Schritt wird eine Geschiebewelle erstellt, die die gleiche Form wie die zugehörige Durchflusswelle aufweist (Skalierung) (Friedl, 2019). Nachfolgend sind Ergebnisse der morphologischen Modellierung für HQ1 dargestellt (aus Friedl, 2019):

Abbildung 24: Sedimentation / Erosion HQ1 bei Abflussspitze mit LZA 26, aktuell (a) und mit Maßnahmen (b), Angaben in m) aus Geschiebemodellierung

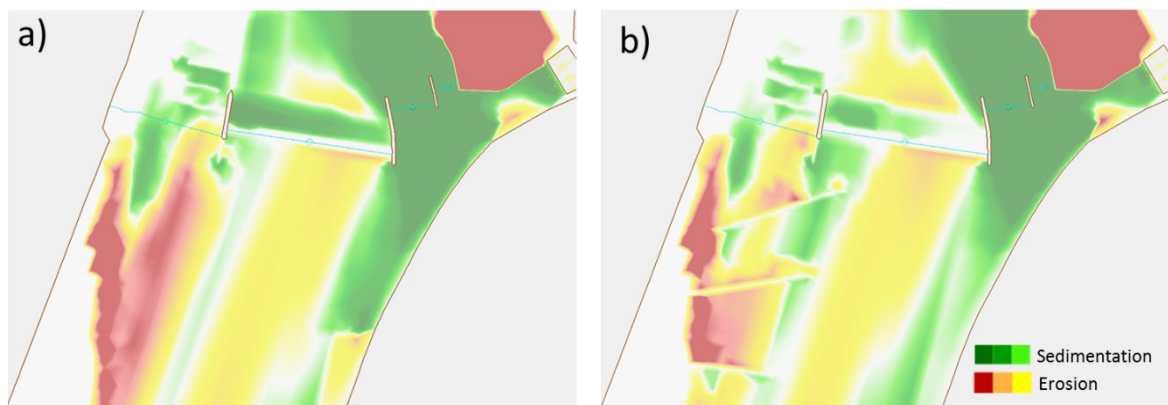
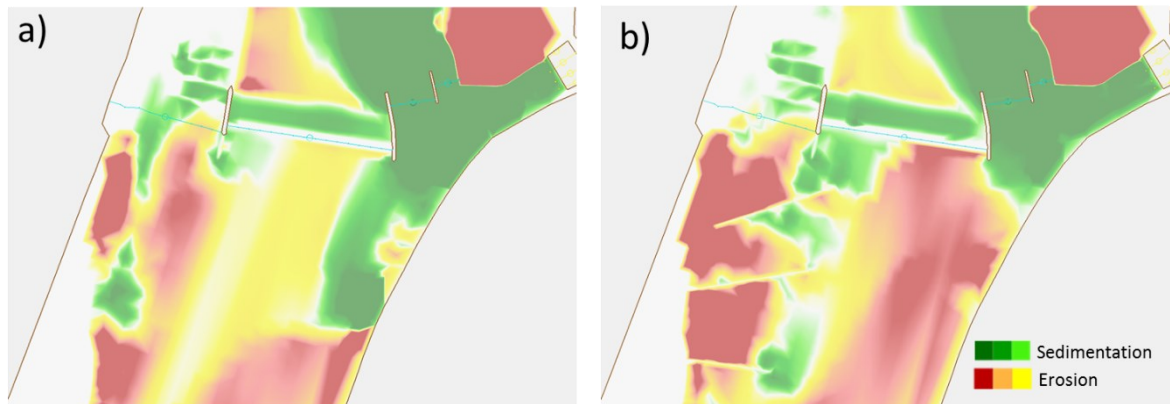
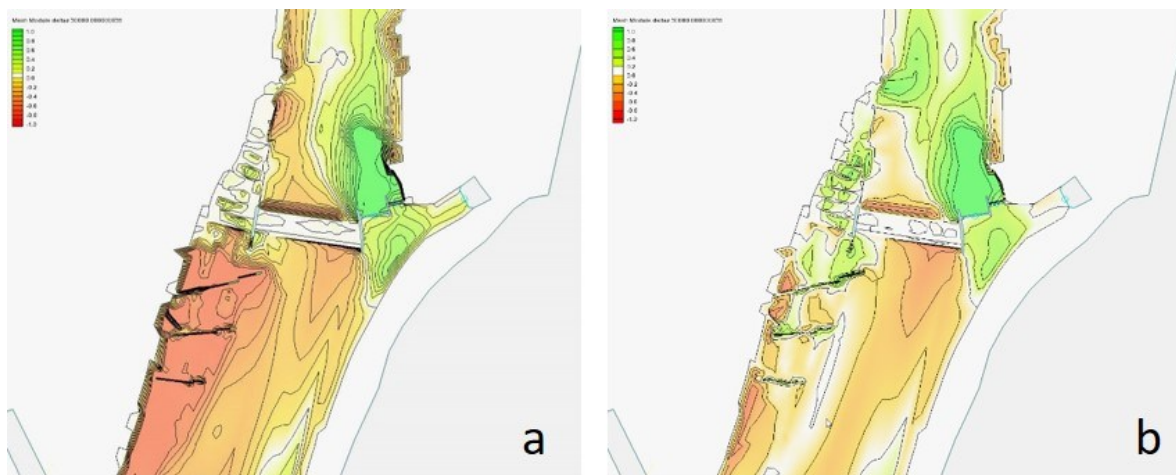


Abbildung 25: Sedimentation / Erosion rot Sedimentation / Erosion HQ1 nach dem Ereignis mit LZA 26, aktuell (a) und mit Maßnahmen (b) aus Geschiebemodellierung, Angaben in m.



In den Modellierungsergebnissen ist eine klare Tendenz zur Erosion in den Bereichen zwischen den Pfahlreihen zu sehen. Ebenso wird Geschiebe im Oberwasserbereich der Organismenwanderhilfe abgetragen. Die Anlandung vor der Ausleitung in den Werkskanal rechtsufrig war und ist auch in der Natur zu beobachten. Gut zu erkennen ist die Ausbildung der charakteristischen Sedimentfächer im Bereich der Pfahlreihen-Köpfe.

Abbildung 26: Höhenänderung Δz in m im Planzustand bei $Q = 30 \text{ m}^2/\text{s}$, $d_m = 20 \text{ mm}$ (a) und $d_m = 67,8 \text{ mm}$ (b)



7.3 Habitatmodellierung

Die Ergebnisse der Habitatmodellierung sind gemäß den gesetzten Arbeitsschritten in drei Teile gegliedert. Am Beginn werden die Ergebnisse der Korngrößenerhebung in der Restwasserstrecke ökohydraulisch beschrieben, gefolgt von der allgemeinen hydraulischen Charakterisierung der Lebensraumverhältnisse, bevor diese für die ausgewählte Leitart und unterschiedliche Altersstadien ökohydraulische evaluiert wird.

7.3.1 Korngrößenanalysen

Im Unterschied zu den für die Beantwortung der morphodynamisch relevanten Bearbeitungsschritte mittels einer allgemeinen Beschreibung charakteristischer Deck- und Unterschichten war die Korngrößenanalyse in Bezug auf die Beantwortung ökohydraulischer Fragen mit anderen Schwerpunkten versehen. Es war hier das Ziel die sedimentologischen Randbedingungen für eine mögliche Habitatnutzung zu charakterisieren (z.B. Vorhandensein von geeignetem Laichkies). Unterteilt wurden auch bei diesen Untersuchungen der vertikale Aufbau der Sohle getrennt in Deckschicht und Unterschicht. Ein Vorhandensein dieser beiden sohlbeschreibenden Komponenten lässt darauf schließen, dass durch die Einwirkung des selektiven Transports über längere Zeiträume im Jahr semi-stabile Verhältnisse bestehen, was wiederum die Lebensraumsituation für Makrozoobenthosorganismen begünstigt (vgl. Literatur). Im Detail zeigten die Deckschichtanalysen eine heterogene Korngrößenverteilung mit mittleren Korngrößen (d_{50}) zwischen 15,5 mm und 71,6 mm. Für die charakteristische Korngröße d_{90} können Minimalwerte bei der Probe G3LD (Deckschicht Probe 3, orografisch links) mit $D = 37,7$ mm und Maximalwerte bei der Probe G2LD (Deckschicht Probe 2, orografisch links) mit $D = 141,8$ mm festgestellt werden (Abbildung 27 und Abbildung 28).

Abbildung 27: Ergebnis der Korngrößenanalyse für Deckschicht orografisch links und rechts. Die volumetrischen Proben G1 bis G4 wurden unterhalb der Wehranlage entnommen; G5 und G6 oberhalb.

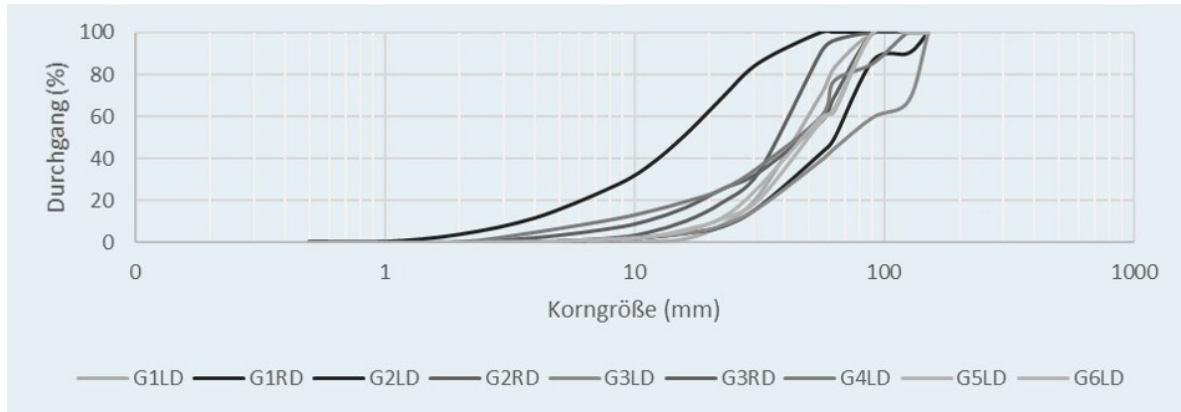
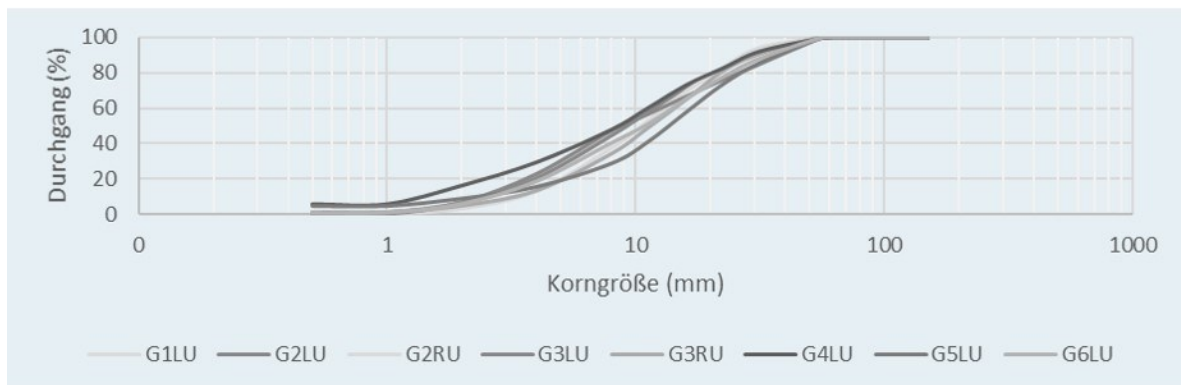


Abbildung 28: Ergebnis der Korngrößenanalyse der Unterschicht (orografisch links und rechts). Die volumetrischen Proben G1 bis G4 wurden unterhalb der Wehranlage entnommen; G5 und G6 oberhalb.



Die Unterschicht zeigt eine homogenere Verteilung der Korngrößen auf. Die mittlere Korngröße (d_{50}) der Proben liegt zwischen 8,4 mm (G4LU: Unterschicht Probe 4, orografisch links) und 13,6 mm (G5LU: Unterschicht Probe 5, orografisch links). Der charakteristische Korndurchmesser d_{90} ist etwas größer und beträgt zwischen 28,9 mm (G4LU) und 37,5 mm (G5LU). In Summe liegen alle entnommenen Proben ($n = 26$) der Deckschicht in den Mittelkies- und Grobkiesfraktionen, jene der Unterschicht in den Fein- bis Mittelkiesfraktionen. Dies bedeutet, dass sowohl auf Grund der vorhandenen Korngrößen (bei günstigen sohnahen Fließgeschwindigkeiten) für Fische (potenzielles Ablachen) als auch auf Grund der Sedimentdynamik (semi-stabile Verhältnisse) für Makrozoobenthos der Bioregion entsprechende Randbedingungen bestehen.

