



Fürstentum Liechtenstein
Vorarlberg
Graubünden
St. Gallen
Internationale Rheinregulierung

Alpenrhein

Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile

Kurzbericht

Juni 2012



Zukunft Alpenrhein

Eine Initiative der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA)
und der Internationalen Rheinregulierung (IRR)

10:23



Schwallanstieg am Alpenrhein, Höhe Vaduz, am 29. Oktober 2001 in der Zeit zwischen 10:30 und 14 Uhr.

13:36



Inhalt

Vorwort	5
1 Zusammenfassung & Empfehlungen	6
2 Einführung	8
3 Arbeitspaket 1: Anforderungsprofile	10
4 Arbeitspaket 2: Habitatansprüche	12
5 Arbeitspaket 3: Vermessung	16
6 Arbeitspaket 4: Hydraulische Modellierung	18
7 Arbeitspaket 5: Habitatmodellierung	20
8 Sensitivitätsanalyse	30
Literatur	32
Projektbearbeiter	33
Impressum	34

15:34



Schwallanstieg am Alpenrhein, Höhe Vaduz, am 29. Oktober 2001 in der Zeit zwischen 14 und 18 Uhr .

18:00



Vorwort

Liebe Leserinnen, liebe Leser

Über fast drei Jahre arbeiteten Experten verschiedener Fachrichtungen intensiv an der vorliegenden Studie. Die Kombination von Felderhebungen, Fernerkundung und Modellierungen bedeutete dabei einen neuen innovativen Zugang für ein besseres und vollständiges Verständnis der zweifellos komplexen Sachverhalte. Bisher liegen vergleichsweise wenige Untersuchungen über die Auswirkungen des Schwallbetriebes in Abhängigkeit von der Morphologie und dem Verbauungsgrad von Gewässern vor. Zudem ist es schwierig, die unterschiedlichen Einflussfaktoren von Morphologie und Schwall-Sunk zu separieren und deren jeweiligen Einfluss eindeutig zu identifizieren. Ich bin überzeugt, dass diese Studie auch für zukünftige Untersuchungen einen möglichen Weg aufzeigt. Wie etwa zur Umsetzung von Revitalisierungen kombiniert mit schwall-dämpfenden Maßnahmen.

Naturgemäß wurden im Verlaufe der Studie verschiedene Themen kontrovers diskutiert, v.a. die Zusammenhänge zwischen Schwall und Schwebstofftransport und die damit verbundenen Einflüsse auf die Kolmation, die Auswahl des Referenzzustandes, der Schwallganglinien und Schwallamplituden oder die Übertragbarkeit norwegischer Studien auf den Alpenrhein. Zu fachlichen, methodischen und messtechnischen Details sowie deren Interpretation und Gewichtung wurden unterschiedliche Standpunkte vertreten, die nicht vollständig bereinigt werden konnten. Diese Differenzen beeinflussen die Studie aber nicht in einem Ausmaß, dass deren grundlegende Ergebnisse und Empfehlungen in Frage gestellt würden. Die Studie ist vielmehr ein wichtiger Beitrag auf eine äußerst komplexe Fragestellung, die fachlich noch nicht ausdiskutiert ist. Hierzu kann auf laufende wissenschaftliche Studien zum selben Themengebiet in der Schweiz, in Österreich und Deutschland verwiesen werden.

Für die Zukunft stehen wir vor der Herausforderung, ein kompaktes Maßnahmenkonzept zu entwerfen, das auf der in der vorliegenden Studie propagierten Kombination aus Schwallausgleich und morphologischen Verbesserungen aufbaut. Im Hinblick auf einen Kraftwerksbetrieb mit reduzierten ökologischen Auswirkungen sind bezüglich der wirksamsten Massnahmenkombinationen bei Bedarf noch weitere Aspekte zu beleuchten und zu quantifizieren. Dabei sind alle künftig verfügbaren Studien auszuwerten und allenfalls weitere vertiefende Untersuchungen durchzuführen, beispielsweise zu Ablagerungs- und Resuspensionsprozessen und deren Beeinflussung durch Schwalleffekte. Dies auch in Zusammenhang mit der Frage, ob und wie sich diese Verhältnisse mit dem zu erwartenden Klimawandel verändern werden.

Vor Fertigstellung der vorliegenden Studie hat ein länderübergreifender Informationsaustausch zwischen der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, verschiedenen Forschungsgruppen in Österreich sowie schweizerischen und österreichischen Bundesstellen stattgefunden. Dieser Austausch soll vertieft und intensiviert werden, um das Wissen zur Thematik zu bündeln.

Bei allen Beteiligten möchte ich mich ganz herzlich für ihren Einsatz bedanken und auch weiterhin um engagierte konstruktive Mitarbeit im Interesse „unseres“ Alpenrheins bitten.

Dr. Helmut Kindle
Leiter der Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein

1 Zusammenfassung & Empfehlungen

Ziel der Studie ist die Erarbeitung einer fachlich fundierten Entscheidungsgrundlage für nachhaltige Strategien zur Minimierung der schädlichen Auswirkungen von anthropogen verursachtem Schwall und Sunk auf die Biozönose am Alpenrhein.

Methode

Im Rahmen des Projektes werden in einem ersten Schritt verschiedene Schwallsszenarien (**Anforderungsprofile**, kurz: AP; vgl. Kap. 3 u. Tab. 1) definiert. Es sind dies, neben der aktuellen Situation (AP0), vier unterschiedlich stark gedämpfte Schwall/Sunk-Abflussganglinien bei Niederwasser im Winter (AP1 bis AP4). Ergänzend dazu wird als Bezugsmaßstab der Zustand vor Speichererrichtung mit natürlicher Morphologie anhand der Verhältnisse in Mastrils betrachtet (AP0a). Um die durchschnittlichen Verhältnisse, die über den gesamten Winter herrschen, abschätzen zu können, wird zudem ein Szenario mit dem mittleren Winterabfluss definiert (AP4a).

In weiterer Folge werden die morphologisch unterschiedlichen Modellstrecken

- naturnahe **Mastrilser** Rheinauen
- alternierende Kiesbänke im Bereich **Buchs**
- monotone geradlinige Strecke **Koblach**

festgelegt, dreidimensional vermessen und im Hinblick auf die sich einstellenden hydraulischen Verhältnisse berechnet (vgl. Kap. 5 u. 6).

Darauf aufbauend werden mittels biotischer **Habitatmodellierung** die Lebensraumverhältnisse für die Indikatorfischart Bach- bzw. Seeforelle und die Bodenfauna modelliert. Neben Faktoren wie Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit oder Substratverteilung wird dabei auch der Faktor Kolmation einbezogen.

Eine **Sensitivitätsanalyse** zeigt, dass kein Faktor allein „durchschlagende Auswirkungen“ auf die Ergebnisse der Habitatmodellierung hat. Die Ermittlung der Lebensraumeignung ohne Einbeziehung des Faktors Kolmation würde im Modell erfolgreiche Reproduktion dort erlauben, wo heute natürlicherweise keine stattfindet (vgl. ARGE Trübung Alpenrhein, 2001). Daher wurde der Faktor Kolmation bei der Ermittlung der Lebensraumeignung als Einflussfaktor in der Habitatmodellierung beibehalten.

Ergebnisse

Als Endergebnis können für die unterschiedlich stark gedämpften Schwall/Sunk-Tagesganglinien die **erreichbaren ökologischen Verbesserungen** quantifiziert werden. Andererseits können die Einflüsse der unterschiedlichen Morphologien entlang des Alpenrheins aufgezeigt und **Empfehlungen** für morphologische Verbesserungen in den einzelnen Gewässerstrecken formuliert werden.

Fischfauna

Es zeigt sich, dass die **Laichplätze bzw. die Eientwicklung** das limitierende Stadium für eine intakte Bachforellenpopulation im Alpenrhein darstellen. Verbesserungen durch Schwalldämpfung werden zu einem erheblichen Teil durch die starke Sunkanhebung in Folge des geforderten Wochenausgleiches wieder zunichte gemacht, da eine optimale Laichplatzeignung nur bei natürlicher Niederwasserführung im Winter gegeben ist und der natürliche Niederwasserabfluss bedeutend niedriger liegt als bei AP4a (Sunkanhebung). Selbst in der naturnahen Strecke Mastrils treten die ersten funktionsfähigen Laichareale erst ab AP2 auf, für die Sicherstellung einer nachhaltig sich selbst erhaltenden Bach- bzw. Seeforellenpopulation ist aber eine weitgehende Schwalldämpfung beginnend mit AP3 erforderlich. In der morphologisch degradierten Strecke Buchs entstehen erst bei vollständigem Schwallausgleich potentiell funktionsfähige Laichplätze, die aber unter dem definierten Mindestfordernis (10 % des Referenzwertes von AP0a) liegen. In der Strecke Koblach entstehen selbst bei vollständigem Schwallausgleich keine geeigneten Laichplätze. In beiden Strecken wäre neben der Schwall/Sunk-Dämpfung eine morphologische Aufwertung notwendig, um ausreichend intakte Laichareale zu schaffen.

Bei den **Jungfischen** der Bach- bzw. Seeforelle wird der Mindestlebensraum im Winter in der Strecke Mastrils bereits ab AP2 erreicht. Da in Mastrils das bessere Habitatangebot durch das höhere Strandrungsrisiko egalisiert wird, liegen in der Strecke Buchs bei AP0 bis AP3 ähnliche Werte wie in den naturnahen Mastrilser Auen vor. Beginnend mit AP3 überwiegt in Mastrils das bessere Lebensraumangebot die Strandrungsgefährdung, bei AP4 und AP4a (ohne Abflussschwankungen) weist die naturnahe Strecke Mastrils gegenüber der Strecke Buchs nahezu doppelt so viele geeig-

nete Lebensräume auf. In der Strecke Koblach könnte der Zielwert bei AP3 mit Hilfe morphologischer Verbesserungen erreicht werden, bei APO bis AP2 erscheint die Erreichung des Zielwertes durch morphologische Aufwertungen unwahrscheinlich.

Resümee: Für die Sicherstellung einer intakten und nachhaltig sich selbst erhaltenden Bach- bzw. Seeforellenpopulation ist in der Strecke Mastrils eine weitgehende Schwalldämpfung beginnend mit AP3 erforderlich. Für die Strecken Buchs und Koblach sind neben der Schwalldämpfung (beginnend ab AP3) auch umfangreiche Maßnahmen zur Gewässerstrukturierung erforderlich. Für die Gesamtverbesserung der Bedingungen kann zudem auch die Aufwertung der Zubringer (Vernetzung, Schaffung von Laicharealen) beitragen.

Makrozoobenthos

Gestützt auf die Resultate aus der Habitatmodellierung erfüllt das AP2 im Wesentlichen die Voraussetzungen, um im Alpenrhein eine standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt des Algenbewuchses und des Makrozoobenthos zu ermöglichen.

Empfehlungen

Da die Bodenfauna entsprechend den Modellierungsergebnissen geringere Anforderungen an die Schwalldämpfung stellt (AP2 wäre ausreichend) und die Beeinträchtigungen der Fischfauna durch unterschiedliche saisonale Hauptschadensfaktoren mitverursacht werden, nehmen die nachfolgenden Empfehlungen vor allem Bezug auf die Anforderungen der verschiedenen Altersstadien der Bach- bzw. Seeforelle.

Mit einem verfügbaren Volumen von Schwalldämpfungsbecken sollten in jeder Jahreszeit gezielt die Auswirkungen des jeweils limitierenden Schadensfaktors reduziert werden:

- **Mitte November/Dezember (Laichzeit Bach- bzw. Seeforelle):** Durch Vermeidung einer zu starken Sunkanhebung könnte eine massive Verbesserung der fischökologischen Verhältnisse erreicht werden. Da die Hauptlaichzeit

nur einen Zeitraum von ca. 4 Wochen umfasst, wären dabei auch kurzfristige Betriebseinschränkungen überlegenswert

- **Winter (Eientwicklung):** Vorrangig ist die Reduktion der Schwallamplitude zur Minimierung der Beeinträchtigung der Eientwicklung durch Trockenfallen, Kolmation und Erosion. Eine Anhebung des Sunkabflusses sowie geringfügig erhöhte Schwallrückgangs- und Schwallanstiegsgeschwindigkeiten haben in dieser Periode eine geringere Beeinträchtigung für die Bachforellenpopulation zur Folge. Generell sind das Stranden als auch das Verdriften von Jungfischen zu dieser Jahreszeit nicht die limitierenden Gefährdungsfaktoren für den Erhalt der Bach- bzw. Seeforellenpopulation.
- **Frühjahr/Frühsummer (Schlupf der Fischlarven von Bach-/Seeforelle und anderen Leitfischarten):** Empfohlen wird ein langsamer Anstieg und vor allem Rückgang des Wasserspiegels bei Schwall bzw. Sunk, optimal kombiniert mit einer verringerten Schwallamplitude.
- **Sommer/Frühherbst:** Keine der heimischen Fischarten laicht während dieser Periode, besonders sensible Stadien sind nicht vorhanden, zudem treten in dieser Jahreszeit erhöhte Abflüsse und Trübungen natürlicherweise im Alpenrhein auf. Daher ist die Fischfauna wesentlich toleranter gegenüber den Abflussschwankungen in dieser Zeit.

Unter Berücksichtigung der oben angeführten jahreszeitlich optimierten Betriebsweise potentieller Schwalldämpfungsbecken könnte mit dem Retentionsvolumen dieser Ausgleichsbecken die bestmögliche ökologische Verbesserung erreicht werden. Diese Vorgehensweise erscheint effektiver als die starre Einhaltung einzelner Anforderungsprofile. Gleichzeitig sind morphologische Verbesserungen, wie im Gewässerentwicklungskonzept Alpenrhein (ZARN et al. 2005) dargestellt, unbedingt erforderlich.

2 Einführung

Ausgangslage

Der Alpenrhein weist im aktuellen Zustand sowohl in morphologischer als auch hydrologischer Hinsicht große Unterschiede gegenüber der ursprünglichen Charakteristik auf (Abb. 2). Regulierungs- und Verbauungsmaßnahmen haben den Alpenrhein weitgehend seiner ursprünglichen Strukturvielfalt beraubt und ihn über weite Abschnitte zu einem monotonen Einbettgerinne gemacht. Der gesamte Alpenrhein ist geprägt von künstlich erzeugten, tagesrhythmischen Abflussschwankungen (Schwall/Sunk-Erscheinungen), die flussab von Kraftwerkszentralen auf die intermittierende Abarbeitung von gespeichertem Wasser zur Deckung des Spitzenbedarfes an Strom zurückzuführen sind. Im Einzugsgebiet befinden sich 40 Stau- und Kraftwerkszentralen.

Da der Abfluss und dessen zeitliche Veränderung (Abflussregime) die abiotischen und biotischen Vorgänge in Fließgewässern steuert, sind mit den Schwall/Sunk-Erscheinungen bedeutende Auswirkungen auf die ökologische Qualität bzw. Funktionsfähigkeit des Gewässers verbunden.

Zielsetzung

Als Reaktion auf diese Situation wird eine für den Alpenrhein spezifische Quantifizierung der Auswirkungen der Schwall/Sunk-Problematik und eine Ableitung von Toleranzbereichen für Schwall/Sunk-Ereignisse bei unterschiedlichen Morphologien im Hinblick auf gewässerökologische Fragestellungen (Habitateignung) durchgeführt.

Nach Abschluss der Untersuchungen (aufgeteilt auf 5 Arbeitspakete; vgl. Abb. 3) soll eine fachlich fundierte Entscheidungsgrundlage vorliegen, die nachhaltige Strategien für die Optimierung der Schwall/Sunk-Ganglinien am Alpenrhein unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Interessen vorgibt. Basierend auf dieser Entscheidungsgrundlage können nachfolgende Projekte am Alpenrhein zur Reduktion der Auswirkungen der Schwall/Sunk-Erscheinungen (z.B. Errichtung von Schwall-Ausgleichsbecken) und Maßnahmen aus dem Gewässerentwicklungskonzept in optimaler Form verwirklicht werden.

Projektgebiet

Der Alpenrhein umfasst den Abschnitt des Rheins ab dem Zusammenfluss von Vorder- und Hinterrhein bis zur Mündung in den Bodensee. Vorder- und Hinterrhein vereinigen sich bei Reichenau zum Alpenrhein, der nach ca. 93 km in den Bodensee einmündet.

Stellvertretend für die unterschiedlichen Morphologien des Flusses werden drei charakteristische Abschnitte als Modellstrecken für die nachfolgenden Untersuchungen ausgewählt (Abb. 1).

