



bzwFürstentum Liechtenstein
Vorarlberg
Graubünden
St. Gallen
Internationale Rheinregulierung

Alpenrhein

D6 Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile

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



Zukunft Alpenrhein

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

Alpenrhein D6

Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für
unterschiedliche Anforderungsprofile

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

Auftraggeber:

IRKA

Internationale Regierungskommission Alpenrhein

Mit Unterstützung von:

Internationale Rheinregulierung; Bundesamt für Umwelt; Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Auftragnehmer:



ezb – TB Eberstaller GmbH
Schopenhauerstrasse
82/12
A-1180 Wien



Limnex AG
Schaffhauserstrasse 343
CH – 8050 Zürich

sje - Schneider & Jorde
Ecological Engineering
GmbH
Viereichenweg 12,
D-70569 Stuttgart

Bearbeitung:

DI Dr Jürgen Eberstaller, DI Christian Frangez , ezb – TB Eberstaller GmbH
Dr.-Ing. Matthias Schneider, Dr.-Ing. Ianina Kopecki, sje
Peter Baumann, dipl. phil II, Kurt Wächter, dipl. phil II,, Limnex AG

Wien-Zürich-Stuttgart, 14.02.2012

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	14
2	Einleitung.....	23
3	Methodik: Allgemeine Aspekte für die Modellierung von Fisch- und Benthoshabitaten im Alpenrhein und deren Beeinträchtigung durch Schwall- und Sunkereignisse.....	25
3.1	Hydraulisch-morphologische Habitatmodelle und Prinzip	25
3.1.1	Präferenzenansatz.....	25
3.1.2	Fuzzy-logischer Ansatz mit Expertenregeln.....	27
3.2	Mit Modellansätzen zu untersuchende Aspekte	29
3.2.1	Basiseignung.....	30
3.2.2	Integrierte Basiseignung.....	32
3.2.3	Gefährdung von Jungfischen durch Verdriftung bei Schwall	33
3.2.4	Gefährdung von Jungfischen durch Stranden bei Sunk	34
3.2.5	Gefährdung von Laichhabitaten durch hydraulische und morphologische Veränderungen.....	34
3.2.6	Integriertes Risiko.....	35
3.2.7	Effektive Lebensraumeignung.....	35
3.2.8	Gefährdung des Makrozoobenthos durch Trockenfallen und Verdriften.....	36
4	Ergebnisse: Fischfauna	37
4.1	Laichhabitate/Reproduktion Bach-/Seeforelle	37
4.1.1	Mastrils.....	39
4.1.2	Buchs	50
4.1.3	Koblach.....	60
4.2	Jungfische.....	63
4.2.1	Mastrils.....	64
4.2.2	Buchs	72
4.2.3	Koblach.....	78
5	Ergebnisse: Makrozoobenthos	81
5.1	Einleitung	81
5.2	Untersuchungsziel und -konzept	82
5.3	Datengrundlage und Ergebnisse.....	84
5.3.1	Weg 1: Auswertung bestehender Daten.....	84
5.3.2	Weg 2: Aufnahme des Algenbewuchses als summarischer Indikator.....	86
5.3.3	Weg 3: Aufnahmen des Makrozoobenthos in speziellen Habitaten.....	95
5.4	Resultate der Habitatmodellierung mittels Casimir	100
5.4.1	Modell-Output für den Ist-Zustand	100
5.4.2	Modell-Output für die Schwallszenarien.....	106
6	Sensitivitätsanalyse	112

6.1	Hintergrund.....	112
6.1.1	Variation der Parameter Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit - Bodenfauna.....	112
6.1.2	Strandungsrisiko Jungfische: Variation des Parameters Sunkgeschwindigkeit.....	115
7	Wirksamkeit bedeutender Habitats bei den einzelnen Anforderungsprofilen.....	118
7.1	Wirksamkeit bedeutender Habitats in Hinsicht auf die „Effektive Lebensraumeignung Reproduktion“ im Abschnitt Mastrils	119
7.1.1	Permanente Seitenarme	119
7.1.2	Temporäre Seitenarme	121
7.1.3	Kiesbänke	124
7.1.4	Furten	126
7.2	Wirksamkeit bedeutender Habitats in Hinsicht auf die „Effektive Lebensraumeignung Stranden“ im Abschnitt Mastrils.....	128
7.2.1	Permanente Seitenarme	128
7.2.2	Temporäre Seitenarme	130
7.2.3	Kiesbänke	132
7.2.4	Furten	134
7.3	Wirksamkeit bedeutender Habitats in Hinsicht auf die „Effektive Lebensraumeignung Drift“ im Abschnitt Mastrils	135
7.3.1	Permanente Seitenarme	135
7.3.2	Temporäre Seitenarme	137
7.3.3	Kiesbänke	139
7.3.4	Furten	141
8	Interpretation und Schlussfolgerungen.....	143
8.1	Reproduktion der Bach-/Seeforelle	143
8.1.1	Vergleich der Reproduktionsverhältnisse bei den unterschiedlichen Szenarien.....	143
8.1.2	Erforderliche morphologische Verbesserungen zur Erreichung funktionsfähiger Laichareale.....	146
8.2	Jungfische Bach-/Seeforelle.....	148
8.2.1	Vergleich der Effektiven Lebensraumeignung bei den unterschiedlichen Szenarien .	148
8.2.2	Erforderliche morphologische Verbesserungen zur Erreichung funktionsfähiger Jungfischlebensräume	151
8.3	Resümee Fischfauna	153
8.4	Interpretation und Schlussfolgerungen Makrozoobenthos.....	156
8.5	Zusammenfassende Empfehlungen.....	162
9	Literaturverzeichnis	164
10	Anhang.....	167
10.1	Kapitel 3.1	167
10.2	Kapitel 6	168

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Prinzip der Habitatmodellierung mit Präferenzfunktionen	26
Abb. 2: Für die Jungfischhabitateignung verwendete Fuzzymengen der Parameter Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe und dominantes Substrat.....	28
Abb. 3: Prinzip der Habitatmodellierung mit Fuzzy-Regel basiertem Ansatz.....	28
Abb. 4: Beispiel AP 3 der verwendeten Vorgangsweise zur Ermittlung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateignung $<0,3$)	38
Abb. 5: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der maximalen Basishabitateignung je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	39
Abb. 6: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der integrierten Basishabitateignung je Anforderungsprofil und Referenzabfluss (AP0a) im Abschnitt Mastrils	41
Abb. 7: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung des integrierten Risikos durch Erosion je Anforderungsprofil und Referenzabfluss (AP 0a) im Abschnitt Mastrils (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateignung $<0,3$).....	43
Abb. 8: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung des integrierten Risikos durch Trockenfallen je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateignung $<0,3$).....	45
Abb. 9: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung $>0,5$ “ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	47
Abb. 10: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateignung $<0,3$).....	48
Abb. 11: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ in Bezug zum Referenzzustand	49
Abb. 12: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der maximalen Basishabitateignung je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs	50
Abb. 13: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der integrierten Basishabitateignung je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs	52
Abb. 14: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung des integrierten Risikos durch Erosion je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateignung $<0,3$).....	54
Abb. 15: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung des integrierten Risikos durch Trockenfallen je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateignung $<0,3$).....	56
Abb. 16: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung $>0,5$ “ je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs	58
Abb. 17: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung $>0,5$ “ in Bezug zur benetzten Fläche des jeweiligen Anforderungsprofils	58
Abb. 18: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateignung $<0,3$).....	59

Abb. 19: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Koblach.....	61
Abb. 20: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zur benetzten Fläche des jeweiligen Anforderungsprofils im Abschnitt Koblach.....	61
Abb. 21: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Koblach.....	62
Abb. 22: Jungfische – Basishabitateignung bei unterschiedlichen Abflüssen im Abschnitt Mastrils	65
Abb. 23: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	67
Abb. 24: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zum Referenzzustand	67
Abb. 25: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (durch Strandungsrisiko reduzierte Eignung) je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	68
Abb. 26: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	70
Abb. 27: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zum Referenzzustand	70
Abb. 28: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung) je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	71
Abb. 29: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs	73
Abb. 30: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zur benetzten Fläche des jeweiligen Anforderungsprofils im Abschnitt Buchs	73
Abb. 31: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (durch Strandungsrisiko reduzierte Eignung) je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateignung <0,3)	74
Abb. 32: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs	76
Abb. 33: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zur benetzten Fläche des jeweiligen Anforderungsprofils im Abschnitt Buchs	76
Abb. 34: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung) je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateignung <0,3).....	77
Abb. 35: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Koblach.....	79
Abb. 36: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zur benetzten Fläche des jeweiligen Anforderungsprofils im Abschnitt Koblach.....	79
Abb. 37: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Koblach.....	80

- Abb. 38: Korrelation der Algen-Bewuchsdichte (grüne Punkte) und der Makrozoobenthos-Abundanz (rote Kreise) mit den Einflussfaktoren Wassertiefe (oberes Bild) und mittlere Strömung (unteres Bild) anhand der Benthosaufnahmen vom 12. – 15.2.2000 in vier Teststrecken des Alpenrheins (ARGE Limnologie, 2001)..... 85
- Abb. 39 (Folgeseite): Teststrecke Mastrils des Alpenrheins mit den eingemessenen Punkten für die Bewuchsaufnahmen vom 13./14.2.2010 (rot) und den ungefähren Pegelschwankungen zwischen Schwall und Sunk an ausgewählten Quertransekten (ΔP). Die beiden Bilder überlappen sich etwas, die Fließrichtung ist von unten nach oben. Grün markiert sind die schweizerischen Landeskoordinaten. 87
- Abb. 40: Teststrecke Buchs des Alpenrheins mit den eingemessenen Punkten für die Bewuchsaufnahmen vom 13./14.2.2010 (rot) und den ungefähren Pegelschwankungen zwischen Schwall und Sunk an ausgewählten Quertransekten (ΔP). Die Fließrichtung ist unten nach oben. Grün markiert sind die schweizerischen Landeskoordinaten..... 89
- Abb. 41: Aschenfreie Trockengewicht des Aufwuchses in Abhängigkeit der Wassertiefe (oberes Bild) und der mittleren Strömung (unteres Bild) bei den punktuellen Bewuchsaufnahmen im Alpenrhein vom 13./14.2.2010. Die aschenfreie Trockenmasse ist immer auf die gesamte Sohlenfläche von ca. 1 m² im Umkreis des jeweiligen Messpunktes berechnet (AFDM-S; siehe Text). Zusätzlich eingetragen sind die Bereiche für die pflanzliche Produktivität und die relative Dichte der Kriebelmückenlarven (rechte Skala). Die dargestellten Regressionskurven entsprechen jenen in Abb. 38. 91
- Abb. 42 (Folgeseite): Ansichten der am 23./24.1.2010 beprobten speziellen Habitats im Alpenrhein zwischen Felsberg und Buchs. R1: Ufer mit groben Blöcken (linksseitig) bei Felsberg, Blick flussabwärts; R3: Aufweitung Felsberg mit nur schwach durchflossenem Seitengerinne (rechtsseitig), Blick seitlich; R9: Aufweitung Oldis mit ausgedehnter Flachwasserzone (rechtsseitig), Blick flussaufwärts; R13: Mündungsbereich eines Quellbaches in den Mastrilser Auen (linksseitig), Blick flussabwärts; R14: Permanentes Seitengerinne in den Mastrilses Auen (linksseitig), Blick flussabwärts; R19: Hinterwasser (flussaufwärts angebunden) und ufernahe Flachwasserzone (rechtsseitig), Blick flussaufwärts; R25a: Hinterwasser (flussabwärts angebunden) bei Buchs (linksseitig), Blick flussabwärts; R26: Schnellenartige Querströmungen (Riffles) über eine Kiesbank bei Buchs (rechtsseitig), Blick seitlich. 95
- Abb. 43: Kennwerte des Makrozoobenthos, aufgeteilt in die Grossgruppen, in den speziellen Habitats des Alpenrheins am 23./24.1.2010. Oberes Bild: Abundanz und Taxazahl; unteres Bild: Biomasse (Frischgewicht) und deren Anteil an einem höhenabhängigen Sollwert nach DÜCKELMANN (2001). Die Probenahmestellen sind in Tab. 17 und Abb. 42 näher charakterisiert..... 98
- Abb. 44: Gesamt- oder Basiseignung (Habitat suitability index, HSI) der Flusssohle in der Teststrecke Mastrils als Lebensraum für das Makrozoobenthos bei folgenden Abflüssen (von oben nach unten): 189 m³/s (Schwall), 124 m³/s, 76 m³/s, 49 m³/s und 27 m³/s (Sunk). Zur Herleitung und Bedeutung des HSI siehe Kapitel 5.2 im Bericht zu AP 2. Die Fließrichtung ist jeweils von links nach rechts..... 101
- Abb. 45: Über den ganzen heutigen Schwall/Sunk-Zyklus (IST-Zustand) integrierte Basiseignung (Habitat suitability index, HSI) der Flusssohle als Lebensraum für das Makrozoobenthos in den Teststrecken Mastrils (links), Buchs (Mitte) und Koblach in der Internationalen Rheinstrecke (rechts). Bei Mastrils und Buchs sind zusätzlich einige Probenahmestellen der jüngsten biologischen Aufnahmen eingetragen. Bei Mastrils sind dies: die Stellen 1 bis 4 aus der Untersuchung von Rey et al. (2011) mit mittlerer (Stellen 1,2,4) bis hoher (Stelle 3) Makrozoobenthos-Dichte und die übrigen Stellen aus der vorliegenden Untersuchung (Kapitel 5.3.2), wovon die Stellen 19, 31 und 101 eine hohe

Dichte von Kriebelmückenlarven (Simuliidae) aufwiesen. Bei Buchs sind alle Stellen aus der vorliegenden Untersuchung, wobei die Stelle 46 eine hohe Simuliiden-Dichte und die Stellen 45, 46 und 49 einen relativ starken Bewuchs der fädigen Alge <i>Hydrurus foetidus</i> aufwiesen. Zur Herleitung und Bedeutung des HSI siehe Kapitel 5.2 im Bericht zu AP 2. Die Fließrichtung ist jeweils von unten nach oben.	103
Abb. 46: Verlauf des Abflusses (Q in m ³ /s auf der Y-Achse) im Alpenrhein an der Messstelle Domat/Ems von Oktober 2009 bis März 2010 sowie Daten der biologischen Aufnahmen am 8.11.2009 durch Rey et al. (2011) und am 13./14.2.2010 im Rahmen der vorliegenden Untersuchung (Kapitel 5.3.2). Die Abflüsse bei Domat/Ems werden durch die Abteilung Hydrologie des Eidgenössischen Bundesamtes für Umwelt (BAFU) im Intervall von 10 Minuten gemessen. PN = Probenahme.	105
Abb. 47: Modellierete, integrierte Basiseignungen (Habitat suitability index, HSI) für das Makrozoobenthos im Ist-Zustand (Status Quo) und in den vier untersuchten Anforderungsprofilen bzw. Abflussszenarien mit zunehmender Schwalldämpfung von AP 1 bis AP 4 in der Teststrecke Mastrils. Einzelheiten siehe im Text.....	109
Abb. 48: Modellierete, integrierte Basiseignungen (Habitat suitability index, HSI) für das Makrozoobenthos im Ist-Zustand (Status Quo) und in den vier untersuchten Anforderungsprofilen bzw. Abflussszenarien mit zunehmender Schwalldämpfung von AP 1 bis AP 4 in der Teststrecke Buchs. Einzelheiten siehe im Text.....	110
Abb. 49: Modellierete, integrierte Basiseignungen (Habitat suitability index, HSI) für das Makrozoobenthos im Ist-Zustand (Status Quo) und in den vier untersuchten Anforderungsprofilen bzw. Abflussszenarien mit zunehmender Schwalldämpfung von AP 1 bis AP 4 in der Teststrecke Koblach. Einzelheiten siehe im Text.....	111
Abb. 50: Fuzzymengen für die Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten, Referenzvariante oben und Variante 4 unten (VL = Very Low, L = Low, M = Medium, H = High, VH = Very High).....	113
Abb. 51: Verteilung der integrierten Habitateignungen HSI für das Makrozoobenthos, bei Variation der Inputdaten. Es wurden jeweils die Obergrenzen der Mengen „hohe“ Fließgeschwindigkeit und „hohe“ Wassertiefe variiert.	114
Abb. 52: Integriertes Strandungsrisiko Jungfische bei unterschiedlichen Grenzwerten (6 cm/h, 12 cm/h und 24 cm/h) der kritischen Sunkgeschwindigkeit (Bemerkung: Bereiche, in denen die Basiseignung <0,3 berechnet wurde, sind in graugrün gekennzeichnet. Dort wurde kein Risiko berechnet, da nicht davon ausgegangen wird, dass Jungfische in diesen Zonen Bereiche in größerer Zahl anzutreffen sind). Darstellung für einen Abfluss von 49 m ³ /s.....	116
Abb. 53: Effektive Lebensraumeignung Jungfische (um das Strandungsrisiko reduzierte Eignung) bei einem Abfluss von 49 m ³ /s (Bemerkung: die effektive Lebensraumeignung kann nicht integriert werden, da sich die Basiseignung für Jungfische mit dem Abfluss ständig verändert. So ist z.B. eine Schotterbank bei einem niedrigen Abfluss für Jungfische evtl. geeignet, bei einem erhöhten Abfluss aber zu tief und zu schnellfließend um noch als Jungfischhabitat zu dienen).....	117
Abb. 54: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanenten Seitenarm p_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	119
Abb. 55: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	120

Abb. 56: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporären Seitenarm t_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	122
Abb. 57: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	123
Abb. 58: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank 2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils .	124
Abb. 59: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbänke pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	125
Abb. 60: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt 1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	126
Abb. 61: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	127
Abb. 62: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanenten Seitenarm p_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	128
Abb. 63: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	129
Abb. 64: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporären Seitenarm t_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	130
Abb. 65: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	131
Abb. 66: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank 2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils.....	132
Abb. 67: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	133
Abb. 68 Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils.....	134
Abb. 69: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarm p_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	135
Abb. 70: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	136
Abb. 71: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporären Seitenarm t_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	137

Abb. 72: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	138
Abb. 73: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank 2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils.....	139
Abb. 74: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	140
Abb. 75: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furten je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	141
Abb. 76: Vergleich der „Effektiven Lebensraumeignung“ Laichplatz/Reproduktion AP 0a (Referenzzustand, AP 0 (aktuelle Situation), AP 1 bis 3 (zunehmende Schwalldämpfung), AP 4 und 4a (vollständiger Schwallausgleich) und erforderliche Mindestfläche (rote Linie).....	143
Abb. 77: Vergleich der „Effektiven Lebensraumeignung“ Jungfische „Drift“ AP0a (Referenzzustand, AP 0 (aktuelle Situation), AP1 bis 3 (zunehmende Schwalldämpfung), AP4 und 4a (vollständiger Schwallausgleich) und erforderliche Mindestfläche (rote Linie).....	148
Abb. 78: Vergleich der „Effektiven Lebensraumeignung“ Jungfische „Stranden“ AP0a (Referenzzustand), AP 0 (aktuelle Situation), AP1 bis 3 (zunehmende Schwalldämpfung), AP4 und 4a (vollständiger Schwallausgleich) und erforderliche Mindestfläche (rote Linie).....	150
Abb. 79: (Folgeseite): Kennwerte für die Gesamteignung der drei untersuchten Teststrecken des Alpenrheins vom Ist-Zustand (als AP 0 bezeichnet) über die Anforderungsprofile AP 1 bis AP 4 mit zunehmend gedämpftem Schwall bis hin zum natürlichen winterlichen Niedrigwasserabfluss. Alle dargestellten Werte sind jeweils auf die ganze ständig benetzte Fläche der entsprechenden Teststrecke bezogen. Der Anteil gut bzw. sehr gut geeigneter Flächen wird durch die Flächenanteile der Gesamt- oder Basiseignungen (HSI) >0.65 bzw. >0.75 an der ganzen benetzten Sohlenfläche ausgedrückt. Der natürliche Zustand entspricht einer winterlichen Niedrigwasserführung im Bereich der Abflusskennwerte Q_{347} und Q_{300} , gemessen zwischen 1910 und 1950 und damit noch vor dem Einfluss der Speicherkraftwerke (Tab. 18).....	156
Abb. 80: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	167
Abb. 81: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Buchs	167

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Integrierte maximale Basishabitateignung in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss	40
Tab. 2: Integrierte Gefährdung Erosion in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss	42
Tab. 3: Integrierte Gefährdung Trockenfallen in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss	44
Tab. 4: „Effektive Lebensraumeignung“ in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss	46
Tab. 5: Integrierte maximale Basishabitateignung in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil	51
Tab. 6: Integrierte Gefährdung Erosion in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil	53
Tab. 7: Integrierte Gefährdung Trockenfallen in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil.....	55
Tab. 8: „Effektive Lebensraumeignung“ in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil	57
Tab. 9: „Effektive Lebensraumeignung“ in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Koblach je Anforderungsprofil und Referenzabfluss.....	60
Tab. 10: Durch Strandungsrisiko reduzierte Eignung (Effektive Lebensraumeignung) in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss.....	66
Tab. 11: Durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung (Effektive Lebensraumeignung) in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss.....	69
Tab. 12: Durch Strandungsrisiko reduzierte Eignung (Effektive Lebensraumeignung) in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil	72
Tab. 13: Durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung (Effektive Lebensraumeignung) in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil	75
Tab. 14: Effektive Lebensraumeignung in Absolutfläche [m ²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Koblach je Anforderungsprofil	78
Tab. 15: Wassertiefe und mittlere Strömung an allen Messpunkten der Teststrecke Mastrils bei Sunk (su, Messung vom 13./14.2.2010) und bei Schwall (S, Berechnung durch das hydraulische Modell von Hunziker, Zarn & Partner). Ebenfalls angeführt sind die Einzelwerte sowie die Minima (MIN), Maxima (MAX) und arithmetischen Mittelwerte (MIT) der Differenzen zwischen Schwall und Sunk (ΔS -su). Negative Differenzen der Strömung sind rot markiert und bei der Auswertung nicht berücksichtigt. An den gelb unterlegten Stellen wurden verhältnismässig hohe Bewuchs- oder Simuliidendichten festgestellt.....	93
Tab. 16: Wassertiefe und mittlere Strömung an allen Messpunkten der Teststrecke Buchs bei Sunk (su, Messung vom 13./14.2.2010) und bei Schwall (S, Berechnung durch das hydraulische Modell von Hunziker, Zarn & Partner). Ebenfalls angeführt sind die Einzelwerte sowie die Minima (MIN), Maxima (MAX) und arithmetischen Mittelwerte (MIT) der Differenzen zwischen Schwall und Sunk (ΔS -su). Negative Differenzen der Strömung sind rot markiert und bei der Auswertung nicht berücksichtigt. An den gelb unterlegten Stellen wurden verhältnismässig hohe Bewuchs- oder Simuliidendichten festgestellt.....	94

Tab. 17: Lage und Bewuchs-Kennwerte der am 23./24.1.2010 beprobten speziellen Habitate im Alpenrhein zwischen Felsberg und Buchs. Lemanea cf. fluv. = Lemanea cf. fluviatilis; Bangia atropurp. = Bangia atropurpurea.....	95
Tab. 18: Anforderungsprofile bzw. Abfluss-Szenarien mit den zugehörigen Schwall/Sunk-Verhältnissen sowie natürliche Kennwerte des Niedrigwasser-Abflusses für die drei hydrologisch unterschiedenen Abschnitte des Alpenrheins. Die Schwall- und Sunk-Abflüsse für den Ist-Zustand entsprechen den für das Habitatmodell Casimir gewählten Werten. Die Anforderungsprofile stammen aus dem Bericht zu Arbeitspaket 1 und die natürlichen Abfluss-Kennwerte aus Limnex (2007). Mit Ausnahme der Schwall/Sunk-Verhältnisse sind alle Werte in m ³ /s angegeben. Die Werte für die drei Flussabschnitte stammen von unterschiedlichen Tagen und sind untereinander deshalb nicht direkt vergleichbar.	107
Tab. 19: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	121
Tab. 20: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	123
Tab. 21: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	125
Tab. 22: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	127
Tab. 23: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	129
Tab. 24: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	131
Tab. 25: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	133
Tab. 26: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	134
Tab. 27 Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	136
Tab. 28: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	138
Tab. 29: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	140
Tab. 30: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furten pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	142
Tab. 31: Vorhandene (oberer Tabellenteil) und zusätzlich erforderliche Fläche (unterer Tabellenteil) funktionsfähiger Laichareale je Anforderungsprofil in den drei Strecken	146
Tab. 32: Laichplatz in m ² pro Hektar Struktur in der Referenzstrecke Mastrils.....	146
Tab. 33: Erforderliche Struktur in ha pro km Flusslauf in Buchs und Koblach um das Mindestanfordernis an funktionsfähigen Laicharealen zu erreichen	146
Tab. 34: Strukturelemente pro km Flusslauf in Mastrils	147
Tab. 35: Vorhandene (oberer Tabellenteil) und zusätzlich erforderliche Fläche (unterer Tabellenteil) geeigneter Jungfisch-Lebensräume je Anforderungsprofil in den drei Strecken.....	151

Tab. 36: Jungfischlebensraum in m ² pro Hektar Struktur in der Referenzstrecke Mastrils	151
Tab. 37: Erforderliche Struktur in ha pro km Flusslauf in Buchs und Koblach um das Mindestanforderungsprofil an geeigneten Jungfischhabitaten zu erreichen	152
Tab. 38: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Seitenarm p_1 und p_2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	168
Tab. 39: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme 1 bis 5 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	169
Tab. 40: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbänke 1 bis 6 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	171
Tab. 41: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt 1 bis 3 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	173
Tab. 42: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Seitenarm p_1 und p_2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	174
Tab. 43: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme 1 bis 5 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	175
Tab. 44: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank 1 bis 6 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	177
Tab. 45: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt 1 bis 3 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	179
Tab. 46: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Seitenarm p_1 und p_2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	180
Tab. 47: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme 1 bis 5 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	181
Tab. 48: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank 1 bis 6 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	183
Tab. 49: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt 1 bis 3 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils	185

1 Zusammenfassung

Das Projekt D6 „Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile mittels Modellierung“ soll eine fachlich fundierte Entscheidungsgrundlage vorlegen, welche die Basis für nachhaltige Strategien zur Optimierung von Schwall/Sunk-Ganglinien am Alpenrhein unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Interessen bildet.

Im Rahmen des Projektes werden neben der aktuellen Situation (AP 0) insgesamt vier unterschiedlich stark gedämpfte Schwall/Sunk-Tagesganglinien (Anforderungsprofile 1 - 4) im Winter bei Niederwasserabfluss betrachtet, da hier die größten relativen täglichen Abflussschwankungen vorliegen. Als Basis wurde die Wochenganglinie einer distinkten Woche ausgewählt, welche aus früheren Studien übernommen wurde. Weiters wird als Bezugsmaßstab für die Bewertung der einzelnen Anforderungsprofile der gewässertypische Referenzzustand (AP 0a) betrachtet, für dessen Berechnung die Abflussverhältnisse vor Errichtung der Speicher und die naturnahe Morphologie in den Mastrilser Auen herangezogen wurden (vgl. auch Arbeitspakete 1, 1+ und 2). Im Projekt wurde bei der Schwalldämpfung in potentiellen Schwalldämpfungsbecken ein Wochenausgleich angesetzt, d.h. dass das bei Schwall im Becken zurückgehaltene Wasser bei Sunk in der jeweiligen Woche zur Gänze wieder abgegeben werden muss. Die gedämpften Schwall-/Sunktagesganglinien hängen daher sehr stark vom Abfluss der jeweiligen Woche ab, der aktuell über den Winter stark schwankt. Um die durchschnittlichen Verhältnisse, welche über den gesamten Winter herrschen, abschätzen zu können, wurde daher auch ein Szenario mit dem mittleren Winterabfluss modelliert (AP 4a - siehe Bericht zu Arbeitspaket 1+).

An drei charakteristischen Morphologien am Alpenrhein (naturnahe Mastrilser Rheinauen, alternierende Kiesbänke im Bereich von Buchs und Koblach) werden die sich einstellenden hydraulischen Verhältnisse für jedes Abflussszenario berechnet und die daraus resultierenden Lebensraumverhältnisse mittels Habitatmodellierung analysiert.

Für die quantitative Bewertung der Größe des Schwalleinflusses am Alpenrhein werden die hinsichtlich Abflussschwall sensibelsten Stadien Laichplätze/Eier und Jungfische der ausgewählten Indikatorfischart (Bach/Seeforelle) sowie die Bodenfauna (Makrozoobenthos) herangezogen. Im vorliegenden Arbeitspaket 5 wird mittels biotischer Habitatmodellierung (Simulationsmodell CSMIR: **C**omputer **A**ided **S**imulation System for **I**nstream **F**low **R**equirements) die Lebensraumeignung als Kombination der wesentlichen abiotischen Parameter wie Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Substrat, Strukturausstattung, Kolmation, Unterstandstyp etc. modelliert.

Aufgrund der starken täglichen Abflussschwankungen sind für die Lebensraumeignung neben der „Basishabitateignung (BSI - **B**asic **h**abitat **s**uitability **i**ndex) beim jeweiligen Abfluss“ auch die Gefährdung durch den Schwallanstieg sowie den Schwallrückgang wesentlich.

Die Laichplätze und damit eine erfolgreiche Reproduktion sind aufgrund der täglichen Wasserstandsschwankungen durch das Trockenfallen und durch Erosion gefährdet. Gerade flachere, rasch fließende Bereiche mit lockerem Kiessubstrat weisen in Schwallstrecken sehr differierende Verhältnisse zwischen Schwall und Sunk auf. An geeigneten Plätzen bei Schwall abgelaichte Eier fallen bei Sunk trocken, potentielle Laichplätze bei Sunk weisen hingegen bei Schwall sehr hohe Fließgeschwindigkeiten auf, die zur Erosion der Eier führen können. Der Verfestigungsgrad des Schotterkörpers infolge einer etwaigen inneren Kolmation hat zudem Einfluss auf die Möglichkeit, eine Laichgrube zu schlagen. Der Grad der über den Winter entstehenden, inneren Kolmation ist entscheidend für eine ausreichende Sauerstoffversorgung und damit erfolgreiche Eientwicklung.

Mit steigendem Anforderungsprofil nimmt der Einfluss der Kolmation auf die Reproduktion respektive die Kolmation der Gewässersohle ab. Die Kolmationsverhältnisse für die einzelnen Anforderungsprofile werden direkt entsprechend den Ergebnissen aus Arbeitspaket 1 (SCHAELECHLI et al., 2011) und der Schwall-Trübe Studie (ARGE TRÜBUNG ALPENRHEIN, 2001) übernommen. Dieser Zusammenhang zwischen Schwall und Kolmation wurde im Verlauf der vorliegenden Studie teils in Frage gestellt. Für die Ergebnisse kann aber jedenfalls festgehalten werden, dass die Kolmation für die modellierte Situation der Eientwicklung zwar mitentscheidend, aber nicht alleinentscheidend ist. Trockenfallen sowie Erosion von Laich aufgrund der Schwall/Sunk-Erscheinungen beeinflussen die Eientwicklung ebenfalls erheblich. Wie für das Stranden von Jungfischen (siehe unten) wird die tatsächliche Gefährdung durch das Zusammenspiel der einzelnen Parameter bestimmt.

Eine erfolgreiche Reproduktion (Eiablage bis Verlassen der Larven des Interstitials) ist bei den derzeitigen Abflussverhältnissen am Alpenrhein auszuschließen. In den Anforderungsprofilen 0, 1 und 2 hat die Kolmation noch einen starken Einfluss, bei den Anforderungsprofilen 3, 4 sowie 4 a hat die Kolmation 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.

Jungfische der Bach-/Seeforelle, deren bevorzugten Habitate flache ufernahe Bereiche entlang von Kiesbänken 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 Berechnung der jeweiligen Gefährdung durch Stranden wurden die Parameter Geschwindigkeit der Wasserspiegelabsenkung, Wassertiefe, Substrat, Ausformung und Struktur-ausstattung der Ufer verwendet.

Im Zuge einer Sensitivitätsanalyse wurde gezeigt, dass die tatsächliche Gefährdung durch das Zusammenspiel der einzelnen Parameter bestimmt wird und die Änderung eines Parameters innerhalb üblicher Toleranzen nur geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat.

Das Ergebnis der Modellierung bildet die tatsächliche Eignung der einzelnen Strecken als Lebensraum für Eier und Jungfische unter Berücksichtigung der schwallbedingten Gefährdungen über die gesamte Tagesganglinie ("Effektive Lebensraumeignung"). Als Bezugsmaßstab wird der natürliche Referenzzustand (Anforderungsprofil 0a) herangezogen. Dafür werden die Verhältnisse in den naturnahen Mastrilser Auen beim mittleren Winterabfluss vor Errichtung der Speicherkraftwerke berechnet.

Als Endergebnis können für die unterschiedlich stark gedämpften Schwall/Sunk-Tagesganglinien die erreichbaren ökologischen Verbesserungen quantifiziert werden. Weiters können die Einflüsse der unterschiedlichen Morphologien entlang des Alpenrheins aufgezeigt und Empfehlungen für morphologische Verbesserungen in den einzelnen Gewässerstrecken formuliert werden. Diese Vorschläge sind jeweils auf das Erreichen des jeweiligen Zielwertes ausgerichtet. Dieser ist definiert als Mindestanfordernis an Fläche zur Sicherstellung einer sich selbst erhaltenden Population.

Ergebnisse Jungfische

Bei den Jungfischen der Bach-/Seeforelle sind im Winter deutliche Verbesserungen der Lebensraumverhältnisse (Erreichung des Zielwertes) in Mastrils und Buchs ab AP 2 erreichbar. In der Strecke Buchs liegen dabei bei den Anforderungsprofilen 0 bis 3 ähnliche Werte wie in den naturnahen Mastrilser Auen vor, da das bessere Habitatangebot in Mastrils durch das höhere Strandungsrisiko egalisiert wird.

Beginnend mit Anforderungsprofil 3 überwiegt in Mastrils das bessere Lebensraumangebot die Strandungsgefährdung, bei den Anforderungsprofilen ohne Abflussschwankungen (AP 4 und 4a) weist die naturnahe Strecke Mastrils nahezu doppelt so viele geeignete Lebensräume auf wie die Strecke Buchs. Generell ist die Auswirkung der Gefährdung durch Drift deutlich geringer als die Gefährdung durch Stranden.

In der Strecke Koblach sind deutliche Verbesserungen der Lebensraumverhältnisse (Erreichung des Zielwertes) erst ab Anforderungsprofil 3 und nur kombiniert mit umfangreichen morphologischen Aufwertungen möglich. Bei den Anforderungsprofilen 0, 1 und 2 ist die Erreichung des Zielwertes in der Strecke Koblach auch durch umfangreiche morphologische Aufwertungen entsprechend dem "Entwicklungskonzept Alpenrhein" (ZARN et al., 2005) nicht möglich.

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. Dieses Stadium konnte aber nicht modelliert werden, da zusätzlicher Aufwand im Bereich Hydraulik und Modellierung notwendig gewesen wäre.

Ergebnisse Laichplätze und Eientwicklung

Funktionierende Laichplätze bzw. eine erfolgreiche Eientwicklung sind die limitierenden Faktoren für eine intakte Bachforellenpopulation im Alpenrhein. Da die Eier den gesamten Winter über im Schottersubstrat liegen, sind sie gegenüber dem Abflussschwall und den resultierenden Auswirkungen besonders sensibel (vgl. Bericht zu Arbeitspaket 2).

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 steigt die Gesamteignung der Laichplätze jedoch nicht im erwarteten Ausmaß an und bleibt bei allen Anforderungsprofilen deutlich unter dem Wert des unbeeinflussten Referenzzustandes (Anforderungsprofil 0a).

Die optimalen hydraulischen Bedingungen am Laichplatz treten bei der natürlichen Niederwasserführung im Winter auf, an welche die Bachforelle angepasst ist. Die niedrigen Sunkabflüsse der Anforderungsprofile 0 und 1 entsprechen annähernd den natürlichen Niederwasserabflüssen zur Laichzeit. Die weitere Sunkanhebung bei den Anforderungsprofilen 2 bis 4 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/km Flusslauf treten in den naturnahen Mastrilser Auen bei Anforderungsprofil 2 auf. Bei Anforderungsprofil 3 ($Q_{\text{Schwall}} / Q_{\text{Sunk}} = 1,6 : 1$) wird das Mindestfordernis an geeigneten Laichplätzen (1.699 m²/km Flusslauf) mit einer Fläche von 2.848 m²/km Flusslauf an funktionsfähigen Laicharealen in den naturnahen Mastrilser Auen bereits deutlich überschritten. Bei vollständigen Schwallausgleich (AP 4 und 4a) kommt es zu einem weiteren Anstieg der potentiell geeigneten Laichplätzen auf 5.540 bzw. 9.577 m²/km Flusslauf.

In der morphologisch bereits degradierten Strecke Buchs, mit den alternierenden Kiesbänken, entstehen erst bei vollständigem Schwallausgleich potentiell funktionsfähige Laichplätze, welche aber deutlich unter den Mindestfordernissen liegen. In der Strecke Koblach entstehen selbst bei vollständigem Schwallausgleich keine geeigneten Laichplätze.

In den Strecken Buchs und Koblach wären daher zusätzlich zur weitgehenden Schwalldämpfung (ab AP 3) entsprechende umfangreiche morphologische Aufwertungen notwendig, um ausreichend intakte Laichareale zu schaffen.

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

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

Zusammenfassend ist daher festzustellen, dass für die Sicherstellung einer intakten und nachhaltig, sich selbst erhaltenden Bach-/Seeforellenpopulation aufgrund der Ergebnisse eine weitgehende Schwalldämpfung beginnend mit Anforderungsprofil 3 in der Strecke Mastrils erforderlich ist.

Für die anderen Strecken (Buchs und Koblach) sind gleichzeitig neben der Schwalldämpfung (beginnend ab Anforderungsprofil 3) auch umfangreiche morphologische Verbesserungen entsprechend dem Entwicklungskonzept Alpenrhein (ZARN et al., 2005) erforderlich. Durch zusätzliche Verbesserungsmöglichkeiten der Reproduktionsbedingungen durch Schwalldämpfung mit reduzierter Sunkanhebung oder Schwallausleitung und Aufwertung der Zubringer als Laichareal könnte unter Umständen auch eine etwas geringere Schwalldämpfung (als Anforderungsprofil 3) ausreichend sein.

Wird als Zielzustand der "gute ökologische Zustand" im Alpenrhein angesetzt, könnte ebenfalls eine etwas geringere Schwalldämpfung als in Anforderungsprofil 3 für die Zielerreichung ausreichend sein. Der (fisch)ökologische Zustand eines Gewässers/Gewässerabschnittes wird nicht nur durch den Zustand einer Art definiert (HAUNSCHMID et al., 2006, SCHAGER & PETER, 2005).

So sind für den Oberlauf des Alpenrheins 3-4 Leitfischarten und 4 typische Begleitarten genannt, im Mittel- und Unterlauf 4 Leit- und 10-12 typische Begleitarten.

Viele der vorkommenden Arten laichen im Frühjahr bei natürlicherweise höheren Basisabflüssen und höherer Trübung. Diese Fischarten weisen deutlich kürzere Eientwicklungszeiten auf und sind somit in der Reproduktionsphase deutlich weniger sensibel gegenüber den Auswirkungen des Abflussschwalls. Für die gesamte Fischfauna und damit für den fischökologischen Zustand sind daher bei den einzelnen Anforderungsprofilen deutlich bessere Verhältnisse als für die Bach-/Seeforelle anzunehmen.

Da in Österreich und Liechtenstein der Alpenrhein als "erheblich veränderter Wasserkörper" eingestuft ist, wäre als Zielzustand das gute ökologische Potential anzusetzen. Die diesbezüglichen Anforderungen müssten aber noch im Detail von den betroffenen Ländern abgeklärt werden.

Ergebnisse Makrozoobenthos

Die Organismengemeinschaft des Makrozoobenthos umfasst alle mit bloßem Auge sichtbaren, wirbellosen Tiere (Größe >1mm), 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.

Die Eingangsparameter für die Modellierung mittels Casimir bildeten die Umweltfaktoren Wassertiefe, Strömung, dominierendes Substrat (Korngröße) und innere Kolmation. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wurden die Parameter Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe variiert.

Auch bei dieser Analyse ergab sich, dass sich die Modellierungsergebnisse durch leichte Variation einzelner Parameter kaum ändern.

Gestützt auf die Resultate aus den Habitatmodellierungen des Makrozoobenthos mit Casimir (Kapitel 5.4) und auf deren Interpretation erfüllt das Anforderungsprofil AP 2 im Wesentlichen die Voraussetzungen, um im Alpenrhein eine standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt des Algenbewuchses und des Makrozoobenthos zu ermöglichen.

Mit einer über AP 2 hinausgehenden Schwalldämpfung, also mit AP 3 oder gar mit dem vergleichmässigten Szenario AP 4, 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 Teststrecken Mastrils und Buchs bei drei von vier betrachteten Kennwerten nur noch relativ gering.

Die ökologische Aufwertung stünde zwischen AP 2 und AP 4 damit vermutlich in einem schlechteren Verhältnis zu Aufwand und Kosten für die Dämpfungsmaßnahmen als zwischen Ist-Zustand und AP 2.

Einzig in der morphologisch sehr gleichförmigen Teststrecke Koblach und beim vierten Kennwert (dem Anteil ausschließlich sehr gut geeigneter Flächen) steigt der ökologische „Gewinn“ erst bei den Anforderungsprofilen AP 3 und AP 4 überproportional an. Das ist jedoch noch keine ausreichende Begründung für eine Schwalldämpfung über AP 2 hinaus. In der Internationalen Rheinstrecke 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 Teststrecke auch bei AP 2 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 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.