7.3.2 Hydrodynamisch-numerische 2D-Modellierung

Als Grundlage für weiterführende ökohydraulische Interpretationen werden wie folgt die abiotischen Ergebnisse der hydrodynamisch-numerischen Modellierung präsentiert. Abbildung 29 zeigt die Fließgeschwindigkeitsverteilung für die Strecke flussab der untersuchten Wehranlage zwischen $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ und $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Lokal treten bei $1 \text{ m}^3/\text{s}$ Fließgeschwindigkeiten von $0,9 \text{ m/s}$ auf, überwiegend können aber Fließgeschwindigkeiten kleiner $0,4 \text{ m/s}$ verzeichnet werden. Die Geschwindigkeiten nehmen mit dem Durchfluss zu und erreichen bei einem Durchfluss von $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ Maximalwerte von $1,1 \text{ m/s}$. Bei einem Durchfluss von $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ betragen die höchsten Fließgeschwindigkeiten flussab der Wehranlage $2,3 \text{ m/s}$. Die mittleren Fließgeschwindigkeiten betragen bei diesem Durchfluss $0,6 \text{ m/s}$ bis $0,9 \text{ m/s}$.

Abbildung 29: Fließgeschwindigkeitsverteilung für die Durchflüsse $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

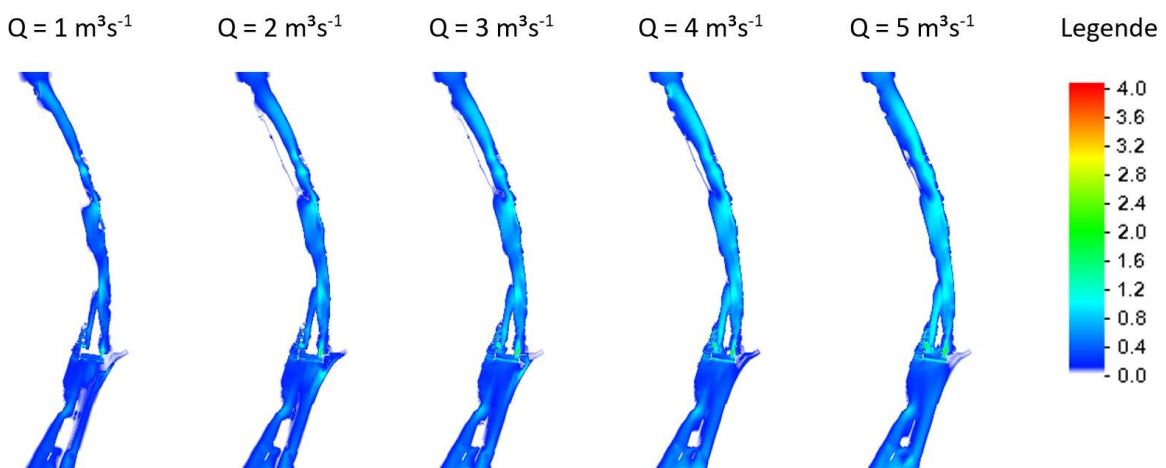
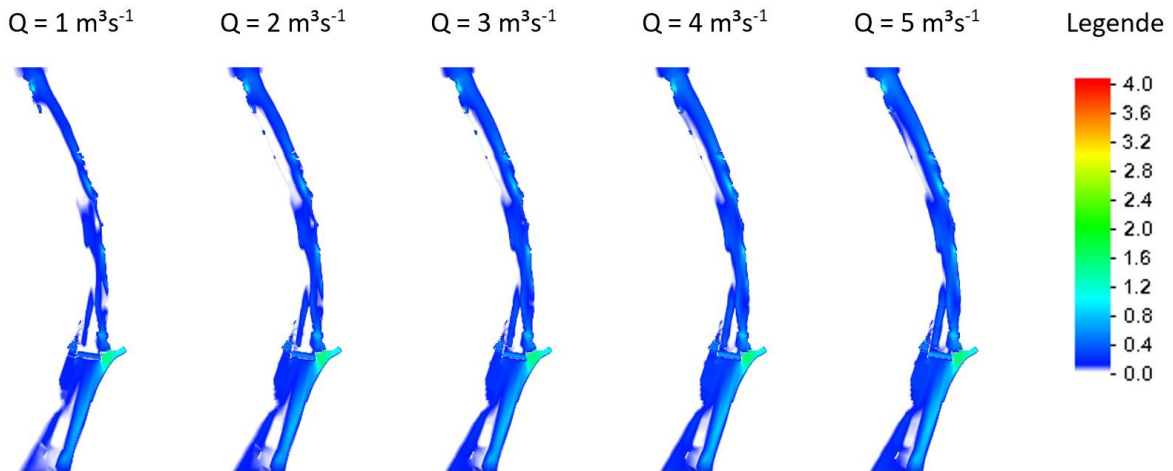


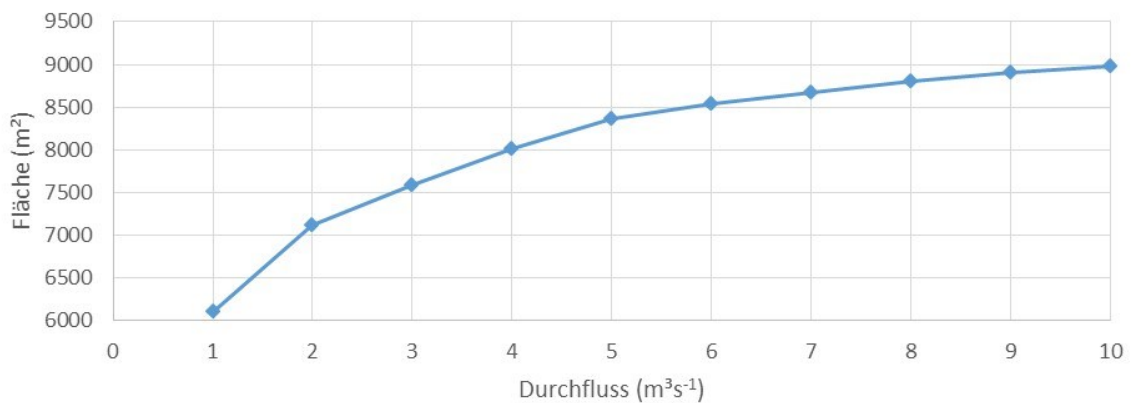
Abbildung 30 zeigt die Wassertiefenverteilung für Durchflüsse von $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Berechnet wurden Wassertiefen von $0,3 \text{ m}$ unterhalb der Wehranlage für den Durchfluss von $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Diese nehmen mit dem Durchfluss zu und erreichen bei einem Durchfluss von $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ lokal maximal $0,5 \text{ m}$. Bei $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ erreichen die Wassertiefen lokal bis zu $0,8 \text{ m}$.

Abbildung 30: Wassertiefen für die Durchflüsse 1 m³/s bis 5 m³/s.



Die Auswertung der benetzten Fläche in Abhängigkeit des Durchflusses (Abbildung 31) zeigt einen nicht-linearen Zusammenhang. Zu erkennen ist insbesondere, dass bis 5 m³/s die benetzte Fläche deutlich stärker zunimmt als bei Abflüssen größer 5 m³/s. Es wurde bewusst der Bereich außerhalb der bestehenden Restwasservorschriftung verwendet, um die hydromorphologischen Gegebenheiten bei Überwasser zu skizzieren.

Abbildung 31: Benetzte Fläche in Relation zum berechneten Durchfluss.



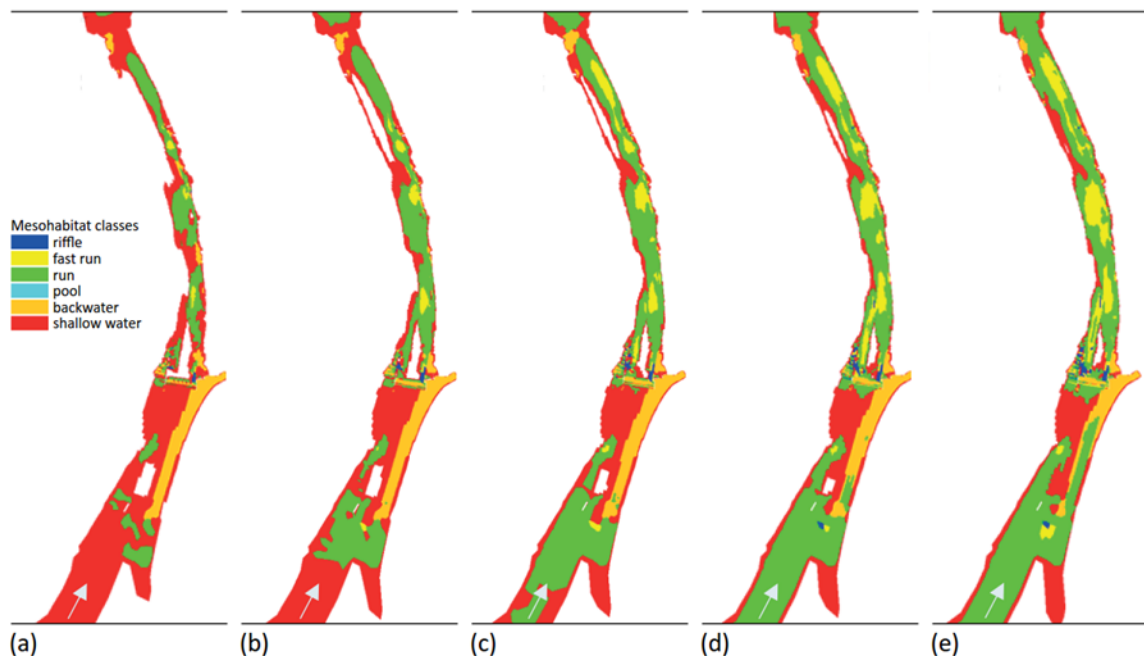
Die Ergebnisse dieser allgemeinen Charakterisierung der Abflussverhältnisse ermöglichen auch unabhängig vom gewählten methodischen Ansatz der Habitatevaluierung eine Beschreibung bzw. auch Unterscheidung der Teilbereiche rund um das KW Gangljodl. Einerseits ist der Stau einfluss flussauf der Wehr- und Fischaufstiegsanlage offensichtlich,

andererseits zeigt die Unterwasserstrecke heterogene Verteilungen von Fließ- und Wassertiefenverteilungen.

7.3.3 Habitatevaluierung

In der Abbildung 32 sind die Ergebnisse der Habitatmodellierung für die Durchflüsse 1,0 m³/s bis 5,0 m³/s bzw. 1,0 m³/s bis 10,0 m³/s dargestellt. Es wurden beide Varianten der Habitatmodellierung (Mesohabitat- und Mikrohabitatanalyse) für die Ergebnisdarstellung verwendet. Die Ergebnisse der Mesohabitatmodellierung zeigen eine heterogene Verteilung der hydromorphologischen Einheiten, welche nur gering in ihrer Flächenausdehnung für den analysierten Abflussbereich variieren (Abbildung 32). Dies ist auf die in der Projektstrecke vorhandenen gewässermorphologischen Strukturen zurückzuführen, welche über den gesamten analysierten Durchflussbereich hydraulisch wirksam sind.

Abbildung 32: Verteilung der Mesohabitate im Untersuchungsgebiet bei (a) 1 m³/s, (b) 2 m³/s, (c) 3 m³/s, (d) 4 m³/s, und (e) 5 m³/s.