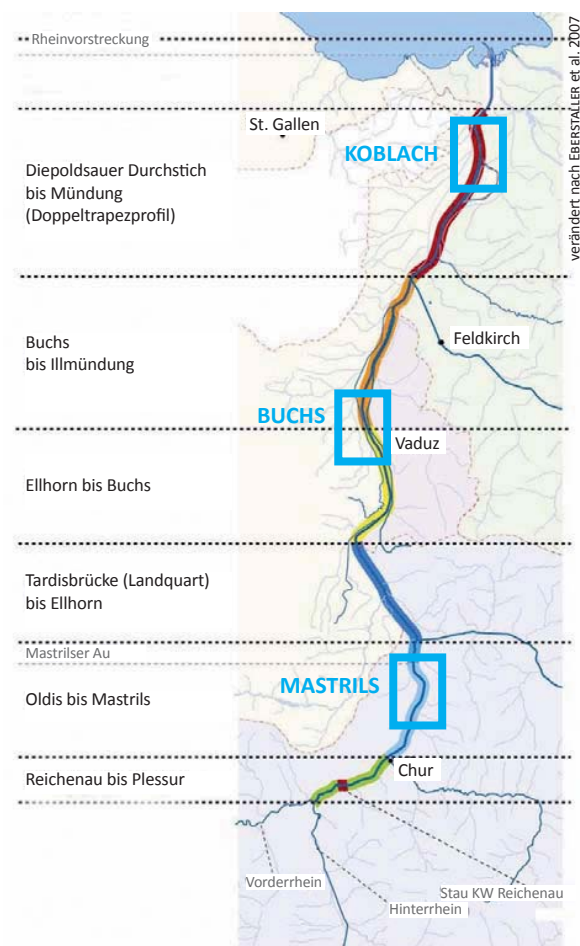


Abb. 1: Übersichtskarte Alpenrhein mit den drei Untersuchungsabschnitten (blau). Diese wurden so gewählt, dass sie für die Morphologie typische Strukturen enthalten, die Morphologie aber nicht von Bögen oder Zuflüssen beeinflusst ist. Der oberste Abschnitt umfasst die strukturreichen Mastrilser Auen und ist durch das KW Reichenau geprägt. Von der Landquart flussab bis zur Illmündung ist das Flussbett durch alternierende Kiesbänke geprägt. Hier liegt der Untersuchungsabschnitt Buchs. Die „Internationale Strecke“ Koblach von der Illmündung bis in den Bodensee ist weitgehend strukturlos und als Doppeltrapezprofil mit breiten Vorländern ausgebildet.

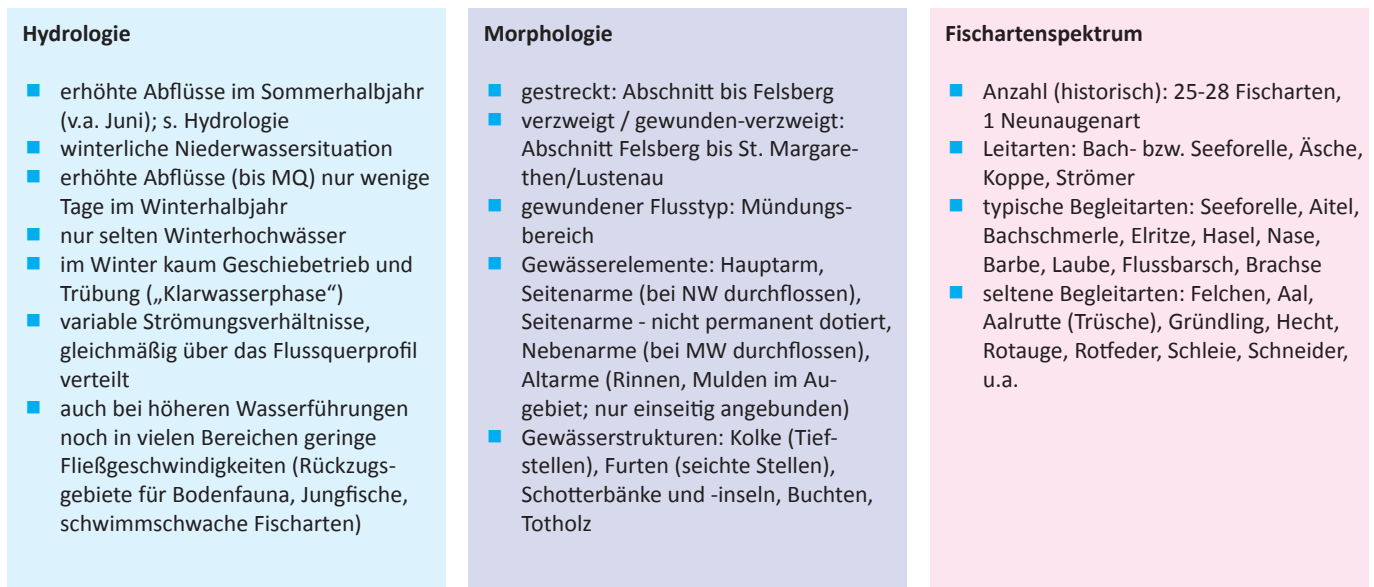


Abb. 2: Referenzzustand des Alpenrheins

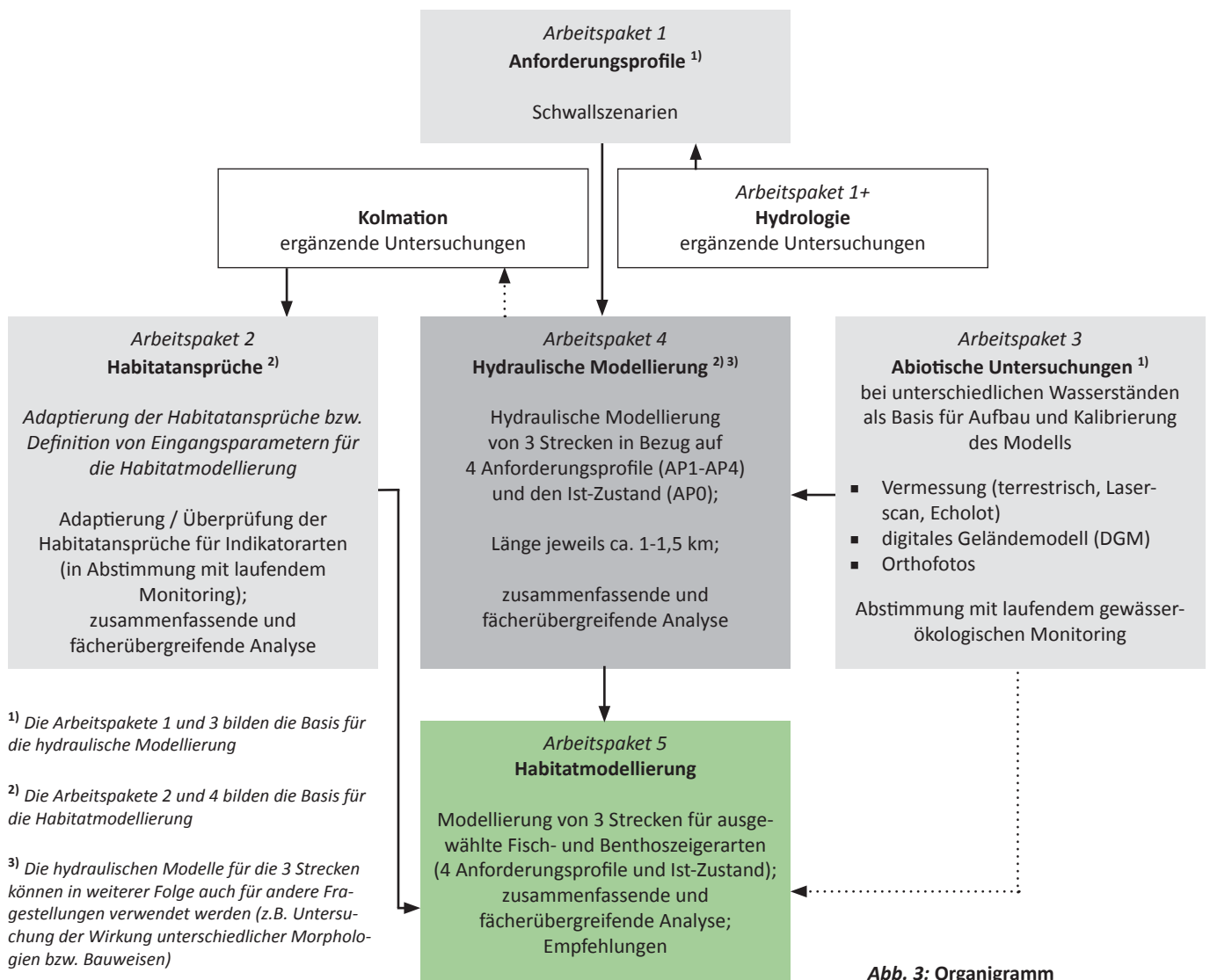


Abb. 3: Organigramm

3 Anforderungsprofile

Szenarien mit unterschiedlicher Schwalldämpfung

Methode

Anforderungsprofile

Die zu erstellenden Anforderungsprofile (AP) beschreiben Schwall Szenarien mit unterschiedlicher Schwalldämpfung. Dabei werden der Schwallspitzenabfluss, der Sunkabfluss, die Schwallanstiegs- und die Sunkrate variiert. AP0 stellt den Ist-Zustand dar, AP0a den Zustand vor Speichererrichtung mit natürlicher Morphologie, von AP1 bis AP4 bzw. AP4a wird der Schwall zunehmend gedämpft. Die Anforderungsprofile beziehen sich jeweils auf repräsentative Wochenangablinen im Hochwinter (vgl. Tab. 1 und 2).

Die angestellten Berechnungen basieren auf einem Vorgängerprojekt der IRKA (SCHÄLCHLI et al. 2003), bei dem bereits Schwallganglinien (Anforderungsprofile) erstellt wurden. Für das vorliegende Projekt ist ein zusätzliches Anforderungsprofil zu definieren, dessen Schwallganglinien zwischen den aktuellen winterlichen Schwallganglinien und dem AP2 (vormals AP1) liegen sollen. Zudem sollen alle Anforderungsprofile soweit angepasst werden, dass das durch die Schwallreduktion zurückgehaltene Wasser innerhalb einer Woche in den Sunkphasen abgelassen werden kann (Wochenausgleich). Dadurch wird der Sunkabfluss mit zunehmendem Anforderungsprofil stärker angehoben.

Ergänzende hydrologische Untersuchungen

Im Verlauf der Bearbeitung zeigt sich, dass für die ökologische Beurteilung auch Informationen über die Abflussverhältnisse vor der Inbetriebnahme der grossen Speicherkraftwerke sowie die mittleren Monatsabflüsse von November bis März im letzten Jahrzehnt wichtig sind. Die entsprechenden Abklärungen erfolgen im Arbeitspaket 1+ Hydrologie für den obersten Rheinabschnitt mit Hilfe der Abflussmessdaten der beiden Stationen Felsberg und Domat/Ems.

Ergebnisse

In den drei Teststrecken Mastrils, Buchs und Koblach werden neben den ungedämpften Schwallganglinien je vier gut abgestufte Anforderungsprofile mit mehr oder weniger gleichmäßig

abgestuften Schwallparametern hergeleitet. Alle Anforderungsprofile werden grafisch dargestellt (s. Beispiel Abb. 4) und die Abflusswerte in Tabellen aufgelistet (s. zusammenfassende Tab. 1).

Der Bau der grossen Speicherseen im Einzugsgebiet des Alpenrheins oberhalb von Reichenau konzentriert sich auf die Periode von 1954 bis 1968. In dieser Zeit wird insgesamt ein Nutzvolumen von 511 Mio. m³ realisiert. Mit der Bewirtschaftung dieser Speicherseen und der Umlagerung der Sommerabflüsse in den Winter nimmt der mittlere Abfluss in den Wintermonaten November bis März von natürlichen 42 m³/s (1899-1953) auf 67 m³/s zu. Die kleinsten Monatsmittel werden im Februar registriert. Dieses Monatsmittel nimmt von 29 m³/s auf 66 m³/s zu. Auch die maximalen und minimalen Abflüsse sind heute im Winter größer als früher. Dafür werden die sommerlichen Hochwasser gedämpft. Im Monat November können die Abflüsse noch stark von Niederschlägen geprägt sein. Vor dem Kraftwerksbau treten im November Abflüsse über 400 m³/s eher häufiger auf als nach dem Kraftwerksbau. Dafür nehmen die Abflussspitzen im Februar von früher häufig 40 bis 50 m³/s auf 150 bis 200 m³/s zu. In den Monaten Januar bis März liegt das auf den Monat bezogene $HQ_{mon 2}$ unter 60 m³/s. Heute werden Werte von bis 175 m³/s erreicht.

Die mittleren Monatsmittel können in den Wintermonaten erheblich variieren. So schwankt zum Beispiel zwischen 1999 und 2008 der mittlere Januarabfluss in Domat/Ems zwischen 42,6 m³/s und 87,1 m³/s und in Diepoldsau zwischen 82,4 m³/s und 174 m³/s.

Der Sunk und Schwallabfluss hat sich seit 1974 verändert. In vier Untersuchungsperioden zwischen 1974 und 2008 nehmen in den Monaten November bis März bei Domat/Ems der Sunkabfluss von 24 auf 15 m³/s ab und der Schwallabfluss von 151 auf 199 m³/s zu.

Tab. 1: Anforderungsprofile bzw. Abfluss-Szenarien mit den zugehörigen Schwall/Sunk-Verhältnissen sowie natürliche Kennwerte des Niedrigwasser-Abflusses für die drei Modellstrecken. Mit Ausnahme der Schwall/Sunk-Verhältnisse sind alle Werte in m³/s angegeben. Die Werte für die drei Flussabschnitte stammen von unterschiedlichen Tagen repräsentativer Wochen und sind daher nicht direkt vergleichbar. Repräsentative Woche für Mastrils: 8.-14.1.2001; repräsentative Woche für Buchs und Koblach: 17.-23.1.2000; AP0a: Natürlicher Zustand/Referenzzustand vor Speichererrichtung (Jahresreihe 1899-1953);

Abschnitt	Messstation	Parameter	AP0a Referenzzust.	AP0 Ist-Zustand	Anforderungsprofile			
					AP 1	AP 2	AP 3	AP 4
Mastrils	Domat/Ems	Q Schwall	—	189	150	130	115	95
		Q Sunk	42	27	30	60	74	95
		Q Schwall / Q Sunk	Ø Winterabfluss 1899-1953	7,0 : 1	5,0 : 1	2,2 : 1	1,6 : 1	1,0 : 1
		Q 347	27	38	—	—	—	—
		Q 300	35	ca. 54	—	—	—	—
Buchs	Landquart	Q Schwall	—	190	160	140	125	105/116
		Q Sunk	—	65	79	95	106	116
		Q Schwall / Q Sunk	—	2,9 : 1	2,0 : 1	1,5 : 1	1,2 : 1	≤1,0 : 1
		Q 347	34	50	—	—	—	—
		Q 300	45	—	—	—	—	—
Koblach (Inter- nationale Strecke)	Diepoldsau	Q Schwall	—	285	240	220	200	180
		Q Sunk	—	106	106	113	119	133
		Q Schwall / Q Sunk	—	2,7 : 1	2,3 : 1	2,0 : 1	1,7 : 1	1,4 : 1
		Q 347	57	86	—	—	—	—
		Q 300	75	ca. 115	—	—	—	—

Tab. 2: Definition der Anforderungsprofile

	Schwallspitze	Schwallanstieg	Schwallrückgang
AP1	Zwischen aktuellen Schwallspitzen und AP2	Leicht gedämpft gegenüber Ist-Zustand; ≤ 0,7 m ³ /s/min	Gedämpft gegenüber Ist-Zustand, Stranden noch möglich; ≤ 0,25 m ³ /s/min
AP2	Kein Transport für dm Sohlenmaterial	Steiler Anstieg, geringe Verzögerung gegenüber Ist-Zustand; ≤ 0,5 m ³ /s/min	Im Grenzbereich, wo Stranden noch möglich; ≤ 0,2 m ³ /s/min
AP3	Kein Transport für dm Feingeschiebe	Deutliche Verzögerung gegenüber Ist-Zustand (ca. Halbierung); ≤ 0,3 m ³ /s/min	Stranden gemäß Literaturangaben nur mehr in geringem Ausmaß möglich; ≤ 0,15 m ³ /s/min
AP4 AP4a	Keine Mobilisierung von Geschiebe, erhebliche Driftreduktion	Stark verzögert gegenüber Ist-Zustand; ≤ 0,2 m ³ /s/min	Stranden gemäß Literatur unwahrscheinlich; ≤ 0,1 m ³ /s/min; „vollständiger Schwallausgleich“
AP4a	wie AP4, jedoch mit unterschiedlicher Berechnung des winterlichen Wasserdargebotes und günstigerer Entwicklung der Kolmationsverhältnisse aufgrund der tieferen Maximalabflüsse. Da die Modellierung für die Szenarien AP4 und AP4a nur geringe Flächendifferenzen bei den Eignungsstufen ergibt, werden in Tab. 1 nur die geringfügig schlechteren Werte von AP4 dargestellt.		

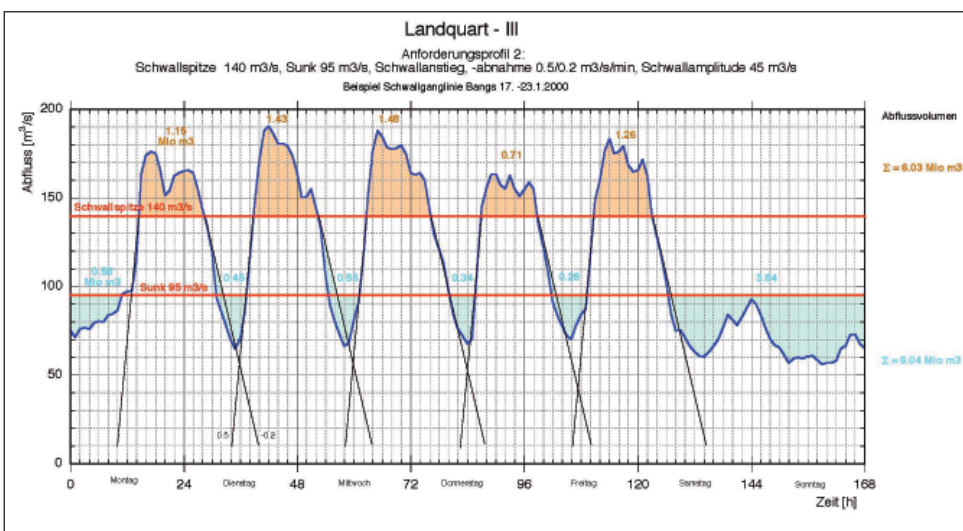


Abb. 4: Schwallganglinie des Anforderungsprofils 2 für die Strecke Buchs in der gewählten Wochenganglinie 17.-23.1.2000 (Beispiel).