Empfehlungen

Wie die gesammelten Ergebnisse des Projektes D6 zeigen, reagieren die einzelnen Altersstadien der Bach-/Seeforelle und die benthischen Faunenelemente (Makrozoobenthos) sehr unterschiedlich auf die Auswirkungen des Abflussschwall. Die jeweiligen Beeinträchtigungen werden zudem durch unterschiedliche, saisonale Hauptschadensfaktoren verursacht.

Mit einem verfügbaren Volumen von Schwalldämpfungsbecken sollten daher in jeder Jahreszeit gezielt die Auswirkungen des jeweils limitierenden Schadensfaktors reduziert werden, wobei in Kauf genommen werden muss, dass weniger limitierende Schadensfaktoren nicht optimal behandelt werden können. Die optimale Betriebsweise von Schwalldämpfungsbecken muss daher an die Jahreszeit und die jeweils empfindlichsten Stadien angepasst werden.

Da die Bodenfauna entsprechend den Modellierungsergebnissen geringere Anforderungen an die Schwalldämpfung (Anforderungsprofil 2) stellt, nehmen die nachfolgenden Empfehlungen vor allem Bezug auf die Anforderungen der einzelnen Stadien der Bach-/Seeforelle.

- Mitte November/Dezember (Laichzeit Bach-/Seeforelle): Vermeidung zu starker Sunkanhebung.

Die Reproduktion der Bach-/Seeforelle stellt derzeit das limitierende Entwicklungsstadium für eine intakte Bach-/Seeforellenpopulation im Alpenrhein dar. Durch die Vermeidung einer zu starken Sunkanhebung könnte somit eine massive Verbesserung der fischökologischen Verhältnisse erreicht werden. Da die Hauptlaichzeit nur einen Zeitraum von ca. 4-6 Wochen umfasst, wären dabei auch kurzfristige Betriebseinschränkungen überlegenswert.

- Winter (Eientwicklung): Vorrangig 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-/Seeforellenpopulation.

- Frühjahr/Frühsummer (Schlupf der Fischlarven von Bach-/Seeforelle und anderen Leitfischarten wie Äsche usw.): Empfohlen wird vor allem ein möglichst langsamer Anstieg/Rückgang des Wasserspiegels bei Schwall/Sunk, optimal kombiniert mit einer verringerten Schwallamplitude.

Eine Anhebung des Sunkabflusses ist vermutlich in dieser Periode nicht der Hauptschadensfaktor für diese Stadien. Eine genaue Überprüfung bzw. Modellierung der Verhältnisse zu diesem Zeitraum wird jedoch dringend empfohlen.

- Sommer/Frühherbst: Die Fischfauna ist aufgrund der wärmeren Temperaturen unsensibler gegenüber den Abflussschwankungen als im Winter. Besonders sensible Stadien sind zu diesem Zeitpunkt nicht vorhanden, da keine Fischart zu diesem Zeitpunkt laicht bzw. die Fischlarven sich bereits zu Jungfischen entwickelt haben. Zudem treten in dieser Jahreszeit erhöhte Abflüsse und Trübungen natürlicherweise im Alpenrhein auf.

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.

2 Einleitung

Die gesamte Strecke des Alpenrheins weist im aktuellen Zustand sowohl in morphologischer als auch hydrologischer Hinsicht große Unterschiede gegenüber der ursprünglichen Charakteristik auf. Anthropogene Eingriffe wie 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, welche flussab von Kraftwerkszentralen auf die intermittierende Abarbeitung von gespeichertem Wasser zur Deckung des Spitzenbedarfes von Strom zurückzuführen sind. Im Einzugsgebiet befinden sich 40 Stau- und Kraftwerkszentralen. Eine hydrologisch unbeeinflusste Referenzstrecke existiert nicht.

Der Abfluss und dessen zeitliche Veränderung (Abflussregime) wird von POFF et al. (1997) zu den hauptsächlichen Einflussfaktoren gezählt, welche die abiotischen und biotischen Vorgänge in Fließgewässern steuern und damit auch die ökologische Qualität bzw. Funktionsfähigkeit eines Gewässers maßgeblich bestimmen. Zur Abschätzung des zulässigen Abflussschwalles, der keine wesentlichen ökologischen Beeinträchtigungen verursacht, werden meist allgemeine hydrologische Werte wie Schwall-Sunk-Verhältnis bzw. die Schwallamplitude herangezogen, die mit geringem Aufwand ermittelt werden können. In vielen Fällen werden spezifische hydraulische Kennwerte wie Wasserspiegelschwankungsamplitude, Sunkrückgangsgeschwindigkeit oder die Größe der Wasserwechselzone verwendet, die allerdings bereits eine morphologisch-hydraulische Abschätzung/Berechnung erfordern. Für die Festlegung von nachhaltigen Strategien beim Umgang mit Schwall/Sunk unter der Berücksichtigung von ökologischen und ökonomischen Interessen, bedarf es aber vertiefender, vor allem quantitativer Betrachtungen der resultierenden Lebensraumverhältnisse. Für die Analyse der ökologischen Auswirkungen sind zudem die Wechselwirkungen zwischen veränderten Schwall-Sunk-Ganglinien und unterschiedlichen Flussmorphologien eingehend zu untersuchen.

Das Projekt D6 „Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile mittels Modellierung“ soll eine fachlich fundierte Entscheidungsgrundlage vorlegen, welche die Basis für nachhaltige Strategien der Optimierung von Schwall/Sunk-Ganglinien am Alpenrhein unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Interessen bildet.

Im Rahmen des Projektes werden neben der aktuellen Situation (AP 0) noch vier weitere unterschiedlich stark gedämpfte Schwall/Sunk-Tagesganglinien (AP 1, 2, 3 und 4) im Winter bei Niederwasserabfluss betrachtet. Weiters wird als Bezugsmaßstab der Zustand vor Speichererrichtung mit natürlicher Morphologie anhand der Verhältnisse in Mastrils betrachtet (Referenz - AP 0a). Im Projekt wurde bei der Schwalldämpfung in potentiellen Schwalldämpfungsbecken ein Wochenausgleich angesetzt, d.h. dass das bei Schwall im Becken zurückgehaltene Wasser bei Sunk in der jeweiligen Woche zur Gänze wieder abgegeben werden muss. Die gedämpften Schwall-/Sunktagesganglinien hängen daher sehr stark vom Abfluss der jeweiligen Woche ab, der über den Winter stark schwankt. Um die durchschnittlichen Verhältnisse, welche über den gesamten Winter herrschen, abschätzen zu können, wurde auch ein Szenario mit dem mittleren Winterabfluss modelliert (AP 4a - siehe Bericht zu Arbeitspaket 1+). An drei charakteristischen Morphologien am Alpenrhein (naturnahe Mastrilser Rheinauen, alternierende Kiesbänke im Bereich von Buchs und Koblach) werden die sich einstellenden hydraulischen Verhältnisse berechnet.

Darauf aufbauend werden mittels biotischer Habitatmodellierung die resultierenden Lebensraumverhältnisse für die Indikatorfischart Bach-/Seeforelle und die Bodenfauna modelliert. Aufgrund der starken täglichen Abflussschwankungen sind für die Lebensraumeignung neben der „Basishabitateignung beim jeweiligen Abfluss“ auch die Gefährdung durch den Schwallanstieg sowie den Sunkrückgang wesentlich. Für die Berechnung und Darstellung der Gefährdungswahrscheinlichkeit für Laichplätze/Eier und Jungfische sowie die Bodenfauna durch Schwall-bedingte Einflüsse werden entsprechende Gefährdungskurven mit maßgebenden, der Literatur entnommenen Faktoren ermittelt.

Das Ziel des gegenständlichen Projektes ist eine für den Alpenrhein spezifische Quantifizierung der Auswirkungen des Schwalls und eine Ableitung von Toleranzbereichen für Schwall-/Sunk-Ereignisse bei unterschiedlichen Morphologien im Hinblick auf gewässerökologische Fragestellungen (Habitateignung). Andererseits werden aufgrund des Vergleichs unterschiedlicher Morphologien entlang des Alpenrheins Empfehlungen für morphologische Verbesserungen in den einzelnen Gewässerstrecken formuliert. Als Endergebnis können für die unterschiedlich stark gedämpften Schwall/Sunk-Tagesganglinien die erreichbaren ökologischen Verbesserungen quantifiziert werden.

3 Methodik: Allgemeine Aspekte für die Modellierung von Fisch- und Benthoshabitaten im Alpenrhein und deren Beeinträchtigung durch Schwall- und Sunkereignisse

3.1 Hydraulisch-morphologische Habitatmodelle und Prinzip

3.1.1 Präferenzenansatz

Die gängigste Art, Beziehungen zwischen zwei Größen – in diesem Fall zwischen habitatbestimmenden Parametern und der Habitateignung – auszudrücken, ist die von Funktionen. Dies stellt auch die sozusagen „klassische“ Methode der Eignungsdefinition in Form von Präferenzfunktionen dar, wie sie ursprünglich im Rahmen der IFIM (BOVEE et. al. 1998) verwendet wurde. Diese Funktionen geben in der Regel einen Eignungsindex SI zwischen 0 (=ungeeignet) und 1 (=optimal geeignet) in Abhängigkeit der Größe eines physikalischen Wertes an. Bei der Habitatmodellierung wurden bisher vor allem univariate Präferenzfunktionen verwendet, also Funktionen, die von einer Größe abhängig sind. Diese führen demnach zunächst auf Eignungen bezüglich einzelner Faktoren wie z.B. der Wassertiefe.

Abb. 1 zeigt das Prinzip der bisher gängigen Fischhabitatmodellierung mit univariaten Funktionen. Bei der Definition der hydraulisch-physikalischen Mikrohabitatansprüche ist zu berücksichtigen, dass diese sowohl je nach Altersstadium der untersuchten Art als auch in Abhängigkeit der Jahreszeit und im Tag-Nacht Rhythmus variieren können.

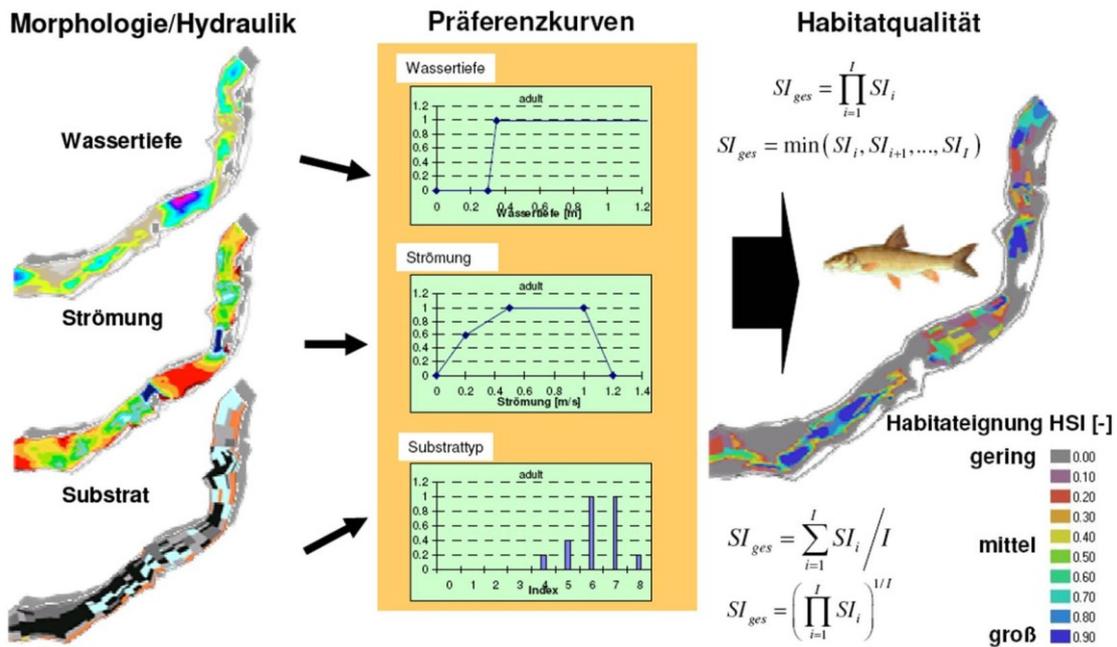


Abb. 1: Prinzip der Habitatmodellierung mit Präferenzfunktionen

Die separate Betrachtung der habitatbestimmenden Parameter und nachfolgende Verknüpfung über einfache Rechenoperationen wird der Komplexität der Habitataignung nicht gerecht. So kann z.B. eine adulte Bachforelle prinzipiell als strömungsliebend angesehen werden, hält sich aber nur in schnellfließenden Zonen auf, wenn eine Sohlstruktur mit geeignetem Strömungsschutz vorhanden ist. In Gewässerabschnitten mit eher gleichförmiger Sohle werden geringere Fließgeschwindigkeiten bevorzugt und die Art der Unterstände mit Sichtschutz bekommt eine größere Bedeutung. Das heißt, das Zusammenspiel der einzelnen Faktoren spielt eine wichtige Rolle, was durch den Übergang von univariaten auf multivariate Verfahren berücksichtigt werden kann. Deshalb werden in jüngerer Zeit vermehrt multivariate Methoden zur Ermittlung von Habitataignungen verwendet.

3.1.2 Fuzzy-logischer Ansatz mit Expertenregeln

Zu den multivariaten Verfahren, die bislang für Habitatsimulationen in Fließgewässern eingesetzt wurden zählen Wichtungen, Superpositionsansätze, multiple Regression, neuronale Netze u.a. Diese beinhalten verschiedene Nachteile. So sind teilweise unabhängige Eingangsgrößen notwendig, die ermittelten Habitatansprüche sind nur für die Gewässerabschnitte gültig, an denen sie entwickelt wurden, oder aber die Berechnungsgrundlagen für die Habitatsimulation sind nicht oder nur schwierig nachvollziehbar („black box“), u.a. aus diesen Gründen wird im Simulationsmodell CASiMiR ein Fuzzy Regel-basierter Ansatz verwendet. Dieser ermöglicht es einerseits, das Zusammenwirken von Habitatparametern zu berücksichtigen, die Berechnung ist andererseits aber dennoch verständlich und beinhaltet gleichzeitig eine gewisse Unschärfe bei der Definition der Eingangsgrößen, was ökologischen Sachverhalten entgegenkommt.

Die Formulierung der Habitatansprüche erfolgte durch so genannte Inferenzregeln. Diese Regeln, die Grundlage für die fuzzy-logischen Berechnungen sind, berücksichtigen üblicherweise für Gewässerhabitatsimulationen verwendete Parameter wie Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe und Sohlsubstrat. Es können aber – was im vorliegenden Fall von instationären Vorgängen unabdingbar ist – auch Zusatzgrößen, wie die Sunkgeschwindigkeit des Wasserspiegels oder die Steilheit von Uferböschungen integriert werden.

Ein Beispiel für eine derartige Regel ist im Folgenden gegeben:

*WENN Fließgeschwindigkeit **sehr gering** (gering, mittel, gross)*

*UND Wassertiefe **Gering** (sehr gering, mittel, gross, sehr gross)*

*UND Substrat **Mittel** (gering, gross)*

*UND **Covertyp C** - Wurzel, Totholz, ins Wasser ragende Äste - (A, B, D, E)*

*DANN Habitateignung für Jungfische der Bachforelle **sehr gross** (gering, mittel, gross)*

In Abb. 2 sind die zugeordneten Fuzzymengen für die drei in der Regel erstgenannten Parameter dargestellt. Diese geben an, welche Fließgeschwindigkeiten, Wassertiefen und Substratgrößen den Klassen „sehr gering“, „gering“, „mittel“ usw. zugeordnet sind. Die Habitateignung HSI werden in derselben Weise definiert.

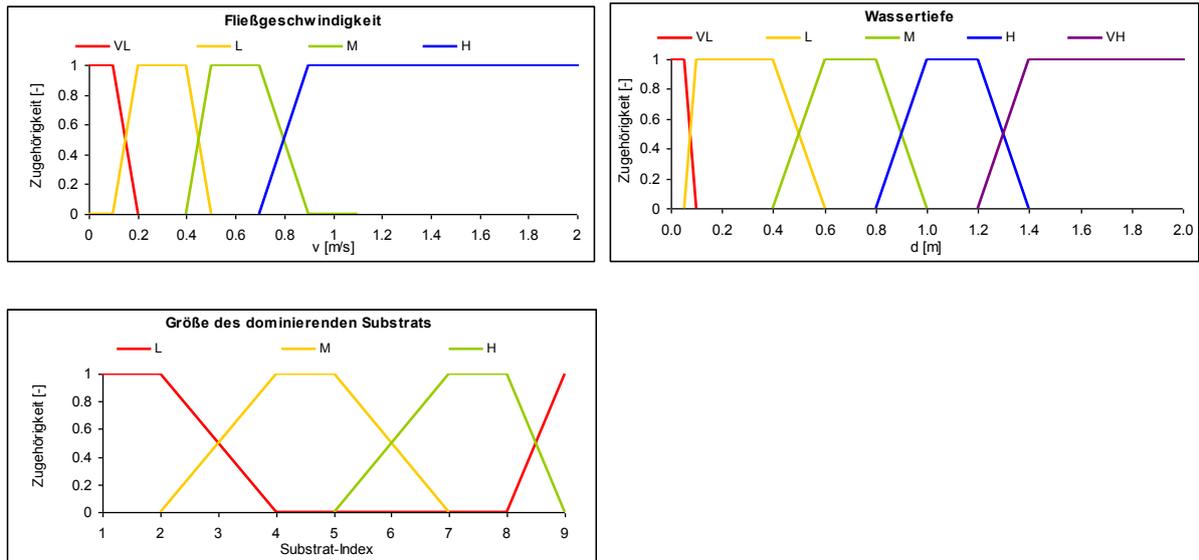


Abb. 2: Für die Jungfischhabitateignung verwendete Fuzzymengen der Parameter Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe und dominantes Substrat

Das Prinzip der Habitatmodellierung mit Fuzzy-Regel basiertem Ansatz ist in Abb. 3 gegeben.

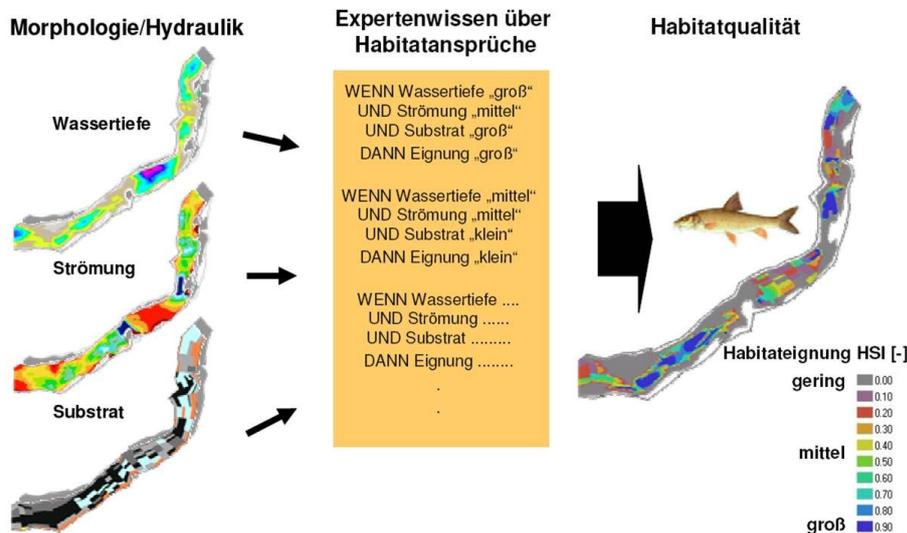


Abb. 3: Prinzip der Habitatmodellierung mit Fuzzy-Regel basiertem Ansatz

Die Auswertung und Berechnung der Habitateignung mit einem Wert zwischen 0 und 1 erfolgt in der Weise, dass für jedes Gewässerelement (welches im Modell je nach Heterogenität der Morphologie mit einer Auflösung von bis zu 1 bis 2 m definiert sein kann) überprüft wird, welche Regeln gut mit den vorhandenen Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten, Substratgrößen usw. übereinstimmen und welche weniger gut.

Die Regeln mit hoher Übereinstimmung erhalten ein großes Gewicht bei der Ermittlung der Elementeignung, die mit geringer oder keiner Übereinstimmung ein niedriges oder gar kein Gewicht. Die Gewichtung bezieht sich dabei auf die sogenannte Konsequenz der Regel (vereinfacht gesagt: „das was nach dem DANN steht“) also die Habitateignung.

Die Ausprägung der Habitateignung bzw. Regelkonsequenz kann sehr groß, groß, mittel oder gering sein. Wenn also die Habitatparameter in einem Modellelement z.B. gut mit denen einer Regel übereinstimmen, die eine sehr große Eignung als Konsequenz hat, und nur wenig mit denen einer Regel, die eine geringe Eignung als Konsequenz hat, dann wird die Gesamteignung groß bis sehr groß sein.

Der Fuzzy-Regel basierte Ansatz hat den großen Vorteil, dass einerseits das Zusammenwirken von Habitatparametern berücksichtigt werden kann, und andererseits eine unscharfe Formulierung der Habitatparameter in Kategorien „mittel“, „groß“ usw. möglich ist, was der Beschreibung von oftmals nicht in exakten Funktionen wieder zu gebenden ökologischen Sachverhalten entgegen kommt.

3.2 Mit Modellansätzen zu untersuchende Aspekte

Ziel der Modellierungen ist es, zunächst die Qualität der morphohydraulischen Habitate zu ermitteln, im Weiteren aber auch die Gefährdung dieser Habitate durch die zeitlich veränderlichen Bedingungen zu bestimmen, die aus dem Schwall und Sunk resultieren. Gefährdungen bestehen für Jungfische durch das schnelle Fallen des Wasserspiegels, das zur Bildung von Fischfallen führen kann, in denen die Fische stranden und verenden. Zum anderen können Laichareale bei Sunk trockenfallen oder nicht mehr ausreichend durchströmt und damit mit Sauerstoff versorgt werden. Weiterhin können Jungfische bei Schwall durch die drastisch erhöhten Strömungskräfte ausgeschwemmt werden und Fischeier in Laicharealen durch erhöhte Schubspannungen mit Bewegungsbeginn der Sohle zerstört werden. Dabei ist zu beachten, dass die Gefährdungen nur in den Zonen entstehen, in denen tatsächlich Jungfische oder Gelege zu erwarten sind. Dies ist in denjenigen Gewässerzonen der Fall, in denen bei einem vorhergehenden Abflusszustand hydraulische geeignete Bedingungen für juvenile Fische oder das Laichgeschäft bestanden haben.

Auch beim Makrozoobenthos spielt der zeitliche Aspekt eine wichtige Rolle. Habitate, die zeitweise trockenfallen oder hydraulische Belastungen aufweisen, die über bestimmten Grenzwerten liegen, können nicht dauerhaft besiedelt werden.

Das heißt, dass für die Gefährdung zum Zeitpunkt x die Bedingungen zur Zeit $x-1$, $x-2$ oder allgemein $x-n$ eine Rolle spielen. Dies ist entscheidend für die Modellierung, da die Habitateignungen aus vorangegangenen Zeitschritten zu berücksichtigen sind. Die Habitatberechnungen wurden aus diesem Grund in 10 min Zeitschritten durchgeführt, wodurch sich bei Betrachtung eines Zeitraums von 24 h insgesamt 144 Zeitschritte ergaben. Da ein erheblich größerer Umfang an Daten „zwischengehalten“ werden muss, um Aussagen für den aktuellen Zeitschritt zu treffen, hat dies einen großen Einfluss auf die Modellkonzeption, die deshalb in einem GIS umgesetzt wurde.

Diese Form der Verlinkung von verschiedenen Zeitschritten und zeitlich variablen Zuständen wurde im Rahmen von Fisch- und Benthoshabitatmodellierungen nach Kenntnis der Verfasser in den vorgestellten Untersuchungen zum ersten Mal in dieser Weise durchgeführt.

3.2.1 Basiseignung

3.2.1.1 Jungfische

Um zu ermitteln, wo Gefährdungen für Jungfische und Laich auftreten können, ist zunächst zu berechnen, wo überhaupt hydraulisch günstige Bedingungen auftreten, da auch dort Jungfische oder Laichgruben zu erwarten sind. Hierbei ist zum einen der Sunkabfluss besonders relevant, der bei Sunk im Gewässer vorherrscht und auch am Wochenende über längere Zeiträume vorhanden ist. Generell ist es aber auch möglich, dass Forellen z.B. bei Maximalabfluss oder einem im Vergleich zum Sunkzustand erhöhten Abfluss günstige Bedingungen zum Ablachen, z.B. in einem nicht ständig benetzten Seitenarm vorfinden. D.h. es sind alle während eines Schwall-Sunk Ereignisses auftretenden Abflusszustände zu untersuchen, um dann im zweiten Schritt die Gefährdung zu ermitteln, die evtl. in einem späteren Zeitschritt desselben Ereignisses auftreten kann.

Für die Jungfische der Forelle wurden von den beteiligten Fischökologen die Habitatparameter Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe, dominantes Substrat und Unterstandstypen (engl. Cover) als maßgebend für die sogenannte Basishabitateignung erachtet. Diese wird nicht deshalb so genannt, weil sie beim Basisabfluss vorherrschen würde, sondern deshalb weil sie als Basis für die weitere Gefährdungsberechnung dient. Eine Beispielregel für die Ermittlung der Basishabitateignung für Jungfische wurde in Kap. 2.1.2. bereits gelistet.

Diese Regeln wurden für alle theoretisch möglichen Kombinationen der Habitatparameter definiert. Aus den in Klammern angegebenen weiteren Kategorien für die Ausprägung der einzelnen Habitatparameter lässt sich berechnen, dass das gesamte Regelwerk 4 mal 5 mal 3 mal 5 Regeln umfasst, also insgesamt 300 Regeln.

Die damit erhaltene Basiseignung muss einen Mindestwert von 0,3 erreichen, damit weitergehend eine Berechnung der Gefährdung erfolgt. Dies deshalb, da bei geringerer Eignung davon ausgegangen wird, dass sich im entsprechenden Modellelement gar keine Jungfische aufhalten.

3.2.1.2 Laichplätze

Es wurde derselbe regelbasierte Modellansatz verwendet. Da die Fischeier, wenn sie einmal abgelegt sind, am selben Ort verbleiben und nicht, wie die Jungfische, dem Wasserstand folgen können, wurde hier zunächst für jedes Modellelement und alle Zeitschritte des Schwall-Sunk-Ereignisses berechnet, wie die Bedingungen zum Ablachen sind. Die in der folgenden Regel genannten Parameter mit den jeweiligen Ausprägungen (s.a. Klammern) wurden verwendet.

WENN Fließgeschwindigkeit MITTEL (GROSS, GERING, SEHR GERING)

UND Wassertiefe MITTEL (GROSS, GERING)

UND Substratgröße MITTEL (GROSS, GERING)

UND Kolmation SEHR GERING (GERING, MITTEL, GROSS)

DANN Laichplatzeignung SEHR GROSS (GROSS, MITTEL, GERING)

Die innere Kolmation wurde erst im Laufe des Projektes als zusätzlicher, maßgebender Umweltfaktor bestimmt (vgl. Arbeitspaket 1). Die Zuordnung zu den Kategorien „Sehr gering“, „Gering“ und die Definition der zugehörigen Eignungen wurde auf Basis der Erkenntnisse aus einem Vorläuferprojekt vorgenommen. Nähere Informationen dazu gibt es in den Berichten zu Arbeitspaket 1 und 2.

Gefährdungen wurden dann im nächsten Schritt nur berechnet, wenn die Basiseignung zu irgendeinem Zeitpunkt des Schwall-Sunk-Ereignisses einen Grenzwert von 0,3 überschritten hatte, unter der Annahme, dass nur dann im betroffenen Bereich ein Laichen überhaupt zu erwarten ist.

3.2.1.3 Rheophile Makroinvertebraten

Für das Makrozoobenthos bzw. im speziellen rheophile, also strömungsliebende Makroinvertebraten wurde die Basiseignung anhand der Habitatparameter ermittelt, die in der folgenden Beispielregel gelistet sind. Näheres zur Auswahl der in der Regel enthaltenen Habitatparameter ist in Kap. 5 zu finden.

WENN Fließgeschw. MITTEL (SEHR GROSS, GROSS, GERING)

UND Wassertiefe MITTEL (GROSS, GERING, SEHR GERING)

UND Substratgröße GROSS (MITTEL, GERING, SEHR GERING)

UND Kolmation GERING (MITTEL, GROSS)

DANN Eignung für Benthos SEHR GROSS (GROSS, MITTEL, GERING)

Die zugrundeliegenden Fuzzymengen wurden auf Basis der Benthosbeprobungen angepasst und auf diese Weise das Modell kalibriert. Sie sind in Kap. 6 „Sensitivitätsanalyse“ dargestellt.

3.2.2 Integrierte Basiseignung

Die unter 3.2.1 erklärten Berechnungen wurden für einen Zeitraum von 24 h in 10 min Schritten durchgeführt. Daraus erhält man also zunächst Eignungskarten für insgesamt 24h x 6 Zeitschritte /h = 144 Zeitschritte. Um diese Ergebnisse zusammenfassend darzustellen wurde **für die Laichplätze** auf folgende Weise eine so genannte „Integrierte Basiseignung“ berechnet:

Aus allen Zeitschritten wurde ein Maximalwert berechnet, der damit angibt, ob zu irgendeinem Zeitpunkt des Schwall-Sunk-Ereignisses gute Bedingungen (also eine hohe Basiseignung) vorgeherrscht haben. Dieser Maximalwert für jedes Modellelement wurde dann in Form einer Karte dargestellt (siehe z. B. Abb. 6). Dieser Ansatz wurde in der Annahme gewählt, dass die Forelle ablaicht, wenn sich (zu irgendeinem Zeitpunkt des Schwallereignisses) die optimalen hydraulischen Bedingungen einstellen. Die Eier verbleiben dann in dieser Position, auch wenn sich der Abfluss nachfolgend wieder ändert.

Die ermittelte integrierte Basiseignung wurde dann im nächsten Schritt der Gefährdungsermittlung als Ausgangssituation herangezogen. Wie oben erwähnt, wurde ein Risiko nur in den Bereichen berechnet, in denen die Integrierte Basiseignung mindestens den Wert 0,3 erreichte.

Für Jungfische ist eine derartige Zusammenfassung zu einer integrierten Eignung nicht sinnvoll, da diese nicht stationär in einem Standort verbleiben, sondern den sich mit dem Abfluss verlagernden guten Habitaten folgen können. D.h. je nach Abflusssituation kann eine Gefährdung in unterschiedlichen Zonen stattfinden. Dem wird dadurch entsprochen, dass bei der Berechnung der Gefährdung jeweils die Bedingungen berücksichtigt werden, die während der vorhergehenden 60 Minuten (oder 6 Zeitschritten) vorgeherrscht haben (siehe Kapitel 4.2).

3.2.3 Gefährdung von Jungfischen durch Verdriftung bei Schwall

Eine Gefährdung von Jungfischen durch Abdrift wurde nur in potentiell geeigneten Jungfischarealen berechnet. Hier spielt allerdings der zeitliche Aspekt eine wichtige Rolle. Während sich einmal abgelegte Fischeier nicht aktiv bewegen können, folgen Jungfische dem Wasserstand. Deshalb wurde für die Gefährdungsberechnung in jedem Zeitschritt berücksichtigt, welche Habitatbedingungen (Basiseignung) in den vorhergehenden vorgeherrscht haben. Diese guten Habitatbedingungen werden im vorliegenden Fall durch einen Mindestwert der Basiseignung von 0,3 definiert.

WENN Wasserspiegelanstieg SCHNELL (LANGSAM)

UND Strömungsschutz GERING (GROSS)

UND Schubspannung GROSS (MITTEL, GERING)

UND Basiseignung Jungfische GROSS (GERING)

DANN Risiko Drift SEHR GROSS (GROSS, MITTEL, GERING)

Die Gefährdung (oder das Risiko) wird (entsprechend der Basiseignung) durch einen Wert zwischen 0 (kein Risiko) und 1(maximales Risiko) angegeben und ist für jeden der 144 Zeitschritte zu ermitteln.

3.2.4 Gefährdung von Jungfischen durch Stranden bei Sunk

Prinzipiell können Jungfische dem Wasserstand folgen und somit einem Trockenfallen entgehen. Unter ungünstigen Randbedingungen wächst aber die Gefahr des Strandens. Die verwendeten Gefährdungsparameter sind in der Beispielregel unten genannt. Insbesondere die Morphologie mit flachen Uferzonen und welliger Oberfläche mit daraus entstehenden Tümpeln bei Wasserspiegelabfall wirkt sich im Zusammenspiel mit einem schnellen Sunk negativ aus.

WENN Wasserspiegelsunk SCHNELL (LANGSAM)

UND Wassertiefe GERING (GROSS)

UND Uferneigung FLACH (STEIL)

UND Oberfläche Wasserwechselzone WELIG (GLATT)

UND Substratgröße GROSS (GERING)

UND Basiseignung Jungfische innerhalb der vorangegangenen 60 min GROSS (GERING)

DANN Strandungsrisiko SEHR GROSS (GROSS, MITTEL, GERING)

Das damit ermittelte Strandungsrisiko ist ein zeitlich veränderlicher Wert und wird für alle 144 Zeitschritte ermittelt

3.2.5 Gefährdung von Laichhabitaten durch hydraulische und morphologische Veränderungen

Wie zuvor beschrieben, wurden die zwei folgenden Schritte nur für Modellelemente durchgeführt, in denen die Basiseignung einen Wert von 0,3 überschritt, da von einer Gefährdung nur in potentiell geeigneten Laicharealen ausgegangen wurde (in der Regel unten durch die Bedingung „Wenn Basiseignung GROSS ausgedrückt).

Geht man davon aus, dass ein Abbläuen auch bei erhöhten Abflüssen stattfinden kann, besteht die Gefahr, dass bei Absinken des Wasserspiegels die Laichplätze trocken fallen können. Bei den Freilandhebungen zu vorliegendem Projekt (siehe Arbeitspaket 2) wurden in den Mastrilser Auen trockengefallene Laichplätze mit Eiern festgestellt. Auch wenn noch eine Benetzung vorhanden ist, kann bei extrem niedrigen Wassertiefen die Durchströmung des Substrats und damit die Sauerstoffversorgung verringert sein.

Deshalb gingen die Basiseignung und die Wassertiefe in die Expertenregeln ein (Beispielregel s.u.). Für die Bedingung Wassertiefe = „SEHR GERING“ wurde in diesem Fall ein scharfer Grenzwert von 5 cm verwendet.

Gefährdung durch Trockenfallen:

WENN Basiseignung GROSS (gesamte Abflussganglinie)

UND Wassertiefe SEHR GERING (gesamte Abflussganglinie)

DANN Risiko für Absterben der Eier SEHR GROSS

Weiterhin sind abgelegte Eier gefährdet, wenn sich das umgebende Sohlsubstrat beginnt zu bewegen. Die Wahrscheinlichkeit für den Bewegungsbeginn wurde mit Fuzzymengen definiert, welche die dimensionslose Schubspannung nach Shields beinhalten (SHIELDS 1936).

Gefährdung durch Erosion:

WENN Wahrscheinlichkeit Bewegungsbeginn GROSS (gesamte Abflussganglinie)

UND Basiseignung GROSS (gesamte Abflussganglinie)

DANN Risiko für Absterben der Eier SEHR GROSS

3.2.6 Integriertes Risiko

Wie bei der Berechnung der Eignung können sich auch bei der Berechnung des Risikos in allen 144 Zeitschritten unterschiedliche Werte ergeben, da sich die hydraulischen Bedingungen während des Schwallereignisses stetig ändern. Deshalb wurde auch hier der maximale Gefährdungswert ermittelt und dieser Maximalwert für jedes Modellelement als „Integriertes Risiko“ in Form einer Karte dargestellt. (siehe z. B. Abb. 7).

3.2.7 Effektive Lebensraumeignung

In den vorangegangenen Schritten wurde eine integrierte Basiseignung hinsichtlich der Laichplätze (Maximalwert der Habitateignung während des Schwallereignisses für jedes Modellelement), eine Basiseignung für Jungfische für 144 Zeitschritte und ein integriertes Risiko sowohl für Laichplätze (durch Trockenfallen und Erosion) als auch für Jungfische (durch Stranden und Verdriften) ermittelt.

Da sowohl die Eignung als auch das Risiko mit einem Wert zwischen 0 und 1 berechnet wurde, kann die Berechnung einer effektiven Eignung auf folgende Weise erfolgen:

$$\text{Effektive Eignung} = \text{Basiseignung} \times (1 - \text{Risiko})$$

Das bedeutet, die effektive Eignung ist die prozentual um das Risiko verringerte Basiseignung. So erhält z.B. ein Laichplatz, der eine Basiseignung von 0,8 aber gleichzeitig ein Risiko der Erosion von 0,5 (oder 50%) aufweist, eine effektive Eignung von 0,4.

Die effektive Lebensraumeignung kann in Form von Karten (siehe z.B. Abb. 10.) oder in Form einer quantitativen Auswertung mit Vergleich von Szenarien (siehe z.B. Tab. 4.) dargestellt werden.

3.2.8 Gefährdung des Makrozoobenthos durch Trockenfallen und Verdriften

Die Gefährdung von Makroinvertebraten wurde direkt in Form einer Integrierten Habitateignung berücksichtigt, die als Minimalwert der Eignung aus den insgesamt 144 Zeitschritten definiert wurde. Dieser Ansatz wurde deshalb gewählt, da davon ausgegangen wurde, dass sich die Organismen nicht dauerhaft und in grosser Menge in Bereichen ansiedeln können, die regelmäßig trockenfallen oder in denen regelmäßig zu hohe hydraulische Belastungen auftreten. Da das Modell an der im Gewässer effektiv festgestellten Benthos-Besiedlung geeicht wurde (Kapitel 5.2 im Bericht zu AP 2), sind die (dennoch auftretenden) Verluste durch Trockenfallen und Verdriftung in den Ausgangsdaten zudem bereits enthalten. Dieser Ansatz unterscheidet sich insofern von dem für die Laichhabitate gewählten. Dort war ein zusätzlicher Berechnungsschritt für die Gefährdungsberechnung erforderlich, da die Eientwicklung auch in Zonen möglich ist, die nicht ständig hydraulisch geeignet sind für das eigentliche Laichgeschäft (da z.B. die Wassertiefe zeitweise zu gering ist).

Die Integrierte Habitateignung gibt also direkt die Qualität der Bereiche an, die vom Makrozoobenthos dauerhaft besiedelt werden können und weder zeitweise trockenfallen noch zeitweise zu hohe Strömung aufweisen, beinhaltet damit bereits das Risiko des Trockenfallens und Verdriftens und entspricht insofern der effektiven Lebensraumeignung bei den Fischen.

4 Ergebnisse: Fischfauna

4.1 Laichhabitats/Reproduktion Bach-/Seeforelle

Für die Ermittlung der „Effektiven Lebensraumeignung“ wurde im ersten Schritt die maximale Basishabitatsignung über die gesamte Ganglinie des jeweiligen Anforderungsprofils ermittelt. Die getroffene Annahme dabei ist, dass ein Abbläuen dann erfolgt, wenn am jeweiligen Laichplatz optimale Verhältnisse herrschen, unabhängig vom Abfluss. Anschließend wurde jeweils die maximale Gefährdung für die Parameter Trockenfallen und Erosion berechnet. Die „Effektive Lebensraumeignung“ ergibt sich dann aus der maximalen Basishabitatsignung abzüglich den auftretenden Gefährdungen (siehe Abb. 4). Die konkrete Vorgehensweise sowie weitere Details sind dem Bericht zu Arbeitspaket 2 zu entnehmen. Da auch der Parameter Kolmation einbezogen wurde, ist die Bewertung der Laichhabitats nicht nur als reine Aussage über die Eignung bestimmter Flächen als Laichhabitat zu verstehen, vielmehr werden dadurch auch Aussagen über die Entwicklung der Eier bis zur Emergenz der Larven getroffen.

Als Bezugsmaßstab für die Bewertung der einzelnen Anforderungsprofile wird der gewässertypische Referenzzustand (AP 0a) betrachtet, für dessen Berechnung die Abflussverhältnisse vor Errichtung der Speicher und die naturnahe Morphologie in den Mastrilser Auen herangezogen wurden (vgl. auch Arbeitspakete 1, 1+ und 2). Der Referenzzustand ist gekennzeichnet durch erhöhte Abflüsse im Sommerhalbjahr. Häufig kann im Juni ein ausgeprägtes Abflussmaximum beobachtet werden. Demgegenüber ist das Winterhalbjahr durch vorherrschende Niederwasserabflüsse geprägt. Erhöhte Abflüsse (bis MQ) umfassen nur wenige Tage im Winterhalbjahr (weniger als 10%). Hochwässer treten ebenfalls nur selten auf (vgl. Bericht AP1+).

Diese **winterliche Niederwassersituation** spielt aus gewässerökologischer Sicht eine wesentliche Rolle, da diese Phase für viele Organismen eine entscheidende Entwicklungsperiode darstellt. Beispielsweise verläuft über das Winterhalbjahr sowohl die Hauptentwicklung des Makrozoobenthos als auch die Embryonalentwicklung der im Herbst/Winter abgelegten Bach- und Seeforelleneier.

Als Folge dieser konstant geringen Niederwasserabflüsse ist in dieser Zeit natürlicherweise kaum ein Geschiebetrieb vorhanden. Die Schottersubstrate werden daher im Regelfall im Winter nicht umgelagert. Zudem liegt aufgrund der langandauernden Niederwasserführung kaum Trübung vor („Klarwasserphase“, HAAS & PETER, 2009). Der Schotterlückenraum der Bettsedimente kolmatisiert daher kaum.