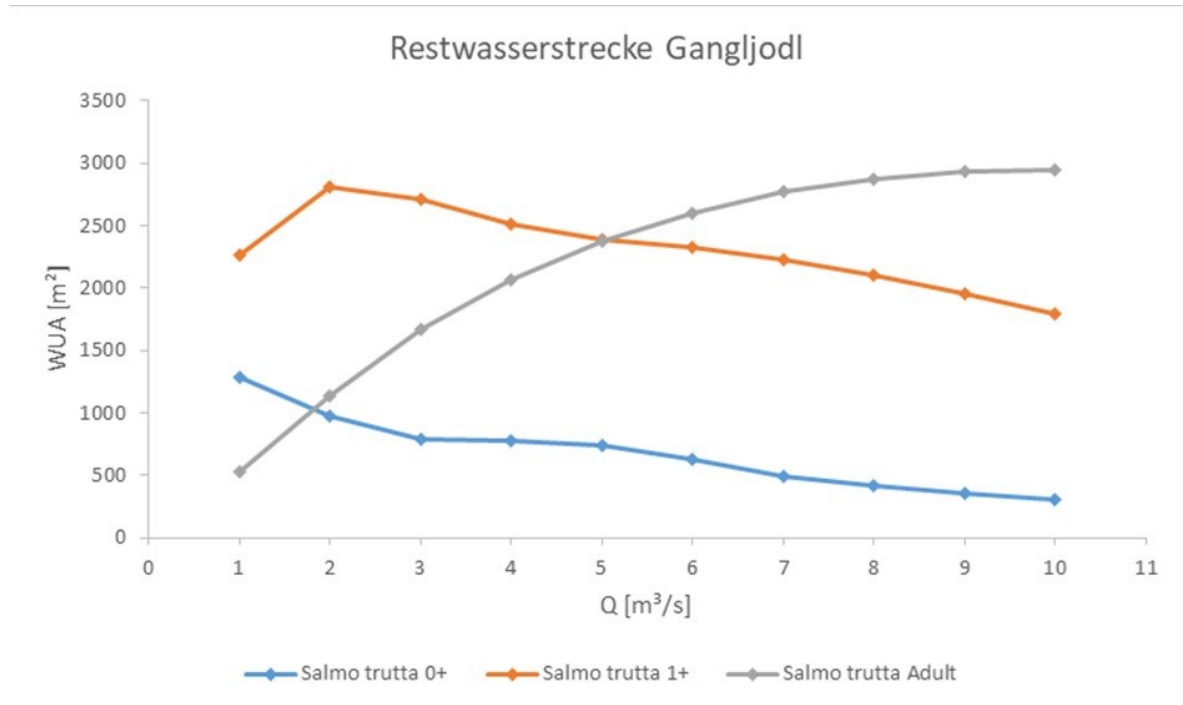
Von den unterschiedlichen Habittypen dominieren Flachwasserhabitate (Shallow water areas) bei 1,0 m³/s. Diese sind vor allem für Larven und Juvenilstadien von Bedeutung. Bei 2,0 m³/s kommt es bereits zu einer quantitativ heterogeneren Verteilung der einzelnen hydromorphologischen Einheiten vor allem im Staubereich flussauf der Anlage. Flussab

kommt es hier zu keinen wesentlichen Veränderungen. Im Staubereich sieht man eine deutliche Zunahme des Habitattyps „Rinner“. Ein interessantes Detail dieser Analysen ist, dass zwischen 2,0 m³/s und 5,0 m³/s einige Habitattypen wie die Flachwasserbereiche in ihrer Verfügbarkeit konstant bleiben. Dies gilt auch für den Habitattyp „Rinner“, der in einigen Teilbereichen durch den größeren hydraulischen Radius sich hin zu einer Ausprägung eines „Schnellen Rinner“ – Typs entwickelt. Das Fehlen von Furten und Kolken ist einerseits auf die Kürze des untersuchten Abschnitts zurückzuführen aber auch andererseits auf die laterale Regulierung des Gewässers und der dadurch bestehenden Unterbindung der eigendynamischen Entwicklung. Für die restlichen hydromorphologischen Einheiten (n = 4) zeigt sich eine nur geringfügige Variation mit steigendem Durchfluss, welche durchaus auf eine gewisse morphologische Qualität des Untersuchungsbereichs hinweist.

Ähnliche Ergebnisse konnten durch die Mikrohabitatmodellierung für die Leitfischart Bachforelle (*Salmo trutta* ff.) erzielt werden. Auch hier zeigt sich für alle Alterstadien eine theoretische Grundverfügbarkeit an Habitat unabhängig des Durchflusses. Geringfügig nimmt die Habitatverfügbarkeit für 1+ und adulte Bachforellen mit einer Steigerung des Abflusses (Überwasser) von 1,0 m³/s auf 2,0 m³/s zu (Abbildung 33). Bei einer weiteren Erhöhung des Durchflusses von 2,0 m³/s auf 3,0 m³/s kommt es zu unterschiedlichen Entwicklungen in der theoretischen Habitatverfügbarkeit. Adultfischhabitate nehmen für diese Steigerung des Durchflusses weiterhin zu, hingegen kommt es bei den 1+ Fischen zu einer Stagnation in der verfügbaren Fläche bzw. einer leichten Abnahme. Für 0+ Fische ist die Entwicklung gegenläufig zu der Entwicklung der Durchfluss / Habitatflächenbeziehung.

Abbildung 33 zeigt Ergebnisse der Mikrohabitatmodellierung für die Leitfischart Bachforelle (*Salmo trutta* ff.) in Bezug auf die Zunahme der theoretisch nutzbaren Flächen mit Steigerung des Durchflusses von 1 m³/s auf 10 m³/s, dargestellt für die Altersstadien 0+, 1+ und adulte Fische; die Ergebnisse zeigen eine kumulative Bewertung der Stau- und Restwasserstrecke rund um das KW Gangljodl.

Abbildung 33: Ergebnisse der Mikrohabitatmodellierung für die Leitfischart Bachforelle (*Salmo trutta* ff.) in Bezug auf die Zunahme der theoretisch nutzbaren Flächen mit Steigerung der Durchflusses von 1 m³/s auf 10 m³/s



7.3.4 Ergebnisse der Habitatmodellierung

Zusammengefasst können die Erkenntnisse aus der Habitatmodellierung wie folgt beschrieben werden. Die sedimentologischen Charakteristika besitzen auf Grund der Kornzusammensetzung und von der vertikalen Schichtung abgeleiteten dynamischen Verhältnissen geeignete Verhältnisse, um die bioregionsspezifische Verteilung von Organismen (Makrozoobenthos, Fische) zu fördern. Die hydromorphologische Komponente der Habitatbewertung zeigt jedoch Defizite hinsichtlich einer dem Gewässertyp entsprechenden Ausprägung von Kolk-Furt Sequenzen. Dies ist auf die allgemeinen Einflüsse der Begradigung des Alm-Flusses zurückzuführen. Auf Grund der fehlenden Strömungsheterogenität im Hochwasserfall bildet der durchaus als mobil zu bezeichnende Kieskörper keine nennenswerten Hoch- und Tiefpunkte im Längsprofil aus. Dieses Defizit wurde auch auf Mikrohabitatebene festgehalten und ist sicherlich als allgemeines Defizit in weiten Teilstrecken der Alm in der Form eines ausgeprägten „Flachbett-typs“ gegeben (vgl. Montgomery & Buffington, 1997; Hauer et al., 2013).

Mit der durchgeführten Habitatmodellierung wurde der Ist-Zustand vor Umsetzung der Baumaßnahmen bewertet. Durch den Einbau der Buhnen waren aber auch durchaus

Auswirkungen auf die Variabilität der Sohle im Stauraum zu erwarten, welche das Defizit lokaler Tiefstellen mitunter kleinräumig durch Auskolkungen reduzieren könnte. Für die Bauumsetzung hat diese Bestandsaufnahme der abiotischen Verhältnisse mit Fokus auf die theoretische Habitateignung dadurch eine weiterführende beschreibende Komponente (Ist-Bestand, Defizitanalyse, Maßnahmenbewertung in Bezug auf die Hydromorphologie).

8 Baumsetzung

8.1 Erwirken der wasserrechtlichen Bewilligung

Für die Durchführung des Naturversuchs am KW Gangljodl war die Einholung einer wasserrechtlichen Bewilligung notwendig. Daher wurde nach Festlegung des Forschungsdesigns mit der Erarbeitung der wasserrechtlichen Einreichunterlagen begonnen.

Im Zuge der ersten Kontakte mit der Behörde wurde festgestellt, dass die bestehende rechtliche Situation beim Kraftwerk mit mehreren Bescheiden geregelt ist, die allesamt das gegenständliche Projekt beeinflussen. Die Aushebung der Bescheide erfolgte über die für die Bewilligung zuständigen Sachverständigen der Oberösterreichischen Landesregierung.

Die derzeit geltenden Bescheide betreffen das KW Gangljodl in Bezug auf die Entnahmemenge, die vorgeschriebene Restwassermenge sowie die Restwasserdotations der Alm unterhalb des Kraftwerks.

Die lt. Bescheid abzugebende Restwassermenge QR betrug $QR = 1090 \text{ l/s}$ und war ganzjährig über die linksufrige befindliche Fischrampe abzugeben. Da aufgrund der topografisch ungünstigen Lage am linken Ufer die Fischrampe in ihrer Funktion stark eingeschränkt war, wurde im Jahr 2010 die Errichtung eines Fischaufstieges rechtsufrig per Bescheid bewilligt. Die geplante Errichtung eines Vertical Slot Passes wurde aufgrund der Möglichkeiten des hier vorgestellten Naturversuchs ausgesetzt, um zunächst mit dem Konzept der Geschiebeabweiser die Funktionsfähigkeit der bestehenden Organismenwanderhilfe wiederherzustellen.

Diese Ausgangslage erforderte vor der eigentlichen wasserrechtlichen Einreichung des gegenständlichen Projektes zuerst die Klärung der Rechtslage. Der erste Schritt betraf die vorläufige Verlängerung der Bauvollendungsfrist des Vertical Slot Passes, diese wurde im Jänner 2019 erteilt. Nach dieser Bewilligung konnte die Einreichung für das Forschungsprojekt vorbereitet werden.

Zur Einreichung wurden die vorgesehenen Untersuchungsdesigns, die schon im Forschungsförderungsansuchen präsentiert wurden, selektiert, präzisiert und modellhaft untersucht. Die Einreichunterlagen wurden im Februar 2019 übermittelt. Nach Prüfung der

Behörde und der Sachverständigen und der wasserrechtlichen Verhandlung wurde das Vorhaben am 20. August 2019 wasserrechtlich bewilligt.

Für die wasserrechtliche Bewilligung wurde eine Änderung der Restwasserabgabe von 650 l/s ganzjährig über die linksufrig gelegene Organismenwanderhilfe, der Rest über die rechtsufrig gelegene Restwasserturbine festgelegt.

8.2 Bauumsetzung

Die bauliche Umsetzung der Maßnahmen erfolgte im Oktober 2019. Bereits vorher wurden nach der erfolgten wasserrechtlichen Bewilligung Ausführungsunterlagen sowie Massen- und Kostenschätzungen gefertigt und Kostenangebote eingeholt. Der Start der Bauarbeiten erfolgte am 1. Oktober 2019 durch eine ortsansässige Firma. Dazu wurde zuerst ein Damm am Rand des Maßnahmenfeldes hin zum Sporn der Wehranlage geschüttet, um die Organismenwanderhilfe und das Baufeld trocken zu legen. Dies erfolgte unter Aufsicht der behördlich bestellten biologischen Bauaufsicht. Die Organismenwanderhilfe wurde abgegangen und Fische und andere Organismen entnommen und in die Alm versetzt. Anschließend wurden die Bühnen, bestehend aus Wasserbausteinen, und die daran anschließenden Pfahlreihen gesetzt. Die Pfahlreihen bestehen aus etwa 5 m langen Lärchenpfählen mit einem Durchmesser von etwa 20 cm, entrindet und an einem Ende angespitzt (siehe Abbildung 34). Die Pfähle wurden bei einem lokalen Sägewerk eingekauft. Die Herstellung der Pfahlreihen erfolgte mittels eines Baggers mit Pilotenschlagwerk, die Piloten wurden Mann-an-Mann eingerammt (siehe Abbildung 35 und Abbildung 36). Voraussetzung für die Herstellung der Geschiebeleitelemente aus Holzpiloten, wie sie im hier vorgestellten Versuch verwendet wurden, ist das Vorhandensein eines geeigneten Untergrundes (zum Beispiel Kies).

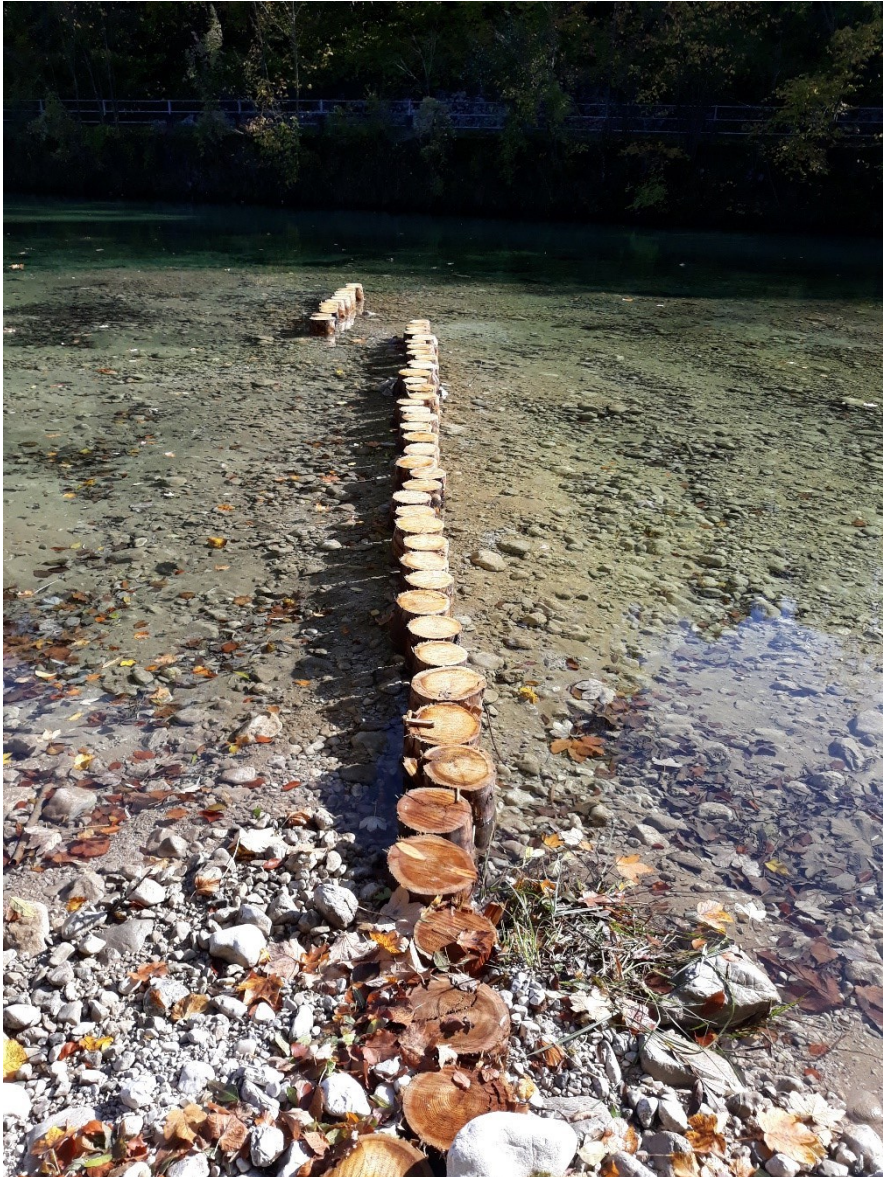
Abbildung 34: Piloten für Pfahlreihen.