Der Schwall bewegt sich zwischen den roten Linien von Sunk und Schwall. Orange Flächen bezeichnen turbinirtes Wasser, das zurückgehalten, blaue Flächen Wasser, das zusätzlich abgelassen werden muss. Über die ganze Woche betrachtet, sind die zwei Wasservolumen ident (Wochenausgleich).

4 Habitatsprüche

Definition von Eingangsparametern und Regeln für die Habitatmodellierung

Methode

Für die hinsichtlich Abflussschwall sensibelsten Lebensstadien der Indikatorfischart Bach- bzw. Seeforelle (Laichplätze/Eier und Jungfische) sowie für die Bodenfauna (Makrozoobenthos) werden in Arbeitspaket 2 die Habitatsprüche in Form von Fuzzy-Logic-Regeln definiert. Diese legen für jede „Zelle“ (Modellelement) im Gewässer für eine bestimmte Abflusssituation die Lebensraumeignung (= BSI, Basishabitateignung) als Kombination abiotischer Parameter wie z.B. Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Substrat, Strukturausstattung und Kolmation fest.

Analog werden Risiken für Laichhabitate (Trockenfallen, Erosion) und Jungfische (Stranden, Drift) ermittelt. Durch Subtraktion der Risiken von der Basishabitateignung (BSI) ergibt sich die „Effektive Lebensraumeignung“ (Abb. 14)

Die Verknüpfung der abiotischen Parameter zu einer Habitateignung erfolgt mit dem Modell

CASiMiR über einen multivariaten fuzzy-logischen Ansatz (Abb. 5). Dabei werden zu jedem Parameter Klassen („Fuzzysets“) definiert (z.B. „groß“, „mittel“, „gering“; vgl. Abb. 6).

In weiterer Folge werden die einzelnen Fuzzysets durch Kombination der Parameter miteinander zu Fuzzy-Logic-Regeln verknüpft. Diese werden auf Basis von Literaturdaten an die speziellen Verhältnisse im Alpenrhein angepasst und einer Eignung zugewiesen (s. Beispiele S. 11ff.). Im Anschluss erfolgt die Überprüfung bzw. Eichung des Regelwerkes (Modells) mit den Ergebnissen der eigenen Erhebungen am Alpenrhein (Abb. 7).

Der auf Fuzzy-Logic-Regeln basierende Ansatz ermöglicht es, das Zusammenwirken von Habitatparametern zu berücksichtigen. Auch können ökologisches Wissen und Erfahrungen aus anderen Projekten (z.B. Gewässerentwicklungskonzept Alpenrhein) eingebracht werden.

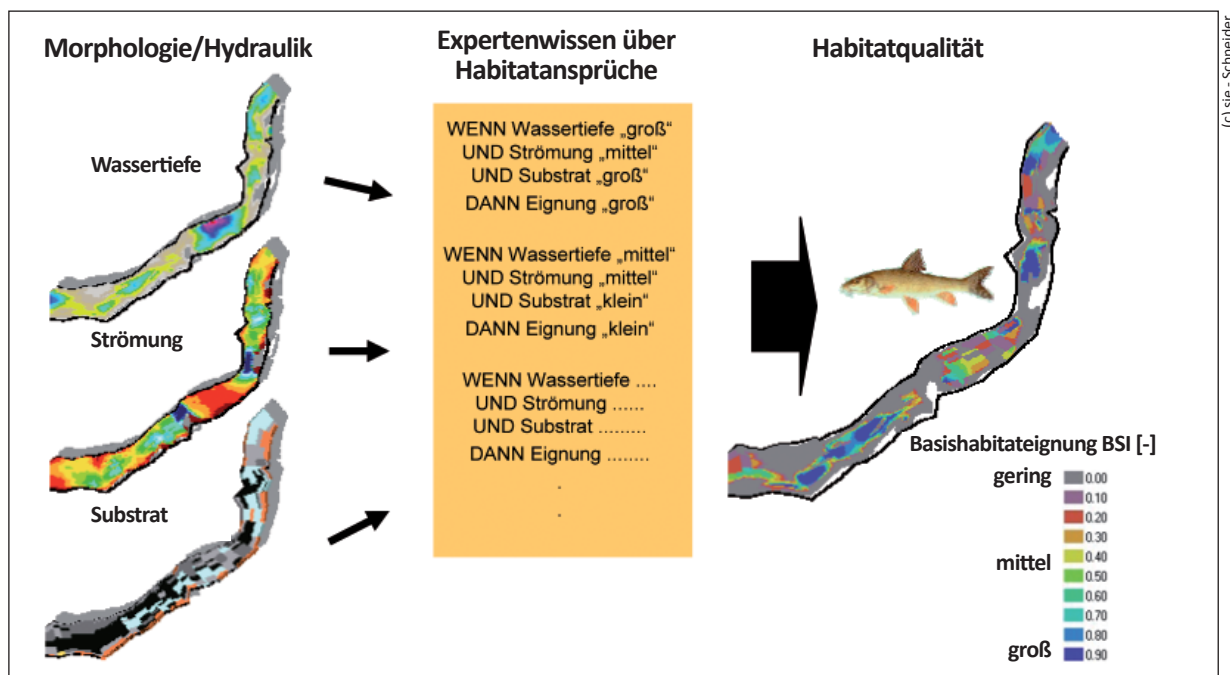


Abb. 5: Prinzip der Habitatmodellierung mit einem auf Fuzzy-Regeln basierendem Ansatz. Bei der Berechnung der Habitateignung mit einem Wert von 0 bis 1 wird für jede „Gewässerzelle“ (Auflösung 1-2 m) überprüft, welche Regeln gut und weniger gut mit den vorhandenen Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten, Substratgrößen usw. übereinstimmen. Der Fuzzy-Regel-basierte Ansatz hat den großen Vorteil, dass einerseits das Zusammenwirken von Habitatparametern berücksichtigt werden kann, andererseits eine unscharfe Formulierung der Habitatparameter in Kategorien „mittel“, „groß“ usw. möglich ist, was der Beschreibung von oftmals nicht in exakten Funktionen wiederzugebenden ökologischen Sachverhalten entgegen kommt.

Modellierungsregeln Laichplätze

Basishabitateignung als Laichplatz für die Bachforelle (BSI)

Die grundsätzliche Eignung als Laichplatz für die Bach- bzw. Seeforelle wird anhand der folgenden Parameter ermittelt:

- Fließgeschwindigkeit
- Wassertiefe
- Substrat und
- Kolmation*) (vgl. S. 17)

Beispiele

Fuzzy-Regeln „Basishabitateignung Laichplatz (BSI)“

WENN Fließgeschwindigkeit „mittel“
UND Wassertiefe „mittel“
UND Substrat „mittel“
UND Kolmation „gering“ (nicht/wenig kolmationsgefährdet)
DANN ist die Basishabitateignung „sehr hoch“

WENN Fließgeschwindigkeit „sehr gering“ (d.h. geringe Durchströmung und Sauerstoffversorgung)
UND Wassertiefe „sehr hoch“
UND Substrat „hoch“
UND Kolmation „sehr stark“
DANN ist die Basishabitateignung „gering“.

*) Der Verfestigungsgrad des Schotterkörpers (Kolmation) beeinflusst die Möglichkeit, eine Laichgrube zu schlagen. Er ist auch entscheidend für eine ausreichende Sauerstoffversorgung und damit erfolgreiche Eientwicklung.

Gefährdung Trockenfallen – Laichplatz

Die Berechnung erfolgt anhand der Parameter

- Wassertiefe und
- Basishabitateignung Laichplatz.

Eine Gefährdung wird nur dann berechnet, wenn das Gewässerelement als Laichplatz in Frage kommt (Basishabitateignung > 0,3).

Bei unzureichender Wassertiefe kann der Laichplatz einerseits austrocknen, andererseits bei ungenügender Durchströmung nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden.

Beispiele

Fuzzy-Regeln „Trockenfallen Laichplatz“

WENN Wassertiefe „sehr gering“
UND Basishabitateignung Laichplatz (BSI) „gering“
DANN ist die Gefährdung Trockenfallen „gering“.

WENN Wassertiefe „sehr gering“
UND Basishabitateignung Laichplatz (BSI) „hoch“
DANN Gefährdung Trockenfallen „sehr hoch“.



Seeforelle

Die Bach- bzw. Seeforelle (*Salmo trutta*) als Indikatorfischart

Die Bach-/Seeforelle dient im Rahmen des Projekts als Indikatorart für die Modellierung der Fischfauna. Dies aus mehreren Gründen:

- Die Bach-/Seeforelle ist über den gesamten Verlauf des Alpenrheins eine Leitfischart.
- Die Eier der Bach-/Seeforelle liegen den gesamten Winter über im Schotterlückenraum der Flusssohle. Dieses Stadium ist gegenüber Abflussschwankungen und Veränderungen der Flusssohle besonders sensibel. Im Rahmen der Habitatmodellierung wird daher der Modellierung der Laichplätze bzw. Eier besondere Aufmerksamkeit geschenkt, zumal die Ausbildung intakter Fischpopulationen von den Verhältnissen für das sensibelste Stadium abhängt.
- Als weiteres sensibles Stadium werden die sich in ufernahen Bereichen aufhaltenden und daher vom Stranden bei Sunkrückgang besonders gefährdeten Jungfische modelliert.

Ansprüche an den Lebensraum

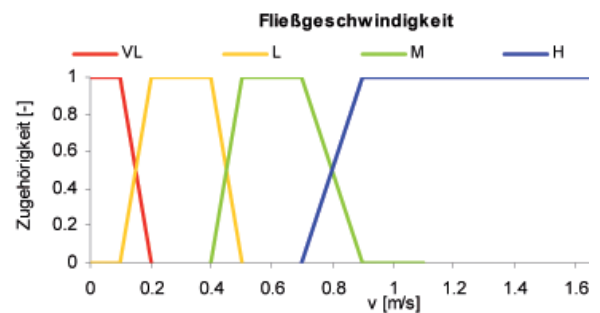
Die Bach- bzw. Seeforelle stellt hohe Ansprüche an ihren Lebensraum, besitzt jedoch auch die Fähigkeit, sich an unterschiedlichste Gewässertypen anzupassen. Bach-, See- und Meerforelle sind verschiedene Formen derselben Art.

Die Fortpflanzung findet auf kiesigen Laichgründen in den Zuflüssen der Seen statt, die für eine erfolgreiche Embryonalentwicklung von kühlem, sauerstoffreichen Wasser durchströmt sein müssen. Am Ende der Embryonalphase wandern die Larven durch Schotter und Kies in Richtung offenes Gewässerbett, wo sie als Jungfische den Schutz eines heterogenen Sohlsubstrats mit Ruhe- und Versteckplätzen benötigen. Als Nahrung für die Jungfische sind Insektenlarven von großer Bedeutung.

Gefährdung

Ab der Mitte des 20. Jahrhunderts ist ein Bestandeseinbruch der Seeforellen im gesamten Einzugsgebiet des Bodensees sowie das Ausbleiben von fortpflanzungsfähigen Fischen an den früheren Laichhabitaten dokumentiert. Die Ursachen sind bekannt: Eingeschränkte Durchgängigkeit von Laichflüssen, Degradation des Lebensraumes durch Gewässerverbauung, Überfischung aufgrund unzureichender Schonbestimmungen, Schwall/Sunk, zu geringe Restwasserführung, Geschiebedefizit und ungenügende Wasserqualität.

Abb. 6: Beispiel für die Zuordnung eines Parameters zu Fuzzysets (sich überschneidende Mengen/Klassen).
Fließgeschwindigkeiten von 0,5-0,7 m/s gehören zu 100 % zum mittleren Fuzzyset (M – Medium/Mittel), Bereiche zwischen 0,4 und 0,5 m/s bzw. 0,7 und 0,9 m/s fallen teilweise auch in die Fuzzysets L-Low/Gering, H-High/Hoch.



Gefährdung Erosion – Laichplatz

Zur Berechnung der Gefährdung von Laichplätzen durch Erosion werden die Parameter

- Sohlschubspannung bzw. Bewegungsbeginn des Sohlsubstrates und
- Basishabitateignung Laichplatz

verwendet, da bei beginnender Sohlbewegung eine Beeinträchtigung bzw. Schädigung des Laichplatzes anzunehmen ist.

Beispiele Fuzzy-Regeln „Erosion Laichplatz“

WENN Wahrscheinlichkeit Bewegungsbeginn „gering“
UND Basishabitateignung Laichplatz (BSI) „gering“
DANN ist die Gefährdung Erosion „gering“

oder

WENN Wahrscheinlichkeit Bewegungsbeginn „hoch“
UND Basishabitateignung Laichplatz (BSI) „hoch“
DANN ist die Gefährdung Erosion „sehr hoch“

Effektiver Lebensraum für Laichplätze

Die Effektive Laichplatzeignung berechnet sich aus

- maximaler Basishabitateignung (BSI)
- abzüglich der max. Gefährdung Trockenfallen
- abzüglich der max. Gefährdung Erosion

und wird für jede Zelle (Habitat) über die Tagesganglinie durch Werte von 0 (keine Eignung) bis 1 (maximale Eignung) ausgedrückt. Bei Werten > 0,5 kann davon ausgegangen werden, dass die Zelle als Laichplatz trotz auftretender Risiken geeignet ist.

Modellierungsregeln Jungfische

Analog zu den Laichplätzen werden auch die Jungfischhabitate der Bach- bzw. Seeforelle modelliert. Nachfolgend werden die dazu verwendeten Parameter aufgelistet. Details zu den Fuzzy-Logic-Regeln können im Fachbericht zu Arbeitspaket 2 nachgeschlagen werden.

Basishabitateignung – Jungfische

Die Basishabitateignung für Jungfische der Bach-/Seeforelle wird über die Parameter

- Fließgeschwindigkeit
- Wassertiefe
- Substrat
- Cover (Unterstände, Schutz durch Strukturen)

bestimmt. Über den Parameter „Cover“ wird der Schutz vor Strömung und Fressfeinden einbezogen. Gerade im Winter, wenn Fische energetisch gut haushalten müssen, ist dies für die Eignung eines Habitates essentiell.

Gefährdung Stranden – Jungfische

Folgende Parameter werden bei der Berechnung der Gefährdung für das Stranden von Jungfischen verwendet:

- Basishabitateignung Jungfische
- Wasserspiegelabsenkung
- Wassertiefe
- Substrat
- Ausformung der Schotterbänke (flach, steil)
- Struktur der Schotterbänke (flach, wellig)

Flache Böschungen haben zur Folge, dass Jungfische weitere Distanzen zurücklegen müssen, um bei Pegelrückgang wieder in ausreichend tiefes Wasser zu gelangen. Relevant ist auch die Struktur der Schotterbänke bzw. Uferzonen. Wellige Formen können potentielle Fischfallen darstellen. Diese Bereiche besitzen v.a. bei hohen Sunkraten, aber auch bei geringen Pegelrückgangsraten aufgrund fehlender Fluchtreaktion ein hohes Gefährdungspotenzial für Jungfische.

Gefährdung Drift – Jungfische

Zur Berechnung dienen folgende Parameter:

- Basishabitateignung Jungfische
- Sohlschubspannung
- Wasserspiegel-Änderung
- Ausformung der Ufer (flach/steil)
- Cover (Strömungsschutz ja / nein)

Eine steile Böschung ohne Strömungsschutz (Unterstände) hat zur Folge, dass Fische bei Pegelanstieg nicht in Bereiche mit geringerer Fließgeschwindigkeit ausweichen können. Der Parameter Uferausformung wirkt hier im Vergleich zur Gefährdung Stranden also vollkommen unterschiedlich.



Abb. 7: Laichplatzerhebung. Für die Erstellung und Validierung der „Fuzzy-Logic-Regeln“ wurde nicht nur auf bestehende Literatur zurückgegriffen, es wurden auch eigene Untersuchungen durchgeführt. Diese fanden vom 6.-8.11.2009 sowie vom 11.-13.12.2009 in der Teststrecke Mastrils statt. In der Teststrecke Buchs wurde am 13.12.2009 gefischt.

Effektiver Lebensraum für Jungfische

Die „Effektive Lebensraumeignung“ für Jungfische wird getrennt für Drift und Stranden für die gesamte Tagesganglinie in 10-Minuten-Schritten ermittelt.

Bei der Berechnung wird für jeden Zeitschritt von der Basishabitateignung (BSI) die Gefährdung Stranden bzw. die Gefährdung Drift abgezogen. Der über die gesamte Tagesganglinie ermittelte Minimalwerte pro Zelle ergibt die Effektive Lebensraumeignung unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Stranden bzw. durch Drift.

So können Flächen ausgewiesen werden, wo sich Jungfische während der gesamten Tagesganglinie aufhalten können, ohne Wasserstandsänderungen schnell mitverfolgen zu müssen.

Modellierungsregeln Makrozoobenthos

Die Modellierung der Habitateignung für die Bodenfauna erfolgt anhand der Parameter

- Wassertiefe
- Mittlere Fließgeschwindigkeit (Strömung)
- Dominierendes Substrat (Korngröße) und
- Kolmation (in 3 Stufen).