Durch die über lange Zeiträume, gegenüber dem unbeeinflussten Zustand, erhöhte Trübungskonzentration kommt es derzeit auch im Winterhalbjahr zu einer sukzessiven Kolmation des Schotterlückenraumes, der damit seine Funktion als Hauptlebensraum der Bodenfauna und als Laichplatz bzw. Larvenhabitat der meisten Fischarten nicht mehr in vollem Umfang erfüllen kann.

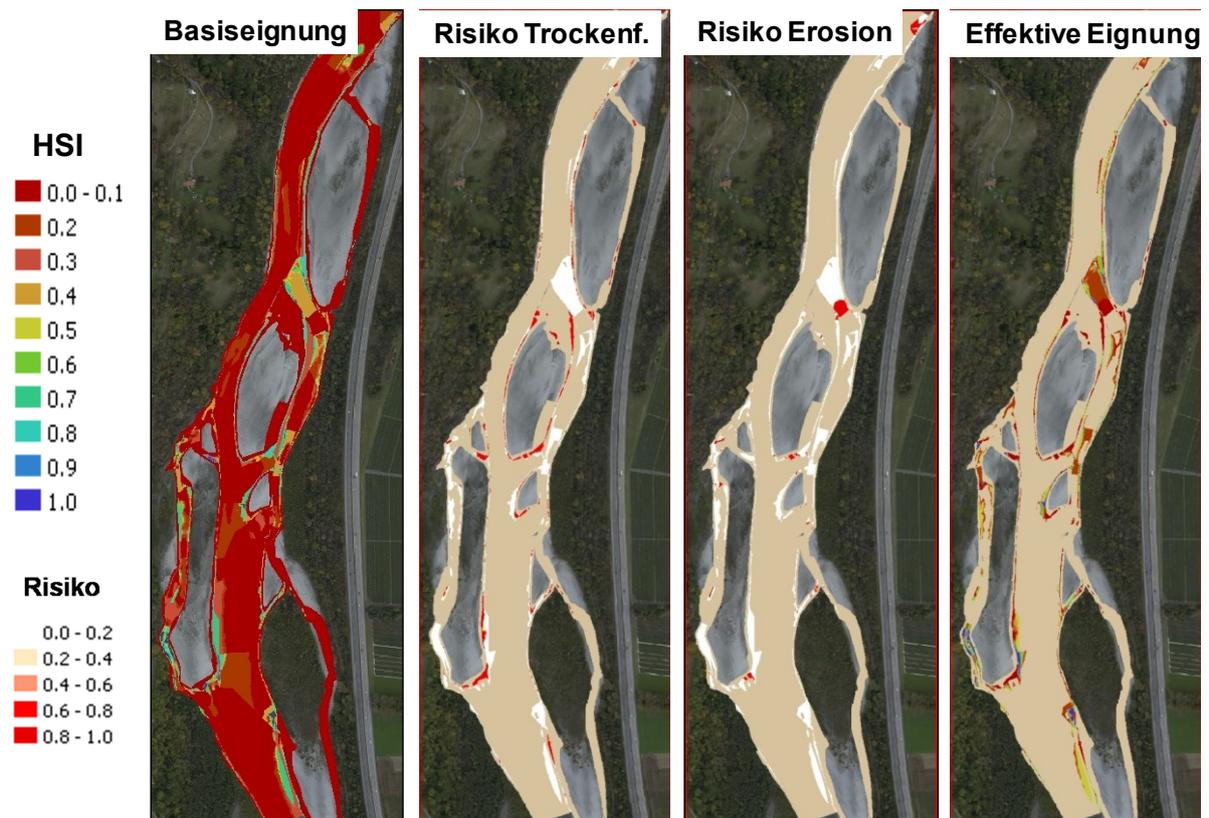


Abb. 4: Beispiel AP 3 der verwendeten Vorgangsweise zur Ermittlung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitataignung <0,3)

4.1.1 Mastrils

4.1.1.1 Basishabitateneignung Reproduktion Bach-/Seeforelle

Bei der Betrachtung der integrierten maximalen Basishabitateneignung (Abb. 5, Abb. 6 und Tab. 1) ist zu erkennen, dass der potentiell verfügbare Lebensraum (= bei der Schwallspitze benetzte Wasserfläche) mit zunehmendem Anforderungsprofil sinkt. Anforderungsprofil 0 (Status Quo) weist aufgrund des großen Abflussbereiches gesamt die größte benetzte Fläche (192.278 m²) auf – der Anteil gut geeigneter Habitate ist jedoch am geringsten. So dominieren in den Anforderungsprofilen 0 und 1 Bereiche mit sehr geringen Eignungen (kleiner 0,3) bei gleichzeitigem fast vollständigen Fehlen sehr gut geeigneter Flächen, welche potentiell der Naturverlaichung dienen könnten. Der Anteil von Flächen größer 0,5 beträgt in Anforderungsprofil 0-Ist-Zustand nur 658 m² und steigt in Anforderungsprofil 1 auf rund 8.170 m².

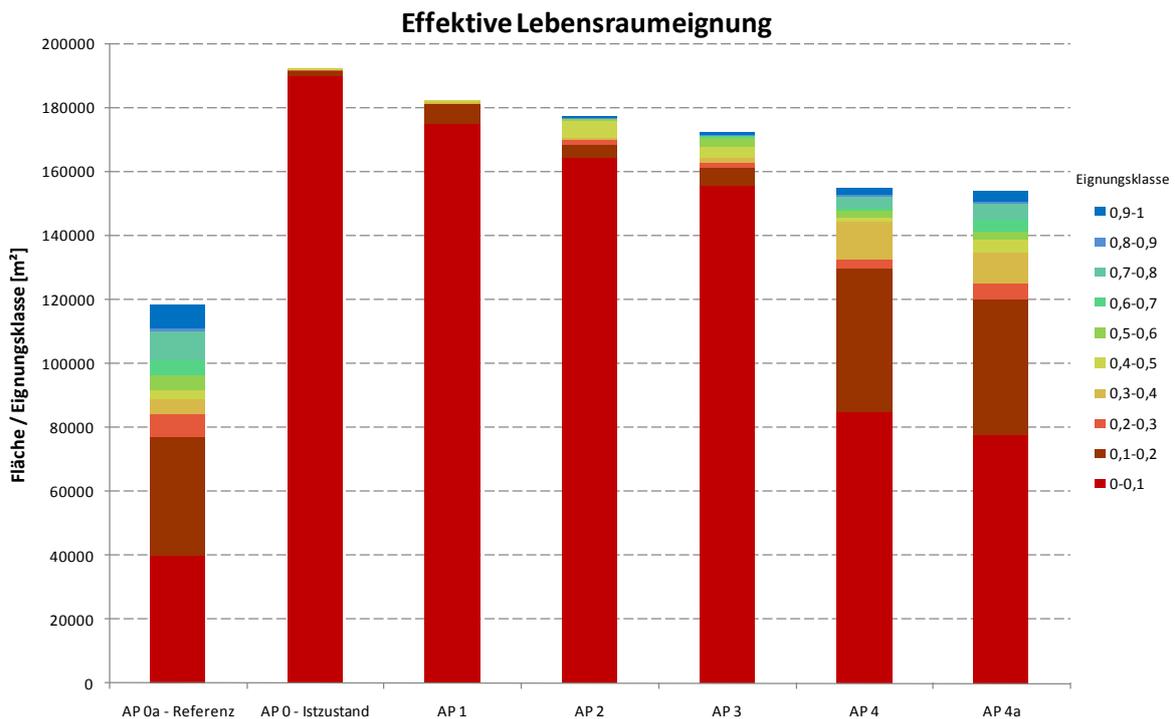


Abb. 5: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der maximalen Basishabitateneignung je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Ab Anforderungsprofil 2 treten angesichts des geringeren Einflusses der Kolmation beziehungsweise einer vorhergesagten Verbesserung der Kolmation verstärkt Bereiche mit Eignungen größer 0,5 auf. Diese Entwicklung wird jedoch durch die stärkere Sunkanhebung mit zunehmenden Anforderungsprofil gedämpft, wodurch die Referenzbedingungen des modellierten Naturzustandes (Anforderungsprofil 0a – Referenzzustand) nicht erreicht werden können.

Die optimalen hydraulischen Bedingungen am Laichplatz treten bei der natürlichen Niederwasserführung im Winter auf, an welche die Bachforelle angepasst ist. Die niedrigen Sunkabflüsse der Anforderungsprofile 0 und 1 entsprechen annähernd den natürlichen Niederwasserabflüssen zur Laichzeit. Die Sunkanhebung bedingt die Erhöhung der Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe, wodurch die Basishabitateignung 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 zu einem erheblichen Teil durch die Sunkanhebung zunichte gemacht.

Der modellierte Referenzzustand weist rund 26.700 m² Fläche mit einer integrierten maximalen Basishabitateignung größer 0,5 auf, gefolgt von Anforderungsprofil 2 (17.085 m²). In Anforderungsprofil 3 (13.383 m²) und 4 (8.808 m²) sinken diese Werte wieder ab, bedingt durch die Anhebung des Sunkabflusses (vgl. Tab. 1). Im Anforderungsprofil 4a sinkt der Sunkabfluss wieder und dementsprechend nehmen die Bereiche mit einer Eignung von >0,5 wieder auf 15.228 m² zu.

Tab. 1: Integrierte maximale Basishabitateignung in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss

Eignungs- klasse	AP 0a – Referenz	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,1	39315,0	149190,3	122144,8	127473,1	121022,8	85138,1	77566,3
0,1-0,2	36806,1	26740,2	25725,5	10098,0	18905,1	44664,9	42736,8
0,2-0,3	6881,7	777,1	15612,2	15163,1	10772,5	2508,2	4608,7
0,3-0,4	5716,7	14874,0	10252,0	6490,0	7194,1	12062,5	10005,9
0,4-0,5	2710,6	39,2	273,6	1189,9	1231,5	1436,6	3693,3
0,5-0,6	4901,8	67,6	297,3	1191,7	1510,6	1653,6	2687,8
0,6-0,7	4753,6	590,2	7873,2	5816,0	4539,3	1445,7	3485,9
0,7-0,8	8959,3			6327,8	4992,5	3258,9	5261,0
0,8-0,9	705,4			157,7	264,4	389,1	595,0
0,9-1	7378,4			3592,2	2076,4	2060,8	3198,4
Fläche [m ²]	118128,7	192278,7	182178,6	177499,5	172509,2	154618,3	153839,0

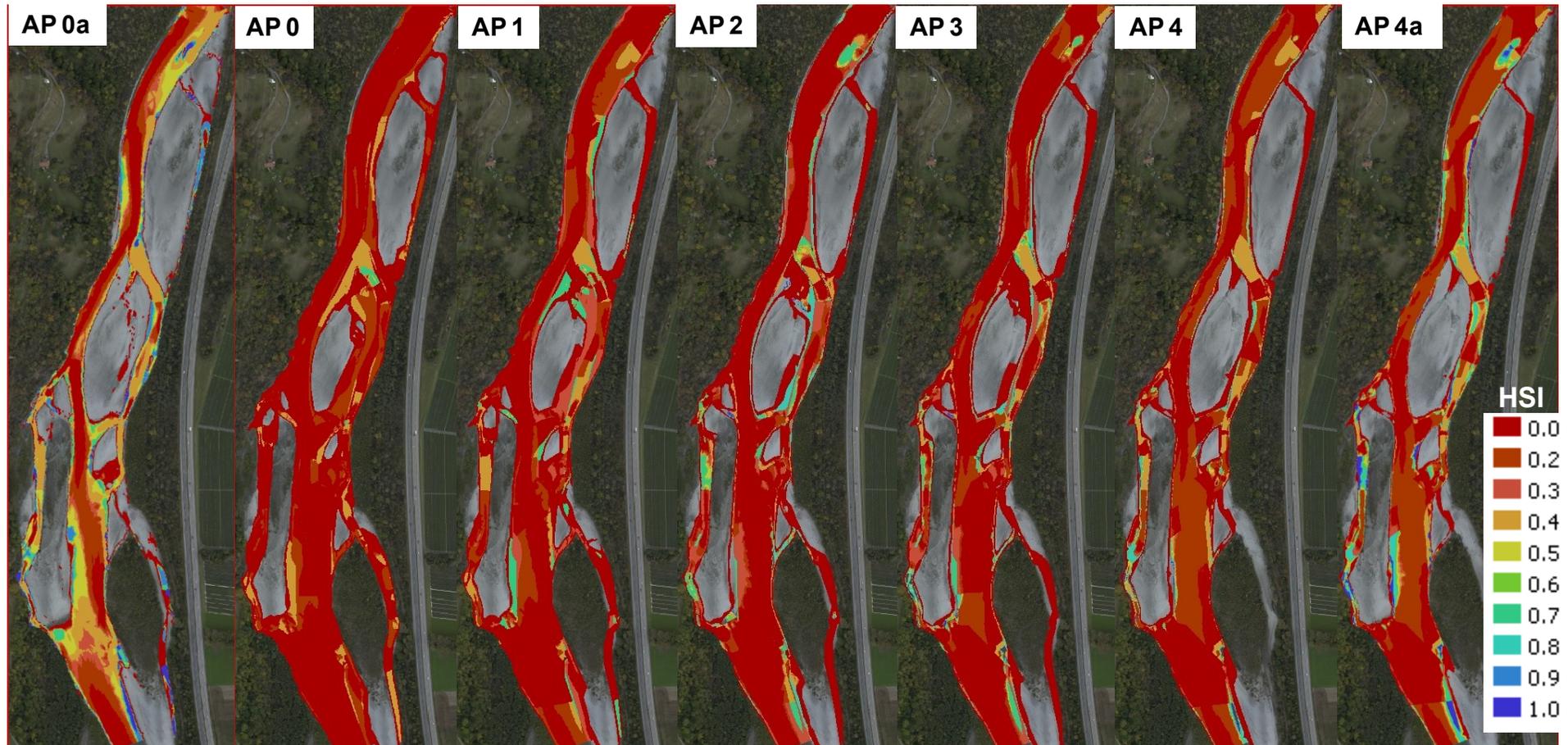


Abb. 6: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der integrierten Basishabitataignung je Anforderungsprofil und Referenzabfluss (AP0a) im Abschnitt Mastrils

4.1.1.2 Gefährdung Erosion Laichplatz Reproduktion Bach-/Seeforelle

Flussabschnitte, die bei Sunk als potentielle Laichplätze geeignet wären, weisen bei Schwall sehr hohe Fließgeschwindigkeiten auf, die zur Erosion der Eier führen können. Die regelmäßige Bewegung von Teilen der Gewässersohle durch eine starke bzw. erhöhte hydraulische Belastung während der Schwallphase kann als eines der wichtigsten kurzfristig auftretenden gewässerökologischen Defizite in Schwallstrecken genannt werden (SCHWEIZER et al., 2009).

Bei den Schwallspitzen kommt es zudem immer wieder zu Erosion und Verlagerung von Geschiebe, wovon gerade die optimalen Laichplätze mit lockerem Kiessubstrat unterhalb der Riffel besonders betroffen sind. Im Alpenrhein wurde Sohlenerosion durch verstärkte hydraulische Belastung bei Schwall jedoch nur örtlich sehr begrenzt festgestellt (ARGE TRÜBUNG ALPENRHEIN, 2001). Dieses Erkenntnis deckt sich sehr gut mit den Ergebnissen der modellierten Erosionsgefährdung. Betroffen sind in erster Linie kleinräumige Bereiche in den orografisch rechtsufrigen Seitenarmen (vgl. Abb. 7). In den Anforderungsprofilen 0 und 1 sind jeweils nur Flächen im Ausmaß von rund 1.100 m² durch Erosion (Eignungsklasse > 0,2) gefährdet (Tab. 2). Der flächenmäßige Anteil der erosionsgefährdeten potentiellen Laichplätze steigt im Anforderungsprofil 2 auf 1.674,4 m² und im Anforderungsprofil 3 auf 1.714 m².

Tab. 2: Integrierte Gefährdung Erosion in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss

Eignungs- klasse	AP 0a – Referenz	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,2	117009,3	191124,9	181106,3	175825,2	170795,3	154618,3	153839,0
0,2-0,4	151,4	192,0	151,9	185,7	178,3	0,0	0,0
0,4-0,6	138,1	95,6	114,2	161,4	135,9	0,0	0,0
0,6-0,8	249,9	105,5	173,9	199,8	193,4	0,0	0,0
0,8-1	580,0	760,7	632,3	1127,5	1206,3	0,0	0,0
Fläche [m ²]	118128,7	192278,7	182178,6	177499,5	172509,2	154618,3	153839,0

Der maximale Abfluss ist in AP 0 am höchsten, demzufolge sollte auch die Erosionsgefährdung höher sein. Aufgrund des geringen Anteils geeigneter Laichhabitats mit einer Eignung > 0,3 sind jedoch nur wenige Flächen gefährdet. Da mit zunehmendem Anforderungsprofil der Anteil gut geeigneter Flächen für die Reproduktion steigt, nimmt auch die Erosionsgefährdung zu. Generell geschieht dies jedoch auf einem sehr niedrigen Niveau. Im Referenzzustand (AP 0a) sind 1.119,5 m² potentieller Laichflächen erosionsgefährdet (Gefährdungsklasse > 0,2). AP 4 und AP 4a weisen keine Gefährdung durch Erosion auf.

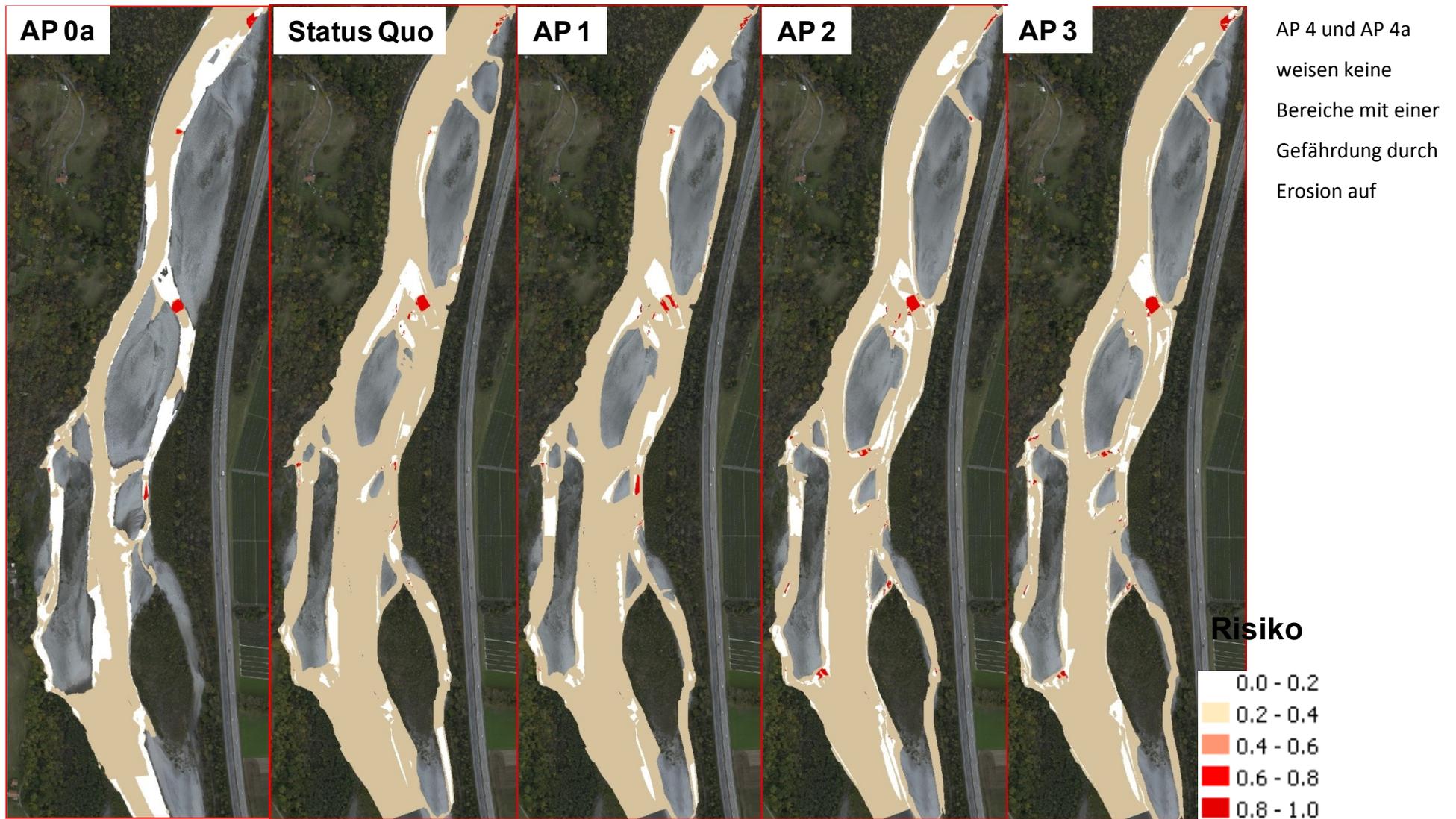


Abb. 7: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung des integrierten Risikos durch Erosion je Anforderungsprofil und Referenzabfluss (AP 0a) im Abschnitt Mastrils (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitataignung < 0.3)

4.1.1.3 Gefährdung Trockenfallen Laichplatz/Reproduktion Bach-/Seeforelle

Der von kraftwerksbedingten Abflussschwankungen am meisten betroffene Teil des Flussbettes ist die sogenannte Wasserwechselzone, die während des Schwallts unter Wasser steht und bei Sunk wieder trocken fällt.

Bei der Gefährdung des Trockenfallens der potentiellen Laichplätze (Tab. 3) weist AP 0 - Istzustand eine Fläche von rund 12.958,2 m² mit einer Gefährdung >0,2 auf. Vergleicht man diesen Wert mit der integrierten Basishabitateneignung geeigneter Laichplätze (vgl. Tab. 1 und Abb. 6) so fallen praktisch alle Bereiche, die als potentielle Laichplätze geeignet wären, während der Sunkphase trocken. Der Anteil potentiell gefährdeter Flächen (Gefährdung >0,2) steigt bis auf 24.639,7 m² im AP 2 an und nimmt im AP 3 wieder auf 4.933,3 m² ab. Bedingt wird dieses Phänomen durch den steigenden Anteil geeigneter Laichplätze sowie der Verringerung der Schwallamplitude mit zunehmendem Anforderungsprofil. Betroffen sind in erster Linie Flächen entlang von Schotterbänken und Bereiche, welche vom Fluss während des Sunks hydraulisch abgekoppelt werden (Abb. 8).

Tab. 3: Integrierte Gefährdung Trockenfallen in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss

Eignungs- klasse	AP 0a – Referenz	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,2	118128,7	179320,5	170887,4	152859,8	167575,9	154618,3	153839,0
0,2-0,4	0,0	219,8	497,8	11923,3	690,7	0,0	0,0
0,4-0,6	0,0	207,0	551,3	1255,6	500,6	0,0	0,0
0,6-0,8	0,0	254,0	819,2	1150,5	773,2	0,0	0,0
0,8-1	0,0	12277,4	9422,8	10310,3	2968,8	0,0	0,0
Fläche [m ²]	118128,7	192278,7	182178,6	177499,5	172509,2	154618,3	153839,0

Für die Anforderungsprofile 4 und 4a ergeben sich in der Modellierung keine Gefährdungsflächen durch Trockenfallen, da keine kraftwerksbedingte Wasserstandsschwankungen auftreten.

Im Referenzzustand (AP 0a) erfolgte die Annahme, dass im Fall eines natürlichen Winterhochwassers kein Ablachen erfolgt und somit auch keine Gefährdung eintritt.

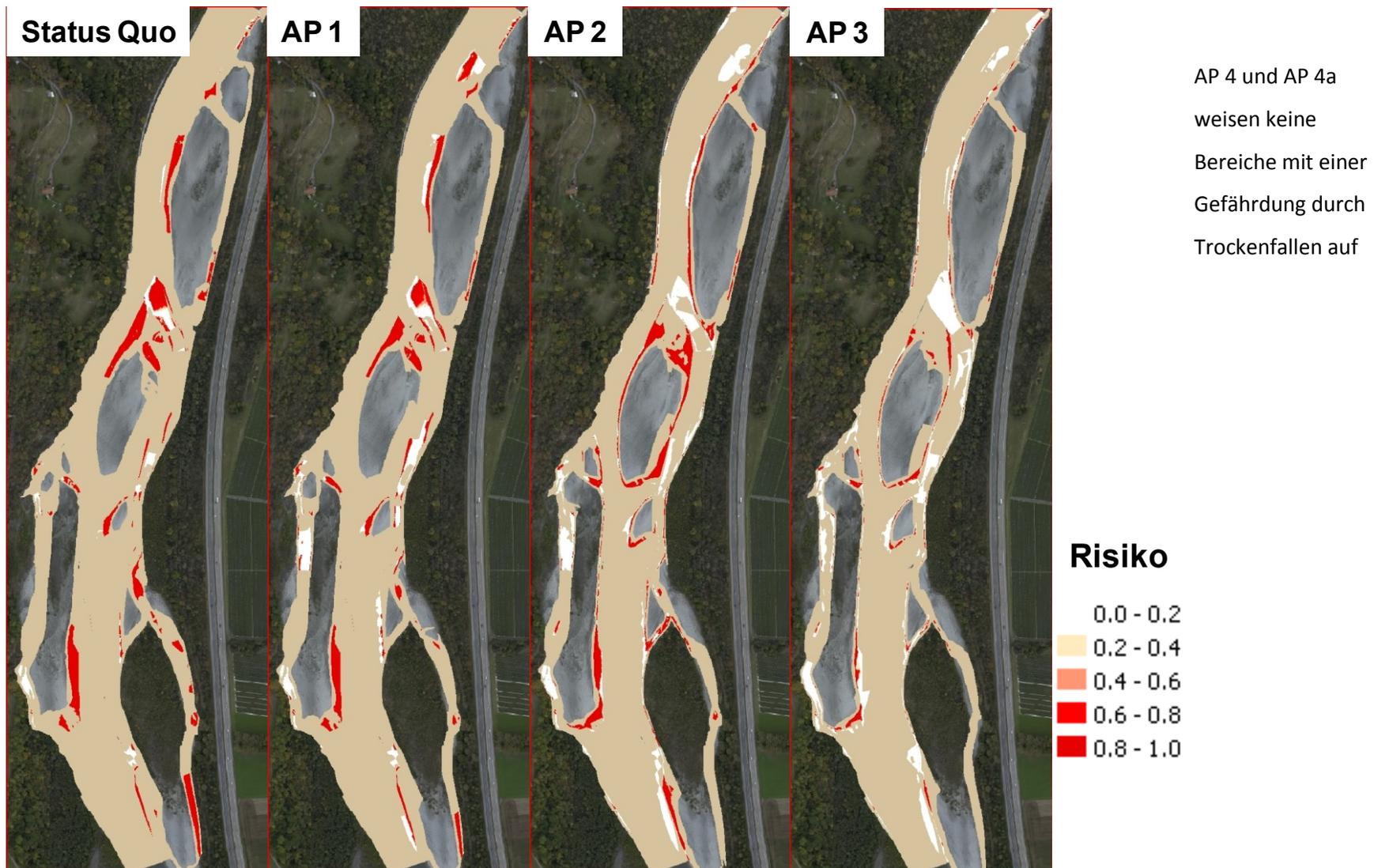


Abb. 8: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung des integrierten Risikos durch Trockenfallen je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitataignung <0,3)

4.1.1.4 Effektive Lebensraumeignung Reproduktion Bach-/Seeforelle

Betrachtet man die Effektive Lebensraumeignung Reproduktion (Basishabitateignung abzüglich der auftretenden Gefährdungen durch Erosion und Trockenfallen), so ergibt die Modellierung in den Anforderungsprofilen 0 und 1 keine geeigneten Flächen, bei denen von einer erfolgreichen Reproduktion (Effektive Lebensraumeignung >0,5) auszugehen ist (Abb. 9, Abb. 10 und Tab. 4). Der Ist-Zustand (AP 0) weist bedingt durch den Einfluss der Kolmation nur geringe Anteile geeigneter Laichplätze und zusätzlich höhere Risiko-Werte als die anderen Szenarien auf, da der Sunkabfluss geringer (Trockenfallen wahrscheinlicher) und die Schwallspitze größer (Erosion wahrscheinlicher) ist. Demgegenüber wies der Alpenrhein entsprechend dem natürlichen gewässertypischen Abflussregime im Winterhalbjahr einen ausgeprägten, klaren Niederwasserabfluss auf. Umlagerungen im Flussbett bzw. Trockenfallen von Laichplätzen traten daher nur selten auf.

Ab Anforderungsprofil 2 treten erstmals Flächen in Erscheinung, welche theoretisch einer erfolgreichen Reproduktion dienen könnten. Flächenmäßig betragen diese jedoch nur 1.819 m² bei Anforderungsprofil 2 und 4.529 m² bei Anforderungsprofil 3.

Tab. 4: „Effektive Lebensraumeignung“ in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss

Eignungs- klasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,1	39980,6	190013,7	175188,4	164367,6	155429,4	85138,1	77566,3
0,1-0,2	37017,9	1992,8	6523,5	4086,1	5848,8	44664,9	42736,8
0,2-0,3	7070,6	40,6	78,9	1392,5	1600,9	2508,2	4608,7
0,3-0,4	4830,5	60,0	84,1	1106,5	1494,8	12062,5	10005,9
0,4-0,5	2696,1	171,5	303,7	4728,1	3606,5	1436,6	3693,3
0,5-0,6	4892,3			1359,3	3150,5	1653,6	2687,8
0,6-0,7	4716,3			48,4	153,3	1445,7	3485,9
0,7-0,8	8945,8			42,5	154,8	3258,9	5261,0
0,8-0,9	679,7			52,0	112,3	389,1	595,0
0,9-1	7299,0			316,5	957,7	2060,8	3198,4
Summe	118128,7	192278,7	182178,6	177499,5	172509,2	154618,3	153839,0

Generell ist die Reproduktion von Forellen an die winterliche Niederwasserphase angepasst. Mit zunehmendem Anforderungsprofil wird daher durch die starke Anhebung des Sunkabflusses die Laichplatzeignung reduziert und dadurch die Verbesserungen durch die geringeren Gefährdungen größtenteils wieder zunichte gemacht.

Obwohl die Schwallamplitude in AP 3 – im Vergleich zu AP 1 und AP 2 – deutlich reduziert ist, kommt daher nur ein kleiner Teil des Gesamtlebensraumes für die Reproduktion in Frage. Die Auswirkung der Sunkanhebung auf rund 150 bzw. 200% des natürlichen mittleren Winterabflusses ist vor allem in den Anforderungsprofilen 4 und 4a ersichtlich. Die Anforderungsprofile 4 und 4a weisen Flächen mit einer Effektiven Lebensraumeignung im Ausmaß von 8.808 m² bzw. 15.228 m² auf, die Fläche des Effektiven Lebensraumes des Referenzzustandes mit 26.553 m² wird nicht annähernd erreicht.

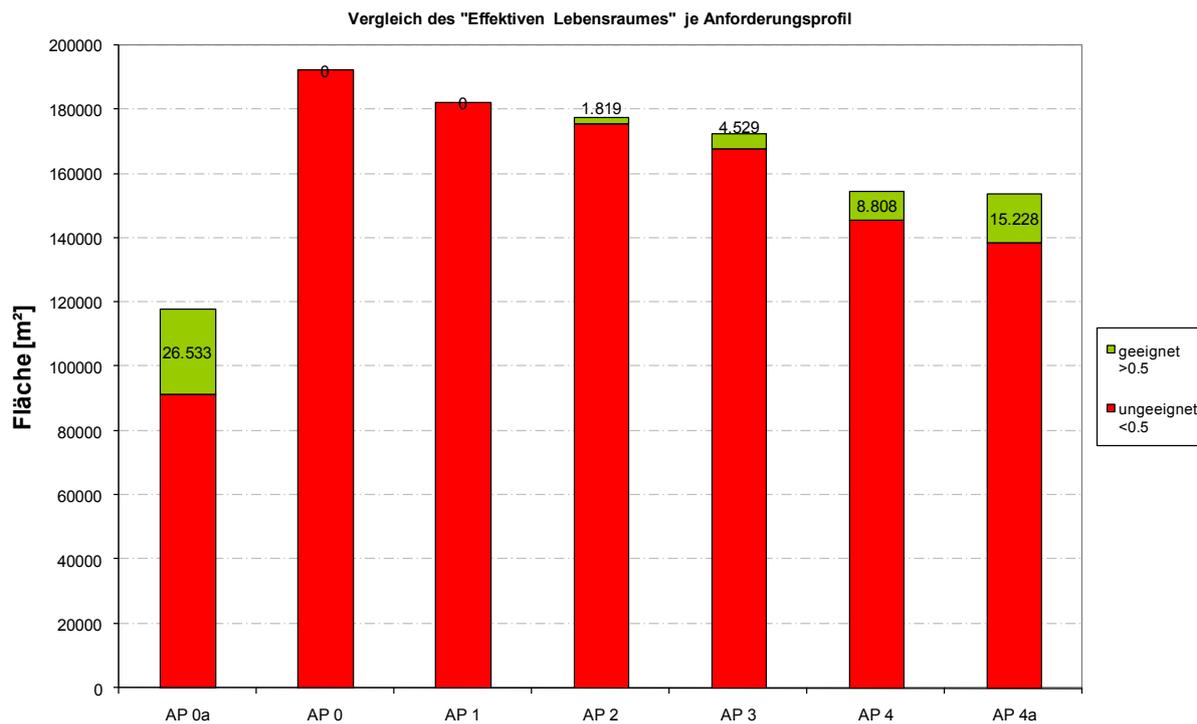


Abb. 9: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Die größte Beeinträchtigung erfolgt derzeit durch die Gefährdung des Trockenfallens ohne die Einbeziehung der übrigen bestehenden Beeinträchtigungen wie der verzögerten Eientwicklung infolge der Kolmation. Daher wird aktuell eine erfolgreiche natürliche Reproduktion von Bach- und Seeforelle im Alpenrhein nahezu ausgeschlossen. Zu diesem Schluss kam auch die ARGE Trübung Alpenrhein (2001). Es konnten im Abschnitt Mastrils eine geringe Anzahl an Laichgruben von Forellen bestätigt werden, die allerdings in bei Sunk trocken fallenden Bereichen lagen. Klar nachgewiesen ist der negative Einfluss von Schwall-/Sunkphänomenen auf die Reproduktion (REY et al., 2011).

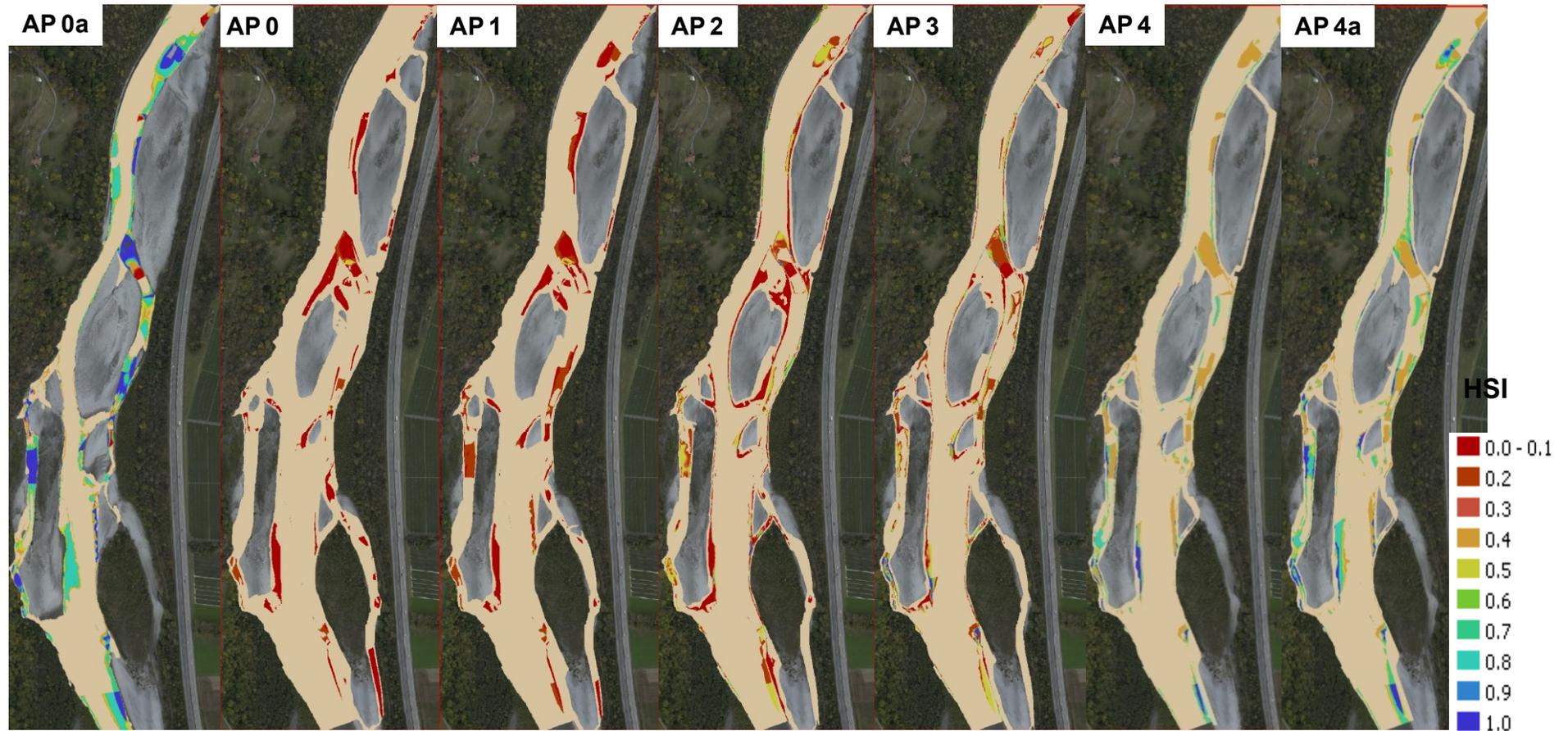


Abb. 10: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitaeignung $< 0,3$)

Erfolgt ein Flächenvergleich der potentiell geeigneten Laichhabitate der einzelnen Anforderungsprofile mit dem natürlichen Referenzzustand, so erreicht AP 2 nur 6,9% der Referenzfläche. Demgegenüber weist Anforderungsprofil 3 bereits geeignete Flächen im Ausmaß von 17,1% der Referenz auf.

AP 4 und AP 4a erreichen bereits 33,2% bzw. 57,4% der Referenzfläche – beide Anforderungsprofile weisen aber einen konstanten Abfluss auf.

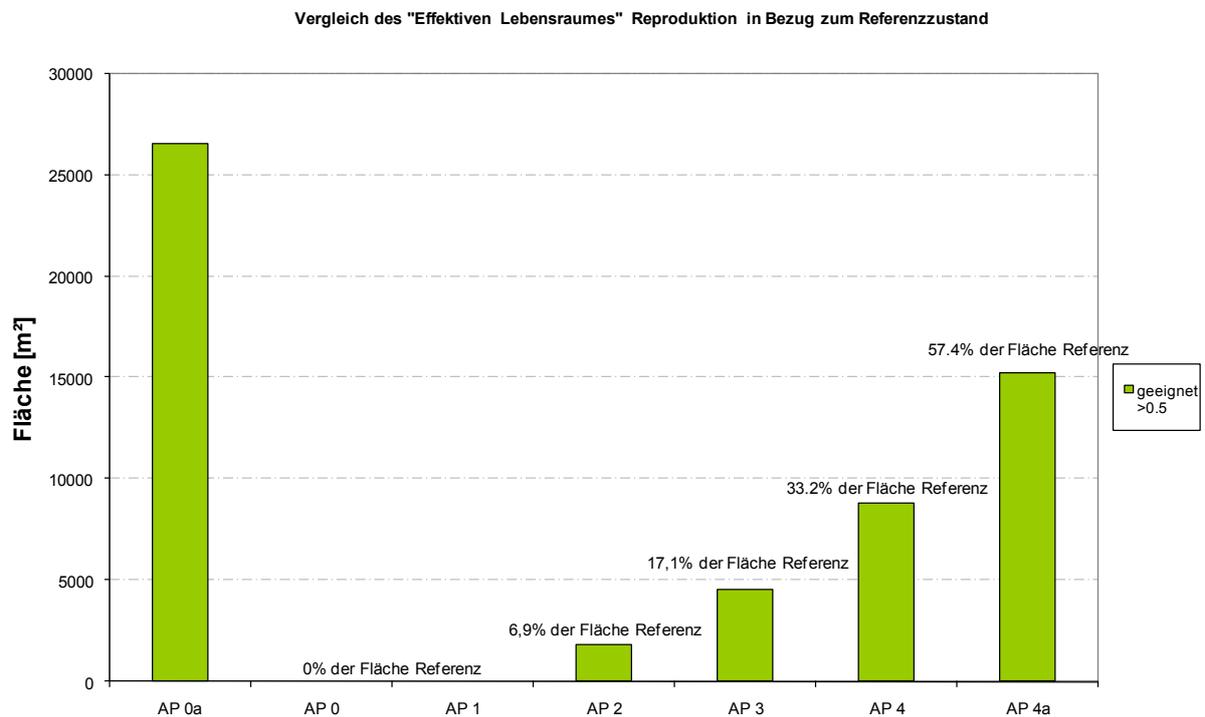


Abb. 11: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ in Bezug zum Referenzzustand

4.1.2 Buchs

4.1.2.1 Basishabitataignung Reproduktion Bach-/Seeforelle

Im Abschnitt Buchs ist das Flussbett des Alpenrheins durch alternierende Kiesbänke geprägt, die in diesem Abschnitt die einzigen Flussbettstrukturen darstellen. Die (bei Schwall) benetzte Wasserfläche nimmt im Vergleich zum naturnahen Abschnitt Mastrils stark ab, diese beträgt 86.293 m² im AP 0-Ist-Zustand und sinkt auf 71.548 m² bei Anforderungsprofil 4a (Tab. 5).