Abbildung 35: Fertiggestellte Pfahlreihe mit Wanderkorridor.



Abbildung 36: Fertiggestellte Pfahlreihe mit Wanderkorridor, Detailansicht.



8.3 Durchflussmessung

Zur Erfüllung der wasserrechtlichen Auflage, dass der Durchfluss in der Organismenwanderhilfe bescheidgemäß abgeführt wird, wurde eine Durchflussmessung durchgeführt, und eine entsprechende Markierung im ersten Becken der Organismenwanderhilfe angebracht.

Die Durchflussmessung in der OWH erfolgte mittels Salzverdünnungsmethode. Bei dieser Methode wird Salz an einem bestimmten Punkt zugegeben und die Leitfähigkeit nach einer

definierten Durchmischungsstrecke (20 – 50 x mittlere Gerinnebreite) mittels Messsonde(n) gemessen. Dieser Abschnitt wurde so gewählt, dass eine vollständige Durchmischung gewährleistet war.

Der Durchfluss wurde vorab auf ca. $Q > 500$ l/s geschätzt und basierend auf dem Richtwert ca. 3 kg (genau: $M = 3059$ g) Salzmasse am Einstieg der OWH, aufgelöst in einem Eimer, zugegeben. Die Leitfähigkeit wurde mit einer Vor- und Nachlaufzeit von 1 min nach einer Fließlänge von ca. 55 m aufgezeichnet (Messintervall $s = 5$ s). Die Grundleitfähigkeit wurde vor der Durchflussmessung gesondert bestimmt. Nach einer zweiten Messung (Validierung) wurde der Wasserspiegel (WSP) des gemessenen Durchflusses im obersten (ersten) Becken der OWH markiert.

Der für die Berechnung des Durchflusses anhand der Salzverdünnungsmethode notwendige Eichfaktor errechnet sich aus einer Regressionsgeraden. Ausgehend von der Grundleitfähigkeit (274 mS /cm) ergibt sich diese durch die Zugabe von Eichlösung in Schritten von 2 ml (Abbildung 37). Abbildung 38 zeigt die Durchgangskurve der gemessenen Leitfähigkeit an der OWH am 31.05.2021.

Abbildung 37: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Eichkoeffizienten für die Salzverdünnungsmethode.

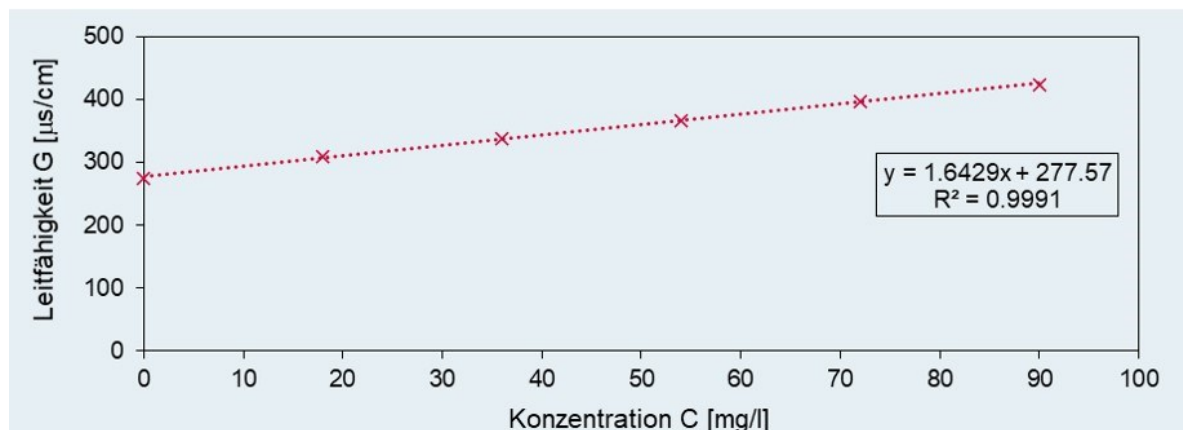
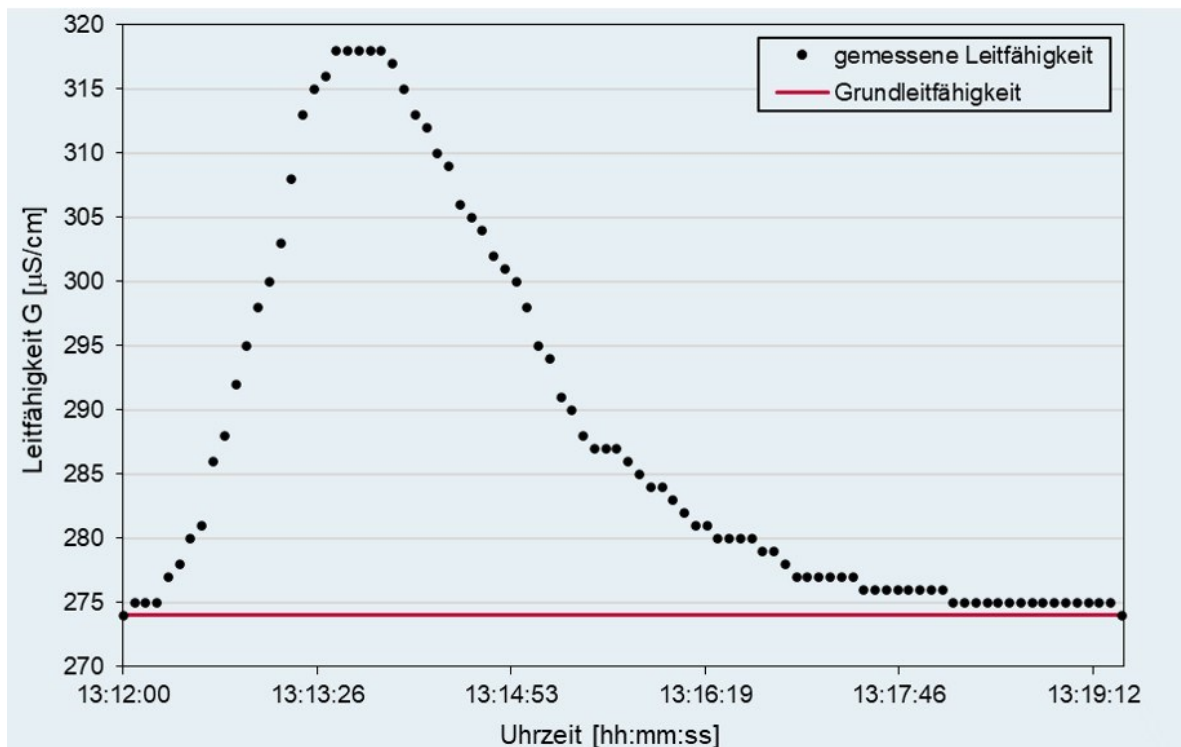


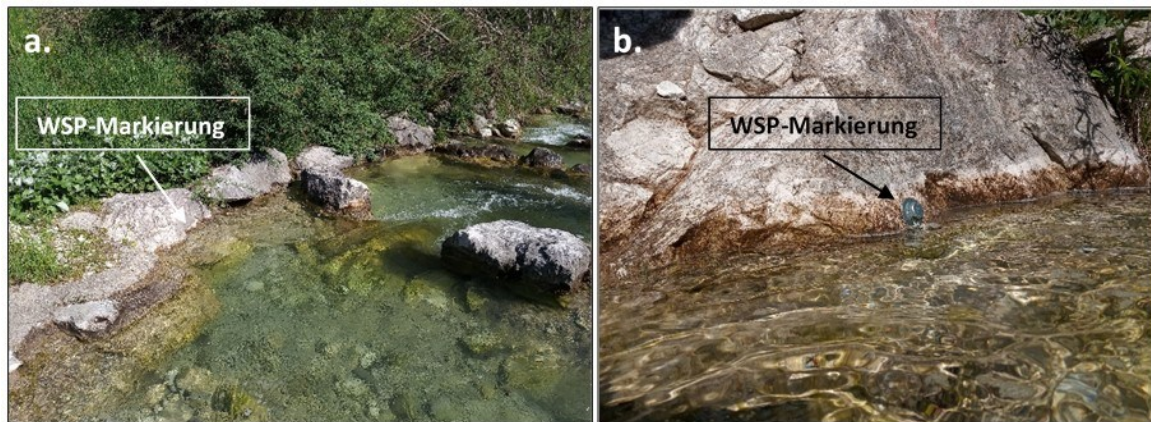
Abbildung 38: Durchgangskurve der Leitfähigkeit ($s= 5 \text{ s}$) in der OWH Gangljodl am 31.05.2021.



Aus der in Abbildung 38 dargestellten Leitfähigkeitsmessung ($M= 3,06 \text{ kg}$; $s= 5 \text{ s}$; $e= 0,604 \text{ mg*cm/ mS *l}$) errechnete sich ein Durchfluss von $Q= 663 \text{ l/s}$. Dieses Ergebnis wurde durch eine unmittelbar folgende zweite Messung ($DQ= 0,5 \%$) validiert.

Der WSP bei diesem gemessenen Durchfluss wurde schlussendlich mit einer Sechskantschraube im ersten (obersten) Becken der OWH markiert (Abbildung 39a), wobei die Unterkante der Beilagscheibe den tatsächlichen WSP markiert (Abbildung 39b).

Abbildung 39: Markierung des WSP bei gemessenem Durchfluss ($Q= 663 \text{ l/s}$) in der OWH am KW Gangljodl mit einer Sechskantschraube: (a.) Übersichts- und (b.) Detailfoto.



9 Monitoring

Nachfolgend zur Bauherstellung erfolgte die Durchführung eines Monitorings, um die Wirkung der Maßnahmen auf die Gewässersohle und Geschiebedynamik zu dokumentieren und bei ungewollten Entwicklungen Adaptierungsarbeiten durchführen zu können. Für das Monitoring wurden Vergleichsprofile definiert, die in regelmäßigen Abständen während der Versuchsdauer kontinuierlich (in Abhängigkeit von erhöhten Wasserführungen) vermessen wurden, um so die Entwicklung der Sohlagen darstellen zu können. Weiters wurde ein Monitoring mittels Radiotelemetrie durchgeführt, um die Bewegungen des Geschiebes nachverfolgen zu können. Das Monitoring wurde vom Projektteam der Universität für Bodenkultur durchgeführt.

9.1 Ergebnisse

9.1.1 Anlandung

Im Anhang liegen alle Profildarstellung maßstabsgetreu (M 1:250/125) bei. Dort sind (i) einerseits die Veränderungen der Sohlhöhe zwischen den einzelnen Vermessungen, (ii) als auch die Differenz der Sohlhöhe zwischen Monitoringbeginn und -ende dargestellt.