Für diese Umweltfaktoren werden Messwert-Klassen gebildet und diese einem Eignungswert (0, 1, 2) zugeordnet (Tab. 3). Aus dem Produkt der Eignungswerte aller Parameter wird anschließend für jede Zelle der Eignungsindex (SI, von gering bis sehr hoch) errechnet (s. Beispiele re.), der am Ende zu einer Habitateignung (HSI) mit Werten von 0-1 umgerechnet wird.

Tab. 3: Modellierungsregeln für das Makrozoobenthos;
Zuordnung von Messwertklassen zu Eignungswerten

Parameter	Ausprägung	Eignungswert
Wassertiefe	sehr klein (VL)	0
	klein (L)	1
	mittel (M)	2
	gross (H)	1
	sehr gross (VH)	0
Mittlere Fließgeschwindigkeit (Strömung)	sehr klein (VL)	0
	klein (L)	1
	mittel (M)	2
	gross (H)	1
	sehr gross (VH)	0
Dominierendes Substrat (Korngröße)	sehr klein (VL)	1
	klein (L)	0
	mittel (M)	1
	gross (H)	2
Kolmation (Stufen)	gering	2
	mittel	1
	stark	0

Beispiele

Fuzzy-Regeln „Habitateignung Makrozoobenthos“;

Ermittlung von Zellen mit unterschiedlichem Eignungsindex

Wasser-tiefe	Strö-mung	Korn-größe	Kolma-tion	Eignung (SI)
M	M	H	L	VH
H	M	VL	M	M

VL Very Low, L Low, M Medium, H High, VH Very High

5 Vermessung

Basis für Aufbau und Kalibrierung des Modells

Methoden

Im Rahmen des Arbeitspakets 3 wird die Geländemorphologie für die Strecken Mastrils, Buchs und Koblach exakt vermessen.

Die Erfassung der Geländedaten erfolgt nach heutigem Stand der Technik durch Querprofilaufnahmen des Flussschlauches in Kombination mit einer Airborne-Laserscan-Befliegung und Echolotvermessung des Flussbettes (Abb. 8). Strukturen und Wasserspiegellagen, die durch Laserscan und Echolot nicht erfasst werden können, werden durch terrestrische Zusatzvermessung erhoben (Abb. 9).

Ergebnisse

- Digitale Geländemodelle (DGM; vgl. Abb. 10)
 - getrennt für die drei Teilabschnitte
 - als AutoCAD-DXF-Datensatz
- Wasseranslagslinien
 - zeitcodiert
 - getrennt für die drei Teilabschnitte
 - als AutoCAD-DXF-Datensatz inkludiert in den DGMs
- Detailpunktaufnahme für Limnologen
 - für Buchs und Mastrils
 - als ASCII-Punktliste und PDF-Plan
 - auf dem Projektserver
- Orthofotos (vgl. Abb. 11)
 - von allen drei Teilbereichen
 - TIFF-Format; 15 Kacheln á 300 MB
- Luftbilder in Originalauflösung
 - von allen drei Teilbereichen
 - TIFF-Format; mehrere hundert Aufnahmen
- Laserscan-Daten
 - Originalpunktvolke georeferenziert
 - Gefilterte Punktvolke – First return
 - Gefilterte Punktvolke – Last return
 - Gefilterte Punktvolke – Andere Punkte
- Digitales Oberflächenmodell (DOM) und Digitales Geländemodell (DGM) als ARCINFO ASCII-GRID und als x,y,z File in folgenden Rasterweiten: 0,5 m, 1 m



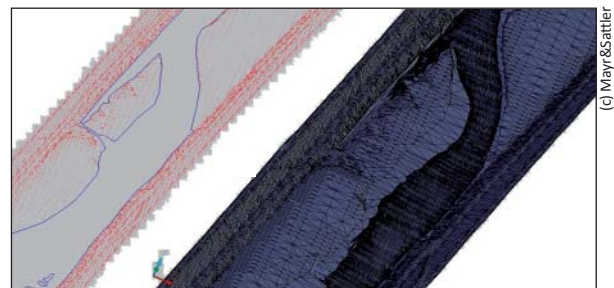
(c) Revital

Abb. 8: Echolotvermessung der Flusssohle mit GPS-basierter Echtzeitortung



(c) Mayr&Sattler

Abb. 9: Strukturen im Abflussraum, Wasserspiegellängen und die Wassertiefen in watbaren Flussabschnitten werden terrestrisch vermessen.



(c) Mayr&Sattler

Abb. 10: Aus den Daten der Laserscan-Befliegung, der Echolotaufnahmen der Sohle und der terrestrischen Vermessung der Wasseranslaglinien wird ein durchgehendes **Geländehöhenmodell (DGM)** der Ober- und Unterwasserbereiche erstellt.



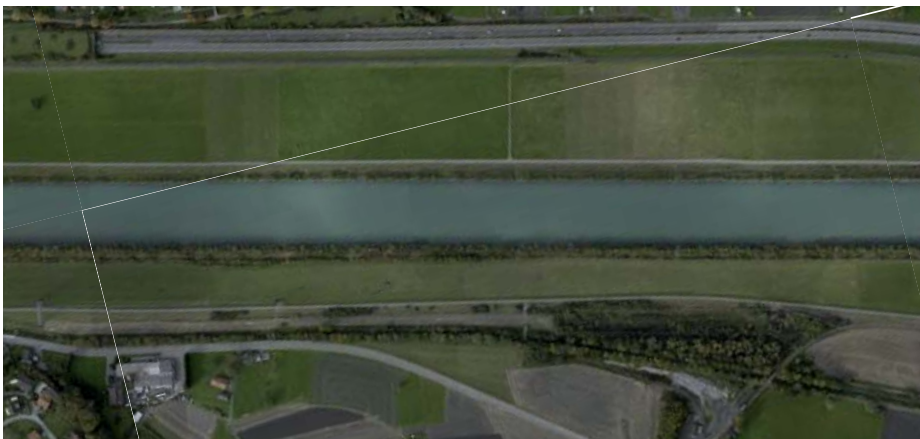
(c) IRKA / IRR

Abschnitt 1: Mastrils; km 20,6 - 22,1; strukturreicher furkierender Abschnitt



(c) IRKA / IRR

Abschnitt 2: Buchs; km 51,4 - 52,4; alternierende Schotterbänke



(c) IRKA / IRR

Abschnitt 3: Koblach; km 70,6 - 71,6; monotoner eingedämmter Flussabschnitt mit ebener Sohle und breiten Vorländern

Abb. 11:
Die neu erstellten hochauflösenden Orthofotos der Untersuchungsabschnitte (Modellstrecken) haben eine Bodenauflösung von 7 cm. Sie wurden am 25.10.2009 bei Niedrigwasser parallel zur Airborne Laser-scan-Befliegung aufgenommen.

Sie dienen u.a. als Grundlage für die Felddaufnahmen im Rahmen der Arbeitspakete 2 und 5.

6 Hydraulische Modellierung

Fließgeschwindigkeiten, Fließtiefen und Wasserspiegellagen als Eingangsgrößen für die Habitatmodellierung

Methoden

Vernetzungen mit anderen Arbeitspaketen

Das Arbeitspaket 4 – Hydraulik – ist stark in die übrigen Arbeitspakete eingebunden. Die Hauptresultate – Fließgeschwindigkeiten, Fließtiefen und Wasserspiegel für verschiedene Schwall/Sunk-Ganglinien – sind Eingangsgrößen für die Habitatmodellierung. Weiters liefern die Hydraulikmodelle für das Arbeitspaket 2 die Fließgeschwindigkeiten und -tiefen als Grundlage für die Referenzkurven verschiedener limnologischer Parameter.

Die Hydraulikmodelle werden mit den Topographiedaten aus dem Arbeitspaket 3 generiert und mit Hilfe von Wasserspiegellagen und benetzten Flächen aus Orthofotos kalibriert. Sie umfassen ein sehr feinmaschiges rechteckiges Berechnungsnetz, das die Topografie sehr genau in einer Auflösung von 1x2 m wiedergibt und später auch für die Habitatmodellierung verwendet werden kann. Informationen über die Rauheit stammen aus Substratkartierungen (Arbeitspaket 5) und früher durchgeführten Untersuchungen.

Eingesetzte Programme

Für die Erstellung des Berechnungsnetzes wird die Software SMS (surface water modelling system) von Aquaveo verwendet. Diese Software verfügt über eine Implementierung des hydraulischen Modells Hydro_As-2d von Nujic. Es ermöglicht instationäre zweidimensionale Abflussberechnungen. Unter anderem können Strömungsfelder detailliert untersucht (z.B. Durchflussaufteilung, Geschwindigkeits- und Schubspannungsverteilung), Retentionswirkungen bestimmt oder Pegel- und Abflussganglinien an beliebigen Kontrollquerschnitten und Kontrollpunkten ermittelt werden. Die Darstellung der Resultate erfolgt mit ArcGIS von ESRI.

¹⁾ In Arbeitspaket 1+ werden die Abflussganglinien der vergangenen Jahrzehnte (vor und nach Kraftwerksbau) analysiert und zwei repräsentative Winterwochen ausgewählt. Daraus werden die oben angeführten Tagesganglinien für die hydraulische Modellierung verwendet.

Schwall/Sunk-Ganglinien

Die hydraulischen Berechnungen erfolgen für die in Arbeitspaket 1 definierten Schwall/Sunk-Ganglinien für den Ist-Zustand und die Anforderungsprofile 1 bis 4, wobei folgende Tage simuliert und ausgewertet werden:¹⁾

- Mastrils: Donnerstag, 11.1.2001
- Buchs: Dienstag/Mittwoch 18./19.1.2000
- Koblach: Dienstag/Mittwoch 18./19.1.2000

Die Simulation startet mit einer Schwallspitze und endet mit einem Sunk. Die Auswertung erfolgt von Sunk bis Sunk. Beim Anforderungsprofil 4 ist der Abfluss konstant (Abb. 12).

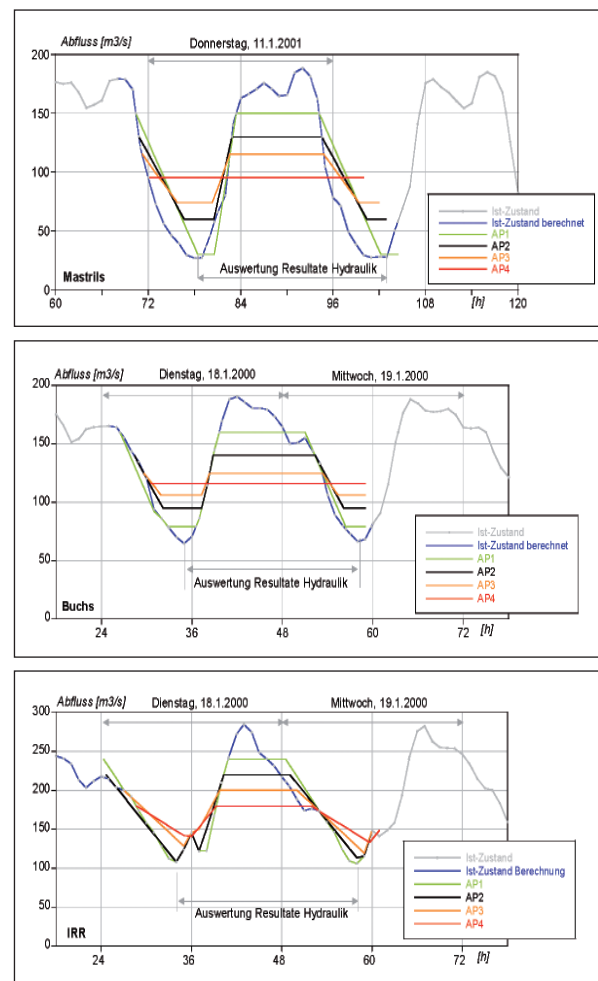


Abb. 12: Schwall/Sunk-Ganglinien zu den Untersuchungsabschnitten. Die simulierten Bereiche sind farbig hervorgehoben.

Ergebnisse

In den drei Untersuchungsstrecken Mastrils, Buchs und Koblach werden die Parameter Geschwindigkeit, Fließtiefe und Wasserspiegel alle 10 Minuten ermittelt. Die Ergebnisse bilden eine der Grundlagen für die Habitatmodellierung (Arbeitspaket 5). Abb. 13 zeigt beispielhaft die Fließtiefen bei Sunk- und Schwallabfluss für den Ist-Zustand und das Anforderungsprofil 3.

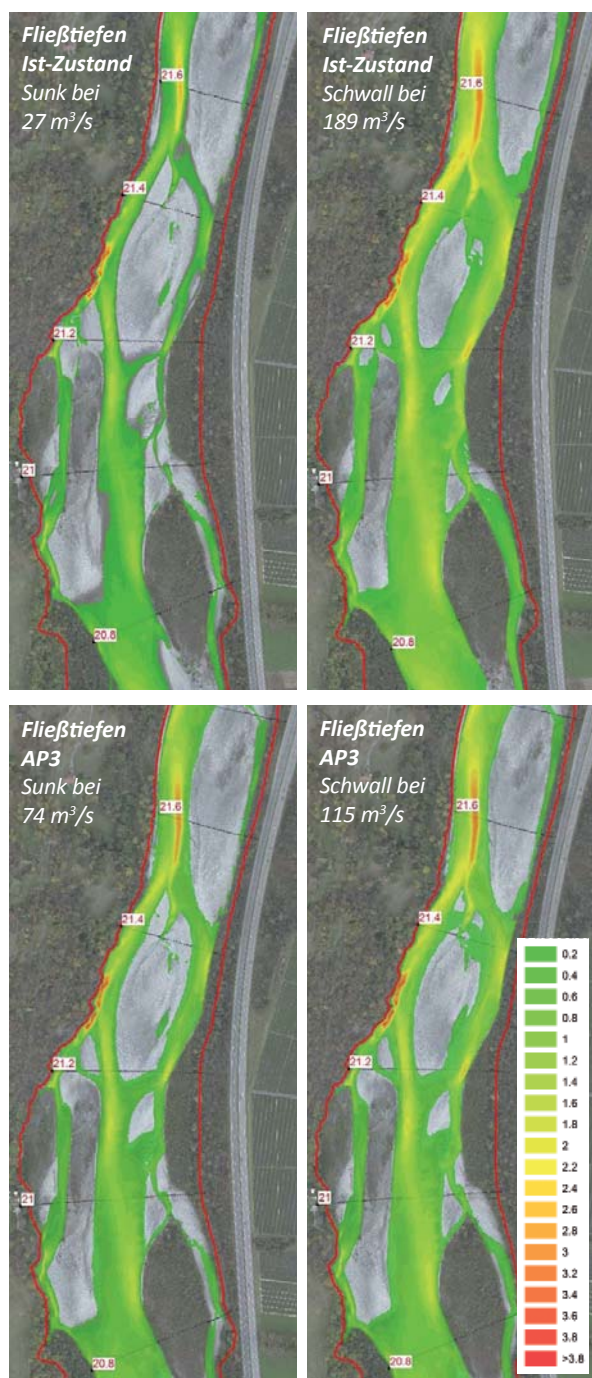


Abb. 13: Beispiel Mastrils – berechnete Fließtiefen; Farb-abstufung in 0.2 m-Schritten von 0.2 m (dunkelgrün) bis 3.6 m (rot)



Kolmation

„Kolmation“ ist die Ablagerung von Schwebstoffen auf der Gewässersohle oder im Porenraum des Substrats. Bei der Kolmation handelt es sich im Normalfall um einen natürlichen Prozess, ein vorhandener Schwallbetrieb kann unter Umständen diesen Prozess verstärken. Bei der **inneren Kolmation** werden die Feinpartikel infolge der Sickerströmung vom Fluss zum Grundwasser im Porenraum unter der Deckschicht ausfiltriert. Bei der **äußeren Kolmation** lagern sich die Feinpartikel auf der Gewässersohle ab.

Die Studie „Trübung und Schwall Alpenrhein“ (SCHÄLCHLI et al., 2001) zeigt, dass die innere Kolmation ein maßgebender Faktor für den Reproduktionserfolg von kieslaichenden Fischen ist. Sie führt zu einer Verminderung des Porenraums, einer reduzierten Durchströmung des Substrats und damit zu geringerer Sauerstoffzufuhr zum Interstitial. Darunter kann die Eientwicklung leiden. Die äußere Kolmation erschwert die Möglichkeit, Laichgruben zu schlagen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird die Kolmation in den vier Anforderungsprofilen – getrennt nach morphologischen Gegebenheiten (z.B. Furten, Hinterwässer, Kolke, Rinnen etc.) – modelliert und die Ergebnisse mit den Erkenntnissen aus einer ergänzenden Untersuchung zu Arbeitspaket 1 in den drei Modellstrecken abgeglichen.

Parameter zur Bewertung der inneren Kolmation:

- **Schwebstoffkonzentration:** Je höher die Schwebstoffkonzentration, desto rascher die Kolmationsentwicklung.
- **Hydraulischer Gradient der Sickerströmung:** Die Wasserspiegeldifferenz zwischen Fließgewässer und Grundwasser bestimmt den hydraulischen Gradienten der Sickerströmung.
- **Sohlschubspannung:** Eine zunehmende Belastung der Sohle führt bis zum Beginn der Bewegung des Sohlsubstrates zu einer dichteren Lagerung der Deckschicht und der Feinpartikel nahe der Sohlenoberfläche.
- **Wassertemperatur:** Bei höherer Wassertemperatur (geringerer Zähigkeit) stellt sich eine höhere Filtergeschwindigkeit ein, wodurch Feinpartikel tiefer in die Sohle transportiert werden.
- **Kornverteilung des Sohlenmaterials:** Bei Sohlenmaterial mit schmaler Kornverteilung (größerer Porenraum) werden die Schwebstoffe tiefer in die Sohle transportiert.