Bedingt durch die morphologischen Defizite und stärkere Kolmationserscheinungen (siehe Arbeitspaket 1) als im Abschnitt Mastrils fallen die integrierten maximalen Basishabitataignungen je Anforderungsprofil (Tab. 5, Abb. 12 und Abb. 13) deutlich geringer aus.

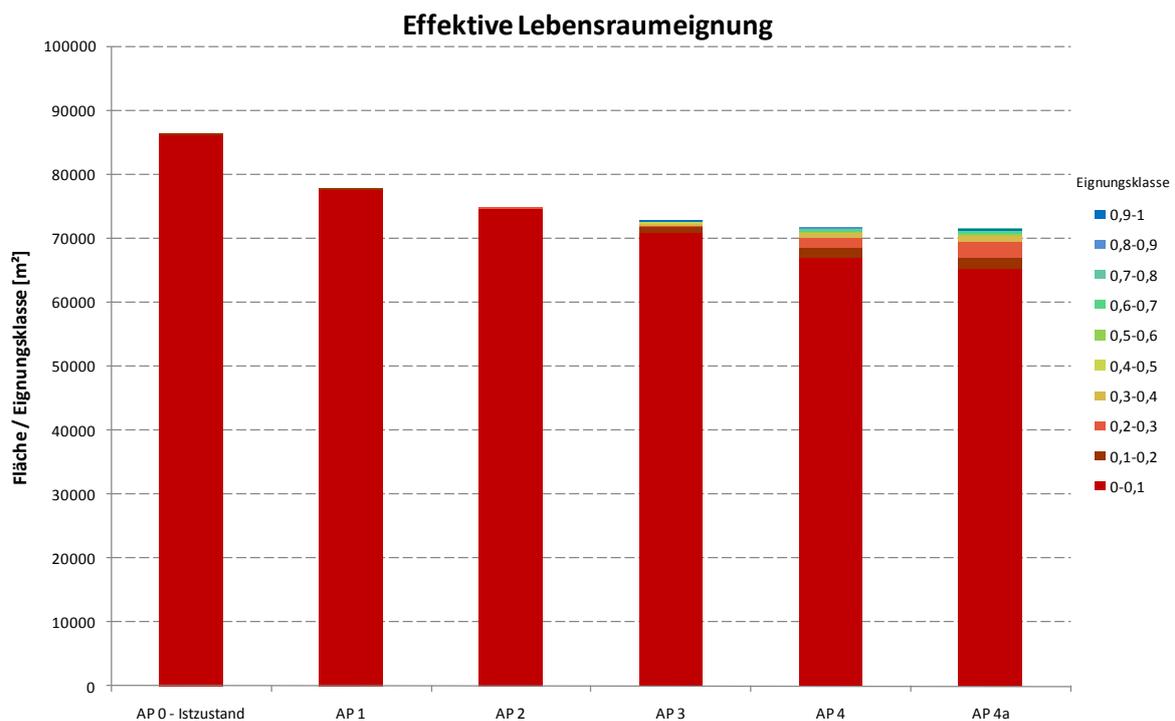


Abb. 12: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der maximalen Basishabitataignung je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs

In allen betrachteten Szenarien dominieren Bereiche mit einer integrierten maximalen Basishabitataignung geringer als 0,3. Die Anforderungsprofile 0 und 1 verfügen über keine Flächen, welche eine Basishabitataignung größer 0,5 aufweisen.

Ab Anforderungsprofil 2 treten angesichts des geringeren Einflusses der Kolmation beziehungsweise einer vorhergesagten Verbesserung der Kolmation erstmals Bereiche mit Eignungen größer 0,5 im Ausmaß von 531,5 m² auf. Anforderungsprofil 3 weist mit 962 m² potentiell geeigneter Habitate für die Reproduktion etwas höhere Werte als AP 4 mit 839 m² auf. Bei wieder sinkenden Sunkabfluss des Anforderungsprofils 4a nehmen diese Bereiche mit einer Eignung von >0,5 wieder auf rund 955 m² zu.

Tab. 5: Integrierte maximale Basishabitateignung in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil

Eignungsklasse	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,1	86056,1	77402,7	69186,2	66403,5	67064,5	65163,5
0,1-0,2	132,9	142,7	3168,6	2786,6	1397,3	1862,2
0,2-0,3	20,0	30,6	975,7	1305,4	1661,2	2472,6
0,3-0,4	84,7	101,3	992,2	1360,4	788,7	1095,0
0,4-0,5			28,9	58,2	94,5	101,3
0,5-0,6			25,9	64,7	108,6	85,7
0,6-0,7			476,8	753,8	596,3	615,3
0,7-0,8				41,1	36,0	70,2
0,8-0,9				18,6	4,2	17,4
0,9-1				26,1		65,4
Fläche [m ²]	86293,7	77677,2	74854,2	72818,5	71751,1	71548,7

Neben den bereits genannten Veränderungen im Vergleich zur Strecke Mastrils spielen in Buchs die morphologischen Defizite eine gewichtige Rolle.

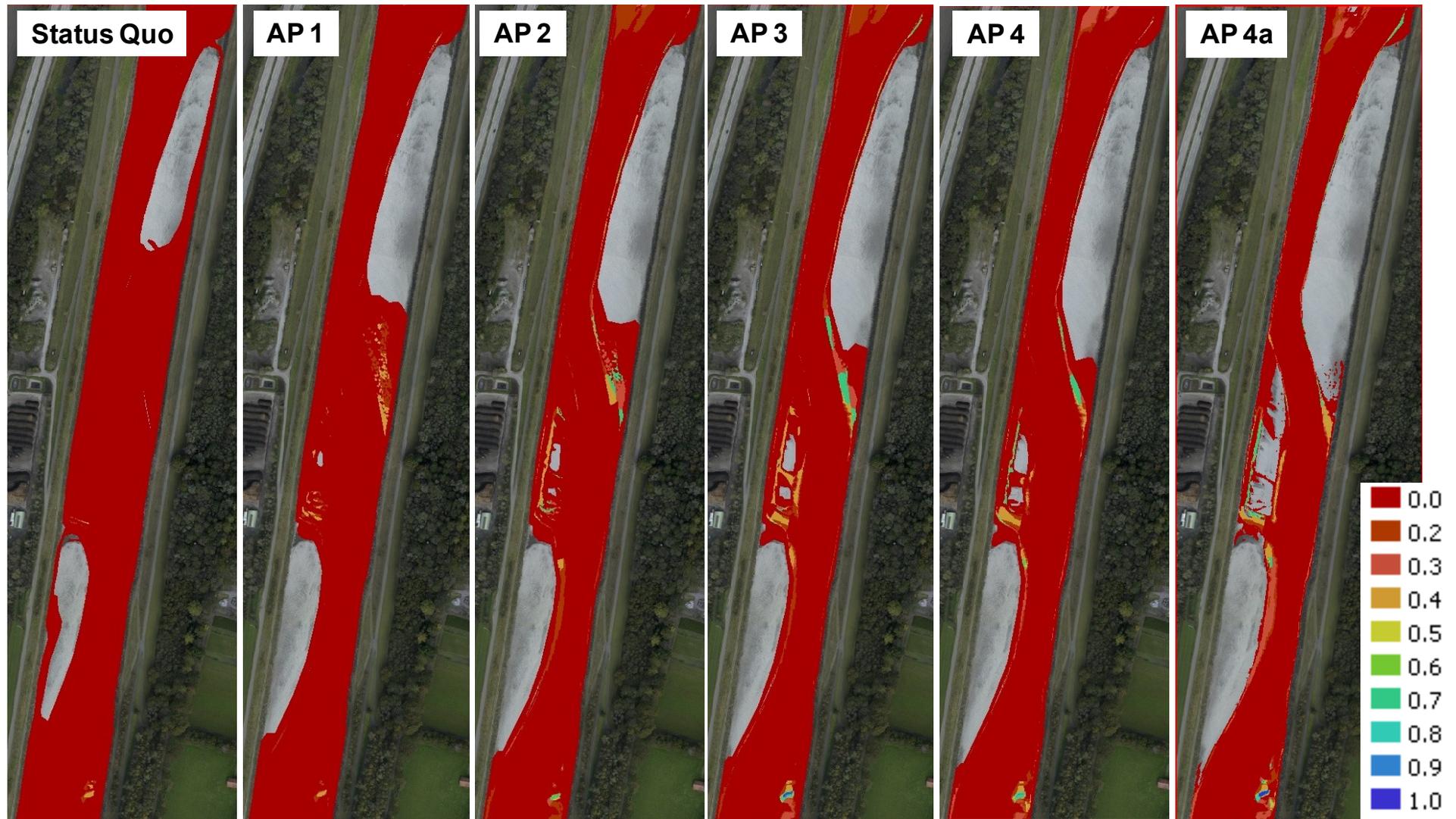


Abb. 13: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der integrierten Basishabitateignung je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs

4.1.2.2 Gefährdung Erosion Laichplatz/Reproduktion Bach-/Seeforelle

Analog zu den Ergebnissen der Erosionsgefährdung von Laichplätzen im Abschnitt Mastrils kommt auch der Gefährdung durch Erosion im Abschnitt Buchs keine große Bedeutung zu.

In AP 0 und AP 1 sind jeweils nur Flächen im Ausmaß von rund 1 bzw. 2m² durch Erosion (Eignungsklasse > 0,2) gefährdet (Tab. 6).

Tab. 6: Integrierte Gefährdung Erosion in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil

Eignungsklasse	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,2	86292,6	77675,3	74850,0	72784,6	71751,1	71548,7
0,2-0,4	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0
0,4-0,6	1,1	1,5	1,7	3,0	0,0	0,0
0,6-0,8	0,0	0,0	1,0	4,0	0,0	0,0
0,8-1	0,0	0,4	1,4	22,0	0,0	0,0
Fläche [m ²]	86293,7	192278,7	182178,6	177499,5	71751,1	71548,7

Anforderungsprofil 3 weist den höchsten Anteil erosionsgefährdeter Flächen (Eignung >0,2) mit rund 34 m² auf, AP 4 und AP 4a weisen keine Gefährdung durch Erosion auf.

Aufgrund der methodischen Rahmenbedingungen (kaum geeignete Bereiche mit einer entsprechenden Basishabitateignung) gibt es in weiterer Folge auch kaum größere Gefährdungsflächen (Abb. 14).

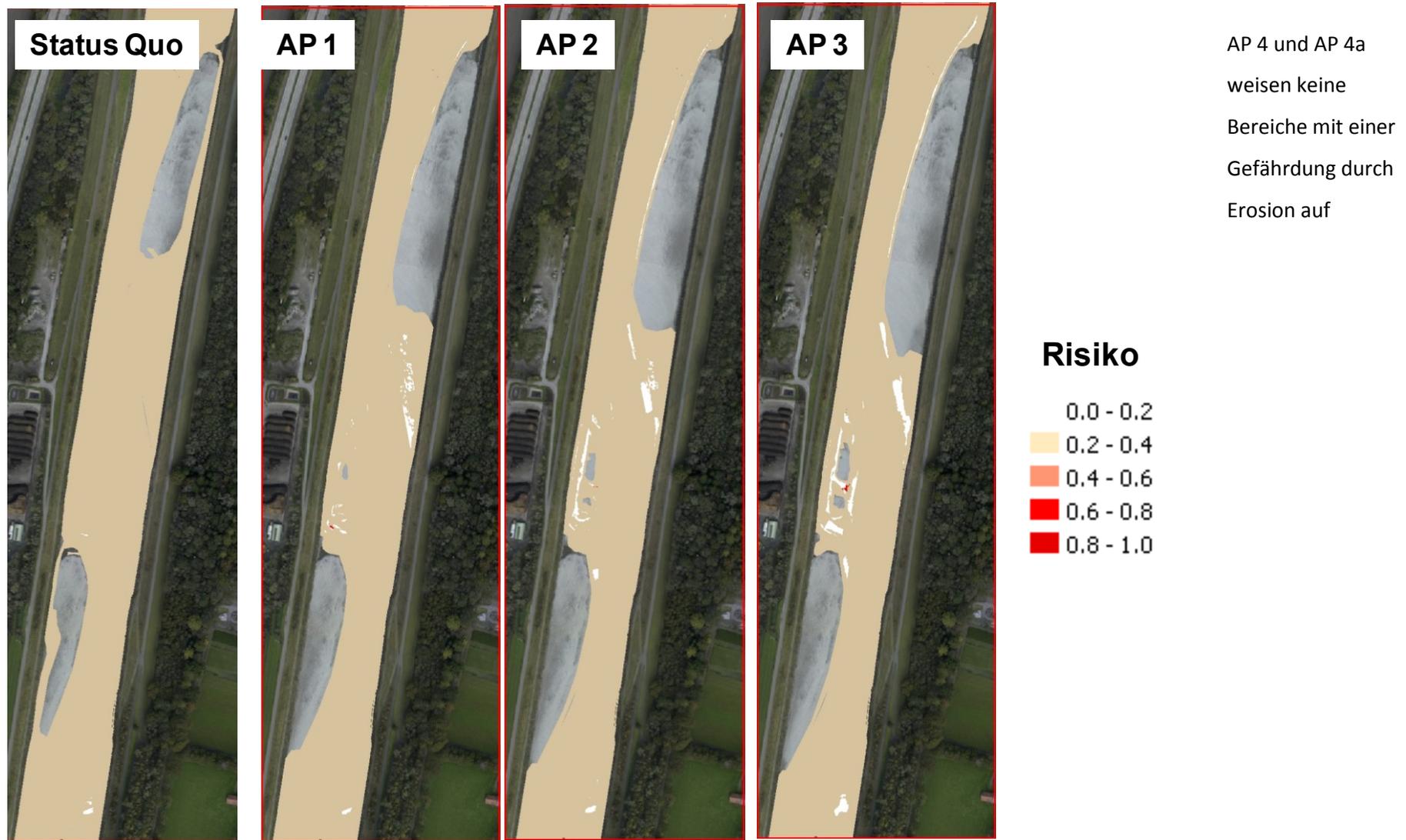


Abb. 14: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung des integrierten Risikos durch Erosion je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateneignung <0,3)

4.1.2.3 Gefährdung Trockenfallen Laichplatz/Reproduktion Bach-/Seeforelle

Bei der Gefährdung des Trockenfallens (Klasse > 0,2) weist AP 0 - Istzustand äußerst geringe Flächen von nur rund 6,7 auf (Tab. 7). Das genannten Anforderungsprofil weist flächenmäßig zwar die größte benetzte Fläche auf, verfügt aber über so gut wie keine geeigneten Laichhabitate. Ab Anforderungsprofil 2 steigt der Anteil der potentiellen Laichplätze und somit auch der Anteil gefährdeter Flächen an (Abb. 15). Flächen, welche eine Gefährdung bezüglich des Trockenfallens aufweisen, nehmen in Anforderungsprofil 2 647,3 m² ein. In Anforderungsprofil 3 sinkt der Anteil potentiell gefährdeter Flächen (Gefährdung >0,2) wieder auf 385 m², bedingt durch die verringerte Schwallamplitude. Vergleicht man diese Werte mit der maximal auftretenden Basishabitateignung, kann man davon ausgehen, dass alle potentiellen Laichplätze durch Trockenfallen theoretisch gefährdet sind.

Tab. 7: Integrierte Gefährdung Trockenfallen in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil

Eignungsklasse	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,2	86287,1	77119,9	74206,9	72433,4	71751,1	71548,7
0,2-0,4	2,9	26,2	75,4	96,6	0,0	0,0
0,4-0,6	1,3	25,5	57,7	61,5	0,0	0,0
0,6-0,8	2,1	29,9	101,9	99,8	0,0	0,0
0,8-1	0,4	475,7	412,2	127,1	0,0	0,0
Fläche [m ²]	86293,7	77677,2	74854,2	72818,5	71751,1	71548,7

Für die Anforderungsprofile 4 und 4a ergeben sich keine Gefährdungsflächen, da keine kraftwerksbedingten Wasserstandschwankungen auftreten.

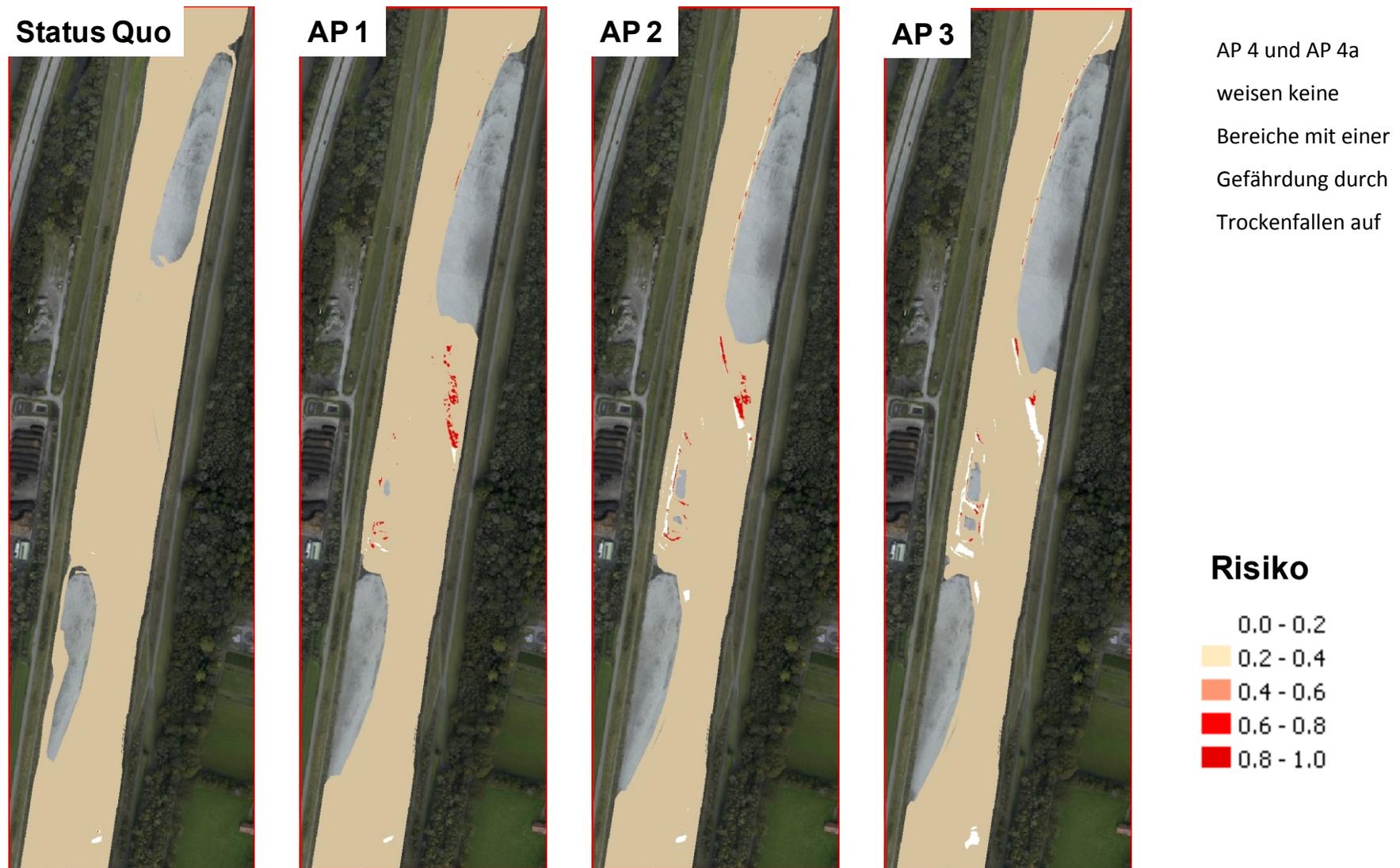


Abb. 15: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung des integrierten Risikos durch Trockenfallen je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitateneignung <0,3)

4.1.2.4 Effektive Lebensraumeignung Reproduktion Bach-/Seeforelle

Die im Abschnitt Buchs vorherrschenden morphologischen Defizite sowie die verstärkte Kolmation (siehe Arbeitspaket 1) haben zur Folge, dass dieser Abschnitt kaum Bereiche aufweist, welche einer erfolgreichen Reproduktion von Bach-/Seeforelle dienen könnten (Tab. 8 und Abb. 18).

Tab. 8: „Effektive Lebensraumeignung“ in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil

Eignungsklasse	AP 0 – Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,1	86217,5	77498,8	74627,0	70818,7	67064,5	65163,5
0,1-0,2	76,2	178,5	81,0	1195,6	1397,3	1862,2
0,2-0,3			146,2	85,3	1661,2	2472,6
0,3-0,4				117,0	788,7	1095,0
0,4-0,5				523,2	94,5	101,3
0,5-0,6				29,4	108,6	85,7
0,6-0,7				11,0	596,3	615,3
0,7-0,8				12,2	36,0	70,2
0,8-0,9				9,0	4,2	17,4
0,9-1				17,0		65,4
Fläche [m ²]	86293,7	77677,2	74854,2	72818,5	71751,1	71548,7

Die Anforderungsprofile 0, 1 und 2 verfügen über keine Bereiche mit einer „Effektiven Lebensraumeignung“, welche 0,5 übersteigt (Abb. 16). Anforderungsprofil 3 verfügt über nur 79 m² Fläche mit einer Eignung >0,5, die Anforderungsprofile 4 und 4a weisen Flächen mit einer Effektiven Lebensraumeignung im Ausmaß von 745 m² bzw. 854 m² auf.

In der Teststrecke Buchs ist im Vergleich zur Strecke Mastrils klar erkennbar, wie stark die ökologischen Auswirkungen von Schwall/Sunk von der Flussmorphologie abhängen. Die "Effektive Lebensraumeignung - Reproduktion" erreicht in diesem Abschnitt nicht annähernd die Werte des naturnahen Abschnittes Mastrils. Generell ist durch zahlreiche Studien belegt, dass der ökologische Zustand auch unter Schwalleinfluss in morphologisch vielfältigen, natürlichen oder naturnahen Gewässerstrecken deutlich besser bleibt als in monoton verbauten (kanalisierten) Abschnitten (LIMNEX, 2004).

In Abb. 17 ist der Anteil der für die Reproduktion geeigneten Flächen (Effektive Eignung) im Verhältnis zur gesamten verfügbaren Fläche dargestellt. Sogar im Anforderungsprofil 4a beträgt der Anteil geeigneter Habitats nur rund 1,2% der Gesamtfläche.

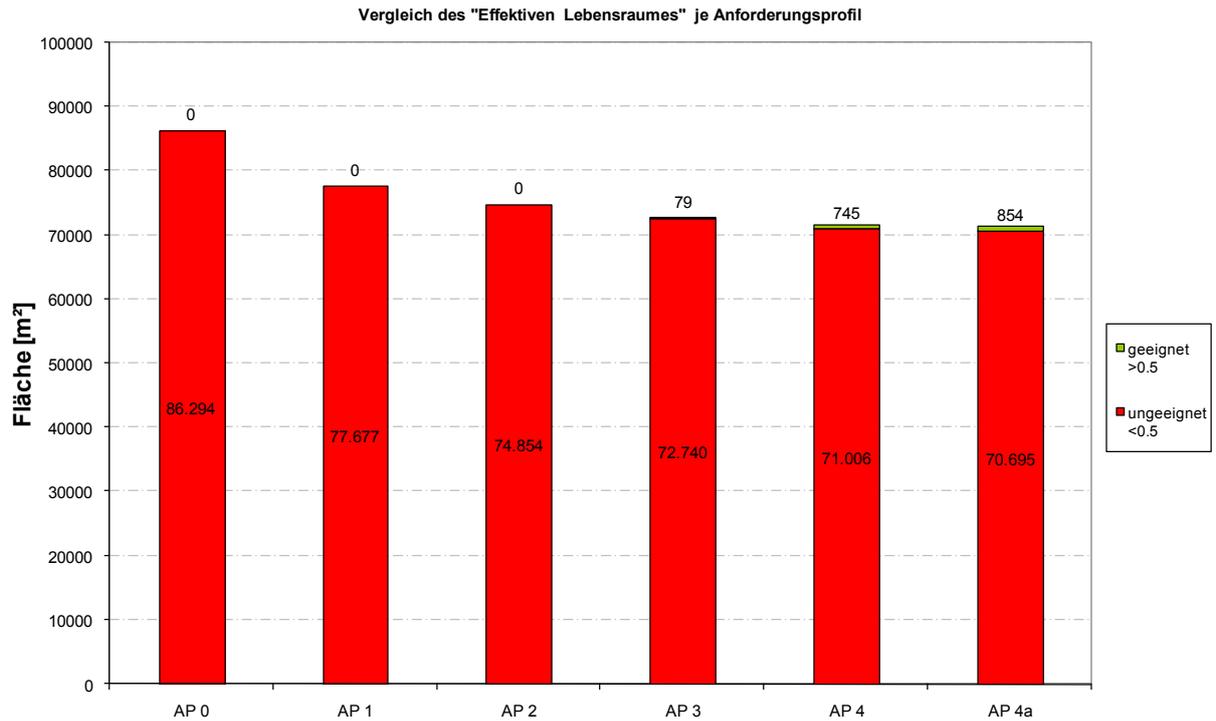


Abb. 16: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs

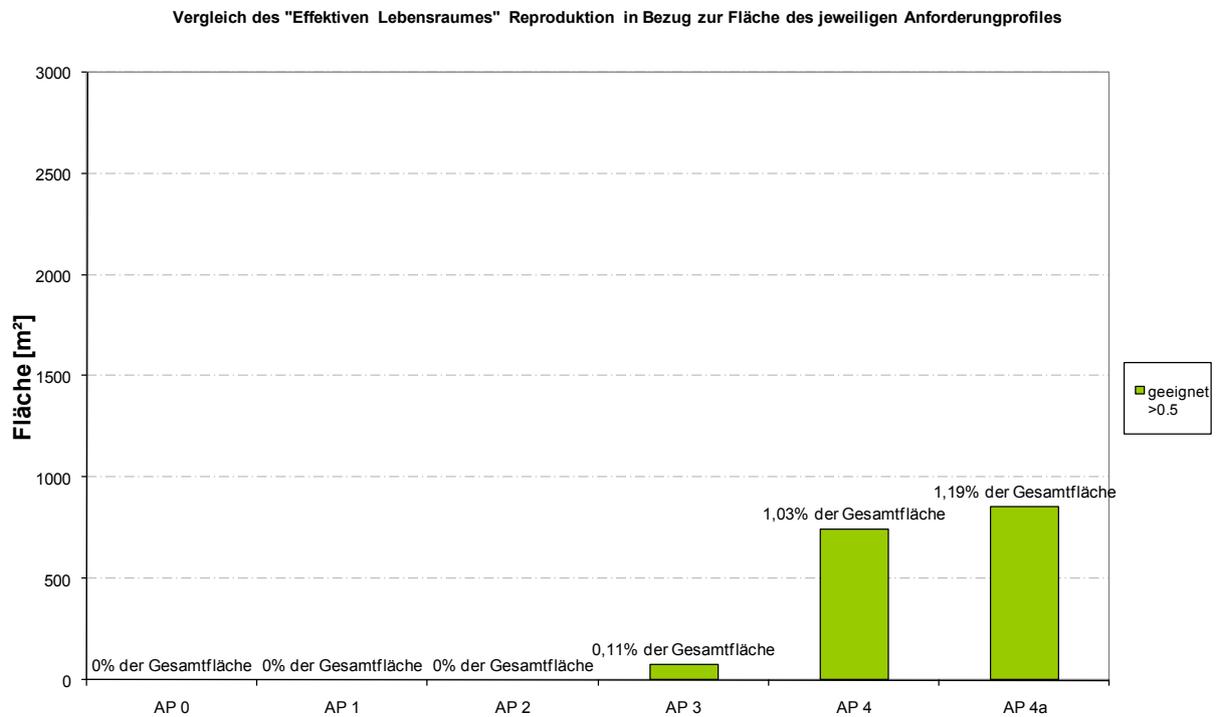


Abb. 17: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zur benetzten Fläche des jeweiligen Anforderungsprofils

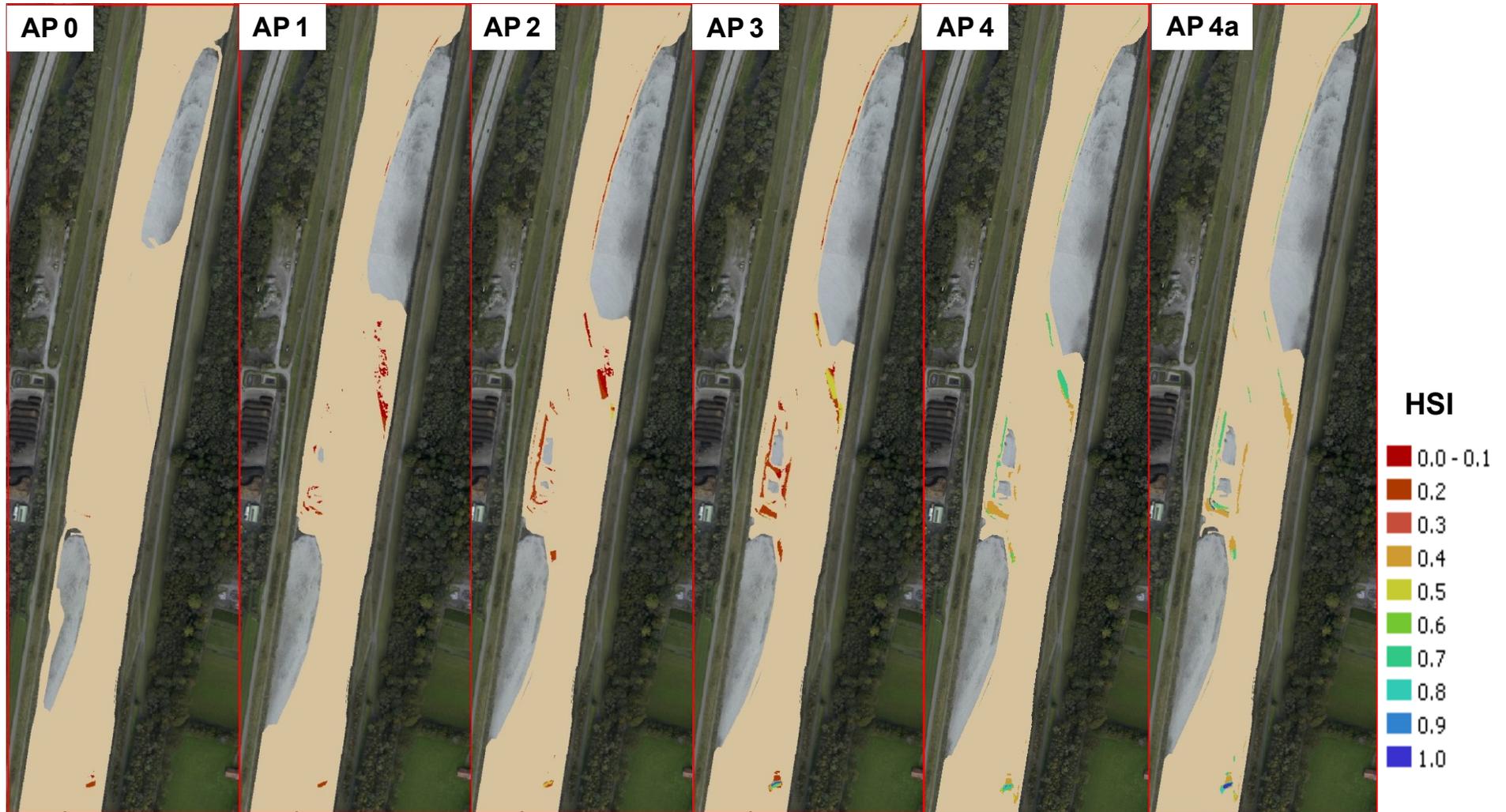


Abb. 18: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitataignung <0,3)

4.1.3 Koblach

4.1.3.1 Effektive Lebensraumeignung Reproduktion Bach-/Seeforelle

Die Strecke Koblach ist als Doppeltrapezprofil mit ca. 100 m breiten Vorländern ausgebildet. Der Rhein verläuft hier in einem monotonen, geradlinigen Bett mit durchgehend blockwurfgesicherten Ufern. Sowohl Kiesbänke als auch andere ökologisch wertvolle Strukturen fehlen hier gänzlich.

Im Abschnitt „Koblach“ entspricht die integrierte maximale Basishabitateignung der „Effektiven Lebensraumeignung“. Auf eine Modellierung der Gefährdungen wurde angesichts des sehr geringen Ausmaßes der potentiell geeigneten Bereiche verzichtet (Abb. 19, Abb. 21 und Tab. 9). Es ist davon auszugehen, dass sämtliche Flächen, welche sich eignen würden, bei Schwall erodiert werden. Ein Trockenfallen der Laichplätze ist in dieser Strecke auszuschließen.

Tab. 9: „Effektive Lebensraumeignung“ in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Koblach je Anforderungsprofil und Referenzabfluss

Eignungsklasse	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,1	102415,1	102443,5	102279,0	101734,2	101865,6	101934,2
0,1-0,2			24,0	308,5	103,9	79,0
0,2-0,3			29,2	105,8	49,1	63,6
0,3-0,4			20,0	26,7	59,9	69,2
0,4-0,5			86,9	548,4	393,0	313,9
0,5-0,6					2,3	2,4
0,6-0,7					5,2	1,2
0,7-0,8					40,2	30,6
0,8-0,9						
0,9-1						
Fläche [m ²]	102415,1	102443,5	102415,1	102415,1	102415,1	102415,1

Betrachtet man die „Effektive Lebensraumeignung“ so weisen auch ohne Berechnung der Gefährdungen nur Anforderungsprofil 4 und 4a überhaupt geeignete Bereiche, in ökologisch unbedeutender Ausbreitung, auf. Diese nehmen nur rund 0,04 bzw. 0,03 % der gesamten benetzten Fläche ein (Abb. 20).

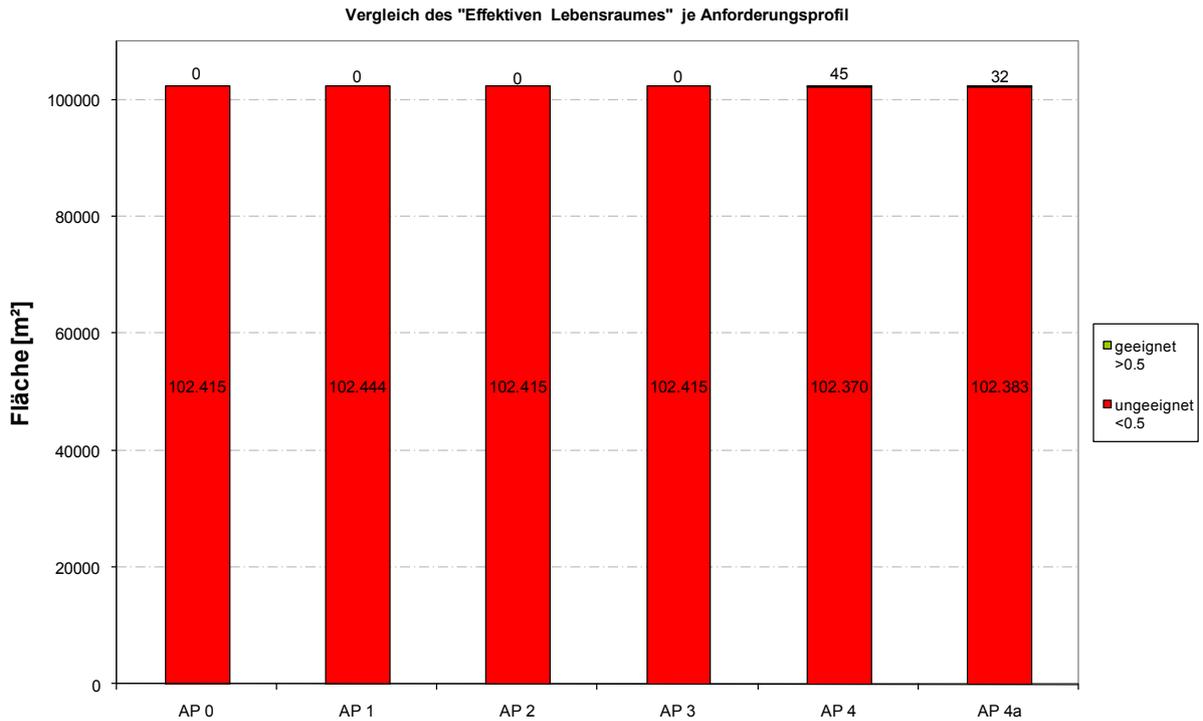


Abb. 19: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Koblach

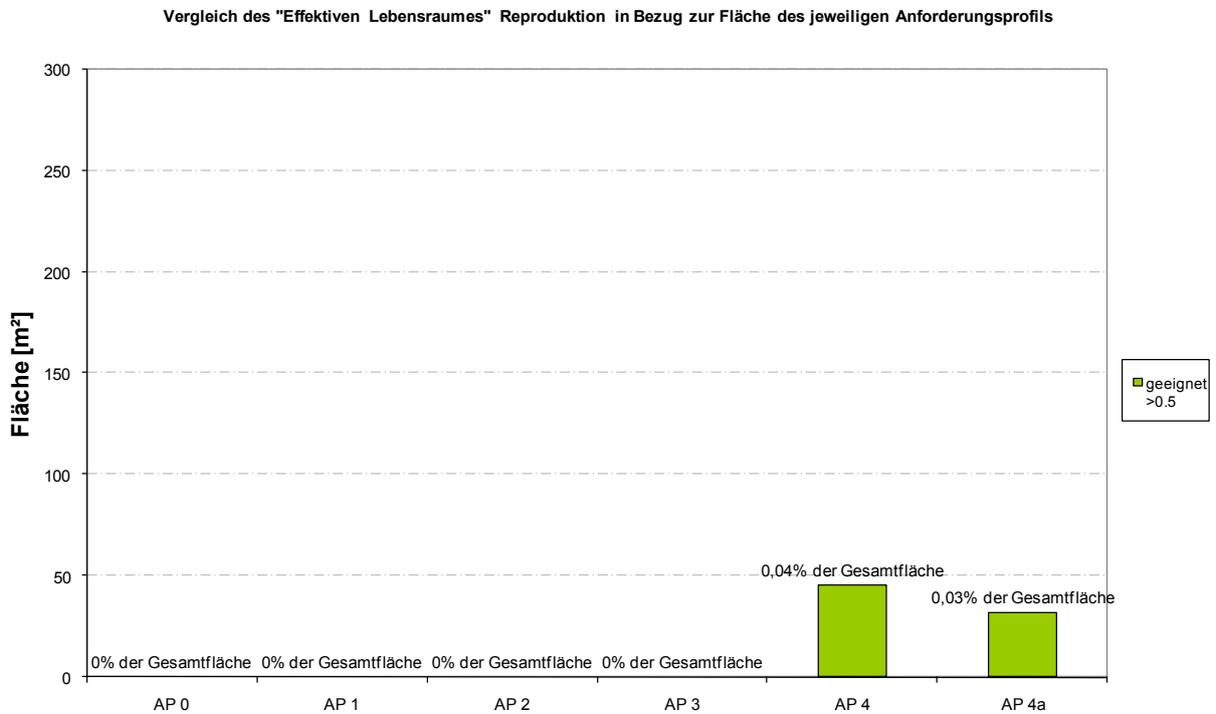


Abb. 20: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zur benetzten Fläche des jeweiligen Anforderungsprofils im Abschnitt Koblach

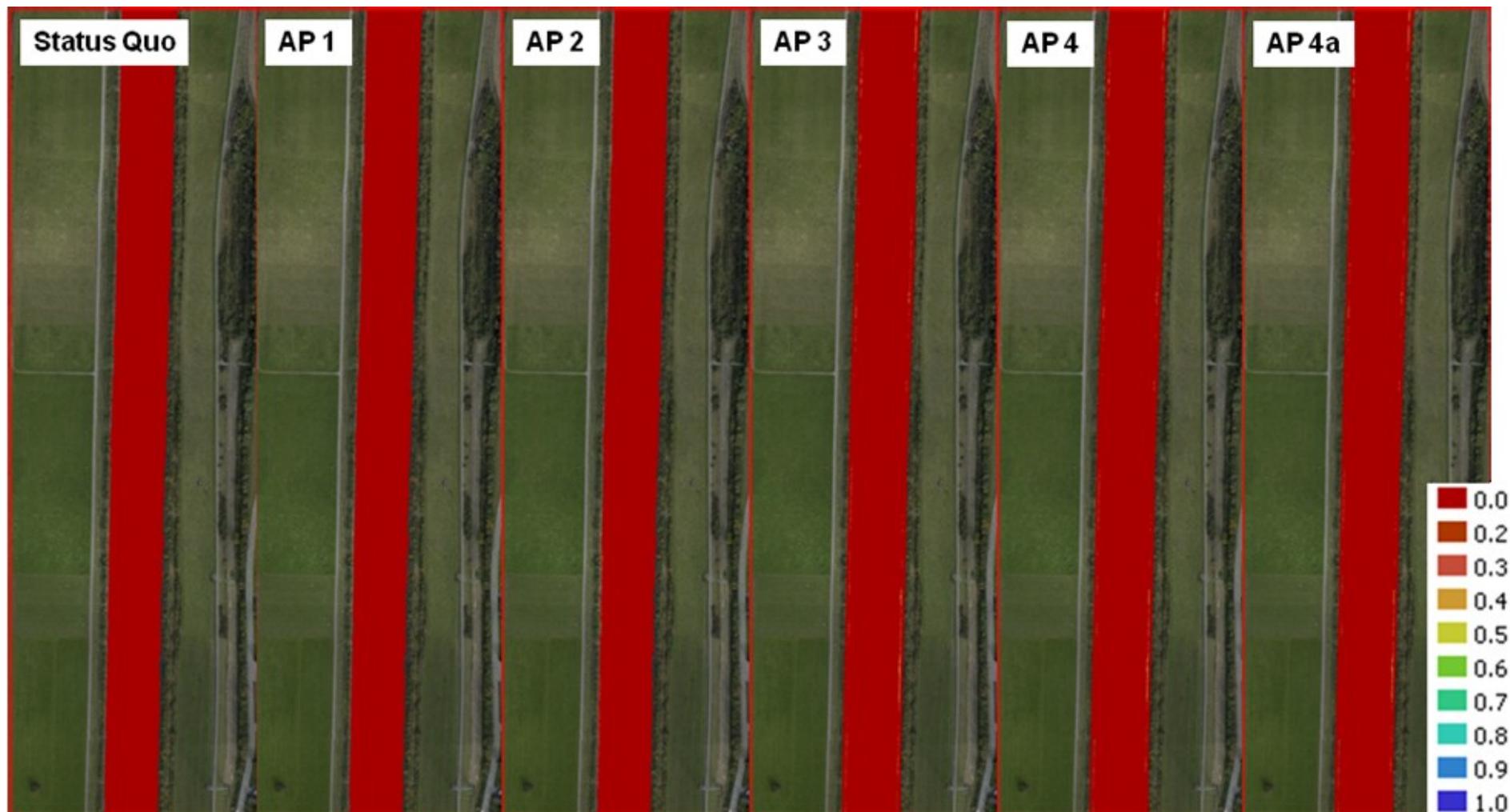


Abb. 21: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Koblach

4.2 Jungfische

Schwallabfluss tritt regelmäßig und mit hoher Frequenz auf, dagegen treten natürliche Hochwässer sehr viel seltener und unregelmäßig auf. Diese häufige, unvorhersehbare Störung durch die Schwallereignisse führt zu sehr unwirtlichen Lebensbedingungen im Gewässer. Der Anstieg des Abflusses und das Absinken desselben verlaufen sehr viel schneller als bei einem natürlichen Hochwasser. Dieser rasche Wechsel des Abflusses übersteigt oft die Möglichkeiten der Fauna zur Anpassung, Tiere werden weggeschwemmt oder stranden beim Trockenfallen der Randbereiche des Gewässers. Schwallereignisse, die ja vom natürlichen hydrologischen Geschehen abgekoppelt auftreten, sind zudem für typische Flussbewohner wie Forellen oder Insektenlarven vermutlich nicht oder sehr eingeschränkt vorhersehbar (GORE et al., 1994). Schwallbetrieb ist gerade im Winterhalbjahr oft am stärksten ausgeprägt, gerade dann wenn die Fauna natürlicherweise auf langanhaltende, gleichmäßig tiefe Abflüsse konditioniert ist.