Die Auswertungen zeigen, dass die Anlandung in den Profilen 1 – 5 am größten ist, nahe der Wehranlage (Profil 6 und 7) ist diese am geringsten. Setzt man die jeweiligen Vermessungen in Bezug zu den vorangegangenen HW-Ereignissen, so zeigt sich, dass das größte Ereignis im Monitoringzeitraum (03.02.2020 - Q= 155 % von MQ \cong WSP= 220 cm am Referenzpegel Penningersteg) die größte gemessene Anlandung verursacht hat (vgl. Profil 1 – 5). Die maximale Erhöhung der Sohle betrug durch dieses Ereignis +0,54 m im Profil 4. Wie die Profildarstellungen im Anhang weiters zeigen, erhöhte sich die Sohle durch alle anderen Ereignisse davor wie danach im Zentimeterbereich. Über den gesamten Monitoringzeitraum beträgt die max. Anlandung +0,79 m (Profil 2), während im Bereich der Wehranlage max. + 0,21 m (Profil 7) gemessen werden konnte. Im Maßnahmenbereich selbst gibt es drei grundsätzliche Beobachtungen:

- Bühnenfelder – Anlandungen finden nur im ersten Bühnenfeld statt, max. +0,79 m über den gesamten Monitoringzeitraum (Profil 1 – 2 und Abbildung 40).

- Gradient der Schotterbank/Anlandung im „Maßnahmenbereich“ hin zum „Strömungsweg“ verflacht sich und wandert in Richtung Flussmitte (Profil 1 – 5).
- Im Bereich der OWH (Profil 7, Anhang) ist eine Anlandung über den gesamten Monitoringzeitraum kaum messbar (+0,10 m; Profil 7)

Abbildung 40: Aktuelles Orthofoto (08/2020) des Maßnahmenbereiches (Quelle: doris.ooe.gv.at)



9.1.2 Geschiebetelemetrie

Eine Suche der eingebrachten Tracersteine fand zweimal statt: am 22.09.2020 und am 20.10.2020. Diesen Detektionen gingen erhöhte Durchflüsse von WSP= 124 % von MQ bzw. WSP= 133 % von MQ voraus (Tabelle 5; Abbildung 20). Trotz dieser Ereignisse konnten bei keinem der Suchdurchläufe eine Positionsveränderung bzw. Transportweite bestimmt werden. Beinahe alle Tracersteine hatten die gleiche Position wie bei der Zugabe am 28.08.2020, sowohl jene Steine in den Bühnenfeldern, als auch jene, die flussauf von Profil 1 zugegeben wurden. Nachdem es seit der letzten Detektion kein größeres Ereignis mehr

gab, kam es zu keinem weiteren Suchdurchlauf. Ein Lageplan mit den Zugabe-Positionen (entspricht ebenfalls der Position am 20.10.2020) der Tracersteine liegt im Anhang bei.

Nachdem es im vergangenen Jahr seit der Einbringung der Tracersteine (28.08.2020) weder ein Ereignis $Q > HQ1$ (\triangleq WSP= 230 cm am Referenzpegel Penningersteg) noch eines in der Nähe des größten Ereignisses seit dem Beginn des Monitorings ($Q= 155$ % von $MQ \triangleq$ WSP= 220 cm am Referenzpegel Penningersteg; Abbildung 20) gab, sind künftige Such-durchläufe nach größeren Ereignissen auf jeden Fall erstrebenswert.

Zusammenfassend kann festgehalten, dass trotz der offensichtlichen Wirkung der Bau-maßnahmen der in der ersten Hälfte des Monitorings über Querprofilmessungen festgehalten wurde, nur eine geringe Umlagerungsdynamik innerhalb des Stauraums in der zweiten Hälfte zu dokumentieren war. Es können hier zu diesem Zeitpunkt keine detaillierten Aussagen über korngrößenspezifischen (selektiven) Transport erfolgen, da sich keine der Fraktionen bei den beiden Zeitpunkten der Detektion bewegt hatten. Die beiden Monitoringmethoden zusammengefasst zeichnen aber auch hier ein Bild der semi-stabilen Verhältnisse des Fließgewässers die bereits in der ökohydraulischen Interpretation der Korngrößenanalysen beschrieben wurden.

10 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Die vorab der Bauumsetzung durchgeführten numerischen Modellierungen haben gezeigt, dass die Beeinflussung der hydraulischen und morphologischen Situation durch die Maßnahmen die gewünschten Effekte bringt, ohne den bestehenden Hochwasserschutz negativ zu beeinflussen.

Im Rahmen des anschließend an die Herstellung der Maßnahmen durchgeführten Monitorings (12/2019 bis 06/2021) konnte gezeigt werden, dass die umgesetzten Maßnahmen (Geschiebeabweiser ausgeführt als Pfahlreihen) am orographisch linken Ufer und damit unmittelbar vor dem Einstieg in die OWH die Geschiebeverteilung erwartungsgemäß beeinflussen. Während es zu den erwarteten Anlandungen im Bereich der ersten beiden Pfahlreihen kommt (Profil 1 – 5, Anhang; Abbildung 40), bleibt eine Erhöhung der Sohle im Bereich der OWH aus (Profil 7). Die Auswertungen der Profilvermessungen zeigen auch, dass jedes HW-Ereignis kontinuierlich zu einer Anlandung beiträgt, das Geschiebe aber erfolgreich vom Einstieg in die OWH ferngehalten werden kann. Des Weiteren zeigt sich, dass der im Entwicklungsziel definierte und durch die Bühnen forcierte „Strömungsweg“ am orographisch rechten Ufer (Abbildung 9) ausreichend große Transportkapazitäten erzeugt, damit es auch dort zu keinen Anlandungen kommt (Profile 1 – 7). Da während der gesamten Dauer des Forschungsprojektes (2 Jahre) kein größeres Hochwasserereignis (mind. HQ1) auftrat, liegen aber keine gesicherten Ergebnisse vor, wie die Maßnahmen im Hochwasserfall (> HQ1) wirken. Generell ist nach größeren HW-Ereignissen ein möglicher Sanierungs- bzw. Adaptierungsbedarf an KW-Anlagenteilen, OWHs und im Gewässer selbst wahrscheinlich.

Obwohl Daten aus der Geschiebetelemetrie aufgrund zu kleiner HW-Ereignisse fehlen, zeigt sich anhand der Profilvermessungen, dass großes Potential für Geschiebeumlagerungen besteht. Aus diesem Grund sollte eine weitere Beobachtung dieser Tracersteine (n=200) forciert und zukünftig bei großen HW-Ereignissen Suchdurchläufe durchgeführt werden. Damit können die im Entwicklungsziel (Abbildung 9) definierten Strömungswege von Geschiebe überprüft und validiert werden.

Als weiteres Forschungsergebnis lässt sich feststellen, dass die angestrebten Grundsätze einer einfachen, schnellen, günstigen und doch wirksamen Bauweise erreicht werden konnten. Aufgrund fehlender hydrologischer Gegebenheiten konnte die Wirksamkeit der Geschiebeabweiser bei Hochwasserereignissen zwar nicht analysiert werden, jedoch zeigen die Ergebnisse des Monitorings, dass die geschiebelenkende Wirkung auch bei niedrigen Abflüssen vorhanden ist und den Bereich vor der Organismenwanderhilfe freihält. Weiters wird die geschiebelenkende Wirkung klar bestätigt.

Aussagen des Obmanns des lokalen Fischereivereins zeigen, dass die Funktion der Organismenwanderhilfe durch die gesetzten Maßnahmen erhalten werden konnte. Darüber hinaus wird der Bereich zwischen den Pfahlreihen als Lebensraum für Fische und andere Organismen gut angenommen. Der Stauraum wird dadurch als Lebensraum attraktiver und deutlich aufgewertet.

11 Übertragbarkeit auf andere Standorte

Als Ergebnis dieses Forschungsprojektes sollen Parameter vorgestellt werden, anhand derer das in diesem Projekt verwendete Untersuchungsdesign auf andere Standorte übertragbar ist. Das Grundprinzip der Einfachheit dieser Maßnahme soll dabei im Fokus stehen, um die Einsetzbarkeit für möglichst viele Situationen und Interessenten zu ermöglichen.

Zur Geschiebelenkung wird dabei das Prinzip von Geschiebeabweisern angewendet. Dazu werden Pfahlreihen so in den Fluss gestellt, dass das angetragene Sediment von ungünstigen Verlandungsstellen abgehalten wird und so abgelagert wird, dass es bei Spülungen leichter abtransportiert werden kann.

Mögliche Anwendungsgebiete sind:

- Freihalten von Organismenwanderhilfen sowohl im Oberwasser- als auch im Unterwasserbereich
- Freihalten von Turbinenzuläufen
- Geschiebelenkung im Unterwasserbereich von Kraftwerken
- Geschiebelenkung im Stauraumbereich zur Optimierung von Spülvorgängen
- Geschiebemobilisierung
- Ökologische Aufwertung von Stauräumen durch Schaffung attraktiver Lebensraumsituationen

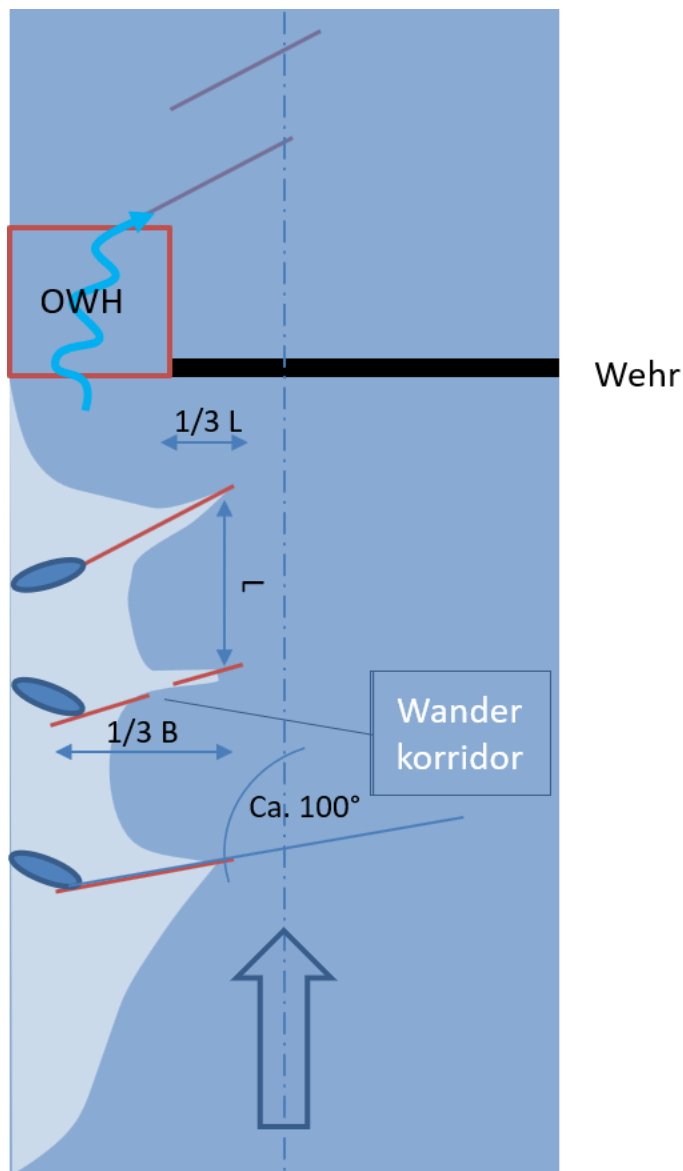
Zur Adaptierung des vorliegenden Konzeptes für vergleichbare Anwendungsgebiete bzw. für die einfache Übertragbarkeit wurden die Längen und Abstände der Pfahlreihen in Verhältnis zur Flussbreite gesetzt. Daraus ergeben sich folgende Vorgaben:

- mind. 3 aufeinander folgende Pfahlreihen
- Deklinant zur Flussachse geneigt, in Fließrichtung Neigung verstärken
- Pfahlreihenlängen etwa 1/3 der Flussbreite
- Abstand zwischen Pfahlreihen (Spitze) etwa Pfahlreihenlänge
- Unterste Pfahlreihe in Fließrichtung zumindest zu 1/3 über OWH hinaus in Flussmitte

- Höhe Pfahlreihen auf Niederwasserabfluss, im Stauraum max. auf Stauziel, um die Pfähle ständig zu benetzen (Verbesserung der Haltbarkeit)
- Pfahlreihen zur besseren Durchwanderung segmentiert (versetzt unterbrochen) herstellen – Empfehlung: minimale Segmentlänge = 1/3 der Gesamtlänge
- Bei Bedarf in Kombination mit Buhnen (inklinant) zur Ufersicherung

Die Parameter sind in der folgenden Skizze (Abbildung 41) am Beispiel Gangljodlwehr dargestellt:

Abbildung 41: Skizze mit Maßnahmenparametern, beispielhaft Wanderkorridor in mittlerer Pfahlreihe. L = Pfahlreihenlänge; B = Flussbreite; OWH = Organismenwanderhilfe



Die Pfahlreihen bestehen aus an einem Ende zugespitzten Piloten aus zumindest mittelhartem Holz (beispielsweise Gebirglärche) mit einem Durchmesser von ca. 20 cm. Kriterium ist die Haltbarkeit gegenüber der Abnutzung aufgrund des Geschiebetriebes. Die Herstellung der Pfahlreihe erfolgt Mann-an-Mann, bei Bedarf segmentiert und mit Wanderkorridoren. Die minimale Segmentlänge soll etwa ein Drittel der Gesamtlänge der jeweiligen Pfahlreihe betragen. Der Sanierungsbedarf wird je Ereignishäufigkeit vorsichtig auf etwa 10-15 Jahre geschätzt. Aufgrund des Umstandes, dass während der zwei Jahre des Forschungsprojektes lediglich höhere Abflüsse zwischen MQ und HQ1, aber kein Ereignis \geq HQ1 eingetreten sind, kann die wahrscheinliche Haltbarkeit des Systems nur grob abgeschätzt werden. Über die zwei beobachteten Jahre kam es an den Pfählen zu keinen wesentlichen Abnutzungen. Die Zuströmung zur Organismenwanderhilfe soll frei möglich sein. Dazu kann die unterste Pfahlreihe im Bereich des Ausstiegs segmentiert werden. Im vorliegenden Fall wurde die vorhandene Wehrwange im Ausstiegsbereich auf einer Fläche von 50 x 50 cm abgeschremmt, um den vorgegebenen Restwasserabfluss und eine sekundäre Strömung zur OWH hin zu erreichen (siehe Abbildung 42).