Zur Bewertung der äußeren Kolmation werden drei Zonen abgegrenzt:

- **Transportzone:** „saubere Kieselsohle“
- **Resuspensionszone:** Flächen, wo bei Schwall Feinsedimente aufgewirbelt werden und dadurch die Trübung zunimmt
- **Sedimentationszone:** Ablagerung von Schwebstoffen

Die Ergebnisse der Kolmationsuntersuchungen werden in Fuzzy-Logic-Regeln umgesetzt und fließen in die Habitatmodellierung ein.

Arbeitspaket 5:

7 Habitatmodellierung

Quantitative Bewertung des Schwallenflusses am Alpenrhein

Methode

Aufbauend auf den Arbeitspaketen 1-4 wird mit Hilfe des Simulationsmodells CASiMiR (**Computer Aided Simulation System for Instream Flow Requirements**) die Eignung der drei Modellstrecken als Laich- und Jungfischhabitat für die Indikatorart Bach- bzw. Seeforelle und als Lebensraum für das Makrozoobenthos modelliert. Die Lebensraumeignung wird dabei als Kombination wesentlicher abiotischer Parameter wie Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Substrat, Strukturausstattung, Kolmation, Unterstandstyp etc. ermittelt (vgl. Kap. 4).

Analog werden auch die Gefährdungen durch Trockenfallen, Erosion (bei Laichhabitaten) bzw. Stranden und Verdriftung (bei Jungfischhabitaten) ermittelt. Die „Effektive Lebensraumeignung“ ergibt sich aus der Basishabitateignung abzüglich

der berechneten Risiken. Sie wird über die gesamte Tagesganglinie ermittelt und in Kartenform dargestellt (Abb. 14). Als Bezugsmaßstab wird der natürliche Referenzzustand (AP0a) herangezogen.

Zur Definition und Eichung des Habitatmodells für das Makrozoobenthos werden ergänzende Beprobungen in den Abschnitten Mastrils und Buchs und in speziellen Habitaten des Alpenrheins (Ufer, Seitengerinne etc.) durchgeführt.

Als Endergebnis können für die unterschiedlich gedämpften Schwall/Sunk-Tagesganglinien die erreichbaren ökologischen Verbesserungen quantifiziert werden. Weiters können die Einflüsse unterschiedlicher Morphologien aufgezeigt und Empfehlungen für Verbesserungen in den Gewässerstrecken formuliert werden.

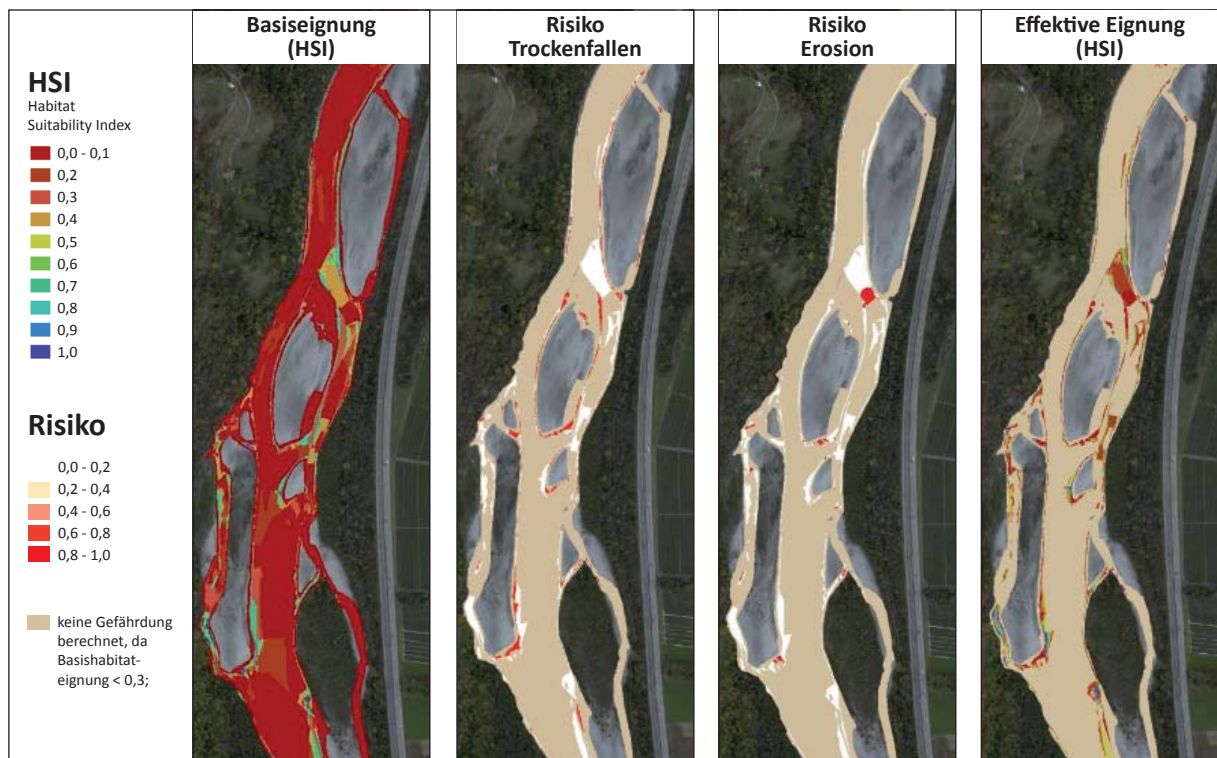


Abb. 14: Laichhabitate – Ermittlung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (HSI - Habitat Suitability Index) für AP3 (Beispiel). Im ersten Schritt wird die Basishabitateignung über die gesamte Ganglinie des jeweiligen Anforderungsprofils ermittelt. Annahme dabei: Ein Ablaichen erfolgt dann, wenn am jeweiligen Laichplatz optimale Verhältnisse herrschen, unabhängig vom Abfluss. Anschließend wird die maximale Gefährdung für die Parameter Trockenfallen und Erosion berechnet. Die „Effektive Lebensraumeignung“ ergibt sich aus der Basishabitateignung abzüglich der auftretenden Gefährdungen (vgl. Kap. 4). Da auch der Parameter Kolmation einbezogen wird (vgl. Arbeitspaket 2), werden auch Aussagen über die Entwicklung der Eier bis zum Schlüpfen der Larven getroffen.

Ergebnisse Laichplätze/Eientwicklung

Die Habitatmodellierung zeigt, dass funktionierende Laichplätze bzw. eine erfolgreiche Eientwicklung die limitierenden Faktoren für eine intakte Bach- bzw. Seeforellenpopulation im Alpenrhein darstellen. Da die Eier den gesamten Winter über im Schottersubstrat liegen, sind sie gegenüber dem Abflussschwall und den resultierenden Auswirkungen besonders sensibel.

Mit zunehmender Schwalldämpfung gehen die Beeinträchtigungen durch Trockenfallen, Kolmation und Erosion der Laichplätze zurück, aber aufgrund des geforderten Wochenausgleichs und der damit verbundenen starken Anhebung des Sunkabflusses (bei AP4 95 m³/s statt 42 m³/s im Referenzzustand AP0a; s. Tab. 1) steigt die Fläche geeigneter Laichplätze jedoch nicht im erwarteten Ausmaß an und bleibt bei allen Anforderungsprofilen deutlich unter dem Wert des unbeeinflussten Referenzzustandes AP0a (Abb. 15).

Die optimalen hydraulischen Bedingungen am Laichplatz treten bei der natürlichen Niederwasserführung im Winter auf, an welche die Bachforelle angepasst ist. Die niedrigen Sunkabflüsse von AP0 und AP1 entsprechen annähernd den natürlichen Niederwasserabflüssen zur Laichzeit. Die weitere Sunkanhebung bei AP2 bis AP4 bedingt die Erhöhung der Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe, wodurch die Eignung der bei Niederwasser sehr gut geeigneten Laichplätze zurückgeht. Entlang der neuen Uferlinie entstehen aber nicht gleich viele sehr gut geeignete Habitate, d. h. die Verbesserungen durch die Schwalldämpfung werden teilweise durch die Sunkanhebung wieder zunichte gemacht.

Die ersten funktionsfähigen Laichareale im Ausmaß von 1.144 m² pro km Flusslauf treten in den naturnahen Mastrilser Auen bei AP2 auf (Abb. 15). Bei AP3 ($Q_{\text{Schwall}} / Q_{\text{Sunk}} = 1,6 : 1$) wird das Min-

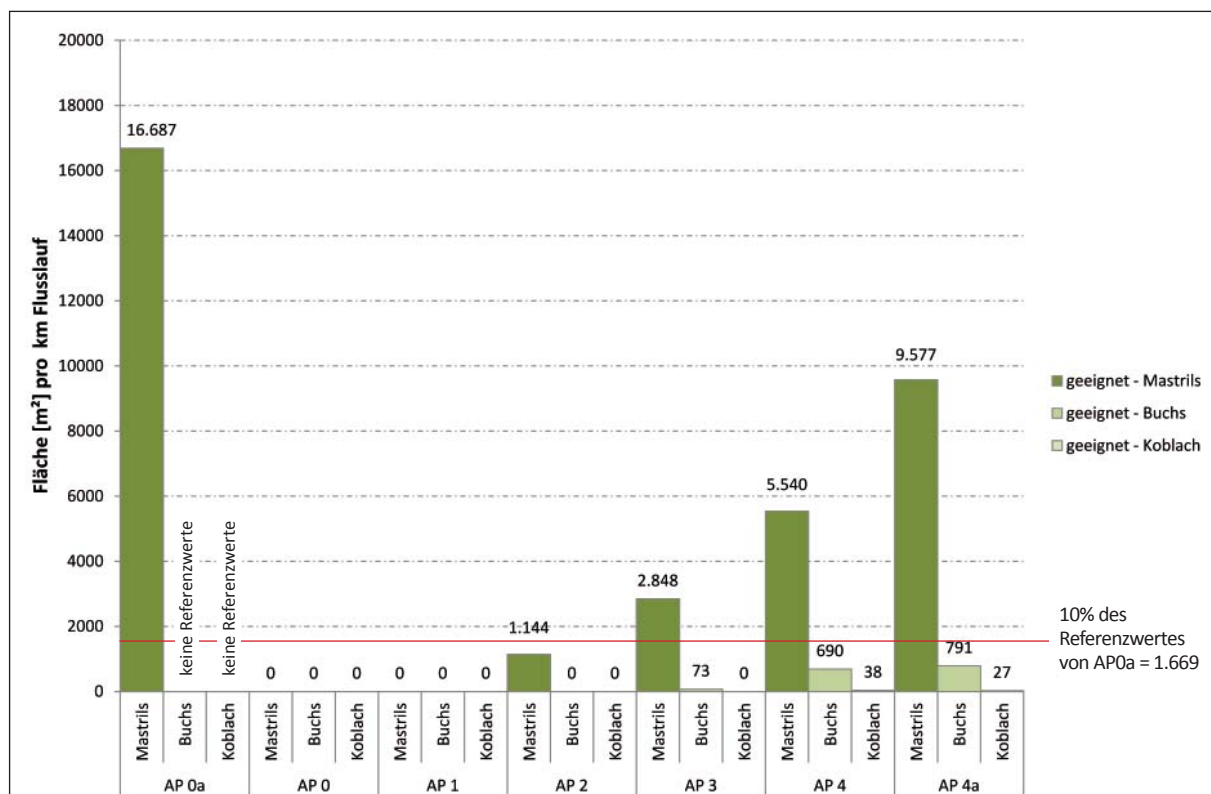


Abb. 15: Laichhabitate – Effektiver Lebensraum pro Untersuchungsstrecke und Anforderungsprofil bezogen auf den Referenzzustand AP0a (= mittlerer Abfluss in den Monaten November bis März vor Errichtung der Speicher oberhalb von Domat/Ems), AP0 (Ist-Zustand/Status quo), AP1 bis 3 (zunehmende Schwalldämpfung), AP4/AP4a (vollständiger Schwallausgleich, AP4a bezogen auf mittleren Winterabfluss); rote Linie: erforderliche Mindestfläche an funktionsfähigen Laichplätzen;

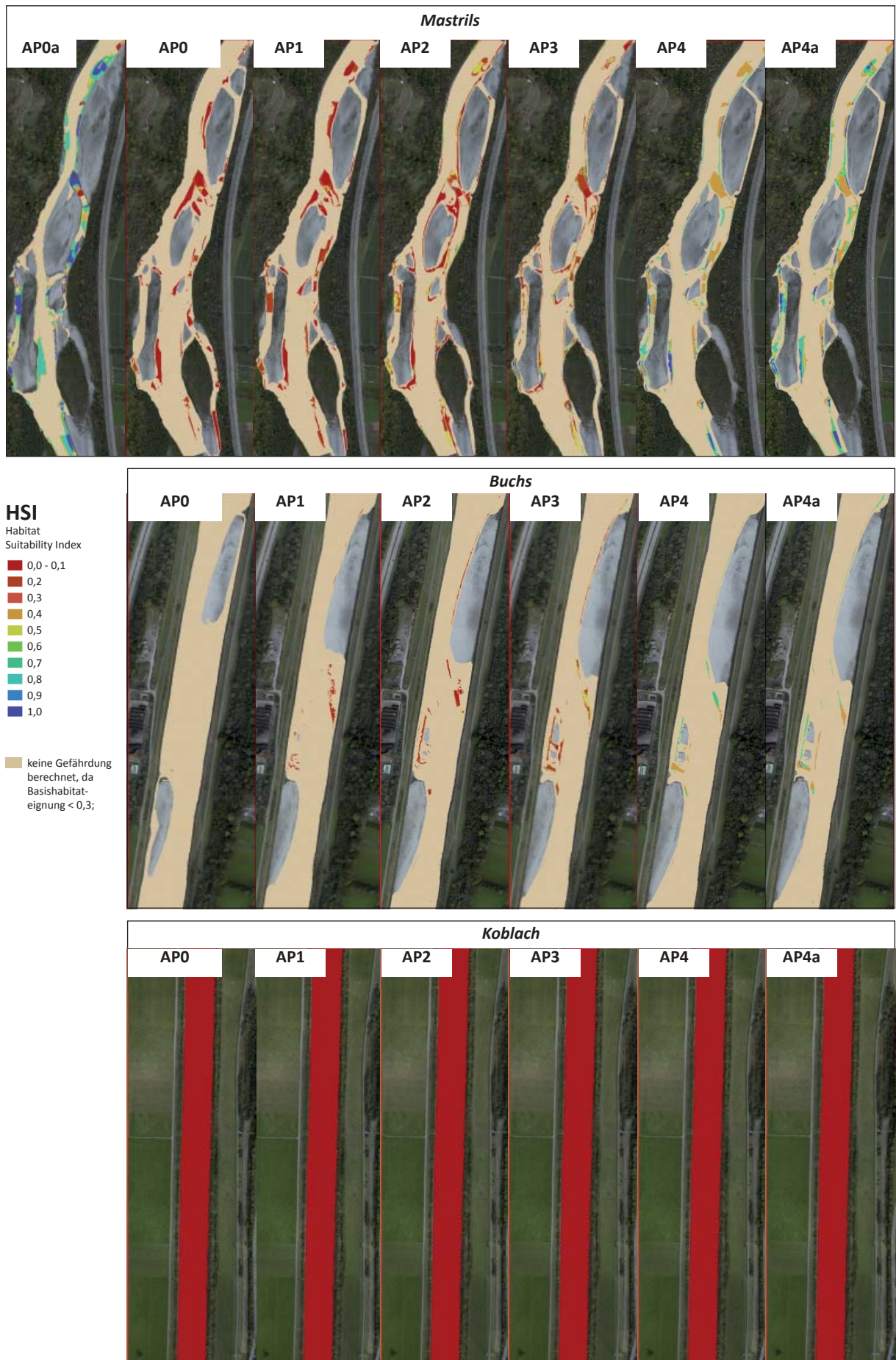


Abb. 16: Laichplatz/Reproduktion – Kartendarstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für den Ist-Zustand (AP0) und die einzelnen Anforderungsprofile (AP1 bis AP4a) in den Modellstrecken; die Modellierung des Referenzzustandes (AP0a) erfolgt nur in der Strecke Mastrils; Erläuterungen: Effektive Lebensraumeignung Laichplatz = Basishabitat-eignung abzüglich Gefährdungen durch Erosion und Trockenfallen; rot ... keine Eignung, blau ... sehr gute Eignung;

desterfordernis an geeigneten Laichplätzen (1.669 m² pro km Flusslauf) mit einer Fläche von 2.848 m² pro km Flusslauf an funktionsfähigen Laicharealen in den naturnahen Mastrilser Auen bereits deutlich überschritten. Bei vollständigem Schwallausgleich (AP4 und AP4a) kommt es zu einem weiteren Anstieg der potentiell geeigneten Laichplätze auf 5.540 bzw. 9.577 m² pro km Flusslauf (Abb. 15).

In der morphologisch bereits degradierten Strecke Buchs mit ihren alternierenden Kiesbänken entstehen erst bei vollständigem Schwallausgleich potentiell funktionsfähige Laichplätze (Abb. 16), die aber deutlich unter den Mindestfordernissen liegen (Abb. 15). In der Strecke Koblach entstehen selbst bei vollständigem Schwallausgleich praktisch keine geeigneten Laichplätze (Abb. 15 u. Abb. 16).