Im Unterschied zu den Laichplätzen kann das juvenile Individuum auf die äußeren Umstände reagieren, d.h. es kann in einem gewissen Umfang die Wasserstandsänderungen mitverfolgen und sich entsprechend einnischen. Im Unterschied zu den Laichplätzen sollte daher eine minimale Eignung als Habitat über die gesamte Ganglinie gegeben sein. Es wurde für jede Zelle die jeweilige integrierte Eignung (BSI – Gefährdung Stranden bzw. Drift) für jeden 10 Minuten Zeitschritt berechnet. Anschließend wurde der während der gesamten Ganglinie auftretende Minimalwert für die Auswertungen herangezogen. Im Gegensatz zu den Laichplätzen wurden die Gefährdungen durch Drift und Stranden separat behandelt und ausgewertet.

4.2.1 Mastrils

4.2.1.1 Jungfische - Basishabitateignung bei unterschiedlichen Abflüssen des AP 0 - „Ist-Zustand“

Aufgrund der oben genannten Methodik ist eine Darstellung einer integrierten Basishabitateignung, wie es bei den Laichplätzen erfolgte, nicht zielführend. Zum besseren Verständnis der Auswirkungen unterschiedlicher Abflüsse auf die Basishabitateignung von Jungfischen wird in diesem Kapitel ein Beispiel dargestellt (Abb. 22).

Das Risiko des Strandens ist vor allem in Flussbereichen gegeben, die bei Rückgang des Wasserspiegels vom Hauptfluss abgetrennt werden und so den Jungfischen die Möglichkeit verwehren in andere Flussbereiche zu flüchten. Solche Areale ergeben sich vor allem, wenn der Abfluss auf unter $76\text{m}^3/\text{s}$ abnimmt (Abb. 22). In der Abbildung wird auch deutlich, dass im Abschnitt Mastrils die Basishabitateignung prinzipiell bei allen modellierten Abflüssen gegeben ist. Bei Abflüssen um $189\text{m}^3/\text{s}$ finden sich die für Jungfische prinzipiell geeigneten Habitate vor allem in den Seitenarmen, je mehr der Abfluss zurück geht, umso mehr verlagern sich geeignete Areale auch in Richtung des Hauptarmes.

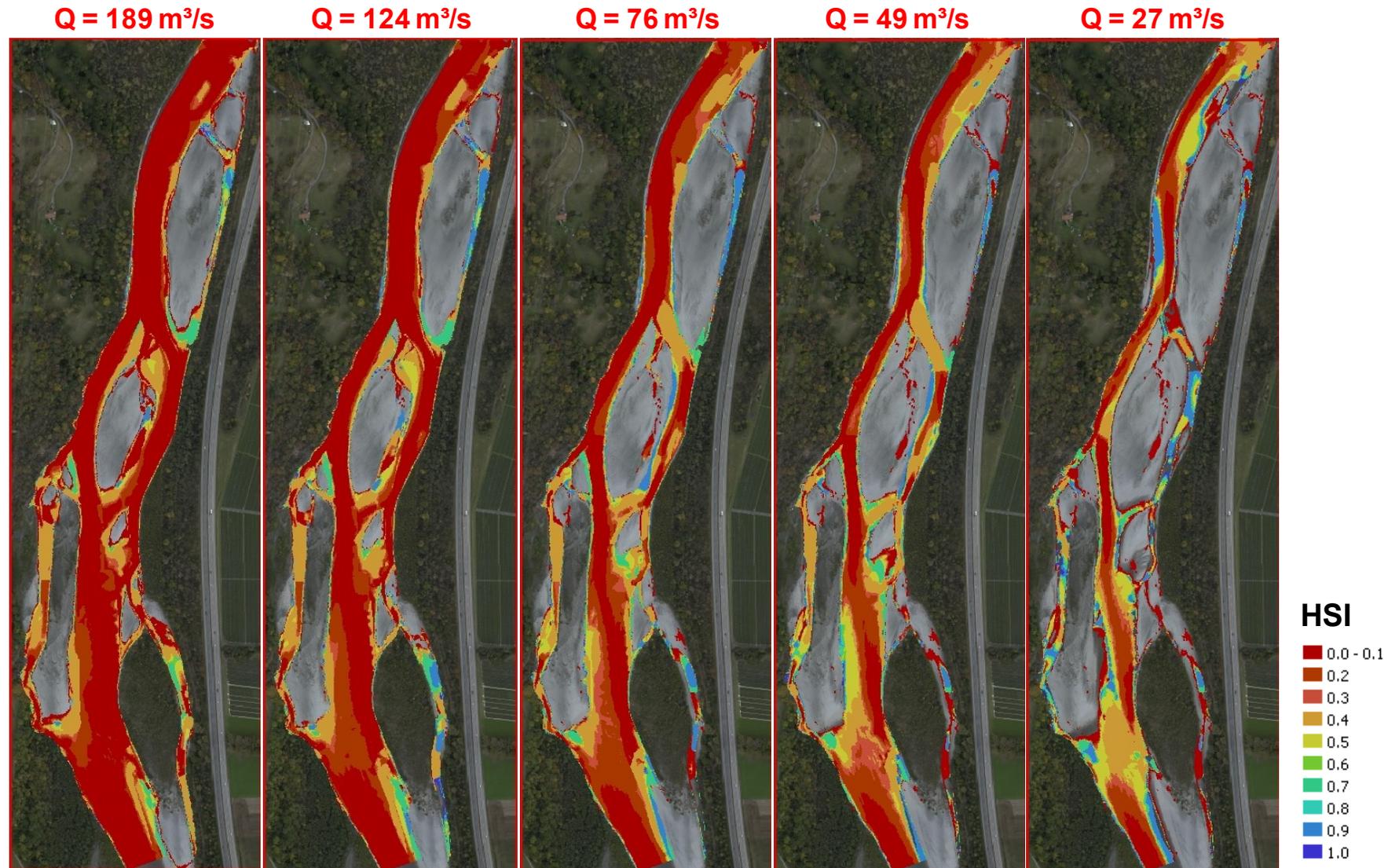


Abb. 22: Jungfische – Basishabitateignung bei unterschiedlichen Abflüssen im Abschnitt Mastrils

4.2.1.2 Jungfische - durch Strandungsrisiko reduzierte Eignung „Effektive Lebensraumeignung“ Bach-/Seeforelle

Betrachtet man die durch Strandungsrisiko reduzierte Effektive Lebensraumeignung für Jungfische im Abschnitt Mastrils, so ergibt die Modellierung in den Anforderungsprofilen 0 und 1 nur wenige geeignete Flächen mit einer Effektiven Lebensraumeignung $>0,5$ (Abb. 23, Abb. 25, Abb. 24 und Tab. 10). In den Anforderungsprofilen 2 und 3 betragen die geeigneten Flächen für Jungfische zwischen 1.840 m² bzw. 4.305 m². In den Anforderungsprofilen 4 und 4a nimmt zwar die benetzte Fläche etwas ab, jedoch treten in diesen Anforderungsprofilen auch mehr Flächen mit einer effektiven Lebensraumeignung $>0,5$ auf. Diese reichen jedoch nicht an das Ausmaß der geeigneten Flächen im Referenzzustand (AP 0a) heran, die 20.939 m² einnehmen.

Vergleicht man die effektive Lebensraumeignung $>0,5$ je AP mit den entsprechenden Flächen im Referenzzustand, wird ersichtlich, dass der für Jungfische geeignete Lebensraum in den AP 0 und 1 unter 4% der Referenzfläche ausmacht. In AP2 beträgt dieser Anteil nur knappe 9%, in AP 3 annähernd 21%. In den AP 4 und 4a reicht der effektive Lebensraum für Jungfische mit einem Anteil von 69,7% bzw. 80,1% der Referenzfläche an den Referenzzustand heran (Abb. 24).

Tab. 10: Durch Strandungsrisiko reduzierte Eignung (Effektive Lebensraumeignung) in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss

Eignungs- klasse	AP 0a – Referenz	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,1	28429,3	177693,3	152808,7	122779,0	103268,6	65271,8	60340,4
0,1-0,2	22258,5	7353,0	18190,2	29678,3	32171,8	32973,3	29936,8
0,2-0,3	10208,1	1454,4	2569,3	5884,4	7261,7	8399,5	11191,6
0,3-0,4	29781,7	5178,7	7630,9	16544,8	23538,9	29748,7	31029,1
0,4-0,5	6511,6	99,3	225,2	773,2	1963,1	3630,8	4575,3
0,5-0,6	8160,4	166,7	258,9	789,3	1841,2	3820,5	5043,5
0,6-0,7	4406,3	255,7	312,6	530,5	1390,7	4122,6	4516,1
0,7-0,8	1428,7	31,1	57,4	167,7	255,4	996,9	918,1
0,8-0,9	4618,0	23,0	73,4	202,3	523,3	4258,1	4919,7
0,9-1	2326,1	23,4	52,0	150,0	294,5	1396,1	1368,6
Fläche [m ²]	118128,7	192278,7	182178,6	177499,5	172509,2	154618,3	153839,0

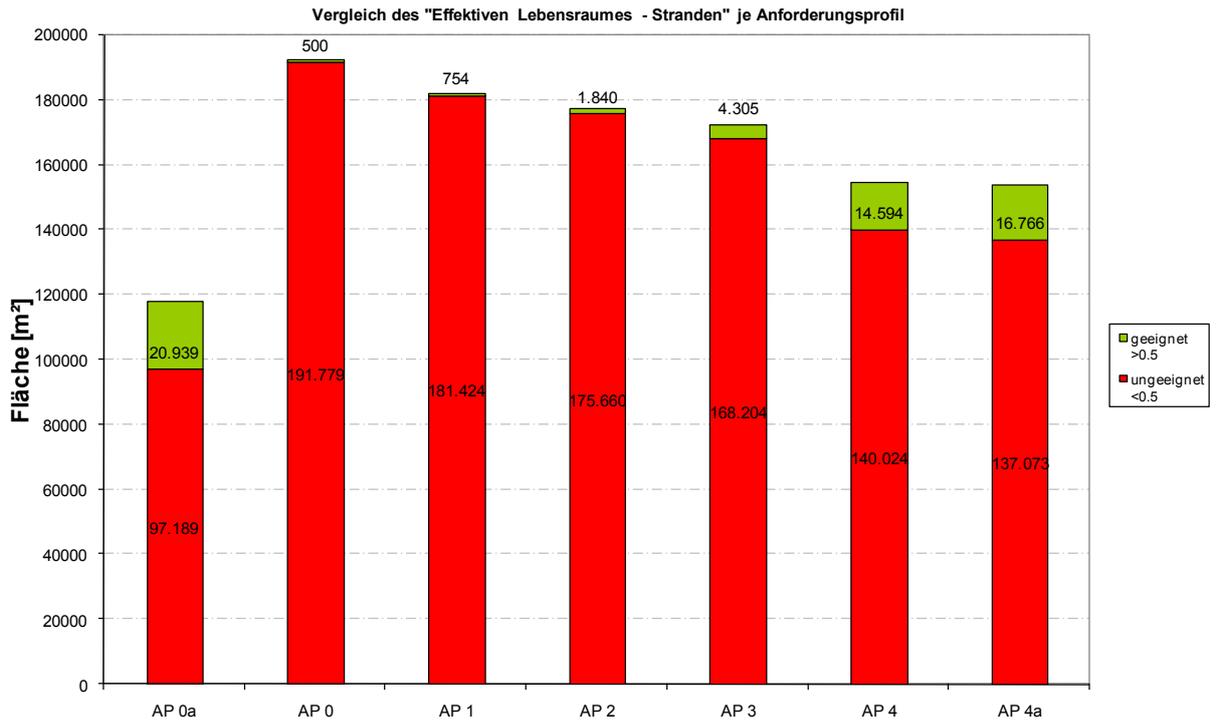


Abb. 23: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

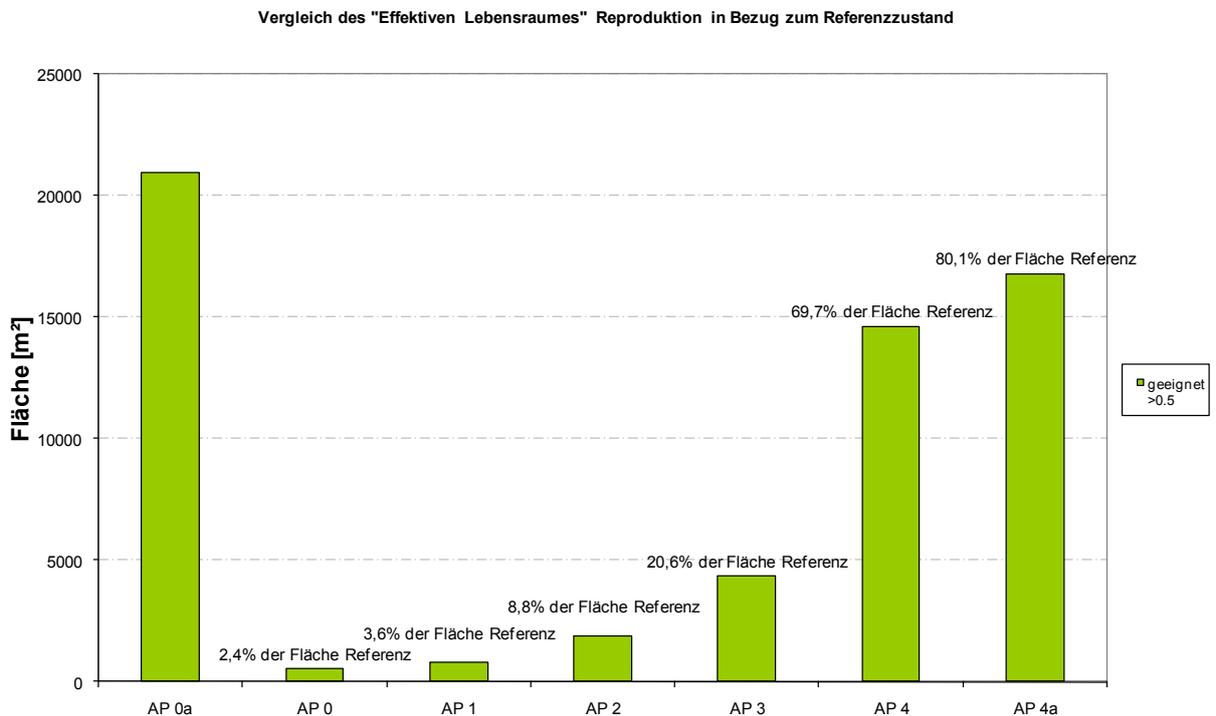


Abb. 24: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zum Referenzzustand

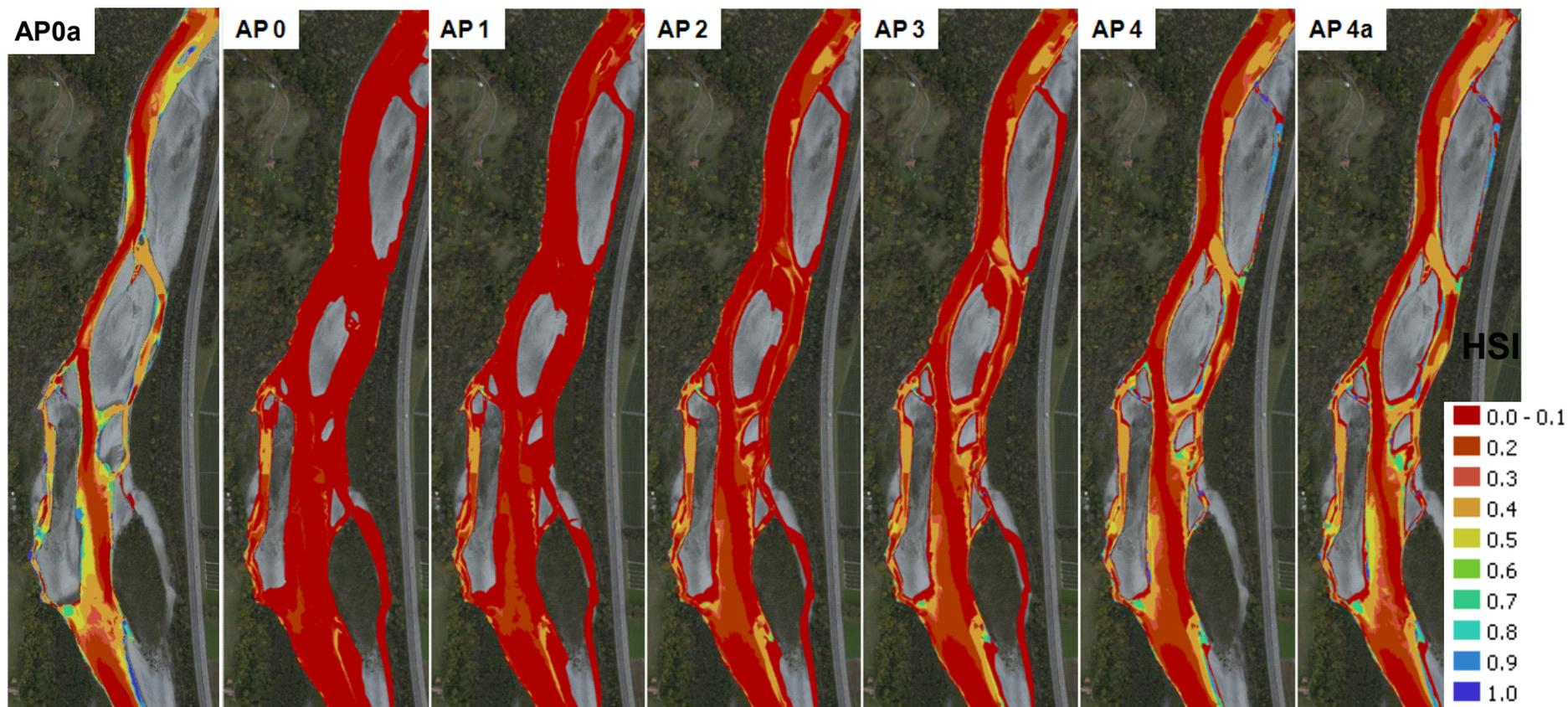


Abb. 25: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (durch Strandrungsrisiko reduzierte Eignung) je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

4.2.1.3 Jungfische - durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung „Effektive Lebensraumeignung“ Bach-/Seeforelle

Die durch das Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung als Lebensraum für Jungfische ist im Abschnitt Mastrils in den Anforderungsprofilen 0 bis 1 sehr gering. In AP 2 beträgt der für Jungfische geeignete Lebensraum 4.765 m² und im AP 3 6.960 m². In den AP 4 und 4a ist die Fläche, die sich als Lebensraum eignet vergleichsweise am größten und reicht fast an das Ausmaß der geeigneten Flächen im Referenzzustand heran (Abb. 26, Abb. 28 und Tab. 11).

Tab. 11: Durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung (Effektive Lebensraumeignung) in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Mastrils je Anforderungsprofil und Referenzabfluss

Eignungs- klasse	AP 0a – Referenz	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,1	28429,3	173636,3	148686,8	118500,4	99511,4	65271,8	60340,4
0,1-0,2	22301,5	8310,7	19208,0	31498,7	33578,8	32973,3	29936,8
0,2-0,3	12550,4	2239,6	2603,3	6410,3	9031,9	8399,5	11191,6
0,3-0,4	27503,6	6539,5	7892,7	15370,9	21316,3	29748,7	31029,1
0,4-0,5	6422,3	401,5	443,2	954,2	2110,6	3630,8	4575,3
0,5-0,6	8147,5	386,8	735,1	1060,9	2061,2	3820,5	5043,5
0,6-0,7	4401,3	421,4	639,3	924,7	1739,6	4122,6	4516,1
0,7-0,8	1428,7	185,5	487,9	409,0	445,6	996,9	918,1
0,8-0,9	4618,0	98,7	1107,4	1498,7	1642,5	4258,1	4919,7
0,9-1	2326,1	58,7	374,9	871,5	1071,3	1396,1	1368,6
Fläche [m ²]	118128,7	192278,7	182178,6	177499,5	172509,2	154618,3	153839,0

Im Ist-Zustand macht der Anteil der durch Verdriftungsrisiko reduzierten als Lebensraum geeigneten Flächen nur knapp 6% der Referenzfläche aus. Dieser Anteil vergrößert sich mit ansteigenden Anforderungsprofilen auf 80,1% in AP 4a (Abb. 27).

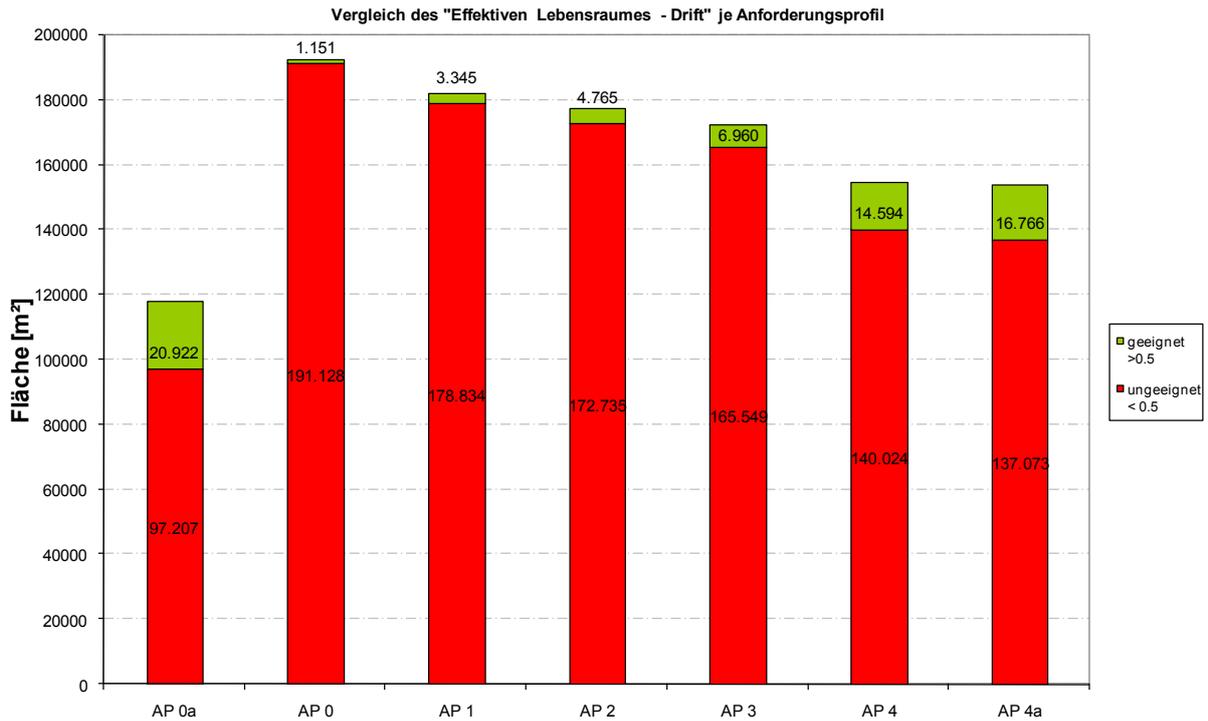


Abb. 26: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

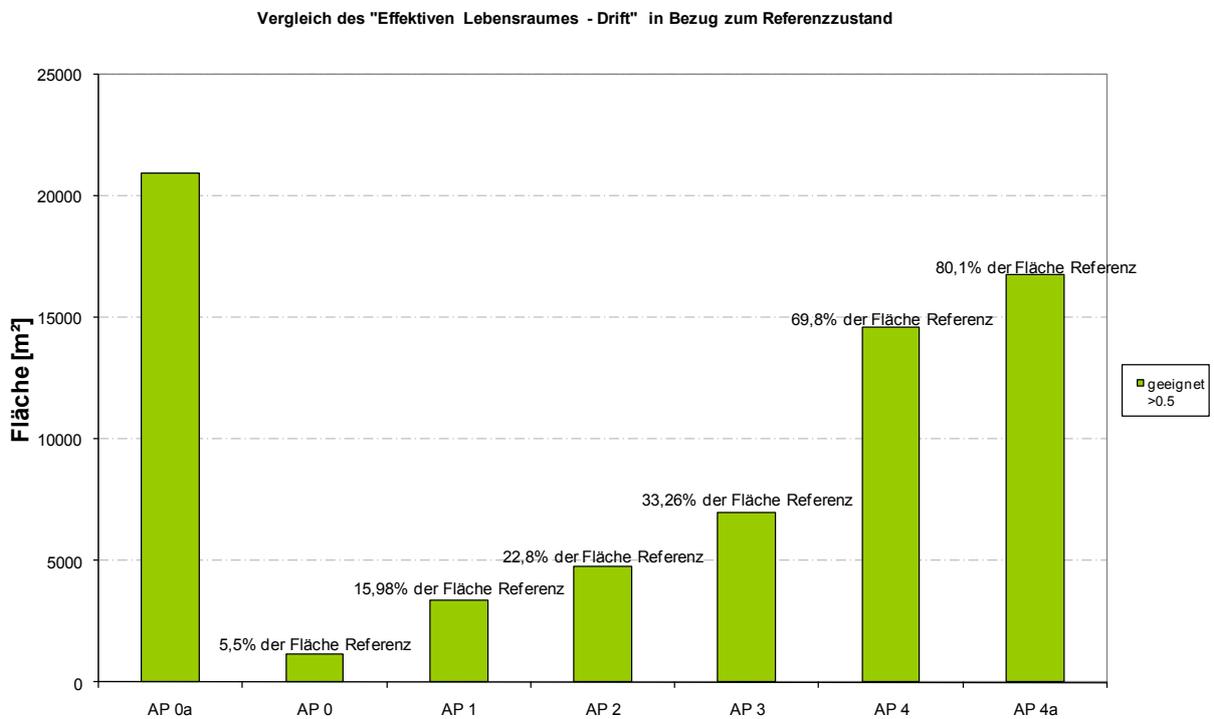


Abb. 27: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zum Referenzzustand

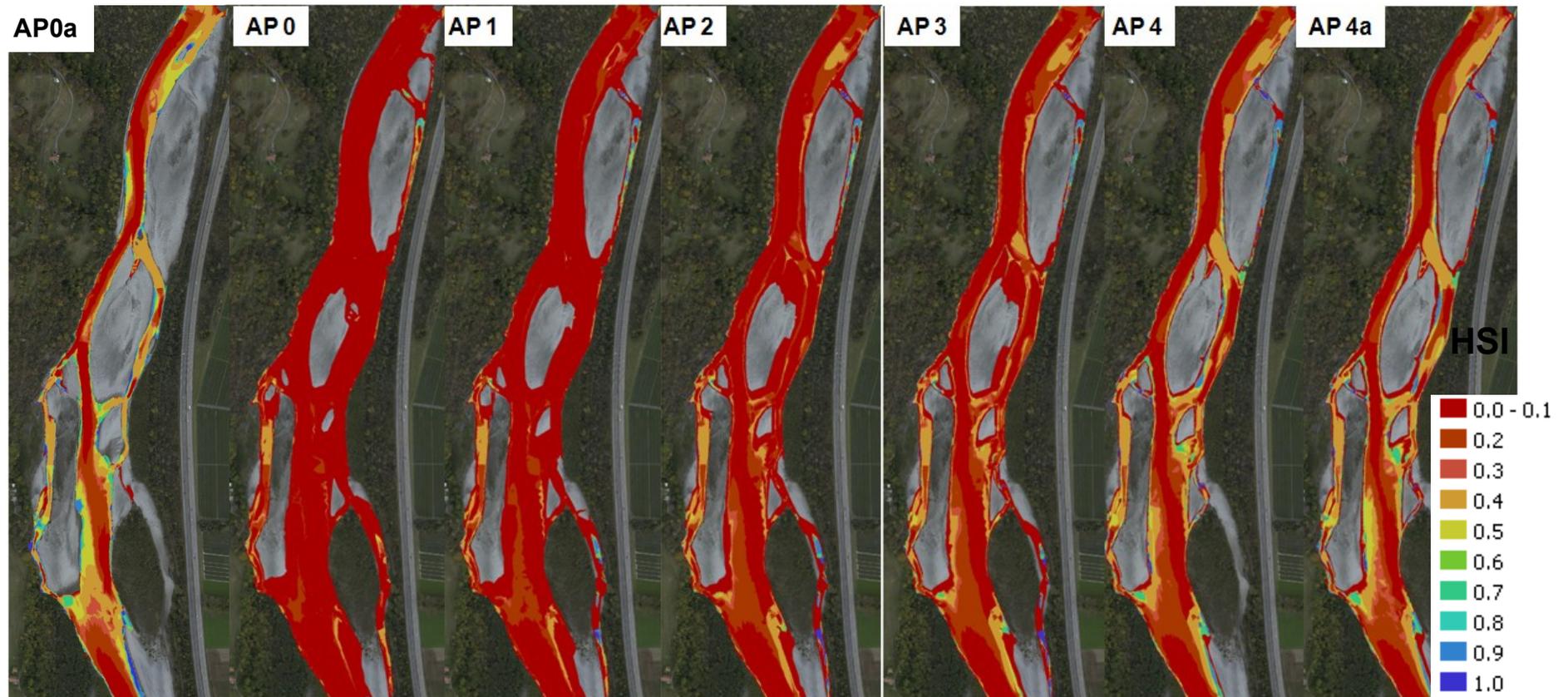


Abb. 28: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung) je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

4.2.2 Buchs

4.2.2.1 Jungfische - durch Strandungsrisiko reduzierte Eignung „Effektive Lebensraumeignung“ Bach-/Seeforelle

Die durch Strandungsrisiko reduzierte Eignung als effektiver Lebensraum ist im Abschnitt Buchs im Ist-Zustand sehr gering, lediglich 474 m² sind als Lebensraum für Jungfische geeignet. Im AP 3 beträgt die Fläche mit Effektiver Lebensraumeignung (>0,5) 2.682 m², in AP 4 steigt diese Fläche auf 5.300 m² an (Abb. 29, Abb. 31 und Tab. 12).

Tab. 12: Durch Strandungsrisiko reduzierte Eignung (Effektive Lebensraumeignung) in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil

Eignungsklasse	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,1	77184,8	65699,5	57863,2	49626,2	43175,9	42863,0
0,1-0,2	1531,0	4063,6	5434,8	7490,8	9102,2	10768,8
0,2-0,3	326,0	808,3	1812,1	1994,5	1741,1	1734,0
0,3-0,4	6985,5	6502,7	8329,1	10189,1	11513,7	10368,8
0,4-0,5	60,9	128,7	298,9	836,0	918,5	725,9
0,5-0,6	39,3	123,4	275,4	829,8	1160,5	1050,3
0,6-0,7	94,0	180,2	281,2	614,0	1591,9	912,5
0,7-0,8	41,9	68,2	180,2	218,7	368,7	359,4
0,8-0,9	16,0	47,1	174,8	295,6	704,4	1355,5
0,9-1	14,4	55,5	204,5	724,0	1474,2	1410,3
Fläche [m ²]	86293,7	77677,2	74854,2	72818,5	71751,1	71548,7

Vergleicht man den Anteil der Fläche mit einer effektiven Lebensraumeignung >0,5 mit der bei Schwall benetzten Gesamtfläche im jeweiligen Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs, so ergibt sich bei Anforderungsprofil 0 lediglich ein Anteil von 0,2% der Gesamtfläche, der für Jungfische als Lebensraum geeignet ist. Dieser Anteil steigt mit Anstieg der Anforderungsprofile dementsprechend an, im AP 4 und 4a beträgt er ca. 7% (Abb. 30).

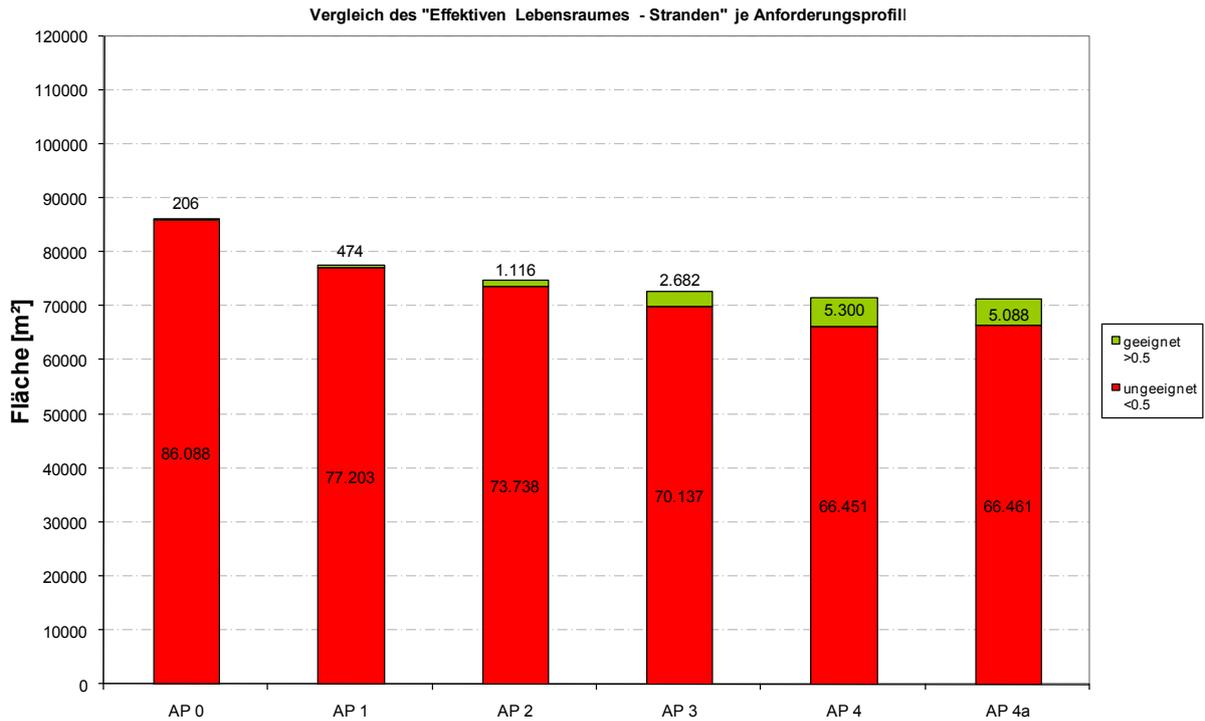


Abb. 29: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs

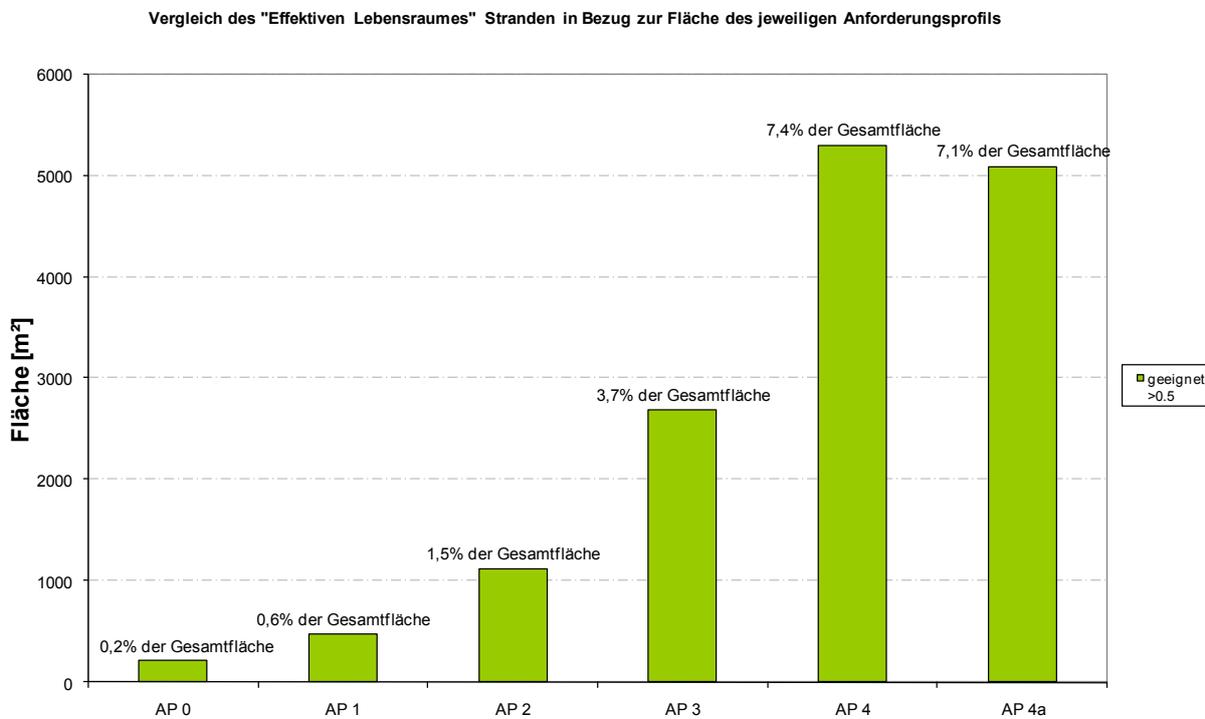


Abb. 30: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zur benetzten Fläche des jeweiligen Anforderungsprofils im Abschnitt Buchs

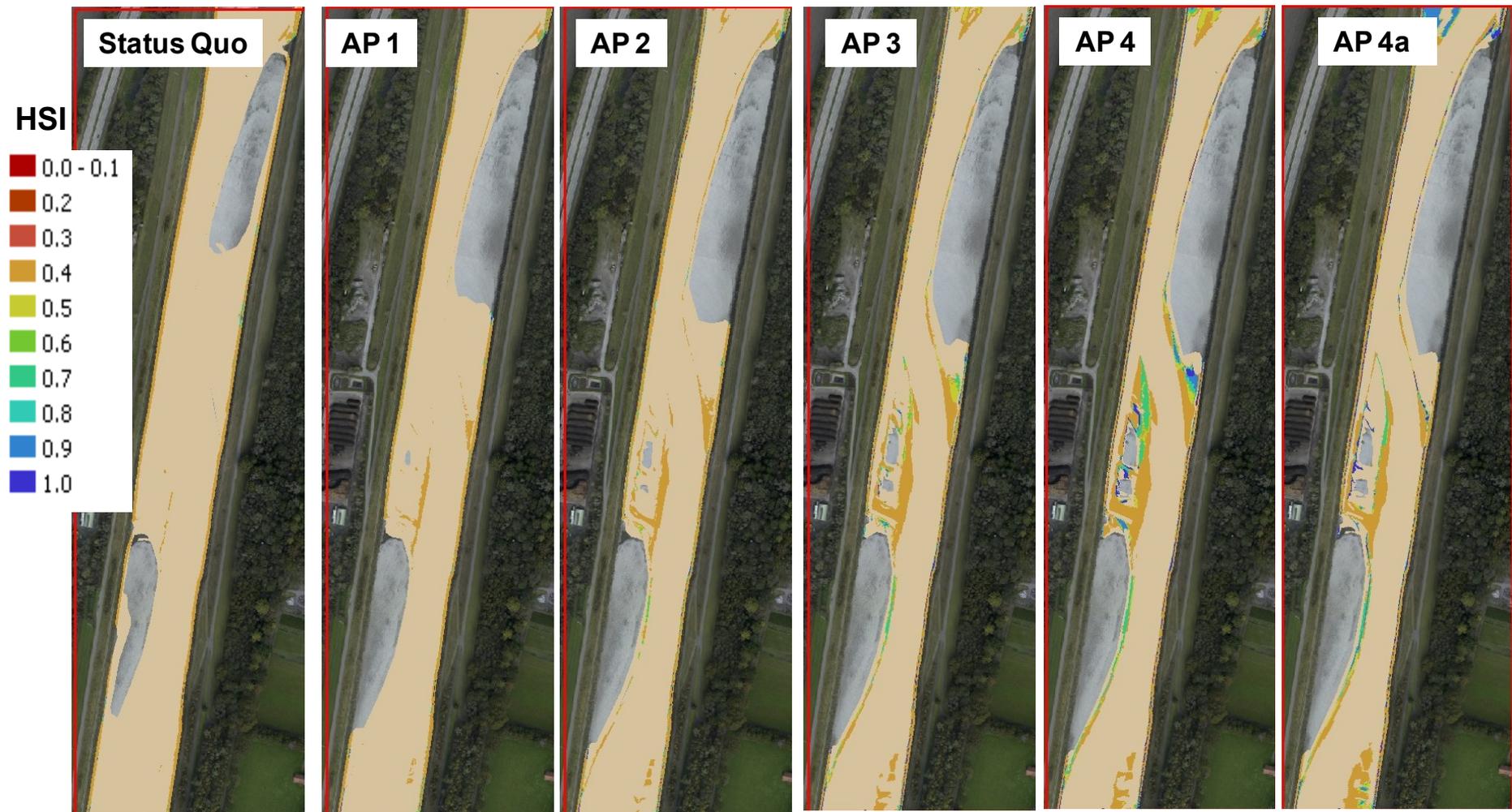


Abb. 31: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (durch Strandrungsrisiko reduzierte Eignung) je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitat-eignung <0,3)

4.2.2.2 Jungfische - durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung „Effektive Lebensraumeignung“ Bach-/Seeforelle

Im Abschnitt Buchs ist die durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung als Lebensraum für Jungfische generell eher gering (Abb. 32, Abb. 34 und Tab. 13). Vor allem in den Anforderungsprofilen 0 (Ist-Zustand) und 1 gibt es nur wenige Flächen mit einer Lebensraumeignung $>0,5$. Am meisten für Jungfische geeignete Flächen werden mit 5.300 m² in Anforderungsprofil 4 ausgewiesen.