Maßgeblich ist die Beobachtung der Geschiebebewegungen rund um die Geschiebeleitelemente nach Baufertigstellung. Bei Bedarf können die Pfahlreihen später verlängert bzw. gekürzt werden, um die Geschiebelenkung laufend zu optimieren.

Abbildung 42: Zuströmsituation zur OWH Gangljodl.



Zu Übertragbarkeit auf andere Standorte wurde eine eigene Broschüre erstellt, die ebenso wie der Bericht auf der Homepage des Bundesministeriums abrufbar ist.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswertung Messwerte Grünau (Jahresreihe 1981-2013) und Friedlmühle (Jahresreihe 1976-2013) (Daten: BMLFUW, 2015; Quelle: Friedl, 2019)	26
Tabelle 2: Hochwasserkennwerte im Bereich KW Gangljodl	26
Tabelle 3: Zusammenfassung der Linienzahlanalysen (Bildanalyse).....	32
Tabelle 4: verwendete kSt-Werte ($m^{1/3}/s$)	33
Tabelle 5: Zehn HW-Ereignisse (WSP am Referenzpegel Penningersteg), nach denen eine Vermessung durchgeführt wurde ($Q > MQ \triangleq WSP = 142 \text{ cm}$).	42
Tabelle 6: Überblick über die zugegebenen Stein-Fraktionen (b-Achse).....	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema KW Gangljodl mit verschiedenen Bauteilen (Friedl, 2019)	15
Abbildung 2: Lage des KW Gangljodl/Alm (Quelle: DORIS, 2019).....	16
Abbildung 3: Oberwasserbereich OWH - KW Gangljodl (Aufnahme vom 02.08.2018).....	17
Abbildung 4: Kieskörper im Ausstiegsbereich der OWH	18
Abbildung 5: links: Problemstellung und rechts: Zielzustand am KW Gangljodl (Quelle: DORIS, eigene Darstellung; Norden befindet sich am unteren Bildrand).....	19
Abbildung 6: Geschiebeabweisung durch fächerartige Leitschwellen (aus Scheuerlein, 1984)	21
Abbildung 7: Konzept Strömungstrichter: a) deklinante und b) inklinante Anordnung (Quelle WasserWirtschaft 1-2/2009 - Sindelar C., Mende M.).....	22
Abbildung 8: Zwei aus mehreren Untersuchungsdesigns - Profil (flussbau iC, 2019)	23
Abbildung 9: Untersuchungsdesign (flussbau iC, 2019).....	24
Abbildung 10: Kornverteilung Linienzahlanalyse 25, Flkm. 34,25 (Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH und DHI Wasser & Umwelt GmbH, 2006).....	28
Abbildung 11: Kornverteilung Linienzahlanalyse 26, Flkm. 33,48 (Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH und DHI Wasser & Umwelt GmbH, 2006).....	28
Abbildung 12: Automatisierte Auswertung einer Geschiebeprobe mittels Basegrain.....	29
Abbildung 13: Probe A (DS) (a) Basisaufnahme und (b) Bildanalyse	30
Abbildung 14: Probe Schotterbank oben A (DS) Kornverteilung – Bildanalyse	30
Abbildung 15: Probe B (DS) (a) Basisaufnahme und (b) Bildanalyse	31
Abbildung 16: Probe B (DS1) Kornverteilung – Bildanalyse.....	31
Abbildung 17: (a) Orthofoto des Untersuchungsabschnittes (Quelle: basemap.at) und (b) Darstellung der verfügbaren und zusätzlich aufgenommenen Vermessungspunkte (Quelle: basemap.at; eigene Darstellung).	37
Abbildung 18: Standardisierte Habitatnutzung (SI) von Bachforellen (<i>Salmo trutta</i> ff.) verschiedener Altersklassen: (a) SI für 2D-tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit (ms ⁻¹), (b) SI für Wassertiefe (m).....	40
Abbildung 19: Übersichtsplan mit der Lage der Querprofile (nicht maßstäblich).....	41
Abbildung 20: Abflussganglinie am Referenzpegel Penningersteg seit Beginn des Monitorings (12/2019); die vertikalen strichlierten Linien markieren das Vermessungsdatum (Quelle: Hydrographischer Dienst Oberösterreich).....	43
Abbildung 21: Fließgeschwindigkeiten und Fließvektoren im Planzustand bei Q = 30 m ³ /s	45
Abbildung 22: Fließgeschwindigkeiten bis 1 m/s und Fließvektoren im Planzustand bei Q = 30 m ³ /s.....	46

Abbildung 23: Wassertiefen im Planzustand bei $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$	47
Abbildung 24: Sedimentation / Erosion HQ1 bei Abflussspitze mit LZA 26, aktuell (a) und mit Maßnahmen (b), Angaben in m) aus Geschiebemodellierung	48
Abbildung 25: Sedimentation / Erosion rot Sedimentation / Erosion HQ1 nach dem Ereignis mit LZA 26, aktuell (a) und mit Maßnahmen (b) aus Geschiebemodellierung, Angaben in m.	49
Abbildung 26: Höhenänderung Δz in m im Planzustand bei $Q = 30 \text{ m}^2/\text{s}$, $d_m = 20 \text{ mm}$ (a) und $d_m = 67,8 \text{ mm}$ (b)	49
Abbildung 27: Ergebnis der Korngrößenanalyse für Deckschicht orografisch links und rechts. Die volumetrischen Proben G1 bis G4 wurden unterhalb der Wehranlage entnommen; G5 und G6 oberhalb.....	51
Abbildung 28: Ergebnis der Korngrößenanalyse der Unterschicht (orografisch links und rechts). Die volumetrischen Proben G1 bis G4 wurden unterhalb der Wehranlage entnommen; G5 und G6 oberhalb.	51
Abbildung 29: Fließgeschwindigkeitsverteilung für die Durchflüsse $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$. 52	
Abbildung 30: Wassertiefen für die Durchflüsse $1 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $5 \text{ m}^3/\text{s}$	53
Abbildung 31: Benetzte Fläche in Relation zum berechneten Durchfluss.	53
Abbildung 32: Verteilung der Mesohabitate im Untersuchungsgebiet bei (a) $1 \text{ m}^3/\text{s}$, (b) $2 \text{ m}^3/\text{s}$, (c) $3 \text{ m}^3/\text{s}$, (d) $4 \text{ m}^3/\text{s}$, und (e) $5 \text{ m}^3/\text{s}$	54
Abbildung 33: Ergebnisse der Mikrohabitatmodellierung für die Leitfischart Bachforelle (<i>Salmo trutta</i> ff.) in Bezug auf die Zunahme der theoretisch nutzbaren Flächen mit Steigerung der Durchflusses von $1 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $10 \text{ m}^3/\text{s}$	56
Abbildung 34: Piloten für Pfahlreihen.....	60
Abbildung 35: Fertiggestellte Pfahlreihe mit Wanderkorridor.	60
Abbildung 36: Fertiggestellte Pfahlreihe mit Wanderkorridor, Detailansicht.	61
Abbildung 37: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Eichkoeffizienten für die Salzverdünnungsmethode.....	62
Abbildung 38: Durchgangskurve der Leitfähigkeit ($s = 5 \text{ s}$) in der OWH Gangljodl am 31.05.2021.....	63
Abbildung 39: Markierung des WSP bei gemessenem Durchfluss ($Q = 663 \text{ l/s}$) in der OWH am KW Gangljodl mit einer Sechskantschraube: (a.) Übersichts- und (b.) Detailfoto.....	64
Abbildung 40: Aktuelles Orthofoto (08/2020) des Maßnahmenbereiches (Quelle: doris.ooe.gv.at).....	66
Abbildung 41: Skizze mit Maßnahmenparametern, beispielhaft Wanderkorridor in mittlerer Pfahlreihe. L = Pfahlreihenlänge; B = Flussbreite; OWH = Organismenwanderhilfe	71
Abbildung 42: Zuströmsituation zur OWH Gangljodl.....	72

Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2020). Energie in Österreich Zahlen, Daten, Fakten. Wien. Abgerufen von www.bmk.gv.at

BMLRT (2021). Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2021. Wien. Abgerufen von www.bmlrt.gv.at

Blattfisch e.v., Gumpinger, C. (2018). Vorschlag für ein Beweissicherungsprogramm zum Nachweis der Funktionsfähigkeit der Organismenwanderhilfe (OWH) am Standort Gangljodl in der Alm (OÖ.)

Bovee, K.D. (1986). Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology. U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Report 86 (7), Washington, D.C.

Bovee, K.D., Cochnauer, T. (1977). Development and evaluation of weighted criteria, probability-of-use curves for instream flow assessments: fisheries. U.S. Fish and Wildlife Service (FWS/OBS-77/63), Fort Collins, Colorado.

Bozek, M.A., Wahel, F.J. (1992). Generality of microhabitat suitability models for young Colorado River cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki pleuriticus*) across sites and among years in Wyoming streams. Can. j. Fish. Aquat. Sci. 49: 552-564.

Friedl, C. (2019). Optimierung der Durchgängigkeit für Geschiebe am Kraftwerk Gangljodl an der Alm in Oberösterreich unter Berücksichtigung ökohydraulischer Aspekte. Masterarbeit am Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien.

Habersack, H., Kreisler, A., Aigner, J., Rindler, R., Tritthart, M., Shire-Peterlechner, D., Moser, M. (2020). Jahresbericht Geschiebemonitoring Urslau 2020. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion IV, Abt. IV/5 und Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Salzburg. Wien.

Hauer, C., Habersack, H. (2009). Morphodynamics of a 1000-year flood in the Kamp River, Austria, and impacts on floodplain morphology. *Earth Surf. Process. Landforms* 34, 654–682. <https://doi.org/10.1002/esp.1763>

Hauer, C., Unfer, G., Tritthart, M. und Habersack, H. (2011). „Effects of stream channel morphology, transport processes and effective discharge on salmonid spawning habitats“. In: *Earth Surface Processes and Landforms* 36.5, S. 672–685.

Hinkelmann, R. (2005). Efficient numerical methods and information-processing techniques for modeling hydro-and environmental systems. 1. Aufl. *Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics* 21. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. 305 S. isbn: 978-3-540-24146-1.

Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH (2011): Revitalisierung Wasserkraftanlage “Gangljodlwehr” - Hydraulisches Gutachten 2010 (mit Ergänzungen im März 2011). Wien.

Ingenieurbüro Neukirchen ZT-GmbH, DHI Wasser & Umwelt GmbH (2006): Gewässerbetreuungskonzept Alm -Geschiebe.

Luder, B. (1994). Manual für die Abflussmessung nach dem Salzverdünnungsverfahren. Technischer Bericht, Landeshydrologie und -Geologie, Abteilung Hydrologie, Bern. 36 S.

ÖWAV (2007). Fließgewässermodellierung – Arbeitsbehelf Hydrodynamik: Grundlagen, Anwendung und Modelle für die Praxis. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und ÖWAV. 136 S.

Raleigh, R.F., Zuckerman, L.D., Nelson, P.C. (1986). Habitat Suitability Index Models and Instream Flow Suitability Curves: Brown Trout, revised, Biological Report 82(10.124), U.S. Fish and Wildlife Service, 66.

Scheuerlein, H. (1984) Die Wasserentnahme aus geschiebeführenden Flüssen. Wilhelm Ernst Verlag, Berlin.

Schwevers, U. (1996): Auswirkungen von Wanderungsbarrieren auf Verbreitung und Bestandssituation von Fischen und wirbellosen Tieren. SVK – Fischereitagung, p. 17.