In den Strecken Buchs und Koblach wären daher zusätzlich zur weitgehenden Schwalldämpfung (ab AP3) entsprechende umfangreiche morphologische Aufwertungen notwendig, um ausreichend intakte Laichareale zu schaffen (Tab. 4, S. 24).

Wesentliche Verbesserungen für die Reproduktion der Bachforelle im Fluss könnten vor allem dann erreicht werden, wenn während der Laichzeit der Bach- bzw. Seeforelle (Ende November bis Mitte Dezember) eine zu starke Sunkanhebung vermieden werden könnte.

Zusätzliche Verbesserungen für die Reproduktionsverhältnisse der Bach- bzw. Seeforelle könnten durch Vernetzung der Zuflüsse mit dem Alpenrhein und die morphologische Aufwertung der Zuflüsse erreicht werden, wie dies z. B. beim Liechtensteiner Binnenkanal erfolgreich geschehen ist.

Ergebnisse Jungfische

Bei der Auswertung des Habitatmodells wird zwischen „Effektivem Lebensraum unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Drift“ und „Effektivem Lebensraum unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Stranden“ unterschieden (Abb. 17 u. 18).

Generell ist die Auswirkung der Gefährdung durch Drift deutlich geringer als die Gefährdung durch Stranden. Grund: Bachforellenjungfische sind zur modellierten Jahreszeit im ersten Winter bereits über 100 mm groß und verfügen dann bereits über eine ausreichend hohe Schwimmkapazität, um einer Verdriftung zu entgehen. Dagegen sind Fischlarven im Februar oder März nur wenige Zentimeter groß und wesentlich stärker verdriftungs- und strandungsgefährdet.

Bei den Jungfischen der Bach- bzw. Seeforelle sind im Winter deutliche Verbesserungen der Lebensraumverhältnisse (Erreichung des Zielwertes) in Mastrils und Buchs ab AP2 erreichbar. In der Strecke Buchs liegen bei AP0 bis AP3 ähnliche Werte wie in den naturnahen Mastrilser Auen vor, da in Mastrils das bessere Habitatangebot durch das höhere Strandungsrisiko egalisiert wird. Beginnend mit AP3 überwiegt in Mastrils das bessere Lebensraumangebot die Strandungsgefährdung. Bei den Anforderungsprofilen ohne Abflussschwankungen (AP4 und 4a) weist die naturnahe Strecke Mastrils nahezu doppelt so viele geeignete Lebensräume auf wie die Strecke Buchs (Abb. 17, 18 u. 19).

In der Strecke Koblach sind deutliche Verbesserungen der Lebensraumverhältnisse (Erreichung des Zielwertes) erst ab AP3 und nur kombiniert mit umfangreichen morphologischen Aufwertungen möglich (Tab. 4). Bei AP0, 1 und 2 ist die Erreichung des Zielwertes in der Strecke Koblach auch durch umfangreiche morphologische Aufwertungen nicht möglich, weil auch mit diesen Maßnahmen die gemäß Tab. 4 benötigte Habitat-ausstattung nicht erreicht werden kann.

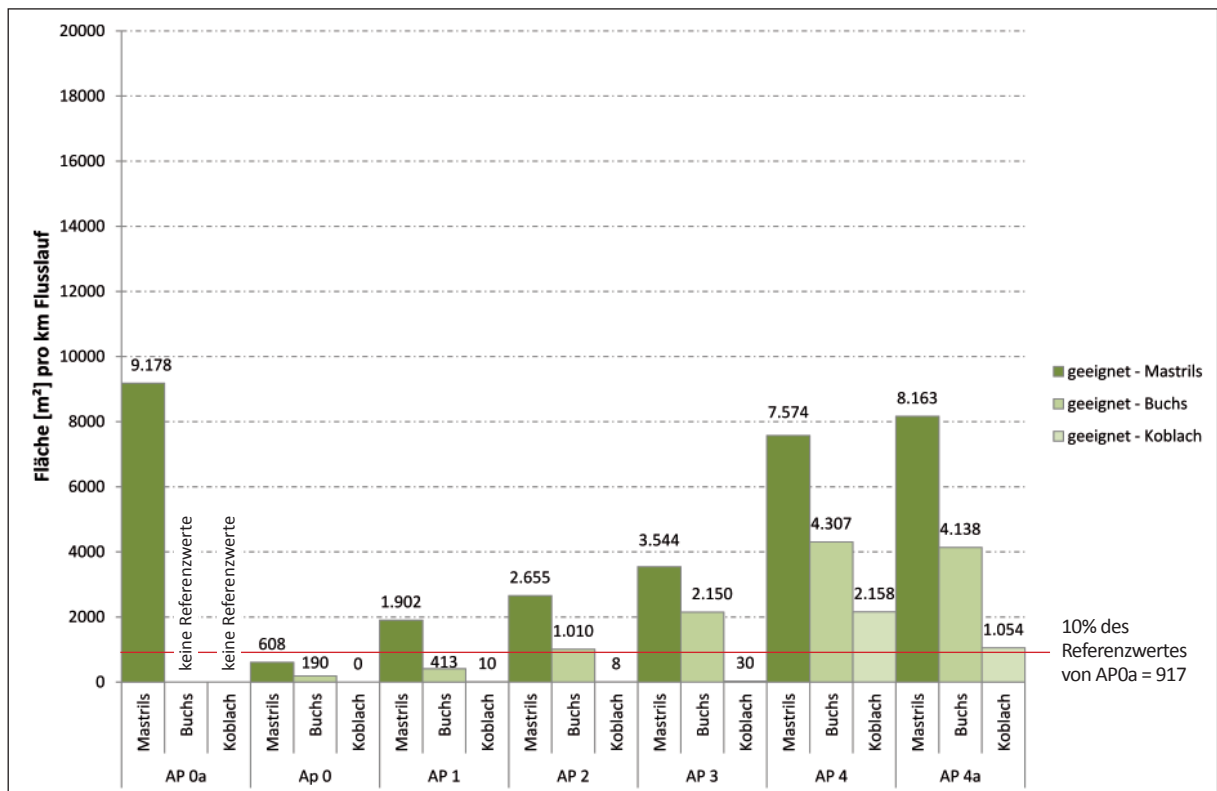


Abb. 17: Jungfische – Effektiver Lebensraum unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Drift, ausgewertet pro Modellstrecke und Anforderungsprofil bezogen auf den Referenzzustand AP0a (vor Kraftwerksbau), AP0 (Ist-Zustand), AP1 bis AP3 (zunehmende Schwalldämpfung), AP4 und AP4a (vollständiger Schwallausgleich); rote Linie: erforderliche Mindestfläche für Jungfischhabitate;

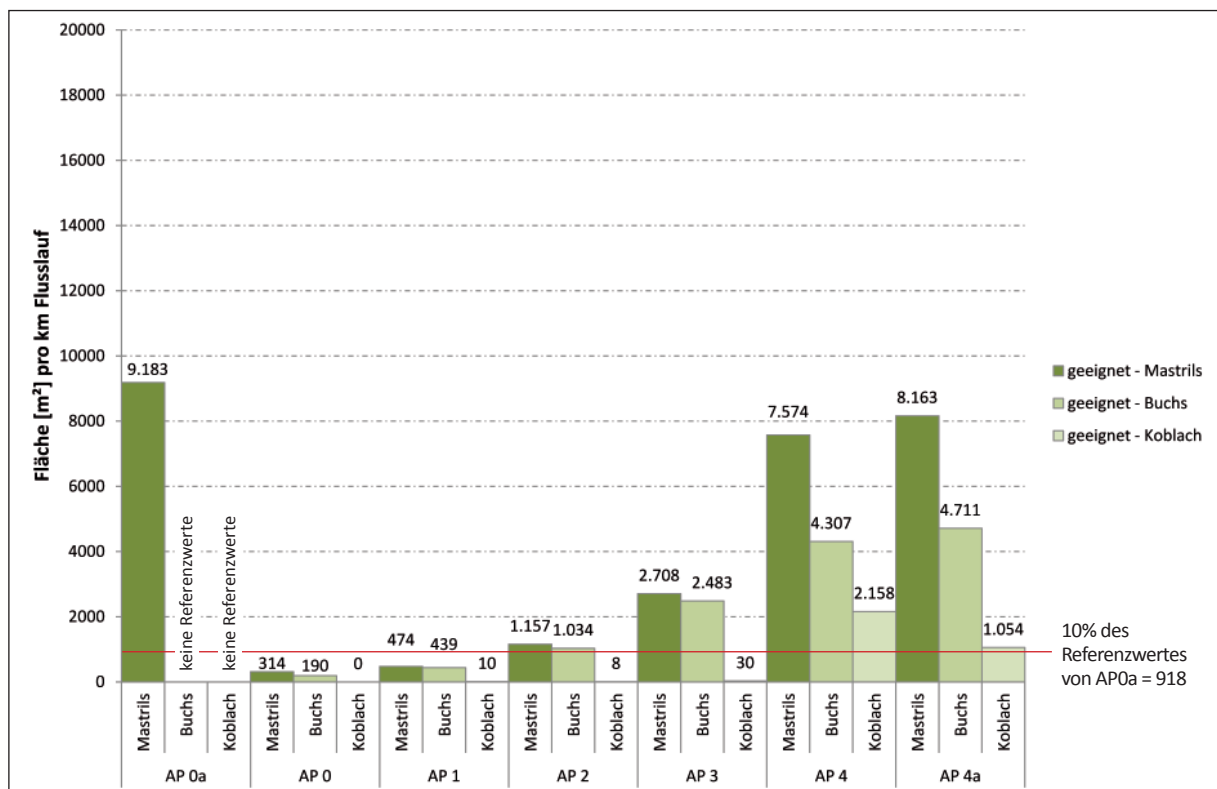


Abb. 18: Jungfische – Effektiver Lebensraum unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Stranden, ausgewertet pro Modellstrecke und Anforderungsprofil bezogen auf den Referenzzustand AP0a (vor Kraftwerksbau), AP0 (Ist-Zustand), AP1 bis AP3 (zunehmende Schwalldämpfung), AP4 und AP4a (vollständiger Schwallausgleich); rote Linie: erforderliche Mindestfläche für Jungfischhabitate;

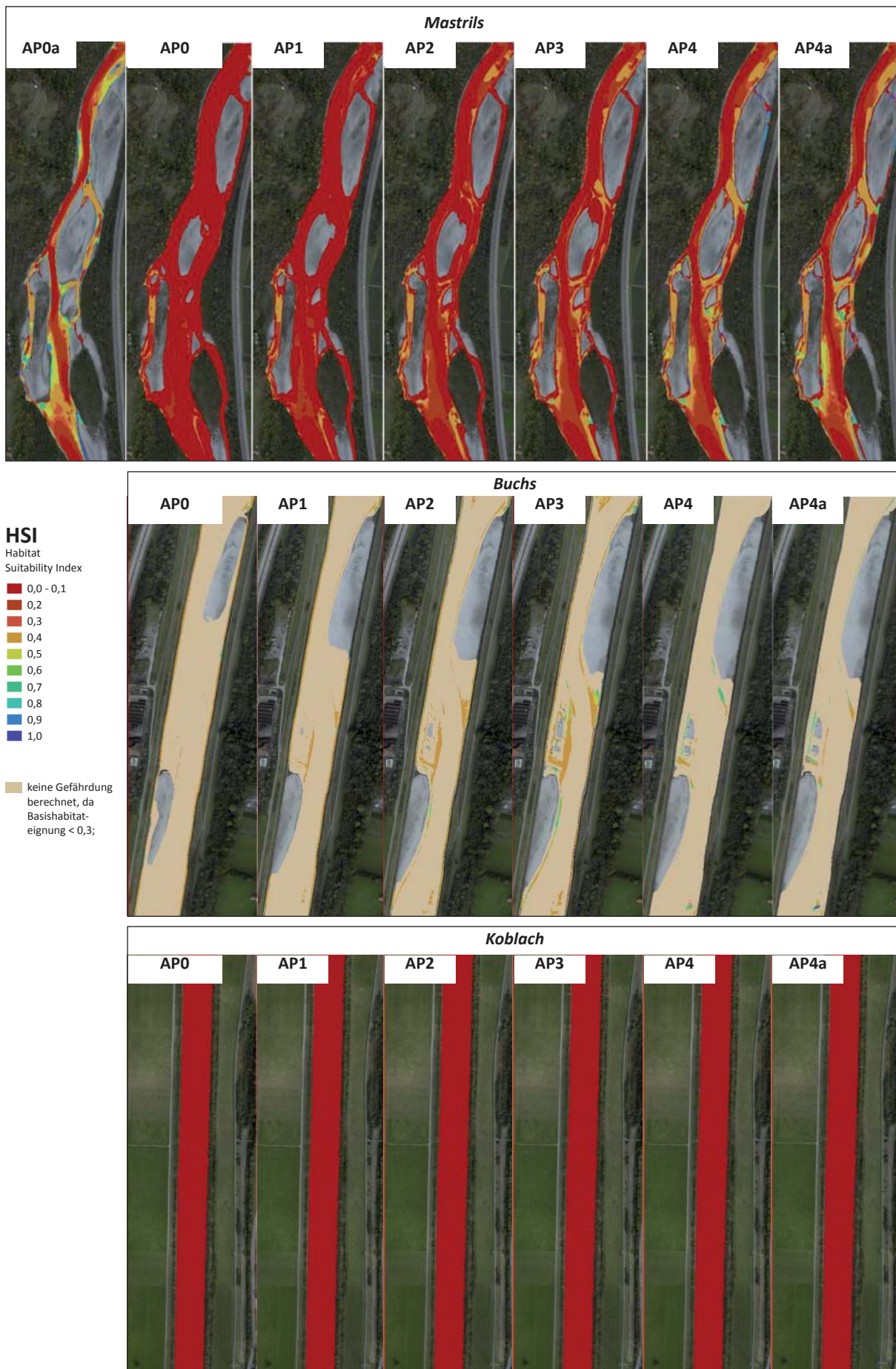


Abb. 19: Jungfische – Kartendarstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Stranden für AP0 (Ist-Zustand) und die einzelnen Anforderungsprofile (AP1 bis AP4a) in den Modellstrecken; die Modellierung des Referenzzustandes (AP0a) erfolgt nur in der Strecke Mastrils; rot ... keine Eignung, blau ... sehr gute Eignung;



Morphologische Verbesserungen als Ausgleich

Die Modellierungsergebnisse zeigen deutlich, dass die Gewässermorphologie das Ausmaß und die Art der Schwallauswirkung entscheidend mitbestimmt. In den naturnahen Mastrilser Auen liegen bei identem Schwallscenario wesentlich bessere ökologische Verhältnisse vor als in den regulierten Strecken Buchs und Koblach. Dabei kristallisieren sich permanent dotierte Seitenarme und Flachwasserbereiche entlang von Kiesbänken als besonders wirksame Gewässerelemente heraus. Besonderes Merkmal der Mastrilser Auen sind der kontinuierliche Verlauf der Strukturen bzw. der Übergang zwischen den Strukturen, der durch die naturnahe Gewässerdynamik entsteht. Gerade diese fließenden Übergänge sind vermutlich für die gute ökologische Wirksamkeit der Strukturen wesentlich.

Um die Wirksamkeit morphologischer Verbesserungsmaßnahmen bei unterschiedlichen Schwallscenarien quantifizieren zu können, erfolgte eine detaillierte Analyse der Gewässerstrukturen in den Mastrilser Auen. Dabei wurde der effektive Lebensraum ermittelt, den naturnahe Strukturelemente wie z.B. Seitenarme, Flachwasserbereiche oder Kiesbänke bei unterschiedlichen Schwallscenarien für Entwicklung, Jungfische und Bodenfauna bieten.

Daraus konnte in weiterer Folge jener Bedarf an Strukturelementen berechnet werden, der erforderlich ist, um in den Strecken Buchs und Koblach eine ausreichende Lebensraumgüte zu erreichen (siehe Tab. 4). Als Mindestanforderung wurden für den Alpenrhein 10 % der Strukturen des Referenzzustandes AP0a in der Strecke Mastrils (vor Kraftwerksbau) angenommen.

Tab. 4: Zusätzlich erforderliche Strukturen in ha pro km Flusslauf in Buchs und Koblach, um das Mindestanforderung an geeigneten Jungfischhabitaten zu erreichen.

Buchs	AP 0	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP4a
Kiesbank	-	261,4	0	0	0	0
Seitenarm	18,2	5,8	0	0	0	0
Furt	58,1	42,5	0	0	0	0
Koblach	AP 0	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
Kiesbank	-	495,7	14,3	3,1	0	0
Seitenarm	23,0	11,0	5,4	2,9	0	0
Furt	73,3	80,5	75,2	49,0	0	0

AP ... Anforderungsprofil

Gesamtresümee Fischfauna

Die ökologischen Verhältnisse sind in der Strecke Mastrils zwar besser als in den anderen Teststrecken, erreichen aber nicht die Qualität des Ausgangszustandes vor Kraftwerksbau (AP0a). Für die Sicherstellung einer nachhaltig sich selbst erhaltenden Bach- bzw. Seeforellenpopulation ist daher eine weitgehende Schwalldämpfung beginnend mit AP3 auch in der Strecke Mastrils unabdingbar.

Für die Strecken Buchs und Koblach sind neben der Schwalldämpfung (beginnend ab AP3) auch umfangreiche Maßnahmen zur Gewässerstrukturierung erforderlich (Tab. 4). Können weitere Möglichkeiten zur Verbesserung wie z.B. Schwalldämpfung (mit reduzierter Sunkanhebung oder Schwallausleitung) oder Aufwertung der Zubringer durch Vernetzung und Schaffung von Laicharealen genutzt werden, könnte unter Umständen auch eine etwas geringere Schwalldämpfung (als AP3) ausreichend sein.