Tab. 13: Durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung (Effektive Lebensraumeignung) in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Buchs je Anforderungsprofil

Eignungsklasse	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,1	77184,8	65699,0	57856,0	49626,2	43175,9	42863,0
0,1-0,2	1551,0	4154,1	5542,9	7536,8	9102,2	10768,8
0,2-0,3	322,4	647,6	1648,7	2040,3	1741,1	1734,0
0,3-0,4	6965,3	6573,4	8379,2	10093,6	11513,7	10368,8
0,4-0,5	60,2	129,1	275,6	793,5	918,5	725,9
0,5-0,6	39,7	122,1	223,4	741,9	1160,5	1050,3
0,6-0,7	89,4	181,4	330,0	709,2	1591,9	912,5
0,7-0,8	39,0	68,3	136,6	170,3	368,7	359,4
0,8-0,9	22,0	44,4	133,3	263,2	704,4	1355,5
0,9-1	20,1	57,8	328,3	843,5	1474,2	1410,3
Fläche [m ²]	86293,7	77677,2	74854,2	72818,5	71751,1	71548,7

In AP 0 (Ist-Zustand) sind nur 0,2% der gesamten benetzten Fläche als Lebensraum für Jungfische geeignet (Effektive Lebensraumeignung $>0,5$), dieser Anteil steigt bis AP 3 auf 3,7% an. In AP 4 macht der Anteil an geeigneter Fläche immerhin 7,4% aus, in AP 4a fällt der Anteil wieder etwas und liegt bei 7,1% (Abb. 33). Die Werte der Eignung des Verdriftungsrisikos ähneln sehr den Werten der durch das Strandungsrisiko reduzierten Eignung im Abschnitt Buchs (vgl. Kap. 4.2.2.1). Begründet wird dies durch die insgesamt geringe Basishabitateignung und die Gefährdung dieser Flächen durch beide Schadensfaktoren.

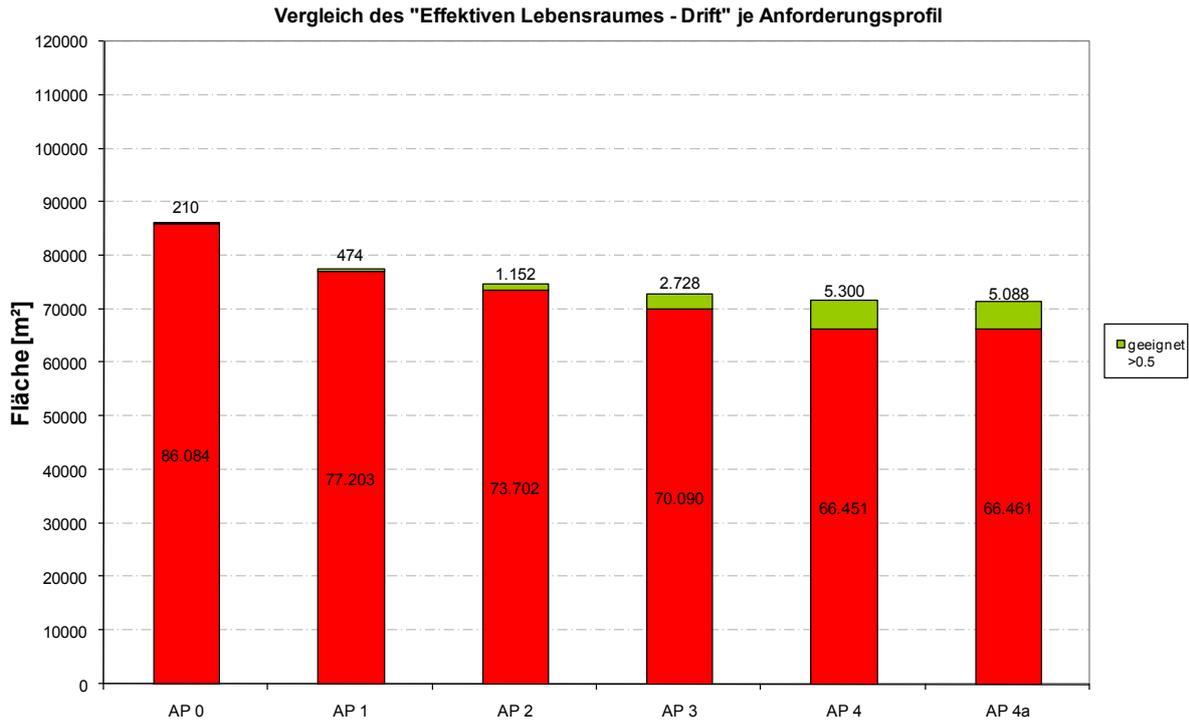


Abb. 32: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs

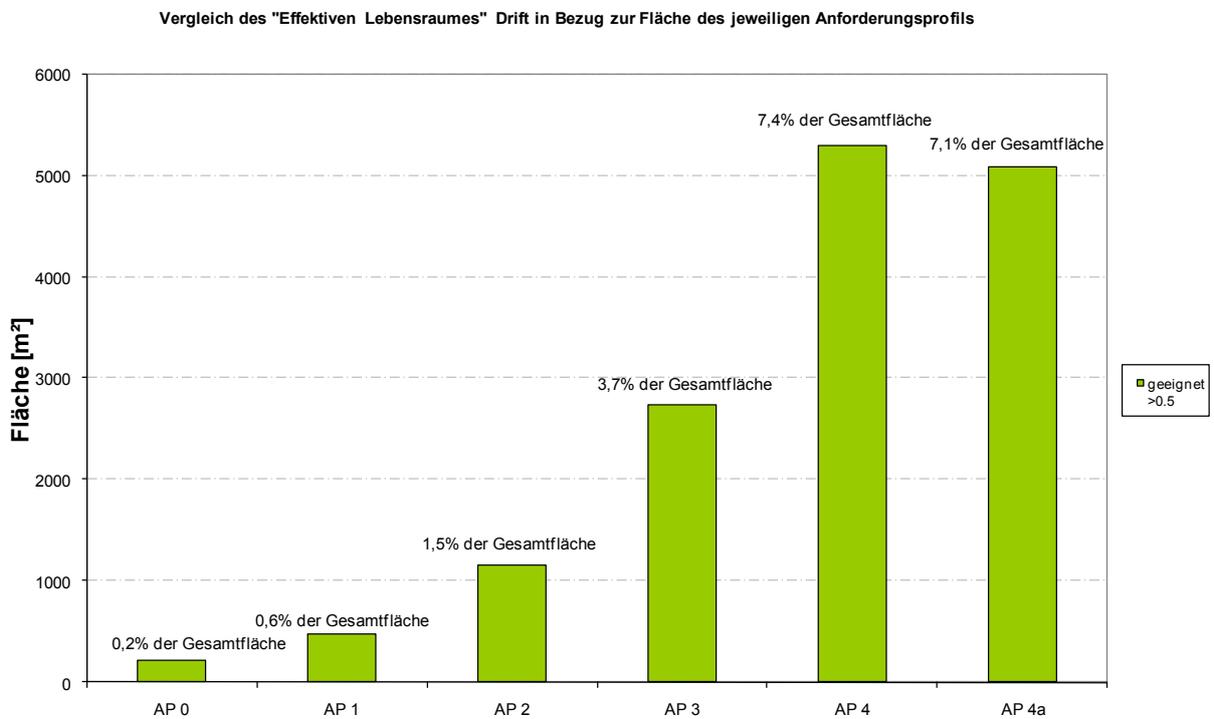


Abb. 33: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zur benetzten Fläche des jeweiligen Anforderungsprofils im Abschnitt Buchs

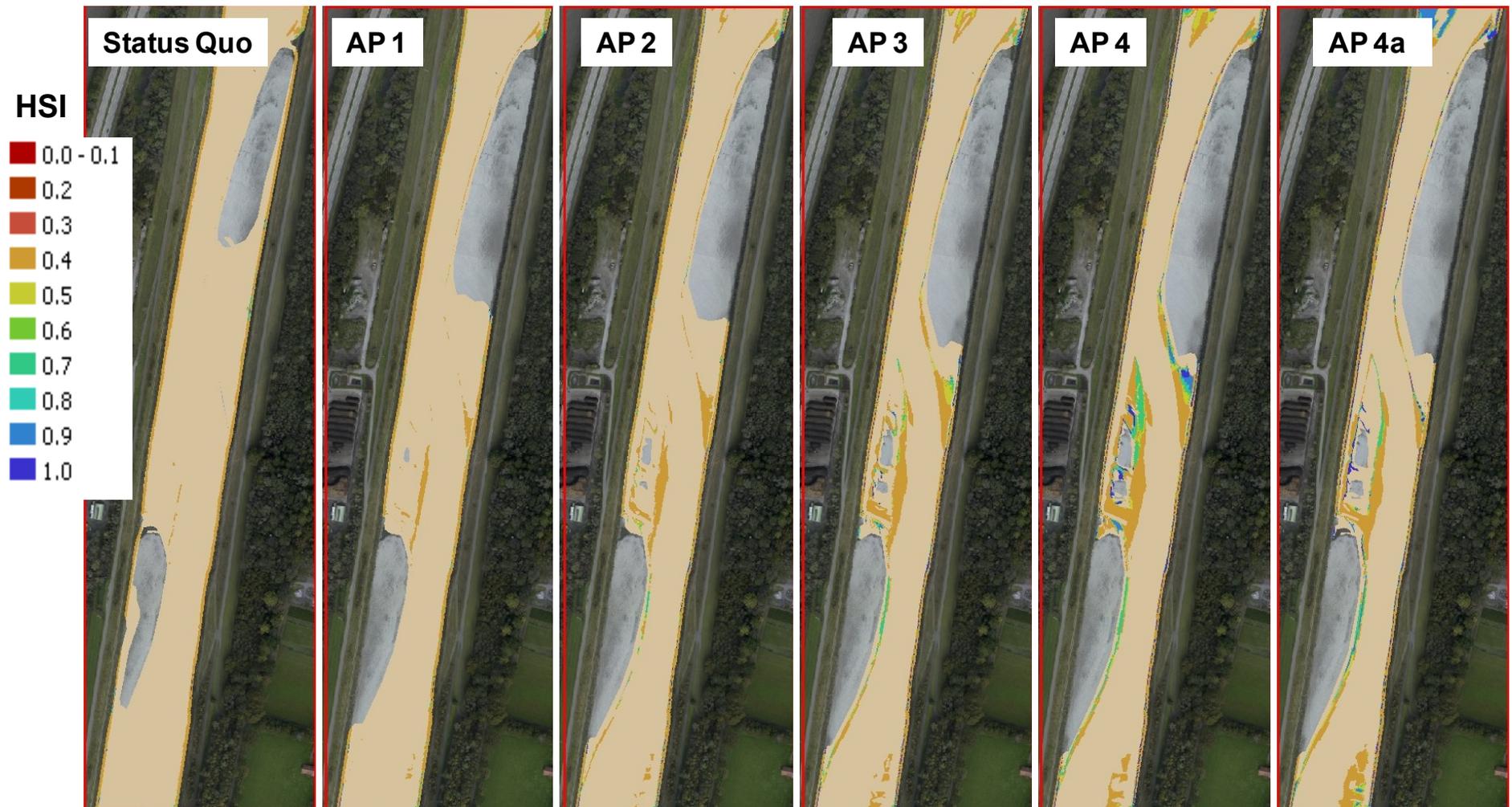


Abb. 34: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ (durch Verdriftungsrisiko reduzierte Eignung) je Anforderungsprofil im Abschnitt Buchs (Farbe beige: Bereiche mit einer Basishabitataignung <0,3)

4.2.3 Koblach

4.2.3.1 Jungfische - „Effektive Lebensraumeignung“ Bach-/Seeforelle

In der Strecke Koblach ist die "Effektive Lebensraumeignung" generell als sehr schlecht einzustufen. Im Anforderungsprofil 0 (Ist-Zustand) sind keine Flächen zu verzeichnen, die als potentieller Lebensraum für Jungfische geeignet wären. In den Anforderungsprofilen 1 bis 3 sind für Jungfische geeignete Flächen nur verschwindend gering ausgeprägt. Lediglich in den Anforderungsprofilen 4 und 4a gibt es einen geringen Anteil an geeigneten Flächen (Abb. 35, Abb. 36 und Tab. 14). Diese „geeigneten“ Flächen beziehen sich aber rein auf die Blockwurfufer und sind etwas überzeichnet aufgrund der Tatsache, dass analog zu den Laichplätzen aufgrund der geringen Eignung keine Gefährdungen berechnet wurden.

Tab. 14: Effektive Lebensraumeignung in Absolutfläche [m²] pro Eignungsklasse im Abschnitt Koblach je Anforderungsprofil

Eignungsklasse	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0-0,1	92643,6	91724,1	91248,5	90847,3	88405,4	89033,9
0,1-0,2	328,0	302,0	268,3	206,3	593,6	438,0
0,2-0,3	135,3	238,7	245,4	189,8	341,1	291,9
0,3-0,4	9308,1	10167,0	10643,7	11134,1	10281,3	11251,7
0,4-0,5				2,0	225,5	145,5
0,5-0,6				7,6	228,5	159,8
0,6-0,7				5,9	219,2	156,4
0,7-0,8					232,7	148,1
0,8-0,9		11,7		12,7	253,2	175,1
0,9-1			9,2	9,2	1634,5	614,6
Fläche [m ²]	102415,1	102443,5	102415,1	102415,1	102415,1	102415,1

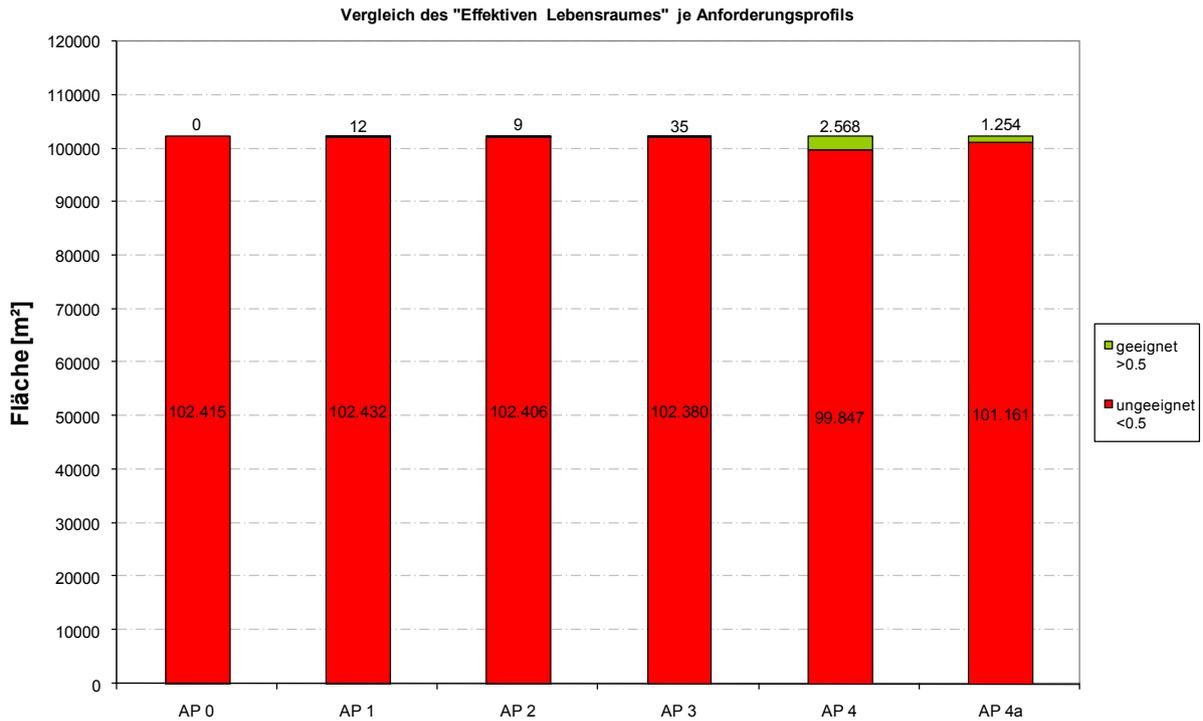


Abb. 35: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Koblach

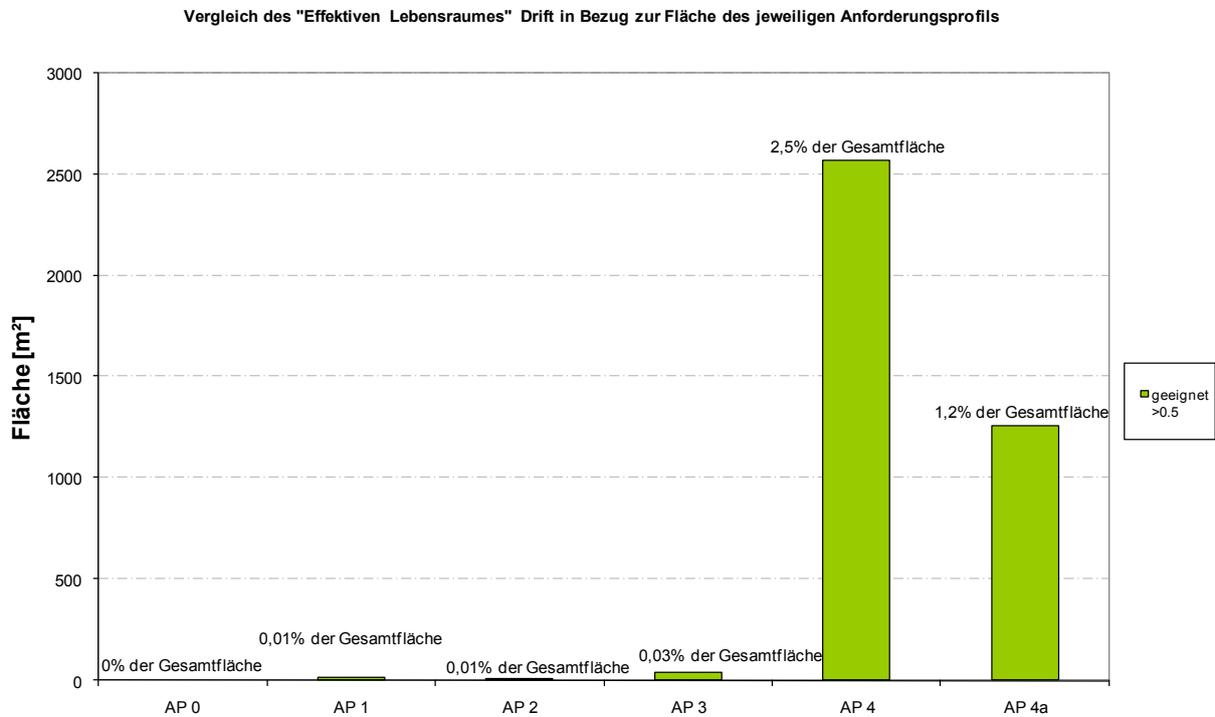


Abb. 36: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung >0,5“ in Bezug zur benetzten Fläche des jeweiligen Anforderungsprofils im Abschnitt Koblach

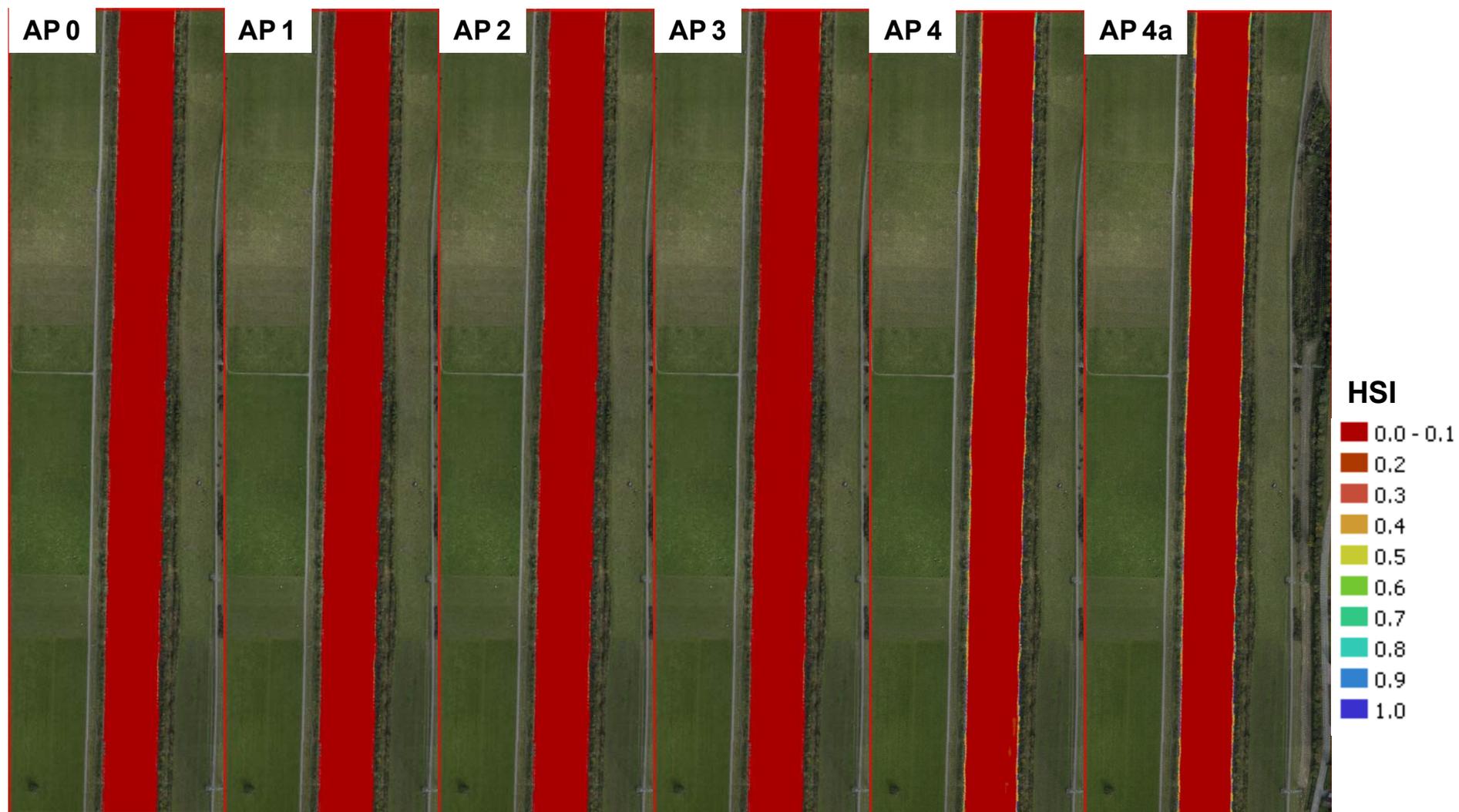


Abb. 37: Jungfische – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil im Abschnitt Koblach

5 Ergebnisse: Makrozoobenthos

5.1 Einleitung

Die Bearbeitung des Makrozoobenthos war ein eigenständiger Projektteil innerhalb von Arbeitspaket 5 (AP 5).

Die Organismengemeinschaft des Makrozoobenthos umfasst alle mit bloßem Auge sichtbaren, wirbellosen Tiere (Größe >1mm), die auf und in der Gewässersohle leben. Die Organismen selbst werden als Makroinvertebraten bezeichnet.

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. Den beweglichen Makroinvertebraten steht – neben der Flucht durch Abdrift – einzig ein Rückzug in tiefere Sedimentschichten (Interstitial) offen, wenn die Fließgeschwindigkeit und damit die mechanische Beanspruchung an der Oberfläche zu groß wird. Bei allzu starker Verstopfung des Lückensystems mit Feinsediment (innere Kolmation) ist dies hingegen nicht mehr möglich. In welchem Ausmaß ein Rückzug in die Tiefe bei Schwall effektiv stattfindet, ist denn auch umstritten (IMBERT, 1996; WOOD et al., 2010).

Wie viele andere Alpenflüsse ist auch der Alpenrhein durch starke jahreszeitliche Abflussschwankungen geprägt. Im Sommerhalbjahr herrschen aufgrund der Schnee- und Gletscherschmelze sowie von Hochwasser-Ereignissen natürlicherweise hohe Abflüsse und eine starke Trübung, im Winter war die Wasserführung jedoch ursprünglich gering und das Wasser oft klar (Kapitel 3.1.1 im Bericht zu AP 2). Auf dieses relativ stabile winterliche Klarwasserstadium fällt die Hauptentwicklungszeit vieler Benthosorganismen (Aufwuchsalgen und Makroinvertebraten) sowie der Eier und Jungfische der angestammten Leitfischarten Bach- und Seeforelle.

Der Betrieb der hydroelektrischen Speicherkraftwerke führt v.a. an Werktagen im Winter zu ausgeprägten Abfluss- und Trübeschwällen, die sich in dieser natürlichen Niedrigwasserperiode nachteilig auf den Lebensraum und die Lebensgemeinschaft des Alpenrheins auswirken (ARGE TRÜBUNG ALPENRHEIN, 2001).

Die Makroinvertebraten sind, was ihre Lebensbedingungen und ihre Reaktionsmöglichkeiten auf den Schwallenfluss betrifft, damit am ehesten mit den ebenfalls im Substrat lebenden Eiern und Larven (Brütlingen) von Forellen vergleichbar.

5.2 Untersuchungsziel und -konzept

Die vorliegende Untersuchung hatte zum Ziel, jene abiotischen Randbedingungen zu ermitteln und zu beschreiben, welche für eine quantitativ und qualitativ ausreichende Besiedlung des Alpenrheins durch das Makrozoobenthos erfüllt sein müssen. Dabei wird das Gewässer nicht als Ganzes betrachtet, sondern mittels eines Habitatmodells in ein sehr feines Netz von Teillebensräumen gegliedert. Einzelheiten zum eingesetzten Modell „Casimir“ und zu dessen Anpassung an die untersuchten Teststrecken des Alpenrheins sind im Bericht zu Arbeitspaket 2 enthalten.

Beim Einsatz solcher Habitatmodelle werden normalerweise die zuvor ermittelten oder aus der Literatur bekannten Ansprüche *einzelner Arten* an wesentliche Umweltfaktoren wie Wassertiefe, Strömung oder Substrat in mathematische Bedingungen (im Falle von Casimir in „Fuzzy-Regeln“) gefasst und in dieser Form ins Modell eingespeist. Bei den Fischen wurde dies im vorliegenden Projekt für die Leitart der Bachforelle bzw. für einzelne ihrer Entwicklungsstadien so gemacht (Kapitel 4). Auch für einzelne Makroinvertebraten-Arten können entsprechende Anforderungen ermittelt werden, indem z.B. die hydraulischen Verhältnisse an deren bevorzugten Aufenthaltsorten im Gewässer mittels der FST-Halbkugeln ermittelt und in Form von Präferenzkurven dargestellt werden (SCHMEDTJE, 1995; KOPECKI, 2008). Auf Schwallstrecken ist diese Art der Modellierung bisher allerdings noch nicht angewandt worden.

Für den Alpenrhein wurde dieses Vorgehen nicht als zweckmäßig erachtet. Zum einen hätte die Aufnahme von Präferenzkurven für verschiedene Makroinvertebraten-Arten eigens für dieses Projekt einen zu großen Aufwand verursacht (und entsprechende Kurven aus vergleichbaren Gewässern, welche man hätte übernehmen können, standen nicht zur Verfügung). Zum anderen stellt das Makrozoobenthos, wie in anderen Gewässern, ein buntes Gemisch aus sehr unterschiedlichen Gruppen und Arten dar, deren Ansprüche an die Umweltfaktoren entsprechend weit auseinanderliegen und teilweise auch völlig entgegengesetzt sind. Eine „Konstruktion“ von Präferenzkurven für das gesamte Makrozoobenthos aus Einzelarten ist deshalb kaum möglich. Das Makrozoobenthos wurde deshalb von Anfang an als Einheit behandelt und absichtlich nicht weiter in systematische (z.B. Familien, Gattungen, Arten) oder funktionelle Gruppen (z.B. Ernährungs- oder Fortbewegungstypen) unterteilt. Ähnliche Ansätze sind etwa in GORE et al. (2001) oder GARD (2006) beschrieben.

Für dieses Gesamt-Makrozoobenthos musste nun die Eignung eines bestimmten Teillebensraums (Habitats) in Abhängigkeit von ausgewählten Umweltfaktoren ermittelt, als Präferenzkurven ausgedrückt und schließlich in die mathematischen Fuzzy-Regeln gefasst werden. Zu diesem Zweck wurden drei verschiedene Wege begangen:

Weg 1: Die Auswertung bestehender, quantitativer Benthosdaten aus dem Alpenrhein. Anhand dieser Daten wurde hergeleitet, bei welchen Wassertiefen und Strömungen sich hohe oder tiefe Werte für bestimmte Summenparameter des Makrozoobenthos ergeben (z.B. Häufigkeit, Artenvielfalt). Daraus konnten anschließend die Präferenzkurven für gewisse Umweltfaktoren abgeleitet werden (Kapitel 5.3.1).

Weg 2: Eigene Aufnahmen des pflanzlichen Bewuchses (Phytobenthos) und der auch von bloßem Auge gut erkennbaren Kolonien von strömungsliebenden (rheophilen) Larven der Kriebelmücken (Simuliiden) an zahlreichen Untersuchungspunkten in den ausgewählten Teststrecken Mastrils und Buchs (Kapitel 5.3.2). Der enge Zusammenhang zwischen der Bewuchsdichte und der Besiedlungsdichte des Makrozoobenthos ist allgemein bekannt (z.B. MOOG & JANECEK, 1991) und auch für den Alpenrhein schon klar aufgezeigt worden (ARGE LIMNOLOGIE, 2001). Das Phytobenthos, besonders aber der Bewuchs durch fädige, von bloßem Auge gut erkennbare Makroalgen, dient hier somit als Indikator, der die Eignung eines Lebensraums auch stellvertretend für das Makrozoobenthos beschreibt.

Weg 3: Eigene Aufnahmen des Makrozoobenthos in speziellen Habitaten. Diese Aufnahmen ergeben kein repräsentatives Bild der benthischen Besiedlung, sondern sie umfassen eine gezielte und bewusst einseitige Auswahl von besonders hervorstechenden Teil-Lebensräumen (Kapitel 5.3.3). In diesen können sich lokal eine erhöhte Biomasse und/oder Artenvielfalt sowie allenfalls überdurchschnittliche Bestände an sensiblen Makrozoobenthos-Arten ausbilden und über die kritische Winterzeit hinweg halten. In solchen „Hot spots“ können auch andere Prozesse ablaufen, die für das Funktionieren des ganzen Gewässers wesentlich sind, etwa die natürliche Reproduktion von Fischen. Beispiele dafür aus dem Alpenrhein und anderen Gewässern sind rasch überströmte Schnellen (riffles) oder ständig benetzte Seitengerinne hinter Schotterbänken.

Bei den eigenen Benthosaufnahmen wurden auch Wassertiefe, Strömung, Substrat und äußere Kolmation mit aufgenommen, während für die übernommenen Fremddaten teils nur die zugehörige Tiefe und Strömung verfügbar waren. Sämtliche Aufnahmen fanden bei Sunk statt, und die entsprechenden Umweltfaktoren beziehen sich auf diese tiefe Wasserführung. In der Teststrecke Koblach, die in der stark kanalisierten Internationalen Rheinstrecke liegt, wurden keine eigenen Daten erhoben, da die Benthos-Besiedlung dort bekanntermaßen minimal ist (ARGE LIMNOLOGIE, 2001).

Alle für diese Untersuchung berücksichtigten Benthosdaten stammen aus der Zeit von November bis März, wenn der Einfluss des Schwallbetriebes am stärksten ist (Kapitel 5.1).

5.3 Datengrundlage und Ergebnisse

5.3.1 Weg 1: Auswertung bestehender Daten

Für die Auswertungen standen folgende Benthosdaten zur Verfügung:

- (a) Die Resultate von quantitativen Makrozoobenthos-Aufnahmen und halbquantitativen Bewuchsaufnahmen in den vier Teststrecken Mastrils, Bad Ragaz, Buchs und Diepoldsau (vergleichbar mit Koblach) des Alpenrheins vom 12. – 15.2.2000. An ufernahen, flacheren Stellen wurde das Makrozoobenthos dabei mittels Hess-Samplers beprobt und die Bewuchsdichte der Algen geschätzt, an tieferen Stellen blieb die Erhebung auf das Makrozoobenthos beschränkt (mittels Airlift-Samplers). Für jede Probenstelle sind auch Angaben zur Wassertiefe, zur mittleren Strömung und zur Zusammensetzung des Substrates verfügbar (ARGE LIMNOLOGIE, 2001).
- (b) Die Resultate von halbquantitativen Phytobenthos-Aufnahmen in den vier Teststrecken Mastrils, Bad Ragaz, Buchs und Diepoldsau (vergleichbar mit Koblach) des Alpenrheins vom 2. – 27.2.2000. An ufernahen, flacheren Stellen wurde der Algenbewuchs dabei direkt mit Hilfe eines Guckers, an tieferen Stellen anhand von Unterwasser-Videotransekten erfasst. Aufgenommen wurde an jeder Stelle die Dichte (prozentualer Deckungsgrad in Stufen) und, soweit erkennbar, die Zusammensetzung des Bewuchses. Für jede Probenstelle sind auch Angaben zur Wassertiefe, zur mittleren Strömung und zur Zusammensetzung des Substrates verfügbar (LIMNEX, 2001). Diese Daten wurden orientierend verwendet.
- (c) Die Resultate von quantitativen Makrozoobenthos-Aufnahmen an verschiedenen Stellen des Alpenrheins vom 7.–11.11.2009. An ufernaheren, flachen Stellen wurde das Makrozoobenthos dabei mittels Kicknetz oder Surbersampler beprobt, an tieferen Stellen kamen Taucher zum Einsatz. Für jede Probenstelle sind auch Angaben zur Wassertiefe und zur Strömung verfügbar (REY et al., 2011). Diese Daten wurden orientierend verwendet.

Mit diesen Datensätzen werden die ganze Vielfalt an Lebensräumen im Alpenrhein von Stillwasserbereichen bis zu stark überströmten Schnellen und damit auch eine grosse Bandbreite von strömungsmeidenden (rheophoben) über strömungsliebende (rheophile) bis zu strömungsbedürftigen (rheobionten) Arten des Benthos abgedeckt.

Aus dem Haupt-Datensatz von (a) ergab sich wie erwartet eine sehr ähnliche Abhängigkeit der Algen-Bewuchsdichte und Makrozoobenthos-Abundanz von den beiden Einflussfaktoren Wassertiefe und mittlere Strömung (Abb. 38). Die orientierend hinzugezogenen Daten nach (b) und (c) passen ebenfalls relativ gut in diese Abhängigkeit hinein, wenn auch mit teilweise größeren Abweichungen.

Der dritte aufgenommene Einflussfaktor, die Zusammensetzung des Substrates, korreliert dagegen kaum mit der Bewuchs- oder der Benthosdichte. Das hängt in erster Linie damit zusammen, dass die Sohle des Alpenrheins über weite Strecken ziemlich gleichförmig ist, weshalb die untersuchten Proben nur einen ganz kleinen Teil der theoretisch möglichen Bandbreite an Korngrößen abdecken. Gegenüber der Häufigkeit bzw. Individuendichte (Abundanz, Abb. 38) sind die übrigen untersuchten Kennwerte des Makrozoobenthos wesentlich schlechter bzw. gar nicht mit den Einflussfaktoren der Wassertiefe und der mittleren Strömung korreliert. Dies betrifft die Kennwerte der Biomasse, der Taxazahl, der Diversität sowie des Anteils an sensitiven Taxa (z.B. Eintags- und Steinfliegenlarven). Am ähnlichsten wie die Abundanz verhält sich noch die Biomasse, ein Maß für die Menge bzw. das (Frisch-)Gewicht des Makrozoobenthos. Es zeigte sich aber, dass die Biomasse beim Rückgang der mittleren Strömung unter einen Wert von ca. 0.5 m/s nicht wie die Abundanz tendenziell abnimmt (Abb. 38), sondern konstant hoch bleibt. Ursache dafür sind v.a. die großen und verhältnismäßig schweren Larven der Köcherfliege *Allogamus auricollis*, die sich auf solch schwach durchströmte Bereiche konzentrieren (ARGE LIMNOLOGIE, 2001).

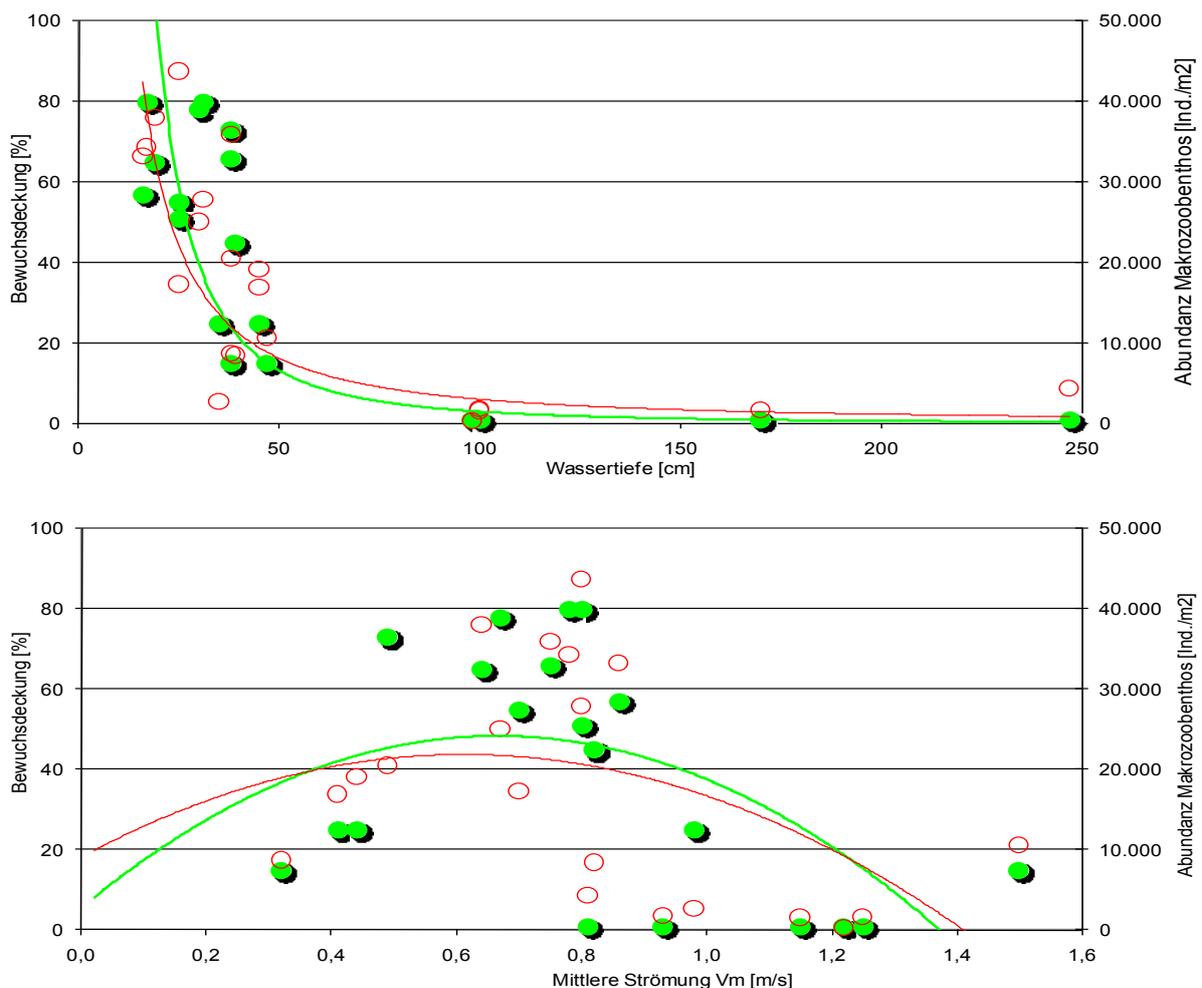


Abb. 38: Korrelation der Algen-Bewuchsdichte (grüne Punkte) und der Makrozoobenthos-Abundanz (rote Kreise) mit den Einflussfaktoren Wassertiefe (oberes Bild) und mittlere Strömung (unteres Bild) anhand der Benthosaufnahmen vom 12. – 15.2.2000 in vier Teststrecken des Alpenrheins (ARGE Limnologie, 2001).