Abkürzungen

Abk.	Abkürzung
EU-WRRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
KW	Kraftwerk, Kraftwerksanlage
OWH	Organismenwanderhilfe
Flkm	Flusskilometer
DORIS	Digitales Oberösterreichisches Raum-Informationssystem
HW	Hochwasser
z.B	Zum Beispiel
GPS	Global Positioning System
LZA	Linienzahlanalyse
DS	Deckschicht
GS	Grundsicht
dm	Mittlerer Durchmesser
d30	Charakteristischer Korndurchmesser – 30 % des Geschiebes hat einen kleineren Korndurchmesser
d50	Charakteristischer Korndurchmesser – 50 % des Geschiebes hat einen kleineren Korndurchmesser
d90	Charakteristischer Korndurchmesser – 90 % des Geschiebes hat einen kleineren Korndurchmesser
MEM	Mesohabitat Evaluation Model
SI	Nutzungsindizes
WSP	Wasserspiegel
usw.	und so weiter
RFID	Radio Frequency Identification
Q	Durchfluss m ³ /s
Qsed	Geschiebetransport m ³ /s

Anhang A

Lageplan - M1:500



Legende

— · — · — Flussachse

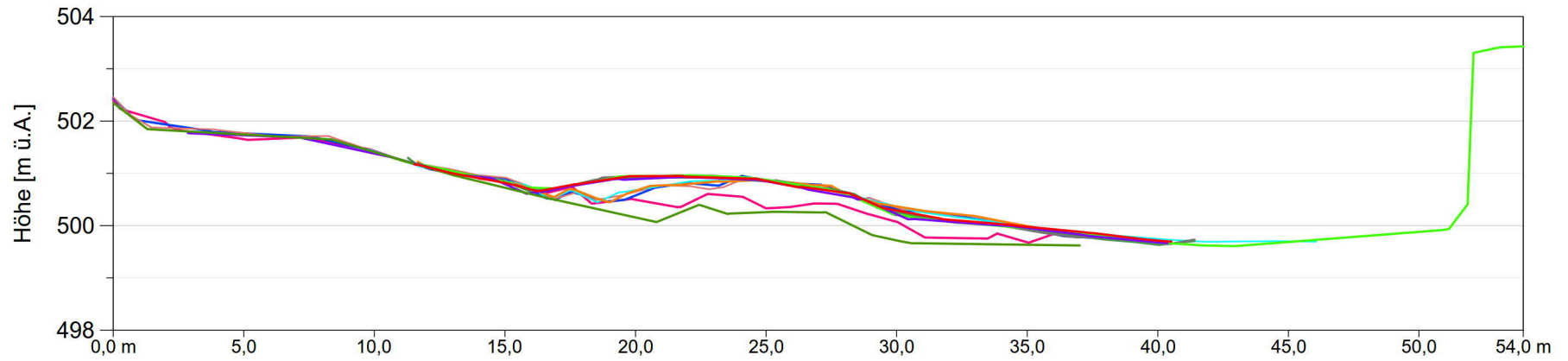
— · — Profilachse

Steinwurf

⊙ ⊙ ⊙ ⊙ ⊙ Buhne

Anhang A

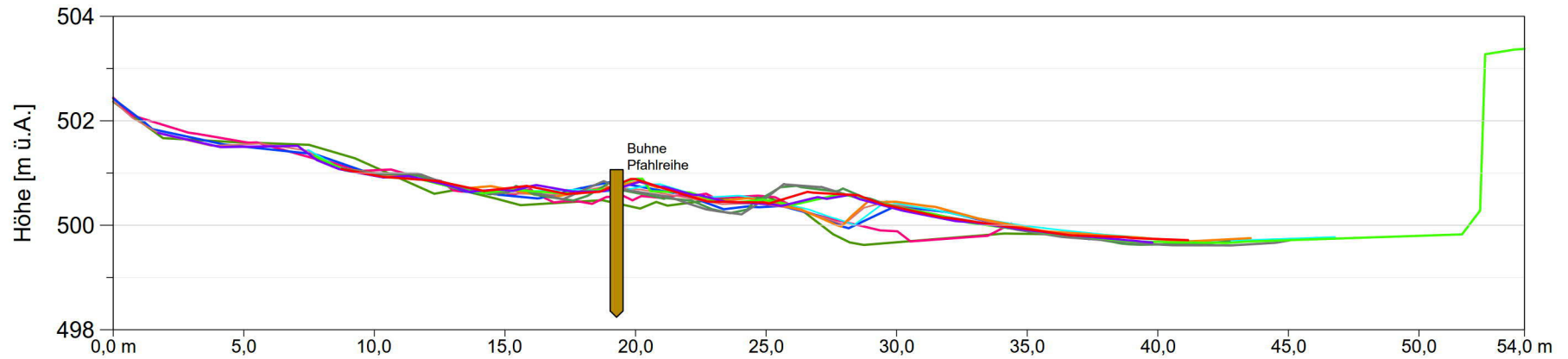
Profil 2 - M1:250/125



VE Flussbau iC 04.12.2019	502,35		501,74		501,41		500,72		500,16		500,26		499,72							
Vermessung 16.01.2020	502,41		501,65		501,43		500,84		500,50		500,33		500,07		499,68					
Vermessung 13.02.2020	502,45		501,76		501,42		500,90		500,58		500,86		500,32		499,94					
Vermessung 28.02.2020	502,46		501,77		501,41		500,92		500,65		500,86		500,35		499,94					
Vermessung 24.06.2020					501,42		500,85		500,68		500,88		500,37		499,99		499,75		499,70	
Vermessung 11.08.2020							500,84		500,67		500,87		500,37		499,99		499,70			
Vermessung 27.08.2020							500,85		500,92		500,87		500,25		499,95		499,63			
Vermessung 22.09.2020							500,84		500,94		500,85		500,20		499,92		499,68			
Vermessung 20.10.2020							500,84		500,95		500,87		500,22		499,95		499,69		499,69	499,88
Vermessung 09.03.2021		501,73		501,38		500,79		500,89		500,85		500,87		500,22		499,68				503,43
Vermessung 31.05.2021						500,82		500,95		500,86		500,29		499,98		499,71				

Anhang A

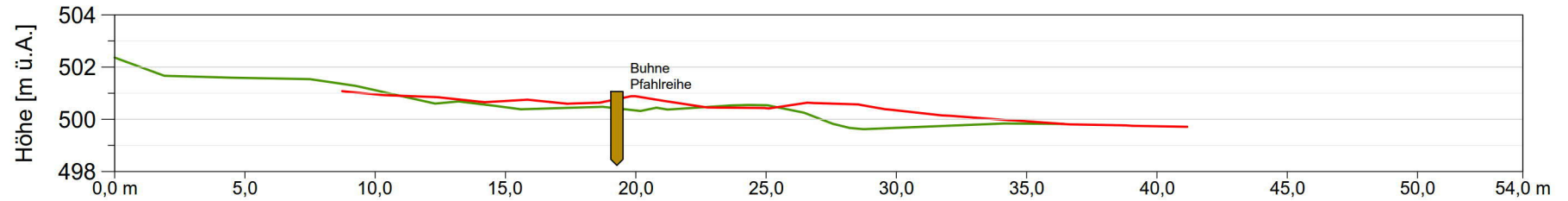
Profil 2a - M1:250/125



VE Flussbau iC 04.12.2019	502,37	501,59	501,12	500,46	500,34	500,54	499,67	499,84						
Vermessung 16.01.2020	502,44	501,60	501,05	500,63	500,51	500,55	499,89							
Vermessung 13.02.2020	502,43	501,51	500,98	500,57	500,76	500,35	500,37	499,91						
Vermessung 28.02.2020	502,38	501,55	500,96	500,61	500,69	500,39	500,38	499,91						
Vermessung 24.06.2020			500,99	500,67	500,72	500,48	500,42	499,99	499,74		499,74			
Vermessung 11.08.2020			501,00	500,70	500,83	500,45	500,45	499,95	499,73					
Vermessung 27.08.2020			500,99	500,63	500,62	500,56	500,35	499,90	499,63					
Vermessung 22.09.2020			501,00	500,64	500,65	500,52	500,36	499,88	499,63		499,71			
Vermessung 20.10.2020			500,95	500,66	500,88	500,48	500,35	499,90	499,68		499,71	499,80		503,38
Vermessung 09.03.2021		501,50	500,95	500,67	500,81	500,41	500,31	499,91	499,74					
Vermessung 31.05.2021			500,96	500,70	500,88	500,43	500,34	499,93	499,74					

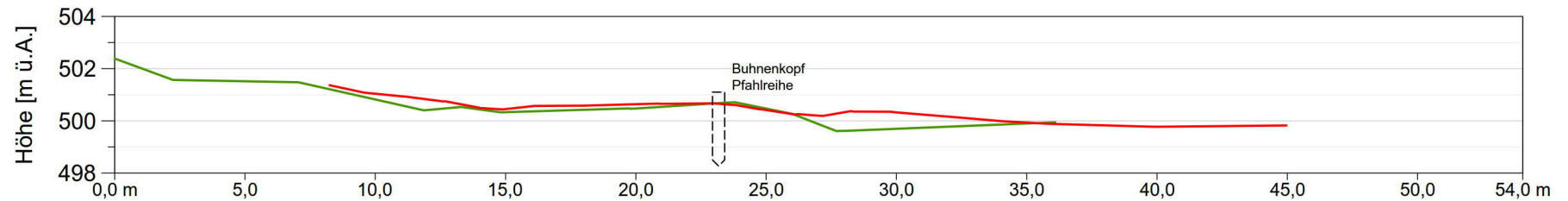
Anhang A

Profil 2a: Differenz Sohlhöhe zwischen Monitoringbeginn und -ende - M1:250



VE Flussbau iC 04.12.2019	502,37	501,59	501,12	500,46	500,34	500,54	499,67	499,84						
Vermessung 31.05.2021			500,96	500,70	500,88	500,43	500,34	499,93	499,74					
Sohlhöhe Differenz [m]			-0,16	0,24	0,54	-0,11	0,67	0,09						

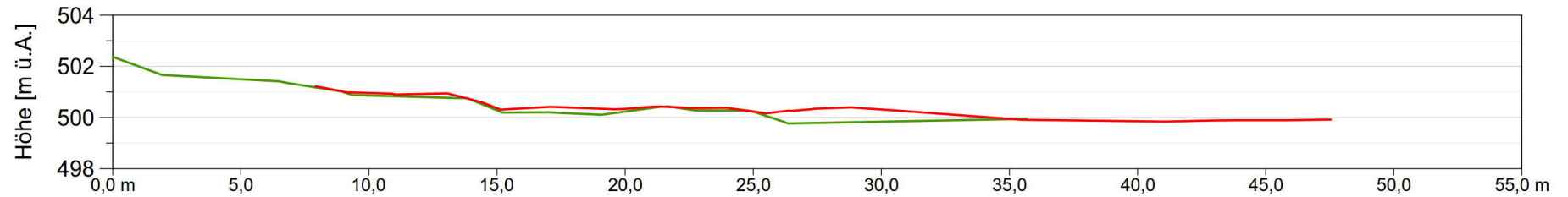
Profil 3: Differenz Sohlhöhe zwischen Monitoringbeginn und -ende - M1:250



VE Flussbau iC 04.12.2019	502,39	501,52	500,82	500,33	500,47	500,47	499,70	499,90					
Vermessung 31.05.2021			501,04	500,45	500,64	500,41	500,32	499,93	499,77				
Sohlhöhe Differenz [m]			0,22	0,12	0,17	-0,06	0,63	0,04					

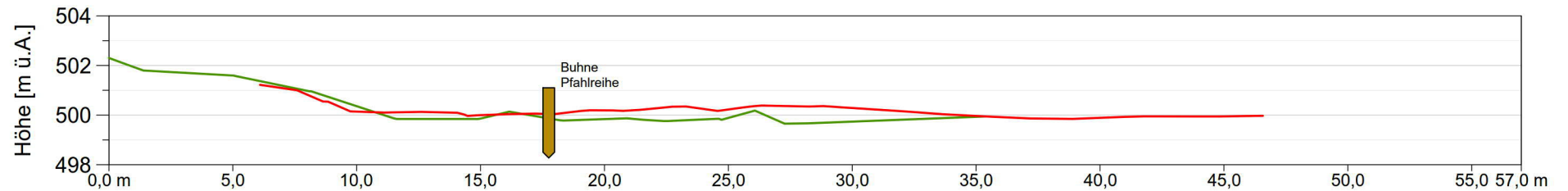
Anhang A

Profil 4: Differenz Sohlhöhe zwischen Monitoringbeginn und -ende - M1:250



VE Flussbau iC 04.12.2019	502,37	501,49	500,86	500,28	500,23	500,23	499,84	499,93						
Vermessung 31.05.2021			500,96	500,36	500,34	500,23	500,31	499,95	499,85		499,89			
Sohlhöhe Differenz [m]			0,10	0,08	0,11	0,01	0,48	0,01						