Wird als Zielzustand der „gute ökologische Zustand“ im Alpenrhein angesetzt, könnte ebenfalls eine etwas geringere Schwalldämpfung als in AP3 ausreichend sein. Der (fisch)ökologische Zustand eines Gewässer(abschnitt)s wird nicht nur durch den Zustand einer Art definiert (HAUNSCHMID et al., 2006, SCHAGER & PETER, 2005). So sind für den Oberlauf des Alpenrheins 3 bzw. 4 Leitfischarten, 5 typische Begleitarten und 10 bzw. 13 seltene Begleitarten angeführt, im Mittel- und Unterlauf 4 Leitarten, 10 bzw. 12 typische Begleitarten und 11-12 seltene Begleitarten. Viele dieser Arten, allen voran die Äsche, laichen im Frühjahr bei natürlicherweise höheren Basisabflüssen und höherer Trübung. Diese Fischarten weisen natürlicherweise kürzere Eientwicklungszeiten zu Beginn der Hochwasserperiode auf und sind somit in der Reproduktionsphase deutlich weniger sensibel gegenüber den Auswirkungen des Abflussschwalls als die Bach- bzw. Seeforelle.

Jedoch zeigt die Fischbestandserhebung 2005 (EBERSTALLER et al., 2007), dass sich die gesamte Fischfauna des Alpenrheins aktuell in einem schlechten Zustand befindet (Verarmung an Arten, geringe Biomasse, geringe Fangzahl juveniler Fische).

Da in Österreich und Liechtenstein der Alpenrhein als „erheblich veränderter Wasserkörper“ eingestuft ist, wäre als Zielzustand das gute ökologische Potential anzusetzen. Dieses ist für das Biologische Qualitätselement Fische in Österreich wie folgt definiert: *Zustand, bei dem ein wesentlicher Teil der Leitarten und ein zumindest geringer Teil der typischen Begleitarten sich selbst erhaltende Bestände mit dafür ausreichender Biomasse bilden können* (EBERSTALLER et al., 2010). Die diesbezüglichen Anforderungen müssen angesichts der obigen Ausführungen für den Alpenrhein aber noch im Detail geklärt werden.

Ergebnisse Makrozoobenthos

Die Organismengemeinschaft des Makrozoobenthos umfasst alle mit bloßem Auge sichtbaren, wirbellosen Tiere (Größe > 1 mm), die auf und in der Gewässersohle leben. Die Makroinvertebraten sind teils gar nicht (festsitzende Arten) und teils nur beschränkt mobil (bewegliche Arten mit kleinem Aktionsradius). Sie können deshalb den kurzfristig veränderlichen Tiefen- und Strömungsverhältnissen zwischen Sunk und Schwall praktisch nicht folgen, wie dies den adulten und juvenilen Fischen möglich ist.

Nach Eichung des Habitatmodells CASiMiR wurde die Habitateignung (HSI) für verschiedene Abflüsse zwischen Schwall und Sunk sowie für den natürlichen winterlichen Niedrigwasserabfluss in den drei Untersuchungsstrecken ermittelt (S. 13) und in Kartenform dargestellt (Abb. 21).

Erwartungsgemäß zeigt sich in allen drei Strecken, dass mit zunehmender Schwalldämpfung die Anteile der mittleren bis sehr guten Eignungen zunehmen (Abb. 20). In Mastrils wird mit der vollständigen Vergleichsmäßigung des Abflusses durch AP4 in den breiteren Abschnitten eine durchgehend mittlere bis gute Habitateignung über das ganze Querprofil erreicht. Ausgedehnte Bereiche, darunter v.a. flache Uferzonen und ein Großteil des ständig benetzten Seitengerinnes besitzen maximale Habitateignung (HSI = 1.0; Abb. 21 oben).

In der Teststrecke Buchs bleibt die zentrale und nur sehr eingeschränkt besiedelbare Tiefenrinne auch unter AP4 ausgedehnt. Sie erstreckt sich fast über die ganze untersuchte Länge und stellenweise auch fast über die ganze Flussbreite (vgl. Abb. 21 Mitte).

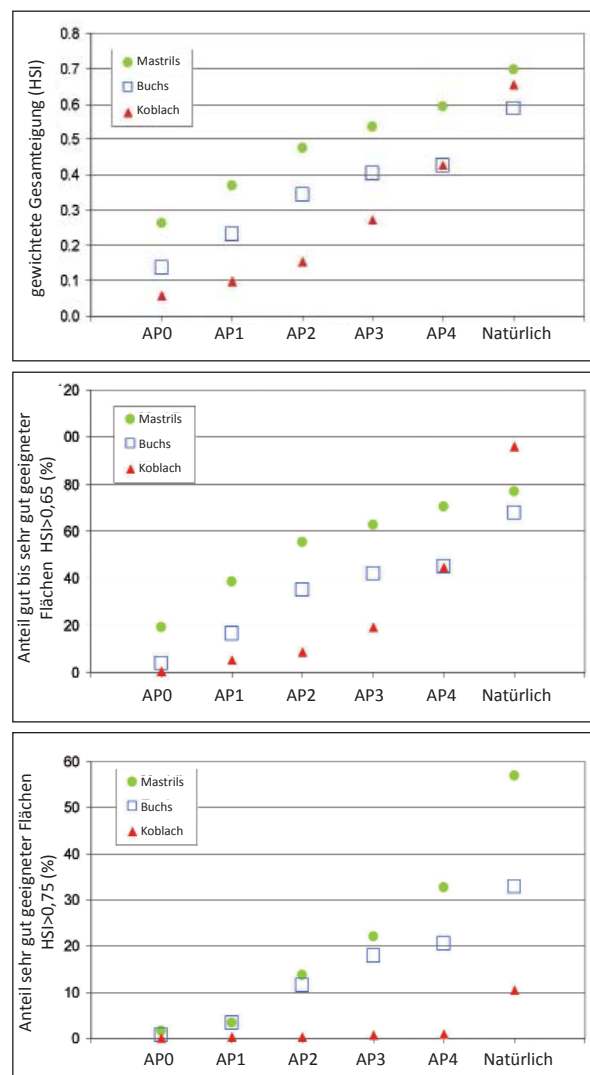


Abb. 20: Kennwerte zur Gesamteignung der Modellstrecken für das Makrozoobenthos vom Ist-Zustand (AP0) über die Anforderungsprofile AP1 bis AP4 mit zunehmend gedämpftem Schwall bis hin zum natürlichen winterlichen Niedrigwasserabfluss. Alle Werte beziehen sich auf die ständig benetzte Fläche der Strecken. Der Anteil gut bzw. sehr gut geeigneter Flächen wird durch die Flächenanteile der Basiseignung (HSI) > 0.65 bzw. > 0.75 an der benetzten Sohlenfläche ausgedrückt. Der natürliche Zustand entspricht einer winterlichen Niedrigwasserführung vor dem Einfluss der Speicherkraftwerke.

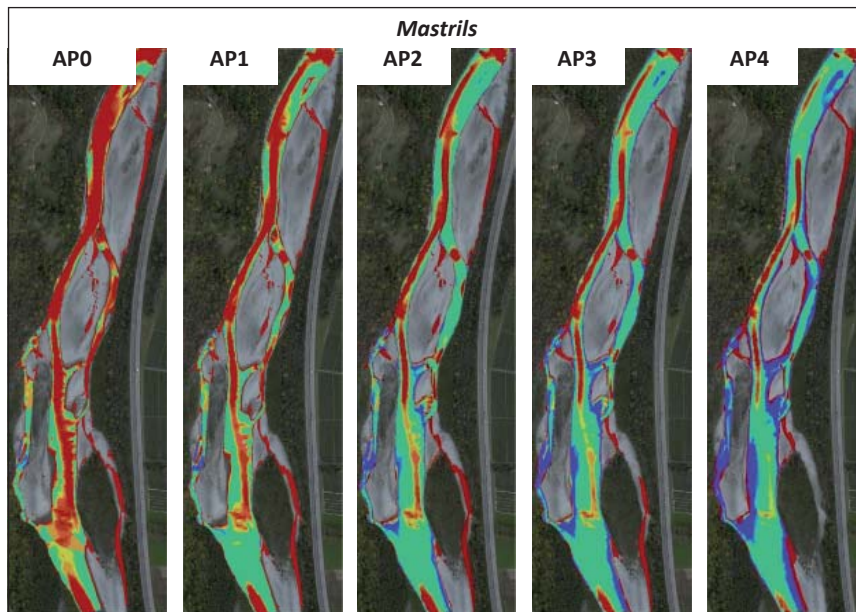
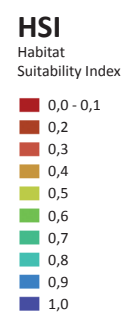
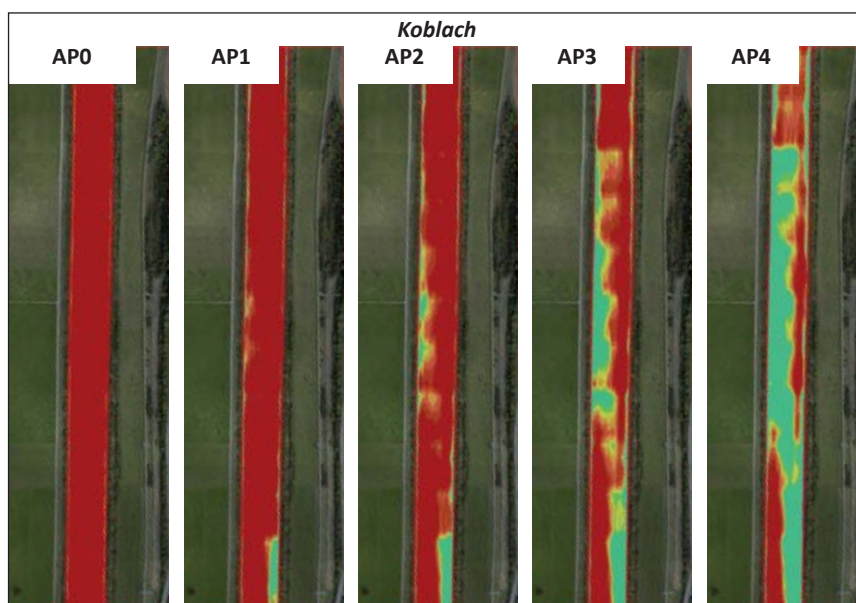
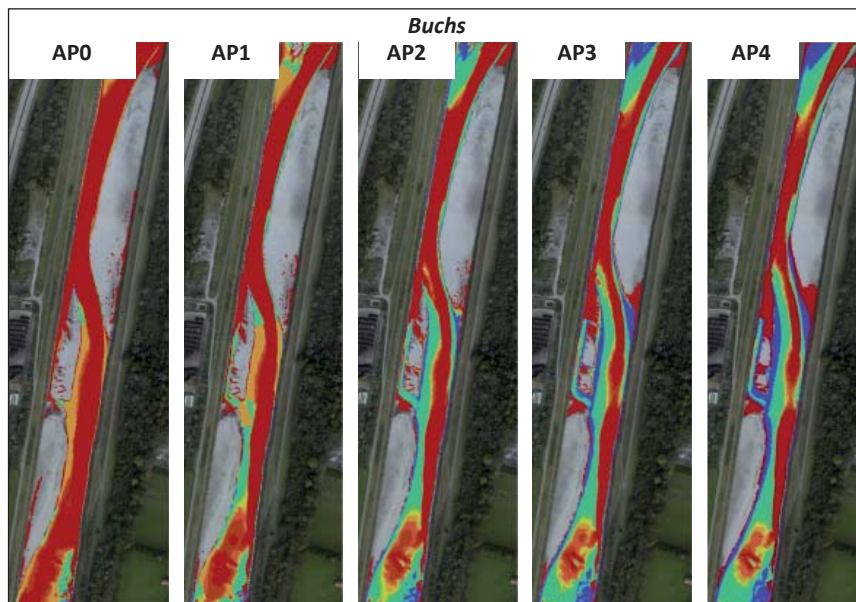


Abb. 21: Modellierter integrierte Basiseignung (Habitat suitability index, HSI) für das Makrozoobenthos im Ist-Zustand (AP0) und in den vier untersuchten Anforderungsprofilen bzw. Abflussszenarien mit zunehmender Schwalldämpfung von AP1 bis AP4;



Hinweis:
rot ... keine Eignung,
blau ... sehr gute Eignung

In der Strecke Koblach, wo wegen der monotonen Profilgeometrie (Trapezprofil) keine eigentliche Tiefenrinne existiert und wo bei AP4 aufgrund des weiterhin bestehenden Schwalles aus der III auch keine vollständige Vergleichmäßigung des Abflusses erreicht wird, verteilen sich die mittleren und schlechten Habitateignungen dagegen eher mosaikartig über die Teststrecke (Abb. 21 unten).

Die in Abb. 20 dargestellten analysierten Kennwerte zeigen, dass sich die gewichtete Gesamteignung (Abb. 20 oben) und der Anteil sehr gut bis sehr gut geeigneter Flächen (mit HSI >0.65; Abb. 20 Mitte) vom Ist-Zustand (AP0) über die Anforderungsprofile mit zunehmend gedämpftem Schwall (AP1 bis AP4) bis zum natürlichen winterlichen Niedrigwasserabfluss ähnlich entwickeln. In den Strecken Mastrils und Buchs nehmen beide Kennwerte zwischen Ist-Zustand und AP2 stärker und danach bis zum gleichmäßigsten Szenario von AP4 nur noch wenig zu. Gemessen am natürlichen Zustand werden bei AP2 in Mastrils je nach Kennwert 68-72 % und in Buchs 52-58 % der Eignung im natürlichen Zustand erreicht. Eine genau gegenteilige Entwicklung zeigt die Strecke Koblach, bei der beide Kennwerte von AP2 zu AP4 wesentlich stärker ansteigen als vom Ist-Zustand zu AP2. In dieser Teststrecke erreichen die Kennwerte unter AP2 nur einen Anteil von 9-23 % des natürlichen Zustandes.

Gestützt auf die Resultate aus den Habitatmodellierungen des Makrozoobenthos mit CASiMiR und auf deren Interpretation erfüllt das Anforderungsprofil AP2 bei Schaffung einer gewässertypischen Strukturvielfalt im Wesentlichen die Voraussetzungen, um im Alpenrhein eine standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt des Algenbewuchses und des Makrozoobenthos zu ermöglichen.

Mit einer über AP2 hinausgehenden Schwalldämpfung, also mit AP3 oder gar mit dem gleichmäßigsten Szenario AP4, ließe sich die

Eignung der Alpenrhein-Sohle für die benthische Besiedlung gemäß den CASiMiR-Resultaten noch weiter verbessern. Diese Verbesserungen wären aber in den morphologisch naturnahen oder zumindest etwas vielfältigeren Modellstrecken Mastrils und Buchs nur noch relativ gering. Die ökologische Aufwertung für das Makrozoobenthos stünde zwischen AP2 und AP4 damit vermutlich in einem schlechteren Verhältnis zu Aufwand und Kosten für die Dämpfungsmaßnahmen als zwischen Ist-Zustand und AP2.

Einzig in der morphologisch sehr gleichförmigen Strecke Koblach und beim Kennwert „ausschließlich sehr gut geeignete Flächen“ steigt der ökologische „Gewinn“ erst bei AP3 und AP4 überproportional an. Das ist jedoch noch keine ausreichende Begründung für eine Schwalldämpfung über AP2 hinaus. In der Strecke Koblach ist die abweichende Entwicklung der Kennwerte mit zunehmender Schwalldämpfung offensichtlich eine Folge der sehr monotonen Morphologie. Dass die gewichtete Gesamteignung und der Anteil gut bis sehr gut geeigneter Flächen in dieser Strecke auch bei AP2 immer noch auf sehr tiefem Niveau verharren, sollte deshalb auch nicht durch eine weitergehende Schwalldämpfung, sondern durch eine morphologische Aufwertung des Gerinnes behoben werden. Wenn mit der Schwalldämpfung auch für die „benthologisch“ sehr gut geeigneten Flächen ein hoher Anteil an der benetzten Flusssohle erreicht werden müsste, wäre dies unter rechtlichen Gesichtspunkten eine maximale Anforderung und entspräche gewissermaßen der Zielvorstellung eines sehr guten Gewässerzustandes. Sowohl in der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) als auch in den schweizerischen Normen zum Gewässerschutz werden die gesetzlichen Vorgaben aber schon bei einem guten Gewässerzustand erfüllt (CIS, 2003). Bei erheblich veränderten Gewässern stellt gemäß EU-WRRL, nicht aber gemäß schweizerischer Gesetzgebung das gute ökologische Potential den Zielzustand dar.

8 Sensitivitätsanalyse

Um die Verlässlichkeit der Modellergebnisse zu überprüfen, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wurde der Einfluss von Inputfaktoren auf die Ergebnisse untersucht: Einzelne Inputfaktoren, aber auch mehrere Faktoren gemeinsam wurden variiert und die Ergebnisse mit jenen des Standardinputs verglichen.

Folgende Aspekte wurden in der Sensitivitätsanalyse schwerpunktmäßig behandelt:

Kolmation

Die Ursachen und das Auftreten von Kolmation, der Zusammenhang zwischen Schwall und Kolmation sowie die Auswirkungen der Kolmation auf die Lebensraumeignung wurden im Rahmen des Projektes von den Beteiligten intensiv diskutiert.