5.3.2 Weg 2: Aufnahme des Algenbewuchses als summarischer Indikator

Die sehr ähnliche Abhängigkeit des Algenbewuchses und der Makrozoobenthos-Abundanz von den wesentlichen abiotischen Einflussfaktoren führte zur Idee, die Bewuchsdeckung als pauschalen (summarischen) Indikator für das Ausmaß der Besiedlung durch die Wirbellosen-Fauna zu verwenden. Dies vermindert den Aufwand für die Untersuchung entscheidend, da der Algenbewuchs im Feld viel einfacher und rascher aufzunehmen ist als das Makrozoobenthos. Dies gilt speziell für die fädigen Algen, die von bloßem Auge auch aus größerer Distanz problemlos zu erkennen und anzusprechen sind.

Auf der anderen Seite kann der Bewuchs von fädigen Algen, der im Alpenrhein aus wenigen, weit verbreiteten Arten besteht (ARGE LIMNOLOGIE, 2001), kein vollwertiger Ersatz sein für die wesentlich vielfältigere tierische Lebensgemeinschaft. Das zeigt sich schon daran, dass die Besiedler von stark überströmten Steinen unter den Makroinvertebraten, wie z.B. die Larven der Kriebelmücken (Simuliidae) oder der Eintagsfliegenart *Epeorus alpicola*, in ihrer Häufigkeit abnehmen, wenn der Bewuchs v.a. durch fädige Algen zu üppig wird (OGILVIE, 1988; KIEL, 1996). Aus diesem Grund wurden im Alpenrhein neben dem Algenbewuchs auch dichtere Ansammlungen von Simuliidenlarven aufgenommen, welche ebenso auffällig sind. Mit diesen Aufnahmen wurden somit bevorzugt die strömungstoleranten bis -bedürftigen Benthos-Organismen erfasst, nicht jedoch ausgesprochene Stillwasserarten.

Diese Feldarbeiten fanden am 13./14.2.2010 in den Teststrecken Mastrils und Buchs des Alpenrheins statt. Dabei wurden an insgesamt 79 Messpunkten in Mastrils und 41 Punkten in Buchs die folgenden Parameter aufgenommen:

- Die genauen Koordinaten und die genaue Meereshöhe nach schweizerischem Koordinatensystem, eingemessen mittels Theodolith durch das Vermessungsbüro Bischofberger+Partner aus Bludenz.
- Der genaue Zeitpunkt der Messung.
- Die Wassertiefe und die mittlere Strömung (gemessen in 60% der Tiefe ab Wasseroberfläche).
- Das vorherrschende Substrat in Form des häufigsten (dominanten) und des zweithäufigsten (subdominanten) von insgesamt 10 definierten Substrattypen.
- Die äußere Kolmation in den drei Stufen gering – mittel – stark.
- Der Deckungsgrad (in %) und die Dichte (BD in den drei Stufen schwach – mittel – dicht plus Zwischenstufen) des Bewuchses in einem Umkreis von ca. 1 m², aufgeteilt in die Grundtypen

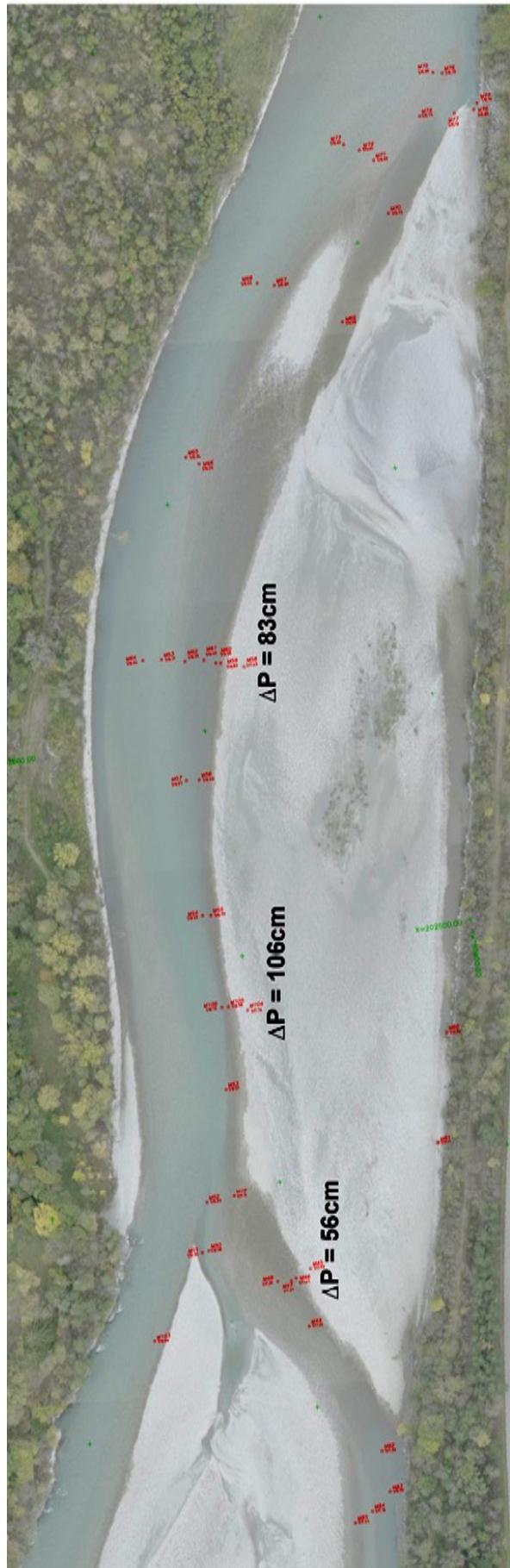
Kieselalgen (in Form von flächigen Überzügen), Fadenalgen (in Form von Watten oder Büscheln) und Moose (in Form von Büscheln).

- Die grobe Zusammensetzung des Algenbewuchses, ausgedrückt durch das Vorhandensein und die Reihenfolge in der Häufigkeit der von bloßem Auge meist gut zu unterscheidenden Gruppen Grünalgen – Blaualgen – Rotalgen – Goldalgen (ausschliesslich *Hydrurus foetidus*).

Diese Messungen sollten grundsätzlich bei verhältnismäßig geringen Abflüssen (Sunk) am Wochenende stattfinden. Aufgrund von unvorhergesehenem Betrieb einiger oberliegender Kraftwerkszentralen blieb die Wasserführung aber nicht wie geplant auf durchgehend sehr tiefem Stand, sondern schwankte während der Messungen und erreichte dabei zeitweise deutlich erhöhte Werte. So dürften während der Hauptaufnahmen am Samstag, 13.2.2010 in Mastrils Abflüsse zwischen ca. 50 und 80 m³/s und in Buchs zwischen ca. 60 und 70 m³/s geherrscht haben. Diese Werte liegen klar über den heutigen und den natürlichen Niedrigwasserwerten, die in Mastrils ca. 35 m³/s und in Buchs ca. 45 m³/s betragen (LIMNEX, 2007a). Einzig bei den letzten Messungen in der Teststrecke Mastrils am Sonntag, 14.2.2010, lagen die Abflüsse mit ca. 35 – 40 m³/s nahe beim angestrebten Tiefstand.

An einigen zusätzlichen Punkten entlang von Transekten quer zur Fließrichtung wurde in beiden Teststrecken zudem auch versucht, die maximalen Wasserstandsschwankungen zwischen Schwall (gut sichtbar an der Schneegrenze) und Sunk (mehr oder weniger gut sichtbar an der Grenze des dichteren Algenbewuchses) zu erfassen. Die Schneegrenze dürfte dabei dem maximalen Abfluss von ca. 180 m³/s in Mastrils bis ca. 190 m³/s in Buchs entsprechen, welcher am 11.2.2010 (zwischen dem letzten Schneefall und unserer Messung) erreicht wurde. Die Abb. 39 und Abb. 40 zeigen die Lage der Messpunkte in zwei Teststrecken sowie die ungefähren Pegelschwankungen (ΔP) an den dazu eingemessenen Transekten. Bei aller Unsicherheit dieser Werte (siehe oben) wird dennoch deutlich, dass beim ΔP große Unterschiede auch zwischen nahegelegenen Stellen bestehen. Die geringsten Schwankungen wurden mit 36 – 55 cm entlang des linksseitigen Nebenarmes zu Beginn der Teststrecke Mastrils erfasst. Dieses Seitengerinne ist ständig durchflossen, erhält bei Schwall als Folge des stark eingengten Einlaufprofils aber anteilmäßig weniger Wasser als bei Sunk. Die stärksten Schwankungen von über 1m wiesen ein einseitig angebundener Seitenarm bei Buchs (allenfalls eine Fehlmessung) und eine stark eingengte Stelle des Hauptarmes bei Mastrils auf (Abb. 39 und Abb. 40).

Abb. 39 (Folgeseite): Teststrecke Mastrils des Alpenrheins mit den eingemessenen Punkten für die Bewuchsaufnahmen vom 13./14.2.2010 (rot) und den ungefähren Pegelschwankungen zwischen Schwall und Sunk an ausgewählten Quertransekten (ΔP). Die beiden Bilder überlappen sich etwas, die Fließrichtung ist von unten nach oben. Grün markiert sind die schweizerischen Landeskoordinaten.



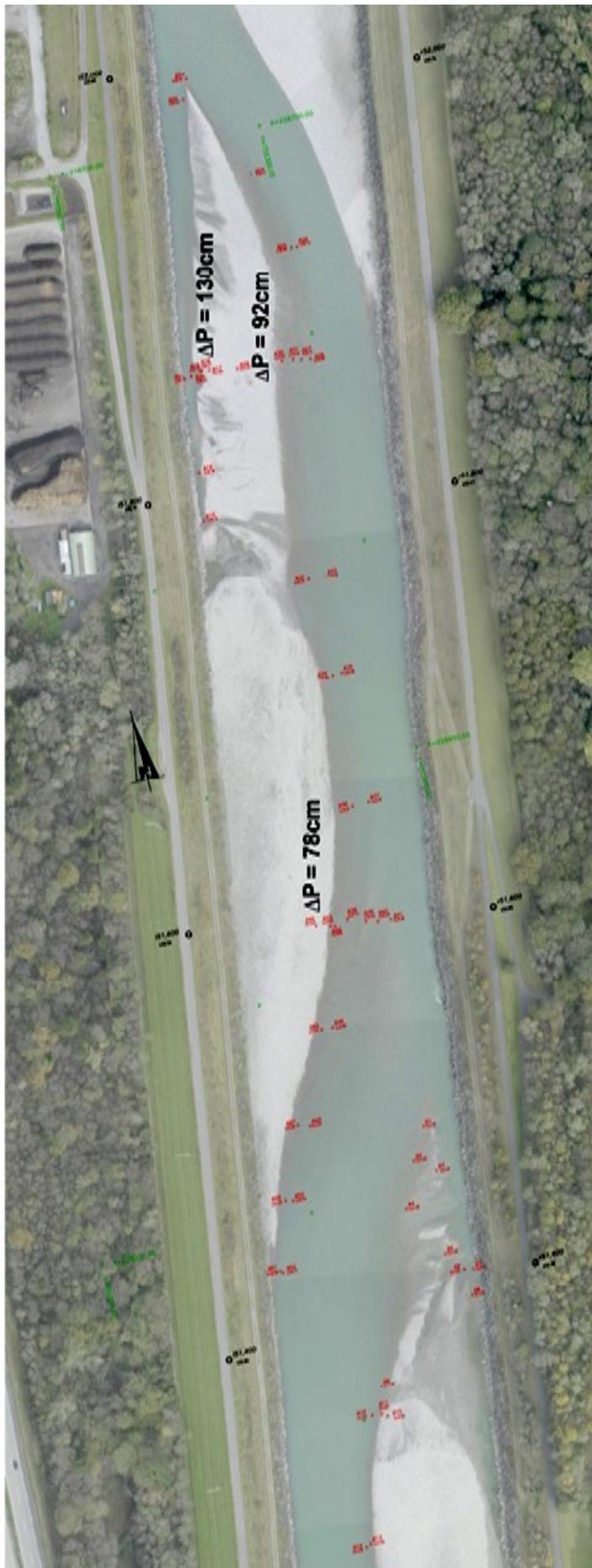


Abb. 40: Teststrecke Buchs des Alpenrheins mit den eingemessenen Punkten für die Bewuchsaufnahmen vom 13./14.2.2010 (rot) und den ungefähren Pegelschwankungen zwischen Schwall und Sunk an ausgewählten Quertransekten (ΔP). Die Fließrichtung ist unten nach oben. Grün markiert sind die schweizerischen Landeskoordinaten.

An verschiedenen Messpunkten in den zwei Teststrecken wurden zudem Stichproben des Kiesel- und Fadenalgenbewuchses entnommen, indem der gesamte Aufwuchs von einer oder mehreren, definierten Teilflächen auf Steinoberseiten abgekratzt und sofort fixiert wurde. Im Labor konnten in diesen Proben später die vertretenen Algengruppen sowie das flächenbezogene Trockengewicht (TG) und die aschenfreie Trockenmasse („ash free dry mass“, AFDM oder „ash free dry weight“, AFDW) bestimmt werden. Für das TG, das sowohl organisches als auch anorganisches Material (Sandkörner usw.) umfasst, wurde die Probe filtriert (Porenweite 0.45 µm) und das Filter anschließend bei 105 °C während 18h getrocknet und ausgewogen; Für die AFDM, die nur mehr das organische Material angibt, wurde dasselbe Filter noch während 3h bei 500 °C geglüht, nach dem Auskühlen nochmals gewogen und das dabei erhaltene Aschengewicht vom TG abgezogen.

Auf diese Weise wurden an 17 Punkten (davon 10 in Mastrils und 7 in Buchs) Stichproben des Bewuchses untersucht. In Anlehnung an BIGGS & STOKSETH (1996) konnten aus diesem Datensatz, nach der Eliminierung eines „Ausreissers“, folgende Beziehungen zwischen der gemessenen AFDM (in g/m²) und der von Auge geschätzten Dichte des Bewuchses (BD, in drei Stufen plus Zwischenstufen) abgeleitet werden:

- Für Kieselalgenbeläge: $AFDM = 1.464 \cdot BD^{1.795}$
- Für alle fädigen Algen: $AFDM = 7.667 \cdot BD^{2.342}$
- Für Wassermoose: $AFDM = 21.228 \cdot BD^{2.327}$

Mit Hilfe dieser Beziehungen wurden die Aufwuchs-Dichten an allen 120 Messpunkten der beiden Teststrecken in AFDM umgerechnet. Dieses ist jeweils nur auf die definierte Fläche bezogen, von welcher die Algenproben entnommen wurden. Durch Multiplikation mit der ebenfalls aufgenommenen, lokalen Deckung der entsprechenden Algengruppen oder Moose (in % der Sohlenoberfläche) erhält man schließlich die Biomasse des Bewuchses bezogen auf die Standardfläche von 1 m² für jeden Untersuchungspunkt. Diese nicht nur auf die Probenfläche, sondern auf die gesamte Sohlenfläche bezogene Biomasse wird hier als AFDM-S bezeichnet und ebenfalls in g/m² ausgedrückt.

An den meisten Messstellen des Alpenrheins blieben die Werte von AFDM-S unter 10 g/m² (Abb. 41) und damit im typischen Bereich für nährstoffarme Gewässer (BIGGS, 1996). Einige Stellen lagen im oder knapp über dem Bereich mit mäßiger pflanzlicher Produktivität. An diesen Stellen bildeten fädige Algen (v.a. Grünalgen und *Hydrurus foetidus*) einen beträchtlichen Teil des Bewuchses. Werte von deutlich über 25 g/m², die im produktiven Bereich liegen, erreichte das AFDM-S nur an wenigen Stellen der Teststrecke Mastrils, an denen ein dichter Moosbewuchs herrschte (Abb. 41).

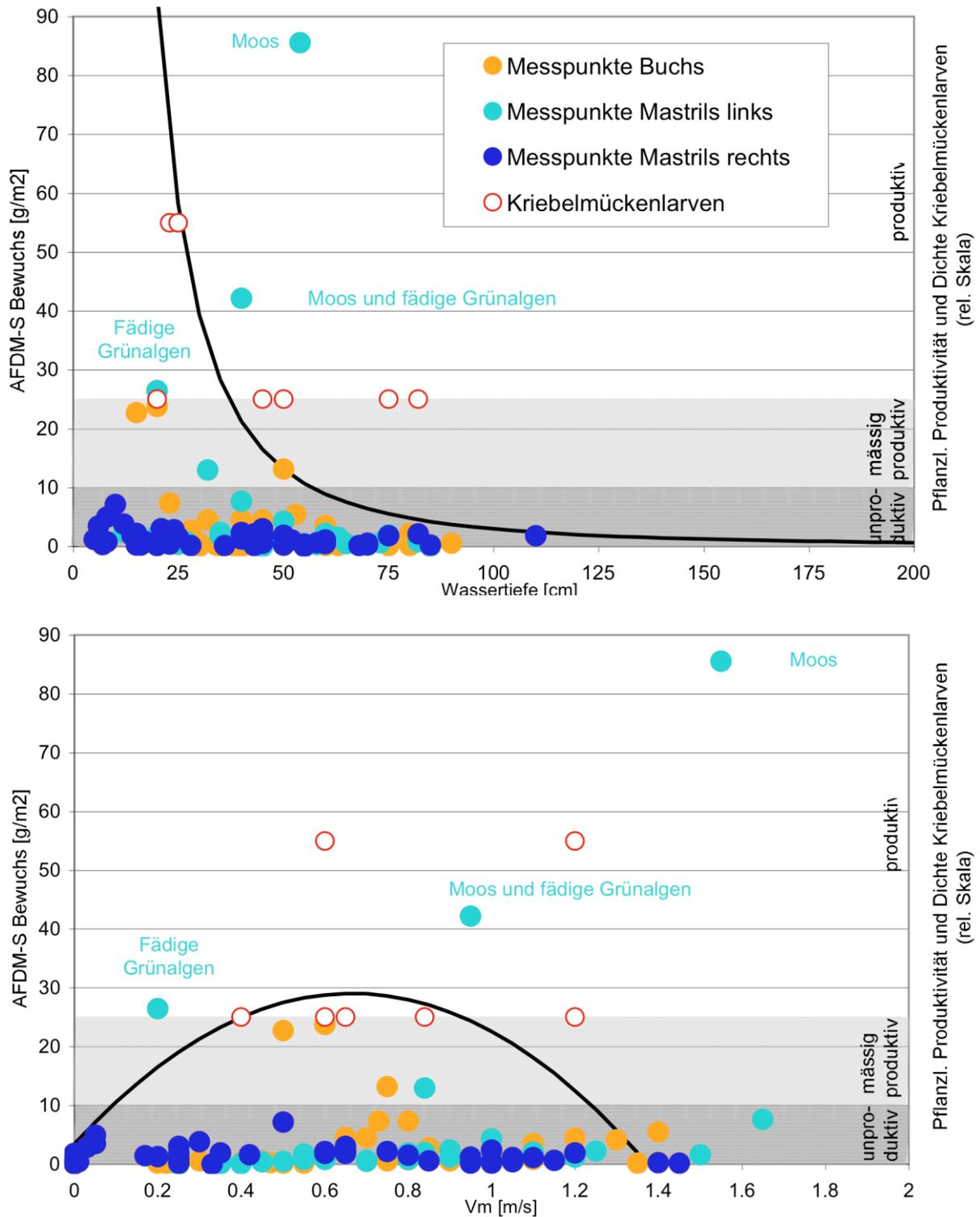


Abb. 41: Aschenfreie Trockengewicht des Aufwuchses in Abhängigkeit der Wassertiefe (oberes Bild) und der mittleren Strömung (unteres Bild) bei den punktuellen Bewuchsaufnahmen im Alpenrhein vom 13./14.2.2010. Die aschenfreie Trockenmasse ist immer auf die gesamte Sohlenfläche von ca. 1 m² im Umkreis des jeweiligen Messpunktes berechnet (AFDM-S; siehe Text). Zusätzlich eingetragen sind die Bereiche für die pflanzliche Produktivität und die relative Dichte der Kriebelmückenlarven (rechte Skala). Die dargestellten Regressionskurven entsprechen jenen in Abb. 38.

Verglichen mit den Benthosaufnahmen vom Februar 2000 (Kapitel 5.3.1) zeigen die punktuellen Daten des Algenbewuchses und der Simuliidendichte vom Februar 2010 einen weniger engen Zusammenhang mit den Einflussfaktoren Wassertiefe und mittlere Strömung (Abb. 41). Das liegt v.a. an der geringen Zahl von Proben mit verhältnismässig hohen Besiedlungsdichten, welche den Verlauf der Regressionskurve maßgeblich bestimmen. Zudem wurden die höchsten Bewuchsdichten durch Wassermoose gebildet, die bevorzugt an ufernahem, sehr stabilem Grobsubstrat (Fels, Blockwurf) aufwachsen und daher auch eine etwas abweichende Korrelation zu den wichtigsten Einflussfaktoren zeigen. Die Verteilung der übrigen Bewuchstypen und der Kriebelmückenlarven passt insgesamt besser in die Regressionskurven hinein, wie sie aus den Benthosdaten vom Februar 2000 hervorgegangen (Abb. 38) und in Abb. 41 nochmals aufgetragen sind.

Die Aufnahmen, die den in Abb. 38 und Abb. 41 dargestellten Korrelationen zugrunde liegen, fanden alle bei tiefer Wasserführung (Sunk) statt. Für die Lebensbedingungen der Organismen auf der Gewässersohle, besonders für die von ihnen auszuhaltende hydraulische Belastung, sind aber die Verhältnisse bei Schwall mindestens ebenso entscheidend. Da bei diesen hohen Abflüssen keine punktgenauen Messungen in tieferen Bereichen mehr möglich sind, wurden die Wassertiefe und die mittlere Strömung vom Ingenieurbüro Hunziker, Zarn & Partner in Domat/Ems für alle aufgenommenen Punkte der Teststrecken Mastrils und Buchs aus dem eigens für dieses Projekt erstellten hydraulischen Modell heraus bestimmt (Bericht zu Arbeitspaket 4). Für den Schwall wurde dabei in beiden Teststrecken ein maximaler Abfluss von ca. $180 \text{ m}^3/\text{s}$ zugrunde gelegt, wie er an den Tagen vor den Aufnahmen geherrscht hatte (siehe oben).

Die Tab. 15 und Tab. 16 zeigen die gemessenen bzw. Einzelwerte für alle Messpunkte bei Sunk und Schwall sowie die daraus berechnete Differenz (Δ), d.h. die Veränderungen der Wassertiefe und der mittleren Strömung zwischen den beiden Abflusszuständen. Diese Werte sind mit großer Vorsicht zu interpretieren, weil sie mittels unterschiedlicher Methoden erhoben wurden und weil die Wasserführung während den Messungen bei Sunk v.a. in der Teststrecke Mastrils deutlich stärker schwankte, als dies vorgesehen war (siehe oben).

Wenn man diese Unsicherheiten berücksichtigt, so ergibt sich in den beiden Teststrecken Mastrils und Buchs zusammen bei Schwall im Mittel über alle Messpunkte eine Erhöhung der Tiefe um ca. 90 cm und der Strömung um ca. 1.05 m/s. Weniger stark, nämlich um ca. 65 cm bei der Wassertiefe und ca. 0.85 m/s bei der mittleren Strömung, erhöhen sich die entsprechenden Werte von Sunk zu Schwall an den Stellen mit den höchsten Bewuchs- oder Simuliidendichten (Tab. 15 und Tab. 16). Bei der Wassertiefe ist dieser Effekt in beiden Teststrecken etwa gleich ausgeprägt, bei der Strömung hingegen in der Teststrecke Mastrils deutlich ausgeprägter. An den produktivsten Stellen des Alpenrheins ist der Schwalleinfluss somit zwar immer noch stark, aber immerhin etwas geringer als im Mittel über das ganze Gewässer.

Neben der Wassertiefe und der Strömung wurden an den Messstellen vom Februar 2010 auch noch die Zusammensetzung des Substrates (dominante und subdominante Korngrößen) und die äußere Kolmation (oberflächliche Ablagerungen von Feinsediment) aufgenommen. Die Kolmationsstufe war dabei an den meisten Stellen gering, so dass keine Aussagen über die Verteilung der Organismen in Abhängigkeit der Feinsediment-Überdeckung möglich sind.

Tab. 15: Wassertiefe und mittlere Strömung an allen Messpunkten der Teststrecke Mastrils bei Sunk (su, Messung vom 13./14.2.2010) und bei Schwall (S, Berechnung durch das hydraulische Modell von Hunziker, Zarn & Partner). Ebenfalls angeführt sind die Einzelwerte sowie die Minima (MIN), Maxima (MAX) und arithmetischen Mittelwerte (MIT) der Differenzen zwischen Schwall und Sunk (ΔS -su). Negative Differenzen der Strömung sind rot markiert und bei der Auswertung nicht berücksichtigt. An den gelb unterlegten Stellen wurden verhältnismässig hohe Bewuchs- oder Simuliendichten festgestellt.

Punkt Nr.	Wassertiefe [m]			\varnothing Strömung [m/s]		
	su	S	ΔS -su	su	S	ΔS -su
M1	0.5	1.05	0.55	0.9	1.75	0.85
M2	0.63	1.22	0.59	1.5	1.73	0.23
M3	0.82	1.41	0.59	0.6	1.21	0.61
M4	0.4	1.04	0.64	0.95	0.82	-0.13
M5	0.55	1.08	0.53	0.35	1.57	1.22
M6	0.73	1.18	0.45	0.7	1.35	0.65
M7	0.65	1.09	0.44	0.5	1.47	0.97
M8	0.45	0.80	0.35	0.25	0.89	0.64
M9	0.85	1.21	0.36	0.4	1.54	1.14
M13	0.35	0.68	0.33	0.55	0.92	0.37
M14	0.24	0.56	0.32	0.55	1.12	0.57
M15	0.27	0.61	0.34	0.35	1.06	0.71
M16	0.35	0.61	0.26	0.9	1.44	0.54
M17	0.2	0.57	0.37	0.8	1.27	0.47
M18	0.58	0.90	0.32	0.95	0.97	0.02
M19	0.23	0.54	0.31	1.2	1.48	0.28
M20	0.54	1.05	0.51	1.55	1.63	0.08
M21	0.32	0.86	0.54	0.84	1.31	0.47
M22	0.55	0.97	0.42	0.7	1.26	0.56
M23	0.22	0.92	0.70	0.6	1.31	0.71
M24	0.6	1.04	0.44	1.1	1.47	0.37
M25	0.4	1.16	0.76	1.65	1.39	-0.26
M27	0.5	1.25	0.75	1	1.85	0.85
M31	0.75	1.36	0.61	0.84	1.42	0.58
M32	0.60	1.44	0.84	1.25	1.54	0.29
M33	0.20	0.98	0.78	0.20	1.29	1.09
M34	0.42	1.17	0.75	0.80	1.49	0.69
M35	0.60	1.35	0.75	1.00	1.66	0.66
M39	0.25	1.08	0.83	0.45	1.84	1.39
M40	0.12	0.75	0.63	0.90	1.56	0.66
M44	0.12	1.32	1.20	0.30	2.53	2.23
M48	0.06	1.29	1.23	0.05	1.97	1.92
M49	0.07	1.36	1.29	0.25	1.91	1.66
M50	0.55	1.94	1.39	0.00	1.19	1.19
M51	0.75	2.15	1.40	0.00	0.98	0.98
M52	1.10	2.44	1.34	0.25	1.45	1.20
M53	0.50	1.77	1.27	1.20	1.85	0.65
M54	0.52	1.64	1.12	1.05	2.15	1.10
M55	0.08	1.19	1.11	0.05	1.97	1.92
M56	0.40	1.41	1.01	0.35	2.08	1.73
M57	0.82	1.83	1.01	0.65	2.24	1.59
M61	0.45	1.38	0.93	0.60	2.11	1.51
M62	0.43	1.39	0.96	0.75	2.29	1.54
M63	0.68	1.66	0.98	1.00	2.35	1.35
M64	0.85	1.84	0.99	1.40	2.27	0.87
M65	0.55	1.49	0.94	1.00	2.09	1.09
M66	0.20	1.13	0.93	0.25	2.09	1.84
M67	0.25	1.08	0.83	0.42	1.88	1.46
M68	0.70	1.55	0.85	0.85	1.98	1.13
M69	0.05	0.96	0.91	0.00	1.55	1.55
M70	0.17	0.96	0.79	0.00	1.83	1.83
M71	0.14	0.84	0.70	0.65	2.38	1.73
M72	0.40	1.09	0.69	1.00	2.38	1.38
M73	0.55	1.26	0.71	1.05	2.26	1.21
M74	0.15	1.04	0.89	0.65	2.66	2.01
M75	0.36	1.42	1.06	1.45	1.84	0.39
M76	0.10	1.42	1.32	0.50	1.88	1.38
M77	0.60	1.65	1.05	1.05	1.87	0.82
M78	0.55	1.69	1.14	0.33	0.94	0.61
M79	0.40	1.53	1.13	0.20	0.91	0.71
M80	0.15	0.60	0.45	0.00	1.42	1.42
M81	0.16	0.66	0.50	0.00	1.19	1.19
M82	0.45	1.63	1.18	0.00	1.76	1.76
M83	0.70	1.91	1.21	0.00	1.73	1.73
M84	0.50	1.70	1.20	0.00	1.82	1.82
M85	0.15	1.35	1.20	0.00	1.60	1.60
M88	0.15	1.36	1.21	0.17	1.99	1.82
M89	0.28	1.54	1.26	0.00	2.19	2.19
M90	0.23	1.49	1.26	0.01	2.25	2.24
M91	0.24	1.64	1.40	0.03	2.26	2.23
M92	0.08	1.31	1.23	0.25	2.36	2.11
M93	0.21	0.94	0.73	0.25	1.73	1.48
M94	0.45	1.17	0.72	0.65	1.90	1.25
M95	0.45	1.34	0.89	0.80	1.93	1.13
M96	0.58	1.45	0.87	1.15	2.04	0.89
M97	0.43	1.12	0.69	0.95	2.08	1.13
M101	0.50	1.25	0.75	0.60	1.72	1.12
M102	0.43	1.26	0.83	0.95	2.00	1.05
M103	0.60	1.80	1.20	1.10	1.76	0.66
MIN				0.26		0.02
MAX				1.40		2.24
MIT				0.84		1.13

Tab. 16: Wassertiefe und mittlere Strömung an allen Messpunkten der Teststrecke Buchs bei Sunk (su, Messung vom 13./14.2.2010) und bei Schwall (S, Berechnung durch das hydraulische Modell von Hunziker, Zarn & Partner). Ebenfalls angeführt sind die Einzelwerte sowie die Minima (MIN), Maxima (MAX) und arithmetischen Mittelwerte (MIT) der Differenzen zwischen Schwall und Sunk (ΔS -su). Negative Differenzen der Strömung sind rot markiert und bei der Auswertung nicht berücksichtigt. An den gelb unterlegten Stellen wurden verhältnismässig hohe Bewuchs- oder Simuliendichten festgestellt.

Punkt Nr.	Wassertiefe [m]			\varnothing Strömung [m/s]		
	su	S	ΔS -su	su	S	ΔS -su
B1	0.22	1.03	0.81	1.00	1.62	0.62
B2	0.30	1.01	0.71	1.00	1.65	0.65
B3	0.25	1.12	0.87	1.40	1.40	0.00
B4	0.20	0.91	0.71	1.10	1.54	0.44
B5	0.17	1.06	0.89	0.90	0.79	-0.11
B6	0.40	1.50	1.10	0.00	0.35	0.35
B7	0.35	1.45	1.10	0.00	0.16	0.16
B8	0.30	1.30	1.00	0.00	0.12	0.12
B9	0.50	1.15	0.65	0.30	1.29	0.99
B12	0.75	1.40	0.65	0.40	1.54	1.14
B13	0.38	1.08	0.70	0.22	1.63	1.41
B14	0.80	1.50	0.70	0.50	1.86	1.36
B15	0.25	1.92	1.67	0.00	0.11	0.11
B16	0.28	1.95	1.67	0.00	0.69	0.69
B20	0.50	2.07	1.57	0.00	1.13	1.13
B21	0.40	1.97	1.57	0.00	1.32	1.32
B22	0.85	2.31	1.46	0.00	1.03	1.03
B23	0.50	1.97	1.47	1.30	0.86	-0.44
B24	0.32	1.57	1.25	0.65	1.38	0.73
B25	0.40	1.59	1.19	0.70	1.67	0.97
B26	0.60	1.79	1.19	1.10	1.74	0.64
B27	0.45	1.45	1.00	1.10	1.92	0.82
B28	0.50	1.50	1.00	1.35	2.03	0.68
B32	0.30	1.14	0.84	0.45	1.51	1.06
B33	0.70	1.54	0.84	0.70	1.80	1.10
B34	0.60	1.46	0.86	0.20	1.63	1.43
B35	0.85	1.72	0.87	0.40	1.78	1.38
B36	0.34	1.29	0.95	0.23	1.89	1.66
B37	0.85	1.80	0.95	0.47	2.01	1.54
B38	0.23	1.19	0.96	0.73	2.04	1.31
B39	0.23	1.23	1.00	0.80	2.11	1.31
B40	0.28	1.39	1.11	0.85	2.11	1.26
B41	0.63	1.69	1.06	0.55	2.09	1.54
B45	0.15	0.94	0.79	0.50	1.84	1.34
B46	0.45	1.24	0.79	1.20	2.06	0.86
B47	0.20	0.87	0.67	0.60	1.74	1.14
B48	0.53	1.19	0.66	1.40	1.97	0.57
B49	0.50	1.14	0.64	0.75	1.66	0.91
B50	0.80	1.43	0.63	1.10	1.83	0.73
B51	0.75	1.41	0.66	0.80	1.41	0.61
B52	0.90	1.56	0.66	0.75	1.55	0.80
MIN			0.63			0.00
MAX			1.67			1.66
MIT			0.97			0.92

Beim Substrat wurde mit diesen Aufnahmen vom Februar 2010 eine größere Bandbreite erfasst als im Februar 2000 (Kapitel 5.3.1), so dass auch zuverlässigere Aussagen über die vom Benthos bevorzugten Substrattypen möglich sind. Von den mit Wassermoosen bewachsenen Stellen mit sehr grobem Substrat abgesehen (siehe oben), wurden die höchsten Dichten von Aufwuchsalgen und Kriebelmückenlarven dabei im Korngrößenbereich von ca. 6 – 20 cm gefunden (Mesolithal). Maximale Dichten des Makrozoobenthos sind auch in anderen, teils ebenfalls Schwall-beeinflussten Flüssen in verhältnismässig grobem Substrat gefunden worden (BAUMANN, 2004 und Referenzen darin).

In einigen Proben des Aufwuchses aus dem Alpenrhein wurden die fädigen Algen etwas genauer bestimmt. Dabei zeigte sich, dass neben der schon makroskopisch gut erkennbaren Goldalge *Hydrurus foetidus* praktisch nur die beiden GrünalgenGattungen *Ulothrix* und *Microspora* vertreten waren. Bei *Ulothrix* handelt es sich dabei gemäß ARGE LIMNOLOGIE (2001) überwiegend um die sehr häufige Art. *U. zonata*.

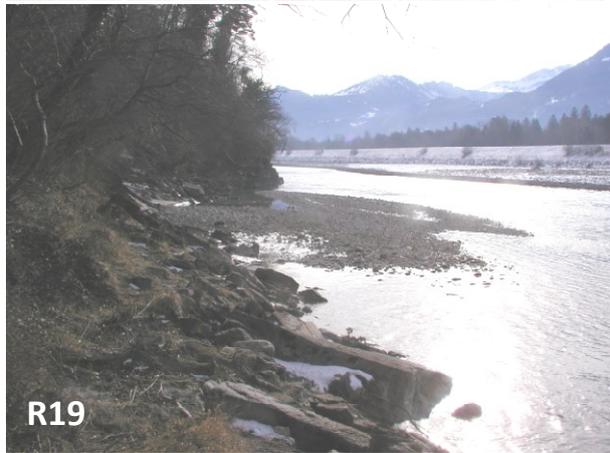
5.3.3 Weg 3: Aufnahmen des Makrozoobenthos in speziellen Habitaten

Ergänzend zu den bereits bestehenden, nach festen Vorgaben erhobenen Daten vom Februar 2000 und vom November 2009 (Kapitel 5.3.1), wurden im Januar 2010 in einigen speziellen, ufernahen Habitaten des Alpenrheins zwischen Felsberg und Buchs zusätzliche quantitative Makrozoobenthos-Proben entnommen. Dabei handelte es sich nicht um punktuelle Proben, sondern um Aufnahmen an jeweils verschiedenen Stellen innerhalb von ausgewählten Teillebensräumen (Habitaten) des Flusses. Lage und Kennwerte des pflanzlichen Bewuchses sind für alle untersuchten Habitate in Tab. 17 zusammengestellt, und das äußere Erscheinungsbild dieser Habitate ist aus Abb. 42 ersichtlich.

Tab. 17: Lage und Bewuchs-Kennwerte der am 23./24.1.2010 beprobten speziellen Habitate im Alpenrhein zwischen Felsberg und Buchs. Lemanea cf. fluv. = Lemanea cf. fluviatilis; Bangia atropurp. = Bangia atropurpurea.

Stelle Nr.	R1	R3	R9	R13	R14	R19	R25a	R26
Datum	23.1.10	23.1.10	24.1.10	23.1.10	23.1.10	24.1.10	23.1.10	23.1.10
Koordinaten X	754 550	756 475	760 075	760 140	760 075	755 150	755 300	755 225
Koordinaten Y	189 700	190 600	196 150	201 600	201 700	212 650	228 660	227 850
Höhe [m.ü.M.]	567	563	540	527	526	480	445	445
Deckung Moose	hoch	gering	keine	gering	keine	keine	keine	keine
Deckung Algen	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	geringe	geringe	geringe
Algengruppe/-art:								
Kieselalgen	++	+++	++	+++	+++	+++	+++	++
Fädige Blaualgen	+		+			+		
Cladophora sp.	+	+		+		+	+	+
Ulothrix sp.			++				+	+
Microspora sp.		+	++		+	+		+
Hydrurus foetidus			++	+	+			+
Lemanea cf. fluv.	+	+						
Bangia atropurp.							+	
Audouinella sp.	+	+	+	+	+	+		

Abb. 42 (Folgeseite): Ansichten der am 23./24.1.2010 beprobten speziellen Habitate im Alpenrhein zwischen Felsberg und Buchs. R1: Ufer mit groben Blöcken (linksseitig) bei Felsberg, Blick flussabwärts; R3: Aufweitung Felsberg mit nur schwach durchflossenem Seitengerinne (rechtsseitig), Blick seitlich; R9: Aufweitung Oldis mit ausgedehnter Flachwasserzone (rechtsseitig), Blick flussaufwärts; R13: Mündungsbereich eines Quellbaches in den Mastrilser Auen (linksseitig), Blick flussabwärts; R14: Permanentes Seitengerinne in den Mastrilser Auen (linksseitig), Blick flussabwärts; R19: Hinterwasser (flussaufwärts angebunden) und ufernahe Flachwasserzone (rechtsseitig), Blick flussaufwärts; R25a: Hinterwasser (flussabwärts angebunden) bei Buchs (linksseitig), Blick flussabwärts; R26: Schnellenartige Querströmungen (Riffles) über eine Kiesbank bei Buchs (rechtsseitig), Blick seitlich.



Wie aus Tab. 17 hervorgeht, weisen die untersuchten speziellen Habitats insgesamt eine höhere Vielfalt an fädigen Algentaxa auf, als die routinemäßigen, nach einem schematischen Ablauf durchgeführten Benthosuntersuchungen bisher ergaben (ARGE LIMNOLOGIE, 2001; 2008). Neu sind besonders einige fädige Grün- und Rotalgen. Darunter befinden sich weit verbreitete Taxa wie die Grünalge *Cladophora sp.* oder die Rotalge *Audouinella sp.*

Deutlich seltener und damit bemerkenswert sind jedoch die beiden Rotalgen *Lemanea cf. fluviatilis* und *Bangia atropurpurea*, welche die speziellen Habitats bei Felsberg bzw. bei Buchs besiedelten (Tab. 17). Zimmerli (1991) fand im Alpenrhein und seinen Zuflüssen nur an einer Stelle Rotalgen, nämlich Vertreter der Gattung *Lemanea* unmittelbar vor der Mündung der Rheins in den Bodensee bei Fussach.

Einige wichtige Kennwerte der Makrozoobenthos-Besiedlung in den untersuchten speziellen Habitats des Alpenrheins sind in Abb. 43 dargestellt.