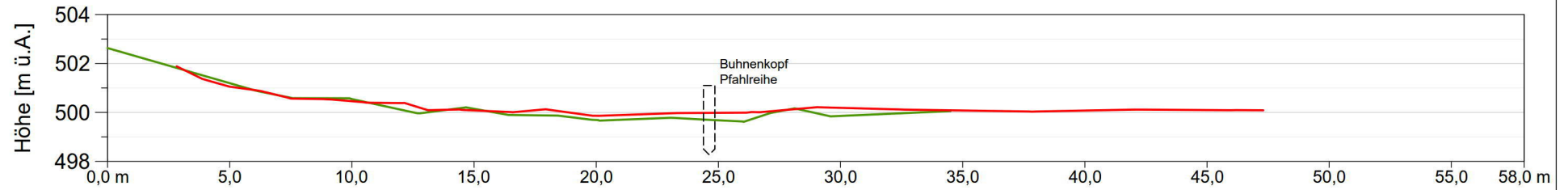
Profil 5: Differenz Sohlhöhe zwischen Monitoringbeginn und -ende - M1:250



VE Flussbau iC 04.12.2019	502,30	501,60	500,36	499,86	499,84	499,89	499,74	499,93						
Vermessung 31.05.2021			500,14	500,00	500,19	500,23	500,28	499,96	499,89		499,95			
Sohlhöhe Differenz [m]			-0,22	0,14	0,35	0,34	0,55	0,04						

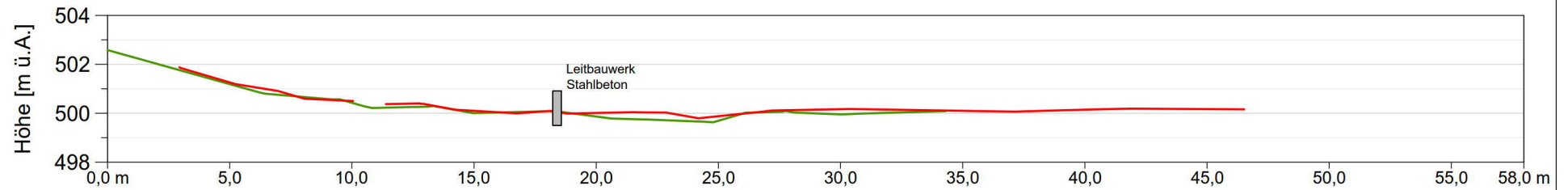
Anhang A

Profil 6: Differenz Sohlhöhe zwischen Monitoringbeginn und -ende - M1:250



VE Flussbau iC 04.12.2019	502,63																			
Vermessung 31.05.2021		501,19		500,54		500,15		499,69		499,68		499,86								
Sohlhöhe Differenz [m]		-0,14		-0,09		-0,07		0,17		0,30		0,33								

Profil 7: Differenz Sohlhöhe zwischen Monitoringbeginn und -ende - M1:250



VE Flussbau iC 04.12.2019	502,58																			
Vermessung 31.05.2021		501,19		500,43		500,01		499,87		499,69		499,95								
Sohlhöhe Differenz [m]		0,07		0,07		0,10		0,15		0,19		0,21								

Anhang B

Lageplan Tracersteine - M1:500



Legende

— · — · — Flussachse — · — · — Profilachse Steinwurf ◎◎◎◎◎ Buhne + Tracerstein

Tag-ID	Fraktion 22,4 mm (b-Achse)			
	Masse [g] [g]	Steinachse [mm]		
		A	B	C
218400	57.80	64.26	26.50	20.11
218401	66.80	67.10	31.90	25.89
218402	44.30	40.85	34.2	26.09
218403	44.00	47.56	43.3	21.60
218404	51.60	51.03	41.2	20.40
218405	44.90	46.98	42.60	20.95
218406	40.40	48.25	30	18.94
218407	48.20	52.42	39.4	19.12
218408	47.00	48.24	26.3	25.27
218409	45.70	46.44	38.9	23.38
218410	46.90	49.54	35.1	22.12
218411	49.00	58.64	25	23.07
218412	67.40	53.89	41.20	19.24
218413	50.40	40.69	35.90	25.72
218414	48.60	53.04	28.8	22.04
218415	40.60	22.66	30.2	21.69
218416	53.10	52.06	30	25.61
218417	36.10	49.62	24	22.10
218418	40.60	49.08	30.9	21.00
218419	98.50	73.50	33.2	29.08
218420	60.10	53.46	42.90	20.32
218421	51.30	48.31	39.6	23.50
218422	27.30	38.91	26.8	17.31
218423	41.50	47.06	30.3	20.71
218424	42.90	44.71	34.8	23.41
218425	46.70	50.91	30.8	22.04
218426	46.60	44.72	35	23.08
218427	53.30	57.10	38.1	17.42
218428	48.70	55.38	35.00	22.96
218429	36.00	44.56	36.1	18.05
218430	29.90	35.89	29.7	20.12
218431	37.60	43.44	30	21.68
218432	45.80	43.82	31.2	24.72
218433	38.00	39.64	30.8	22.37
218434	37.60	40.88	34.8	20.73
218435	34.40	43.35	32.9	20.86
218436	38.90	42.77	28.3	25.61
218437	26.60	42.86	26.9	14.22
218438	29.40	46.67	25.5	22.90
218439	29.50	36.65	29.5	18.38

	Fraktion 31,5 mm (b-Achse)			
	Masse [g] [g]	Steinachse [mm]		
		A	B	C
	268.70	85.57	63.74	41.83
	189.50	85.28	59.04	30.52
	176.70	75.30	65.90	30.52
	301.30	95.13	66.87	34.50
	180.40	82.84	61.76	34.03
	102.60	66.35	46.05	29.20
	223.90	74.20	65.75	40.55
	225.80	82.76	69.93	32.74
	200.50	77.73	57.66	35.41
	198.20	77.72	66.41	31.33
	114.40	61.85	48.30	27.33
	240.10	75.28	50.21	43.08
	112.40	80.14	33.95	33.01
	249.60	84.22	71.89	35.67
	224.80	70.92	62.59	36.03
	208.40	72.16	60.79	33.15
	115.90	77.18	44.11	26.78
	224.90	85.52	58.07	40.45
	209.00	73.41	59.69	37.59
	266.50	95.28	68.40	24.48
	321.90	79.21	60.30	54.74
	345.50	90.57	55.87	46.92
	342.80	86.51	70.35	46.75
	254.60	81.68	71.43	38.08
	244.10	91.48	56.57	35.00
	186.20	69.37	57.87	34.55
	90.10	55.01	47.43	28.35
	120.80	64.59	43.50	28.62
	234.70	76.42	59.20	33.67
	160.50	95.85	54.33	24.09
	117.30	69.29	52.01	23.02
	262.90	87.19	65.45	38.07
	311.80	81.91	68.67	49.77
	88.80	57.27	55.71	25.02
	99.10	54.91	44.01	32.02
	117.80	63.98	53.65	28.20
	103.80	65.04	34.90	30.80
	85.70	55.01	47.22	25.67
	44.30	39.74	38.25	25.57
	105.10	63.01	39.08	28.63

Tag-ID	Fraktion 56 mm (b-Achse)			
	Masse [g]	Steinachse [mm]		
		A	B	C
218480	427.50	104.54	65.46	41.00
218481	476.20	102.65	75.81	37.70
218482	448.90	85.24	62.01	53.40
218483	397.90	94.28	75.29	45.10
218484	312.90	91.60	64.00	43.12
218485	488.20	96.88	59.65	49.41
218486	466.20	98.82	74.57	49.22
218487	513.10	105.60	77.93	36.97
218488	445.60	101.15	75.08	39.52
218489	458.20	95.72	61.19	43.88
218490	364.00	82.44	66.14	48.59
218491	313.00	74.28	61.19	43.88
218492	317.50	84.13	72.10	39.48
218493	544.10	112.84	77.45	47.47
218494	387.70	87.27	56.64	44.56
218495	419.00	97.23	61.89	44.25
218496	556.10	109.71	72.46	44.20
218497	710.70	115.88	66.57	58.82
218498	499.80	105.62	72.08	50.78
218499	462.60	111.23	65.64	33.17
218500	388.00	90.75	66.27	47.64
218501	464.60	91.94	68.06	47.54
218502	504.80	126.34	73.83	42.09
218503	354.30	93.02	72.18	39.29
218504	282.50	72.09	67.19	42.81
218505	376.40	98.55	76.87	38.73
218506	416.30	82.91	69.20	50.18
218507	450.40	92.84	64.78	41.41
218508	341.90	89.62	62.87	40.71
218509	338.70	115.93	63.13	30.44
218510	383.60	79.85	64.69	46.47
218511	394.30	99.46	79.25	44.34
218512	384.20	97.44	71.37	37.84
218513	303.00	76.17	61.33	43.65
218514	380.00	106.53	77.06	38.21
218515	340.60	87.16	62.48	44.35
218516	421.40	107.00	70.61	44.87
218517	348.60	82.63	60.28	46.10
218518	308.60	88.80	68.84	37.36
218519	383.50	93.73	70.52	42.91

Tag-ID	Fraktion 63 mm (b-Achse)			
	Masse [g]	Steinachse [mm]		
		A	B	C
218520	679.80	128.3	85.94	48.60
218521	761.50	135.90	70.57	49.55
218522	492.90	83.06	68.47	46.53
218523	527.60	92.13	82.40	52.33
218524	560.00	106.1	84.38	44.47
218525	472.30	11.16	73.24	46.40
218526	641.20	112.9	94.02	47.18
218527	528.60	93.21	74.28	47.15
218528	1421.00	137.9	87.49	80.72
218529	536.50	130.9	75.65	40.60
218530	2000.80	180	86.76	86.75
218531	1028.40	124.8	85.32	63.81
218532	1161.80	125.50	90.08	81.57
218533	980.80	122.4	79.13	59.26
218534	523.60	108.1	71.11	57.69
218535	387.40	94.26	86.42	31.92
218536	866.20	133.6	84.45	52.67
218537	540.20	112.5	83.07	51.58
218538	768.00	128.6	66.79	56.58
218539	721.70	107.1	85.59	58.46
218540	1037.30	138.3	74.08	56.96
218541	784.00	114.1	89.96	61.01
218542	590.90	120.8	100.24	51.85
218543	802.00	139.1	77.21	44.04
218544	1223.90	145.5	92.52	57.15
218545	727.50	136.4	83.76	46.36
218546	1339.20	132.30	88.33	73.47
218547	828.90	111.7	97.23	53.83
218548	1116.89	145.00	100.45	65.46
218549	445.30	101.9	86.80	31.14
218550	467.10	98.96	84.27	48.31
218551	647.40	117.9	76.42	46.44
218552	1117.20	153.9	105.53	57.48
218553	892.40	124.4	92.32	60.85
218554	582.90	128.1	72.84	46.85
218555	1150.10	134.3	97.58	61.13
218556	514.50	112.4	86.73	48.84
218557	584.60	111.2	80.79	56.00
218558	1158.90	114.5	97.29	54.05
218559	524.20	105.3	81.85	42.84

Tag-ID	Fraktion 90 mm (b-Achse)			
	Masse [g]	Steinachse [mm]		
		A	B	C
218560	2184.00	177.2	101.54	82.81
218561	2592.40	205.00	100.50	81.93
218562	3542.80	198.00	133.61	111.64
218563	2569.20	206.00	123.92	82.89
218564	2820.00	225.00	92.53	75.40
218565	2126.70	170.1	115.08	105.90
218566	2223.20	149.7	87.79	102.86
218567	1898.70	131.20	112.35	90.52
218568	1563.40	129.1	822.10	100.80
218569	1560.60	145	107.96	75.07
218570	1393.30	125.4	105.59	68.28
218571	1629.40	167	108.72	70.14
218572	2224.90	164.80	116.62	90.85
218573	1868.10	170.00	127.25	73.78
218574	1602.40	140.00	101.38	95.84
218575	1825.60	172.70	125.00	69.76
218576	1525.30	126.60	119.33	65.24
218577	2397.10	192.00	128.33	76.00
218578	2422.20	158.4	124.52	74.03
218579	2021.70	150.6	114.38	82.00
218580	1345.10	157.00	139.13	87.38
218581	1475.90	181	120.22	91.87
218582	1876.60	160.7	114.78	65.22
218583	1845.80	134.2	122.73	83.39
218584	1790.90	138.2	118.49	80.00
218585	2341.90	160.60	128.12	85.49
218586	2138.30	154.6	134.43	66.13
218587	1841.00	158.4	116.11	67.13
218588	2586.60	157.1	144.77	91.78
218589	1946.90	149.3	126.36	81.00
218590	1368.20	147.6	120.08	65.13
218591	2253.00	152.4	119.08	84.54
218592	1673.40	149.5	115.83	76.55
218593	1797.10	134.7	115.91	77.47
218594	1857.90	148.70	105.99	87.83
218595	1691.70	131	115.96	72.24
218596	1545.50	143.2	117.08	64.28
218597	1554.30	136.7	121.17	68.44
218598	2080.10	174.3	114.08	68.12
218599	2164.00	164.5	124.86	75.02

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft

Stubenring 1, 1010 Wien

bml.gv.at