Der Verfestigungsgrad des Schotterkörpers durch äußere Kolmation hat Einfluss auf die Möglichkeit, Laichgruben zu schlagen. Der Grad der über den Winter entstehenden inneren Kolmation ist entscheidend für eine ausreichende Sauerstoffversorgung und erfolgreiche Eientwicklung.

Die Modellierungsergebnisse zeigen, dass mit steigendem Anforderungsprofil der Einfluss der Kolmation auf die Reproduktion bzw. die Kolmation der Gewässersohle abnimmt. Eine erfolgreiche Reproduktion (Eiablage bis Verlassen der Larven des Interstitials) ist bei den derzeitigen Abflussverhältnissen am Alpenrhein auszuschließen. In den AP0, 1 und 2 hat die Kolmation noch einen starken, bei AP 3, 4 sowie 4a jedoch nur mehr einen geringen Einfluss. Eine geringe Variation des Parameters Kolmation hätte eine Erhöhung/Verringerung der Basishabitateignung zur Folge. Bei einer erhöhten Basishabitateignung der potentiell geeigneten Flächen wären diese im Anschluss aber auch einem höheren Risiko durch Trockenfallen und Erosion ausgesetzt. Aufgrund der methodischen Vorgehensweise zur Ermittlung der „Effektiven Lebensraumeignung (>0,5)“ hätten diese Veränderungen schlussendlich keinen signifikanten Einfluss auf das modellierte Endergebnis bzw. die Schlussfolgerungen. Die Sensitivitätsanalyse ergibt folglich, dass die Kolmation für die Reproduktion zwar mitent-

scheidend, aber nicht alleinentscheidend ist. Daher wird die Kolmation bei der Ermittlung der Lebensraumeignung als einer der Einflussfaktoren in der Habitatmodellierung beibehalten.

Sunkgeschwindigkeit – Strandrungsrisiko Jungfische

Jungfische der Bach- bzw. Seeforelle, für die flache ufernahe Bereiche entlang von Kiesbänken bevorzugte Habitate darstellen, sind bei Schwallstrecken durch das Stranden sowie durch Abdrift gefährdet. Gerade an flachen Kiesbänken verschieben sich diese Habitate aber zwischen Schwall und Sunk um beträchtliche Entfernungen. Wandern die Larven bzw. Jungfische bei Schwall mit der stark schwankenden Wasseranschlagslinie mit, so verbleiben bei jedem Abflussrückgang Individuen in kleinen Tümpeln zurück, die bei Sunk trocken fallen. Bleiben die Jungfische hingegen an den bei Sunk geeigneten Habitaten, so besteht aufgrund der bei Schwall an diesen Stellen auch bodennah auftretenden hohen Fließgeschwindigkeiten die Gefahr der Abdrift.

Für die Sunkrückgangsgeschwindigkeit wird in der Literatur (SALTVEIT et al., 2001; HALLERAKER et al., 2003) ein Grenzwert von 12 cm/h angegeben, ab dem eine Verschärfung des Risikos durch Trockenfallen eintritt. Dieser Wert wurde deshalb auch in den Expertenregeln übernommen. Für die Überprüfung der Sensitivität des Modells gegenüber diesem Parameter wurde dieser Grenzwert einerseits auf 6 cm/h halbiert bzw. auf 24 cm/h verdoppelt (Abb. 22). Die potentielle Gefährdung gegenüber Trockenfallen steigt prinzipiell an, wenn der Grenzwert für die kritische Sunkrückgangsgeschwindigkeit von 12 cm/h auf 6 cm/h reduziert wird. Dadurch werden Geschwindigkeiten von 12cm/h bis 6 cm/h als potentielle Gefährdung angesehen. Die Gefährdung nimmt dagegen ab, wenn der Grenzwert auf 24 cm/h anstatt 12 cm/h erhöht wird, d.h. Sunkrückgangsgeschwindigkeiten von 0 bis 24 cm/h nicht als potentielle Gefährdung ausgewiesen werden.

Bei der Halbierung des Grenzwertes ergibt sich eine Abnahme der Fläche des „Effektiven Lebensraumes“ um 15 %. Bei Verdoppelung des Grenz-

wertes auf 24 cm/h nimmt die Fläche um ca. 11 % gegenüber dem ursprünglichen Ergebnis zu. Dieser Vergleich zeigt, dass das Modell Veränderungen eines Parameters zwar abbildet, durch das Zusammenspiel mehrerer Faktoren aber die Änderung eines Parameters im Gesamtergebnis deutlich gedämpft wird. So führt die Variation eines Parameters auf 50 % bzw. 200 % nur zu einer Differenz von 15 % bzw. 11 % des „Effektiven Lebensraumes“ bei einem Zeitschritt/Abfluss. Änderungen des Parameters von 10-20 %, wie sie in der Praxis bei Sensitivitätstests üblich sind, führen somit zu Änderungen von nur wenigen Prozent. Aufgrund der verwendeten Kombination vieler Parameter und der Einbindung ökologischen Wissens sind die Ergebnisse des Modells von allen Parametern beeinflusst und kein Ergebnis eines Einzelparameters.

Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten – Bodenfauna

Für die Sensitivitätsanalyse zur Bodenfauna wurden Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit

verwendet, da der Einfluss dieser Parameter zu Beginn der Untersuchungen nur über Erfahrungen aus Beprobungen abgeschätzt werden konnte.

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Ergebnisse der Modellierung weit sensitiver auf eine Änderung der Eingabedaten für die Fließgeschwindigkeit reagieren als für die Wassertiefe. Die Variation der Fließgeschwindigkeiten wirkt sich vor allem auf die Ausdehnung der Habitateignungen hinein in die Tiefenrinne in Gewässermitte aus. Die generelle Verteilung der gut und weniger gut geeigneten Zonen bleibt aber sehr ähnlich.

Resümee

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Modelle sowohl für die Benthos- als auch die Jungfischhabitateignung, wie zu erwarten, auf eine Variation der Eingangsgrößen reagieren. Die Veränderung der Ergebnisse erfolgt aber kontinuierlich mit der Änderung der Inputgrößen, und es ist keine Übersensitivität hinsichtlich eines einzelnen Parameters festzustellen.

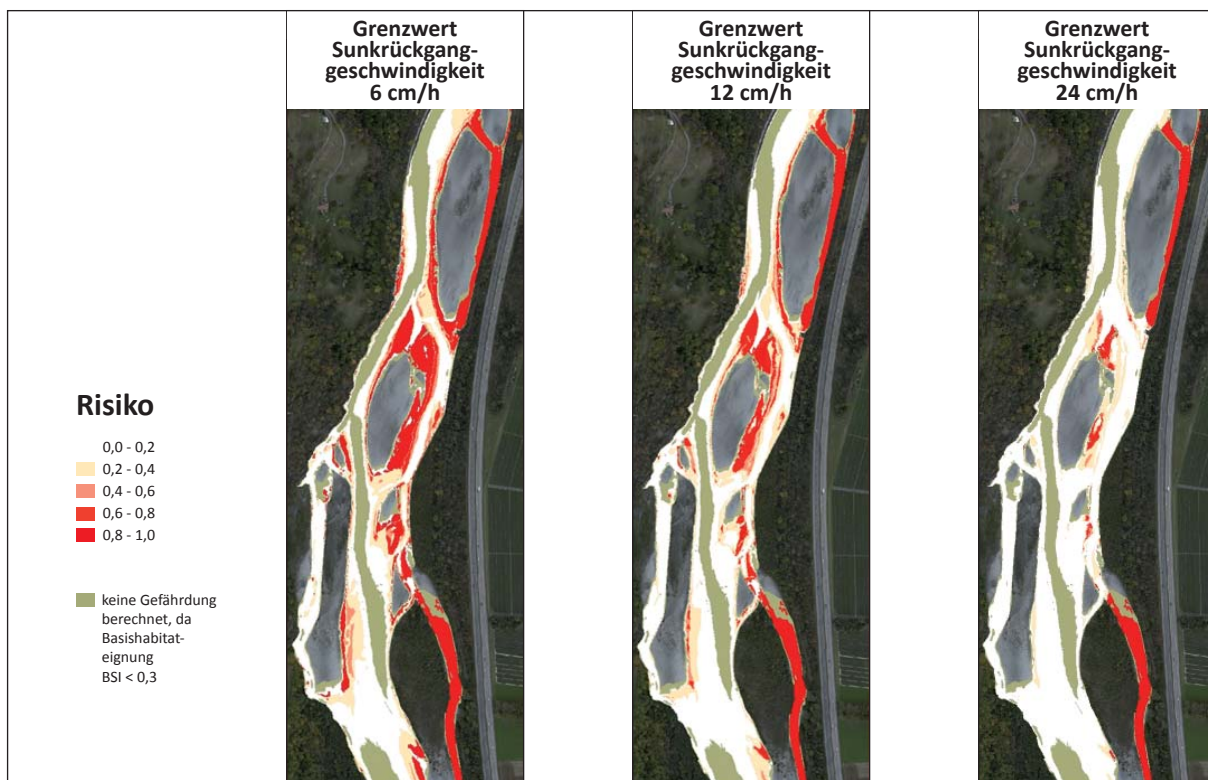


Abb. 22: Strandrungsrisiko für Jungfische bei unterschiedlich angesetzten Grenzwerten für die kritische Sunkrückgangsgeschwindigkeit (Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse).

Literatur

ARGE TRÜBUNG ALPENRHEIN (2001): Trübung und Schwall im Alpenrhein. Synthesebericht und Fachberichte im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz. Erhältlich auf der Homepage der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA). (<http://www.alpenrhein.net>)

CIS (2003): Wasserrahmenrichtlinie (WRRL): Gemeinsame Umsetzungsstrategie. Bericht der CIS-Arbeitsgruppe 2.3. (www.wrml-info.de/docs/REFCOND_Leitlinie_d.pdf)

EBERSTALLER, J., EBERSTALLER-FLEISCHANDERL, D., WIESNER, C., UNFER, G., ARMIN, P., SCHAGER, E. & E. BOHL (2007): Fischökologische Bestandsaufnahme Alpenrhein 2005. Im Auftrag der Fischereifachstellen am Alpenrhein (Amt für Jagd und Fischerei Graubünden; Amt für Jagd und Fischerei, St. Gallen; Amt für Umweltschutz, Fürstentum Liechtenstein; Amt der Vorarlberger Landesregierung). (www.alpenrhein.net)

EBERSTALLER J., KÖCK J., HAUNSCHMID R., JAGSCH A., RATSCHAN C., ZAUNER G. (2010). Leitfaden zur Bewertung erheblich veränderter Gewässer. Biologische Definition des guten ökologischen Potentials. Hrsg. BMLFUW, Wien.

HALLERAKER, J. H., SALTVEIT, S. J., HARBY, A., ARNEKLEIV, J. V., FJELDSTAD, H.-P. AND KOHLER, B. (2003): Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and Applications*, 19: 589–603.

HAUNSCHMID R., WOLFRAM G., SPINDLER T., HONSIG-ERLENBURG W., WIMMER, JAGSCH A., KAINZ E., HEHENWARTER K., WAGNER B., KONECNY R., RIEDMÜLLER, IBEL G., SASANO B. & N. SCHOTZKO (2006): Erstellung einer fischbasierten

Typologie österreichischer Fließgewässer sowie einer Bewertungsmethode des fischökologischen Zustandes gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie. Schriftenreihe des BAW, Band 23, Wien; 104 Seiten.

SALVEIT S. J., J. H. HALLERAKER, J. V. ARNEKLEIV & A. HARBY (2001): Field experiments on stranding in juvenile atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropowering. *Regulated Rivers: Research & Management* 17: 609-622.

SCHAGER, E. & PETER, A. (2004): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Fische Stufe F. BUWAL. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 44:62 Seiten.

SCHÄLCHLI, ABEGG + HUNZINGER (2001): Trübung und Schwall im Alpenrhein. Fachbericht Trübung, Strömung, Geschiebetrieb und Kolmation. Bericht im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie. Teilbericht zu ARGE Trübung Alpenrhein (2001). (<http://www.alpenrhein.net/Publikationen/tabid/68/Default.aspx>).

SCHÄLCHLI, U., EBERSTALLER, J., MORITZ, C., SCHMUTZ, S. (2003): Notwendige und wünschbare Schwallreduktion im Alpenrhein. Bericht im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, 32 pp.

ZARN, B., EBERSTALLER, J., GASSER, M., MORITZ, C. & J. TRÖSCH, 2005: Entwicklungskonzept Alpenrhein. Im Auftrag der IRKA und IRR. Erhältlich auf der Homepage der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA). URL://<http://www.alpenrhein.net>.

Projektbearbeiter

Projektleitung:

Dr. Helmut KINDLE / IRKA, Amt für Umweltschutz, Postfach 684, FL-9490 Vaduz

Arbeitspaket 1: Anforderungsprofile und Kolmation

Dr. Ueli SCHÄLCHLI, Fabio Wyrsh, Aurelian Schumacher / Flussbau AG SAH,
Holbeinstrasse 34, CH-8008 Zürich

Arbeitspaket 1+: Hydrologie

Dr. Benno ZARN / Hunziker, Zarn & Partner AG, Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau,
Gassa Sutò 43A, CH-7013 Domat/Ems

Arbeitspaket 2: Adaptierung der Präferenzkurven, Definition von Eingangsparametern für die Habitatmodellierung

Dr. Jürgen EBERSTALLER, Christian FRANGEZ / ezb – TB Eberstaller GmbH,
Schopenhauerstrasse 82/12, A-1180 Wien
Peter BAUMANN / Limnex AG, Schaffhauserstrasse 343, CH – 8050 Zürich
Dr. Matthias SCHNEIDER, Dr. Ianina KOPECKI / sje Schneider & Jorde Ecological Engineering GmbH,
Viereichenweg 12, D-70569 Stuttgart

Arbeitspaket 3: Abiotische Untersuchungen bei unterschiedlichen Wasserständen als Basis für Aufbau und Kalibrierung des Modells

Koordination und Leitung Arbeitspaket 3: Dr. Peter MAYR / Mayr&Sattler - Ingenieurbüro für Kultur-
technik und Wasserwirtschaft), Albertgasse 19/15-16, A-1080 Wien
Fachbearbeiter Terrestrische Vermessung: Norbert BOLTER / Vermessungsbüro Bischofberger
+Partner, A-6700 Bludenz
Fachbearbeiter Flussvermessung (Echolotung): Dr. Peter MAYR (Mayr&Sattler)
Fachbearbeiter DGM: Ingo NIEDERBICHLER (Mayr&Sattler)
Fachbearbeiter Granulometrie: Stefan SATTLER (Mayr&Sattler)

Arbeitspaket 4: Hydraulische Modellierung

Christian JECKLIN, Dr. Benno ZARN / Hunziker, Zarn & Partner AG, Ingenieurbüro für Fluss- und
Wasserbau, Gassa Sutò 43A, CH-7013 Domat/Ems
Ingo NIEDERBICHLER, Dr. Peter MAYR / Mayr&Sattler - Ingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasser-
wirtschaft, Albertgasse 19/15-16, A-1080 Wien

Arbeitspaket 5: Habitatmodellierung zur quantitativen Bewertung der Größe des Schwalleinflusses am Alpenrhein

Dr. Jürgen EBERSTALLER, Christian FRANGEZ / ezb – TB Eberstaller GmbH, Schopenhauerstrasse
82/12, A-1180 Wien
Dr. Matthias SCHNEIDER, Dr. Ianina KOPECKI / sje Schneider & Jorde Ecological Engineering GmbH,
Viereichenweg 12, D-70569 Stuttgart
Peter BAUMANN, Kurt WÄCHTER / Limnex AG, Schaffhauserstrasse 343, CH – 8050 Zürich

Arbeitspaket 6: Projektsteuerung, Workshopleitung, Kurzbericht

Klaus MICHOR, Susanne KORBER, Marian UNTERLERCHER / Revital - Integrative Naturraumplanung
GmbH, Nußdorf 71, A-9990 Nußdorf-Debant

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA)
Anschrift: Amt für Umweltschutz FL, Postfach 684, FL 9490 Vaduz

Mit Unterstützung von:

Internationale Rheinregulierung; Bundesamt für Umwelt; Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Konzeption, Text und Gestaltung:

Susanne Korber, Marian Unterlercher, Revital - Integrative Naturraumplanung GmbH

Redaktionelle Mitarbeit:

Helmut Kindle, Amt für Umweltschutz FL
Christina Wendlinger, Amt für Umweltschutz FL
Christian Frangez, EZB, Wien
Peter Baumann, Limnex AG, Zürich
Matthias Schneider, sje, Stuttgart

www.alpenrhein.net

Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA)

Die „Internationale Regierungskommission Alpenrhein“ (IRKA) ist eine gemeinsame Plattform der vier Regierungen von Graubünden, St. Gallen, Liechtenstein und Vorarlberg. Sie wurde 1995 gegründet und dient dem länderübergreifenden Informationsaustausch, der Diskussion, Entscheidungsfindung und Planung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen am Alpenrhein.

Internationale Rheinregulierung (IRR)

Die „Internationale Rheinregulierung“ (IRR) wurde durch den Staatsvertrag von 1892 zwischen Österreich und der Schweiz ins Leben gerufen und bildet die Grundlage für die Regulierung des Rheinlaufs zwischen der Ill-Mündung und dem Bodensee, der sogenannten internationalen Rheinstrecke. Das Zentralbüro, das heißt die administrativ-kaufmännische Leitung der IRR, befindet sich in St. Margarethen (CH). Die österreichische Bauleitung mit dem zugehörigen Bauhof ist in Lustenau untergebracht.

alpenrhein.net

Zukunft Alpenrhein

Eine Initiative der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA)
und der Internationalen Rheinregulierung (IRR)