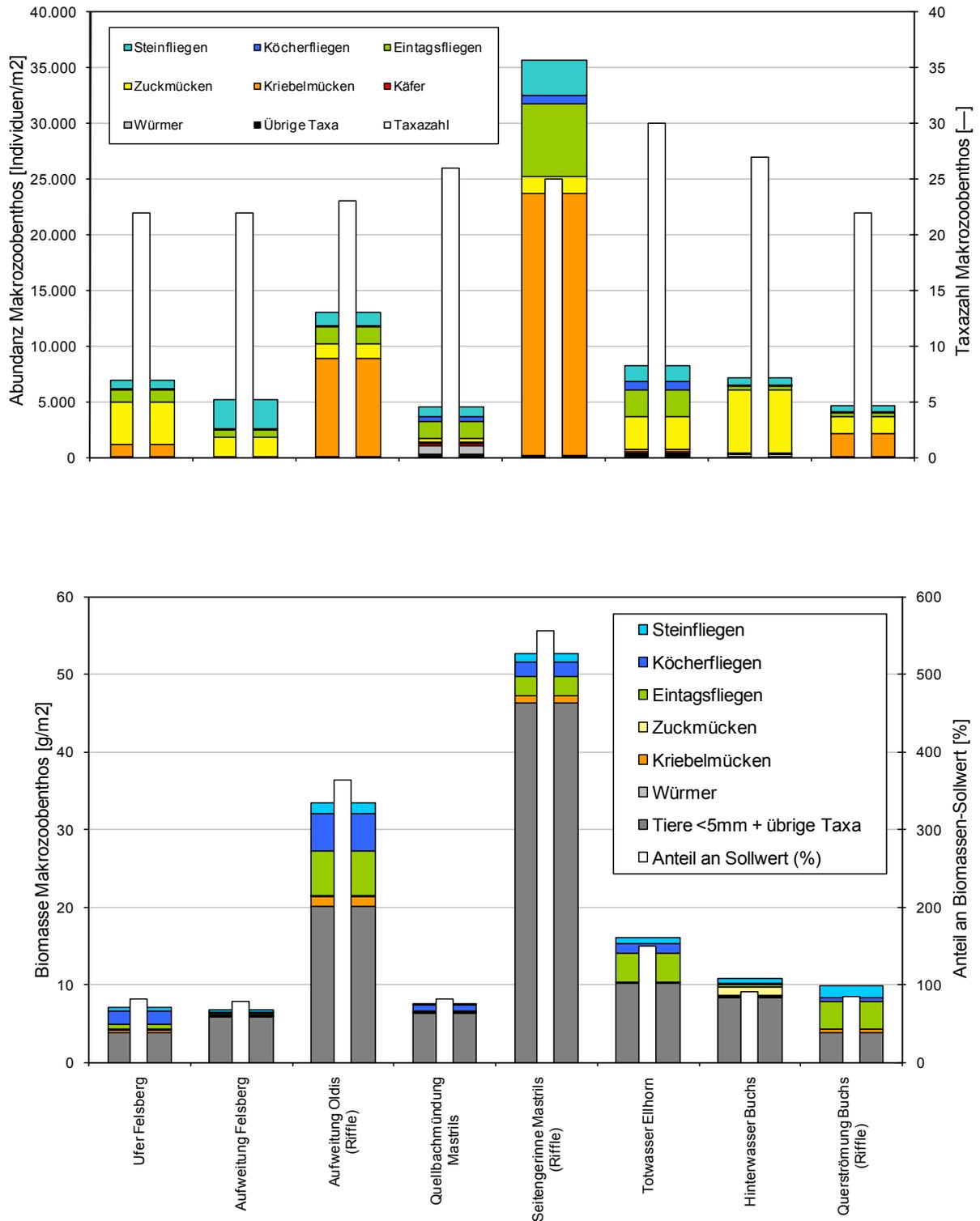


Abb. 43: Kennwerte des Makrozoobenthos, aufgeteilt in die Grossgruppen, in den speziellen Habitaten des Alpenrheins am 23./24.1.2010. Oberes Bild: Abundanz und Taxazahl; unteres Bild: Biomasse (Frischgewicht) und deren Anteil an einem höhenabhängigen Sollwert nach DÜCKELMANN (2001). Die Probenahmestellen sind in Tab. 17 und Abb. 42 näher charakterisiert.

Die höchsten Abundanzen und v.a. Biomassen aller untersuchter, spezieller Habitats wurden in der großflächigen, rechtsufrigen Aufweitung Oldis (R9) und in einem linksufrigen, ständig durchflossenen Seitengerinne bei Mastrils (R14) festgestellt. Beide Habitats sind durch große Flächenanteile von untiefen, rasch überströmten Schnellen (Riffles) gekennzeichnet. In beiden Fällen war die hohe Besiedlungsdichte zudem allein durch das Massenvorkommen von Kriebelmückenlarven bedingt (welche bei der Darstellung der Biomasse in Abb. 43 teilweise auch in der Kategorie „Tiere <5mm“ enthalten sind).

Die höhenabhängige Soll-Biomasse nach JUNGWIRTH et al. (1980) und DÜCKELMANN (2001) wurde in den meisten speziellen Habitats des Alpenrheins knapp unter- oder überschritten. In den beiden Habitats R9 und R14 wurde jedoch ein Anteil am Sollwert von 365% bzw. 557% festgestellt, also eine weit über den Erwartungen liegende Makrozoobenthos-Biomasse.

Die Taxazahl des Makrozoobenthos zeigten keine großen Unterschiede zwischen den Untersuchungsstellen. Sie erreichte in den zwei Habitats bei Felsberg (R1 und R3) sowie in Riffles quer über eine Kiesbank bei Buchs (R26) mit 22 Taxa ihre minimalen und in einem rechtsufrigen Bereich beim Ellhorn (R19) mit 30 Taxa ihren maximalen Wert. Möglicherweise ist die etwas höhere Taxavielfalt an dieser Stelle auch darauf zurückzuführen, dass dort morphologisch recht vielfältige Strukturen (u.a. ein flussaufwärts angeschlossenes Hinterwasser und eine Flachwasserzone) beprobt wurden.

Einige Organismen in unseren Benthosproben waren in anderen, mehr auf die zentralen Flussbereiche bezogenen Aufnahmen des Makrozoobenthos im Alpenrhein (ARGE TRÜBUNG ALPENRHEIN, 2001; REY et al., 2011) nicht vertreten. Dazu zählt u.a. die ausgesprochen strömungsliebende Eintagsfliegenlarve *Epeorus alpicola* im Riffle der Aufweitung Oldis (R9) oder die im Gegenteil auf Stillwasserbereiche beschränkten Arten der Wasserassel (*Asellus aquaticus*) im Mündungsbereich eines Quellbaches in den Mastrilser Auen (R13) und des Wasserkäfers *Platambus maculatus* in einem Hinterwasser bei Buchs (R25). Diese Aufnahmen umfassten damit, ebenso wie jene von Weg 1 (Kapitel 5.3.1), ein breites Spektrum von strömungsmeidenden bis -bedürftigen Benthos-Organismen.

Die in den Alpenflüssen zeitweise äußerst selten gewordene Steinfliegenart *Brachyptera trifasciata* wurde im Alpenrhein erst vor einigen Jahren wieder neu entdeckt (BAUMANN, 2004 und Referenzen darin). In den jüngsten Aufnahmen vom November 2009 (REY et al., 2011) und vom Februar 2010 (vorliegende Untersuchung) war diese Art wieder an den meisten untersuchten Stellen in teilweise beachtlicher Anzahl vorhanden.

5.4 Resultate der Habitatmodellierung mittels Casimir

Um die bestehenden Informationen zum Makrozoobenthos als Eingabedaten für das Habitatmodell Casimir verwenden zu können, müssen diese in eine festgelegte, von der Fuzzy-Logik bestimmte Form gebracht werden. Diese sogenannten Fuzzy-Mengen und –Regeln werden für das Makrozoobenthos in Kapitel 5 des Berichtes zu Arbeitspaket 2 beschrieben.

5.4.1 Modell-Output für den Ist-Zustand

Nach abgeschlossener Eichung des Habitatmodells Casimir konnte die gesamte Habitat- oder Basiseignung (HSI) für jeden beliebigen Abfluss in Form von flächigen Darstellungen der einzelnen Eignungsstufen (mit Werten zwischen 0 und 1) für die beiden Teststrecken Mastrils und Buchs dargestellt werden. Dabei interessierte zunächst, wie sich der HSI bei den heute herrschenden Abflussverhältnissen (Ist-Zustand) verhält. Abb. 44 zeigt beispielhaft die Entwicklung des HSI in der Teststrecke Mastrils für einige konkrete Abflüsse zwischen einem typischen Sunk- und einem typischen Schwallwert.

Es wird deutlich, wie stark sich an den meisten Stellen der ständig benetzten Flusssohle die Habitateignungen im Verlauf eines Schwalldurchganges, d.h. innert eines Tages, verändern:

- Bei einem Schwallabfluss von knapp $189 \text{ m}^3/\text{s}$ fällt die zentrale Fließrinne aufgrund der stark gestiegenen Fließgeschwindigkeit und des entsprechend größeren hydraulischen Stresses als Lebensraum für das Makrozoobenthos praktisch aus. Dies entspricht auch den Resultaten von Feldaufnahmen in diesen tieferen Flussbereichen (ARGE LIMNOLOGIE, 2001). In den seitwärts anschließenden, flacheren und auch bei Schwall nicht so stark überströmten Bereichen sind nach wie vor recht gute und örtlich auch sehr gute Habitateignungen vorhanden. Diese fallen aber größtenteils auf flache Uferzonen und Seitengerinne, welche nur bei diesen hohen Abflüssen überhaupt benetzt sind, bei Sunk dann aber wieder trockenfallen. In diesen sogenannten Wasserwechselzonen ist die Besiedlung durch das Makrozoobenthos bekanntermaßen gering und teilweise auf wenige Individuen beschränkt, die jeweils bei Schwallanstieg eingeschwemmt werden (LIMNEX, 2006; 2007b).

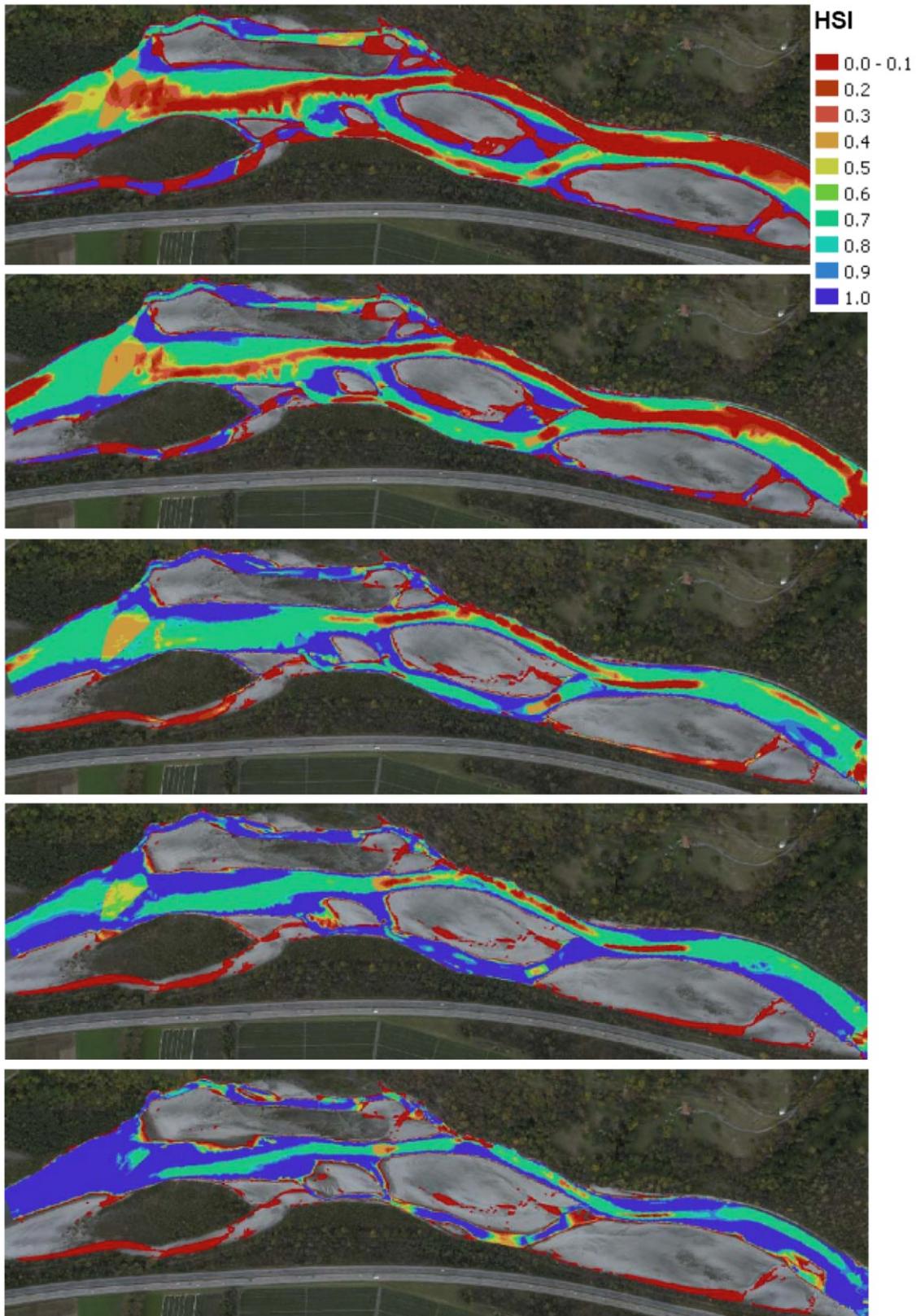


Abb. 44: Gesamt- oder Basiseignung (Habitat suitability index, HSI) der Flusssohle in der Teststrecke Mastrils als Lebensraum für das Makrozoobenthos bei folgenden Abflüssen (von oben nach unten): 189 m³/s (Schwall), 124 m³/s, 76 m³/s, 49 m³/s und 27 m³/s (Sunk). Zur Herleitung und Bedeutung des HSI siehe Kapitel 5.2 im Bericht zu AP 2. Die Fließrichtung ist jeweils von links nach rechts.

- Bei einem typischen Sunkabfluss von $27 \text{ m}^3/\text{s}$ sind große Teile des Hauptgerinnes, einschließlich dessen zentralen, tieferen Bereichen, für eine Besiedlung durch das Makrozoobenthos recht gut bis sehr gut geeignet (HSI-Werte von 0.6 bis 1.0). Dasselbe gilt überwiegend auch für jene Seitengerinne, die bei diesem tiefen Abfluss noch konstant durchflossen sind. Eine schlechtere oder gar keine Habitateignung (HSI-Werte von 0.5 bis 0) weisen v.a. jene Uferbereiche und Seitengerinne auf, die bei Sunk zu ungenügend und zu schwach durchflossen sind oder ganz trockenfallen

Da die Aufwuchsalgen und mit ihnen das Makrozoobenthos diese starken Abflussschwankungen mehr oder weniger an Ort und Stelle überdauern müssen (Kapitel 5.1), sind für sie auch die Habitateignungen während aller in Abb. 44 dargestellter Stadien des Schwalldurchganges relevant. Entscheidend dafür, wie gut die Benthos-Organismen die regelmäßigen, kurzfristigen Veränderungen ihrer Lebensbedingungen überstehen, dürften schlussendlich aber die für sie ungünstigsten Tiefen- und Strömungsverhältnisse innerhalb des ganzen Abflusszyklus' sein (gleichsam der worst case im Tagesverlauf). Diese ungünstigsten Verhältnisse konnten im Modell Casimir berechnet werden, indem für jeden Untersuchungspunkt der tiefste Wert aller diskreten Abflüsse bestimmt und all diese worst case-Werte in einer neuen, den ganzen Abflussbereich umfassenden Darstellung zusammengezogen wurden. Es handelt sich dabei um die sogenannte integrierte Basiseignung, wie sie für die drei Teststrecken in Abb. 45 dargestellt ist.

Die nur bei Schwall überflutete, bei Sunk hingegen trockenfallende Wasserwechselzone, deren Habitateignung zum vornherein als Null angenommen wurde, ist bei der Berechnung der integrierten Basiseignung bewusst ausgeklammert. Es sind in Abb. 45 also nur die integrierten Eignungen der ständig benetzten Sohlenbereiche dargestellt.

Über die Abflüsse des ganzen Schwall/Sunk-Zyklus' integriert, ist der Anteil von recht guten bis sehr guten Habitateignungen (HSI-Werte von 0.6 bis 1.0) in den untersuchten Teststrecken sehr unterschiedlich:

- In der verzweigten, morphologisch noch sehr naturnahen Teststrecke Mastrils bleiben für das Makrozoobenthos noch größere Sohlenbereiche entlang der Ufer und v.a. im linksseitigen, ständig benetzten Seitengerinne relativ gut besiedelbar. Aus Abb. 45 geht zudem klar hervor, dass die Anteile an guten Habitateignungen in den breiteren Flussquerschnitten im oberen Teil der Teststrecke am größten sind und mit zunehmender Einengung des Abflussprofils im unteren Teil stark abnehmen. An den engsten Stellen können von den Makroinvertebraten nur mehr schmale Streifen entlang der Ufer als Lebensraum genutzt werden.

- Die Teststrecke Buchs ist durch die Kanalisierung bereits eingengt, weist aber dank der alternierenden Kiesbänke trotzdem noch eine gewisse Mindest-Vielfalt an morphologischen Strukturen wie Flachuferbereiche, Hinterwasser oder Riffles auf.

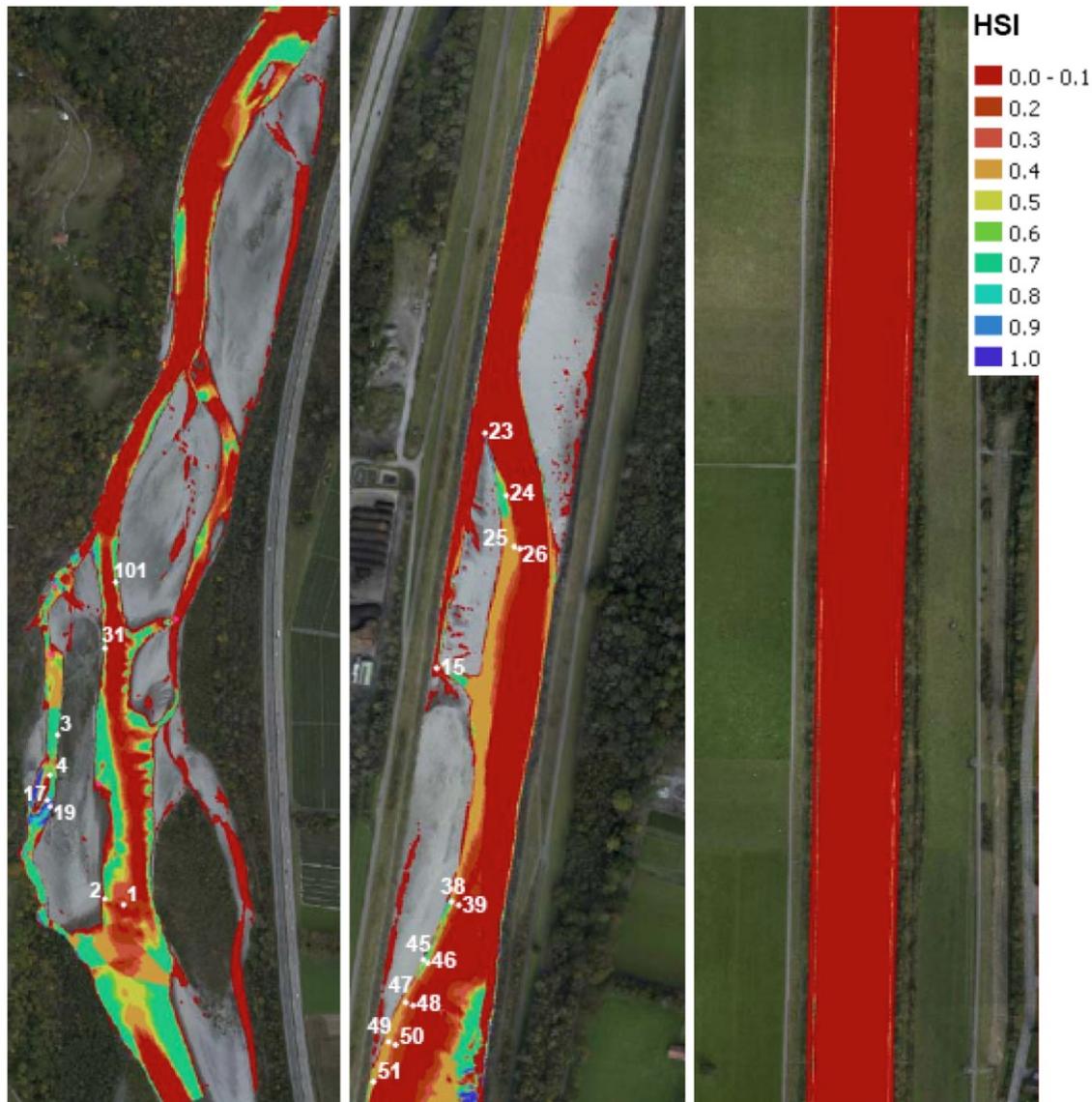


Abb. 45: Über den ganzen heutigen Schwall/Sunk-Zyklus (IST-Zustand) integrierte Basiseignung (Habitat suitability index, HSI) der Flusssohle als Lebensraum für das Makrozoobenthos in den Teststrecken Mastrils (links), Buchs (Mitte) und Koblach in der Internationalen Rheinstrecke (rechts). Bei Mastrils und Buchs sind zusätzlich einige Probenahmestellen der jüngsten biologischen Aufnahmen eingetragen. Bei Mastrils sind dies: die Stellen 1 bis 4 aus der Untersuchung von Rey et al. (2011) mit mittlerer (Stellen 1,2,4) bis hoher (Stelle 3) Makrozoobenthos-Dichte und die übrigen Stellen aus der vorliegenden Untersuchung (Kapitel 5.3.2), wovon die Stellen 19, 31 und 101 eine hohe Dichte von Kriebelmückenlarven (Simuliidae) aufwiesen. Bei Buchs sind alle Stellen aus der vorliegenden Untersuchung, wobei die Stelle 46 eine hohe Simuliiden-Dichte und die Stellen 45, 46 und 49 einen relativ starken Bewuchs der fädigen Alge *Hydrurus foetidus* aufwiesen. Zur Herleitung und Bedeutung des HSI siehe Kapitel 5.2 im Bericht zu AP 2. Die Fließrichtung ist jeweils von unten nach oben.

Die integrierte Basiseignung im Ist-Zustand entspricht auf dieser Strecke etwa jener in den etwas engeren Bereichen der Teststrecke Mastrils, beschränkt sich also im Wesentlichen auf mehr oder weniger breite Uferstreifen und ständig benetzte Flachwasserbereiche am flussabwärts gelegenen Ende einzelner Kiesbänke.

- Die in der stark kanalisierten Internationalen Rheinstrecke gelegene Teststrecke Koblach ist durch sehr eintönige Tiefen- und Strömungsverhältnisse auf der ganzen Flussbreite sowie durch steile, hart mit Blockwurf verbaute Ufer gekennzeichnet. Unter diesen naturfernen Verhältnissen herrschen praktisch auf der gesamten Gewässersohle sehr ähnliche Habitateignungen vor. Bei einem relativ tiefen Abfluss von $106 \text{ m}^3/\text{s}$ sind dies bei einem HSI von 0.4 – 0.6 noch mittlere Eignungen, bei einem Schwallabfluss von $285 \text{ m}^3/\text{s}$ besteht hingegen für das Makrozoobenthos mit einem HSI von fast durchwegs 0.0 – 0.1 so gut wie kein nutzbarer Lebensraum mehr.

Diese Resultate entsprechen den konzeptionellen Vorstellungen aus ARGE LIMNOLOGIE (2001) und LIMNEX (2007b), dass sich der ökologische Zustand einer Schwallstrecke bei zunehmend naturnäherer Morphologie insgesamt verbessert, auch wenn sich gleichzeitig gewisse Auswirkungen (z.B. das Stranden von Organismen) verschärfen.

Die Verteilungen der Habitateignung entsprechen natürlich auch so gut als möglich den Resultaten aus den Benthos-Aufnahmen vom November 2009 (REY et al., 2011) und Februar 2010 (Kapitel 5.3.2), anhand derer das Modell Casimir ja geeicht wurde (Kapitel 5.2 im Bericht zu AP 2). In Abb. 45 sind für die Teststrecken Mastrils und Buchs auch einige Untersuchungsstellen dieser biologischen Aufnahmen eingetragen. Ein Teil dieser Stellen zeichnete sich durch eine vergleichsweise reichhaltige Algen- und Makrozoobenthos-Besiedlung aus (vgl. Tab. 15 und Tab. 16).

Die Untersuchungsstelle Nr. 1 aus Rey et al. (2011) wies bei den Aufnahmen vom November 2009 eine mittlere Makrozoobenthos-Dichte aus, obwohl sie nahe der Flussmitte in einem Bereich liegt, für den das Habitatmodell eine minimale integrierte Basiseignung als Lebensraum für diese Organismen ergibt (Abb. 45). Morphologische Veränderungen (durch Abtrag oder Auflandung der Flusssohle) können als Ursache für diesen widersprüchlichen Befund ausgeschlossen werden, weil die Benthos-Aufnahmen fast zur gleichen Zeit stattfanden wie die Vermessung der Flussgeometrie (Bericht zu Arbeitspaket 3), welche die Grundlagen lieferten für das hydraulische Modell (Bericht zu Arbeitspaket 4) und damit auch für das Habitatmodell Casimir (Bericht zu Arbeitspaket 2).

Der den Vorhersagen des Habitatmodells scheinbar so diametral entgegengesetzte, biologische Befund für die Untersuchungsstelle Nr. 1 lässt sich eher mit unterschiedlichen Abflussverhältnissen erklären: der Probenahme vom 8.11.09 an dieser Stelle ging eine mehrwöchige Periode mit maximalen Schwallabflüssen von 140 bis $150 \text{ m}^3/\text{s}$ an der nächstgelegenen Messstelle Domat/Ems

voraus, während vor unseren eigenen Aufnahmen vom 13./14.2.2010 ebenfalls über mehrere Wochen maximale Schwälle von 170 bis 180 m³/s registriert wurden (Abb. 46). Diese Werte liegen schon fast bei jenem Schwallabfluss von 189 m³/s, auf dem die integrierten Basiseignungen des Habitatmodells Casimir beruhen (Abb. 44 und Abb. 45). Bei den um ca. 30 m³/s geringeren Maximalschwällen vom Oktober/November 2009 konnte der Sohlenbereich der Untersuchungsstelle Nr. 1 durchaus noch eine deutlich bessere Habitateignung aufweisen, wie die aus Abb. 44 ersichtlichen Veränderungen des HSI an dieser Stelle zwischen den Abflüssen von 189 m³/s und 124 m³/s andeuten.

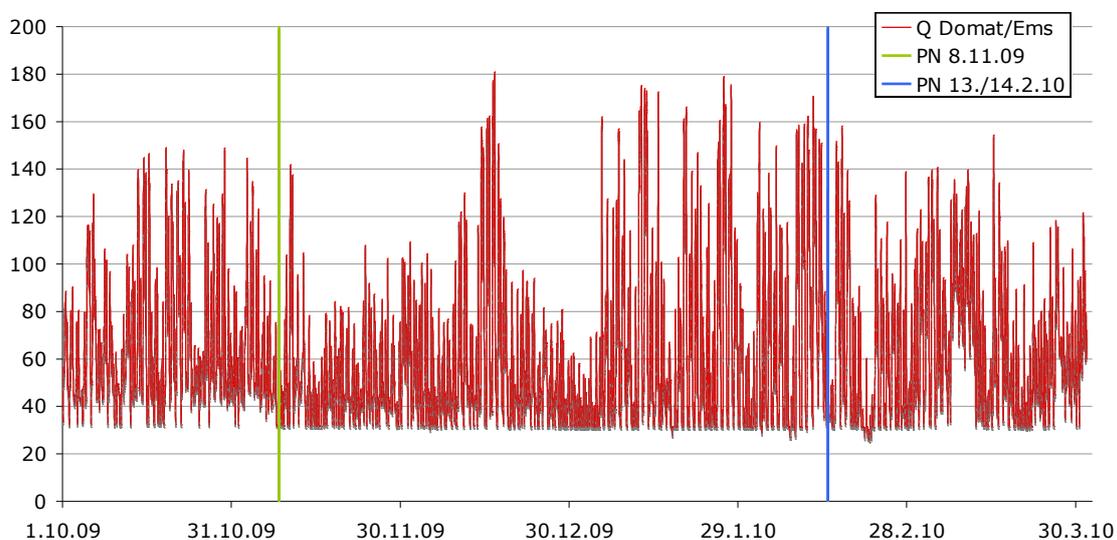


Abb. 46: Verlauf des Abflusses (Q in m³/s auf der Y-Achse) im Alpenrhein an der Messstelle Domat/Ems von Oktober 2009 bis März 2010 sowie Daten der biologischen Aufnahmen am 8.11.2009 durch Rey et al. (2011) und am 13./14.2.2010 im Rahmen der vorliegenden Untersuchung (Kapitel 5.3.2). Die Abflüsse bei Domat/Ems werden durch die Abteilung Hydrologie des Eidgenössischen Bundesamtes für Umwelt (BAFU) im Intervall von 10 Minuten gemessen. PN = Probenahme.

Für die Teststrecke Koblach wurden die Fuzzy-Mengen und -Regeln von den beiden anderen Teststrecken Mastrils und Buchs übernommen. In Koblach wurden im Rahmen des vorliegenden Projektes keine eigenen, punktuellen Aufnahmen durchgeführt (Kapitel 5.2), an denen die aus der Modellierung hervorgehenden Habitateignungen für diese Teststrecke (Abb. 45) überprüft werden könnten. Aus ARGE LIMNOLOGIE (2001) und REY et al. (2011) ist aber bekannt, dass die Flusssohle in der Internationalen Rheinstrecke, in der auch die Teststrecke Koblach liegt, heute nur einen geringen bis sehr geringen Makrozoobenthos-Bestand aufweist.

5.4.2 Modell-Output für die Schwall Szenarien

Um die Entwicklung der Habitateignungen für die Bachforelle (Kapitel 4) und das Makrozoobenthos nicht nur für den Ist-Zustand, sondern auch für gedachte Zustände mit vermindertem Schwallfluss modellieren zu können, wurden für das vorliegende Projekt verschiedene Anforderungsprofile definiert (Bericht zu Arbeitspaket 1). Es handelt sich dabei um Abflusszenarien mit zunehmender Dämpfung der Schwallamplitude (d.h. Erhöhung des Sunk- und Erniedrigung des Schwallabflusses), die auf den Vorgaben von SCHÄLCHLI et al (2003) beruhen. In Tab. 18 sind die Schwall- und Sunkabflüsse des Ist-Zustandes und aller vier Dämpfungsszenarien für die drei hydrologisch unterschiedenen Flussabschnitte den natürlichen Niedrigwasser-Abflüssen gegenübergestellt. Für letztere werden dabei jeweils jene zwei Abflussmengen angeführt, die im Alpenrhein vor dem Bau der Speicherkraftwerke natürlicherweise nur an wenigen Tagen im Hochwinter (Q_{347}) bzw. während etwas mehr als zweier Wintermonate (Q_{300}) unterschritten wurden. Diese Daten wurden von LIMNEX (2007a) aus Abflussmessungen im Alpenrhein zwischen 1910 und 1950 berechnet.

Beim Szenario AP 1 mit der schwächsten Schwalldämpfung liegen die Sunkabflüsse, ebenso wie im Ist-Zustand, noch im Bereich dieser natürlichen Niedrigwasser-Werte. Bei den stärker gedämpften Szenarien AP 2 bis AP 4 würde die Wasserführung im Alpenrhein dagegen auch bei Sunk deutlich bis stark über die natürlichen Werte ansteigen (vgl. Tab. 18).

Beim extremsten Szenario AP 4 wird der Schwall in den Teststrecken Mastrils und Buchs aufgehoben, die Abflussganglinie also völlig vergleichmässigt. In der Teststrecke Koblach verbleibt bei diesem Szenario einzig noch der Schwallfluss der Ill, der im Alpenrhein aber nur mehr zu täglichen Abflussschwankungen (inkl. des Basisabflusses im Rhein vor der Illmündung) zwischen $180 \text{ m}^3/\text{s}$ (bei Schwall in der Ill) und $133 \text{ m}^3/\text{s}$ (bei Sunk in der Ill) führen würde. Dies entspricht einem tiefen Schwall : Sunk-Verhältnis von 1.4 : 1; vgl. BAUMANN et al., 2012).

Tab. 18: Anforderungsprofile bzw. Abfluss-Szenarien mit den zugehörigen Schwall/Sunk-Verhältnissen sowie natürliche Kennwerte des Niedrigwasser-Abflusses für die drei hydrologisch unterschiedenen Abschnitte des Alpenrheins. Die Schwall- und Sunk-Abflüsse für den Ist-Zustand entsprechen den für das Habitatmodell Casimir gewählten Werten. Die Anforderungsprofile stammen aus dem Bericht zu Arbeitspaket 1 und die natürlichen Abfluss-Kennwerte aus Limnex (2007). Mit Ausnahme der Schwall/Sunk-Verhältnisse sind alle Werte in m^3/s angegeben. Die Werte für die drei Flussabschnitte stammen von unterschiedlichen Tagen und sind untereinander deshalb nicht direkt vergleichbar.

Ab-schnitt	Mess-station	Parameter	Natürl. Zustand	Ist-Zustand	Anforderungsprofile			
					AP 1	AP 2	AP 3	AP 4
Domat-Ems - Landquart	Domat/Ems	$Q_{Schwall}$	—	189	150	130	115	95
		Q_{Sunk}	—	27	30	60	74	95
		$Q_{Schwall} / Q_{Sunk}$	—	7.0 : 1	5.0 : 1	2.2 : 1	1.6 : 1	1.0 : 1
		Q_{347}	27	38	—	—	—	—
		Q_{300}	35	ca. 54	—	—	—	—
Landquart - Illmündung	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	$\leq 1.0 : 1$
		Q_{347}	34	50	—	—	—	—
		Q_{300}	45	—	—	—	—	—
Illmündung - Bodensee	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	—	—	—	—

Für das weitgehend bis vollständig vergleichmässigte Szenario AP 4 wurde auch eine zweite Variante aufgestellt und modelliert, welche sich aus einer unterschiedlichen Berechnung des winterlichen Wasserdargebotes ergab. Bei diesem zusätzlichen Szenario AP 4a wurde zudem auch eine günstigere Entwicklung der Kolmationsverhältnisse aufgrund der tieferen Maximalabflüsse berücksichtigt. Trotz dieser Veränderungen bei zwei Eingabegrößen ergab die Modellierung jedoch für die beiden Szenarien AP 4 und AP 4a nur geringe Differenzen bei den Flächenanteilen der verschiedenen Eignungsstufen. Im Folgenden werden daher nur die geringfügig schlechteren Werte von Szenario AP 4 dargestellt.

Wie sich die über den gesamten Schwall/Sunk-Zyklus bzw. Tagesverlauf integrierten Basiseignungen bei diesen Abflussszenarien entwickeln würden, ist für die drei Teststrecken in den Abb. 47 bis Abb. 49 dargestellt.

Es zeigt sich in allen drei Strecken erwartungsgemäß, dass mit zunehmender Schwalldämpfung die Anteile der mittleren bis sehr guten Eignungen zu- und jene der schlechten Eignungen deutlich abnehmen. In der Teststrecke Mastrils wird mit der vollständigen Vergleichmässigung des Abflusses bei Szenario AP 4 in den breiteren Abschnitten eine durchgehend mittlere bis gute Habitateignung über das ganze Querprofil erreicht. In den eingeeengten Abschnitten bleibt auch dann eine zentrale, tiefe Abflussrinne mit ungünstigen bis schlechten Lebensraumbedingungen bestehen (Abb. 47).

In der Teststrecke Buchs bleibt diese nur sehr eingeschränkt besiedelbare Rinne auch unter den Bedingungen von Szenario AP 4 ausgedehnter, erstreckt sie sich doch fast über die ganze untersuchte Länge und stellenweise auch fast über die ganze Flussbreite (Abb. 48). In der Teststrecke Koblach, wo wegen der monotonen Profilgeometrie keine eigentliche Tiefenrinne existiert und wo bei Szenario AP 4 aufgrund des weiterhin bestehenden Schwalles aus der III auch keine vollständige Vergleichsmässigung des Abflusses erreicht wird (siehe oben), verteilen sich die mittleren und schlechten Habitateignungen dagegen eher mosaikartig über die Teststrecke (Abb. 49).

Was schon für den Ist-Zustand festgestellt worden ist (Kapitel 5.4.1), gilt auch für die Anforderungsprofile bzw. Schwall Szenarien AP 1 bis AP 4: Innerhalb jedes Profils nehmen die mittleren bis sehr guten Habitateignungen an der gesamten Flusssohle von der morphologisch noch naturnahen Teststrecke Mastrils bis zur naturfernen Teststrecke Koblach ab und die schlechten Eignungen im gleichen Masse zu. So zeigen die Abb. 47 bis Abb. 49 beispielsweise, dass beim weitgehend bis vollständig gleichmässigten Szenario AP 4 in Mastrils schon recht ausgedehnte Bereiche, darunter v.a. flache Uferzonen und ein Großteil des ständig benetzten Seitengerinnes, eine maximale Habitateignung (HSI = 1.0) aufweisen. In Buchs beschränken sich diese Bereiche dagegen auf schmalere Streifen entlang der Ufer, und in Koblach sind gemäß den Casimir-Modellierungen auch bei Szenario AP 4 überhaupt noch keine Stellen mit HSI-Werten >0.65 , d.h. mit guten oder sehr guten Eignungen vorhanden.

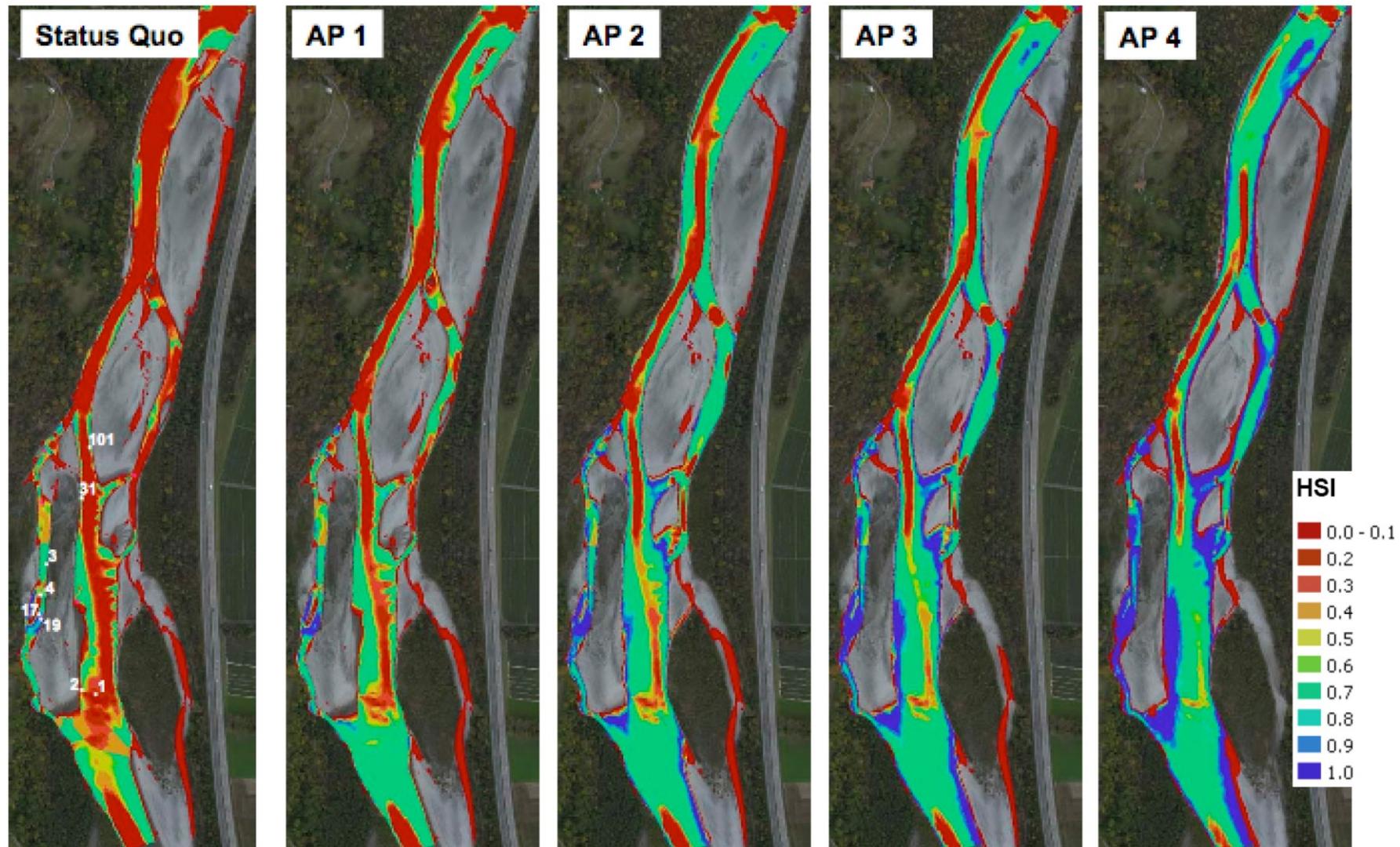


Abb. 47: Modellerte, integrierte Basiseignungen (Habitat suitability index, HSI) für das Makrozoobenthos im Ist-Zustand (Status Quo) und in den vier untersuchten Anforderungsprofilen bzw. Abflussszenarien mit zunehmender Schwalldämpfung von AP 1 bis AP 4 in der Teststrecke Mastrils. Einzelheiten siehe im Text.

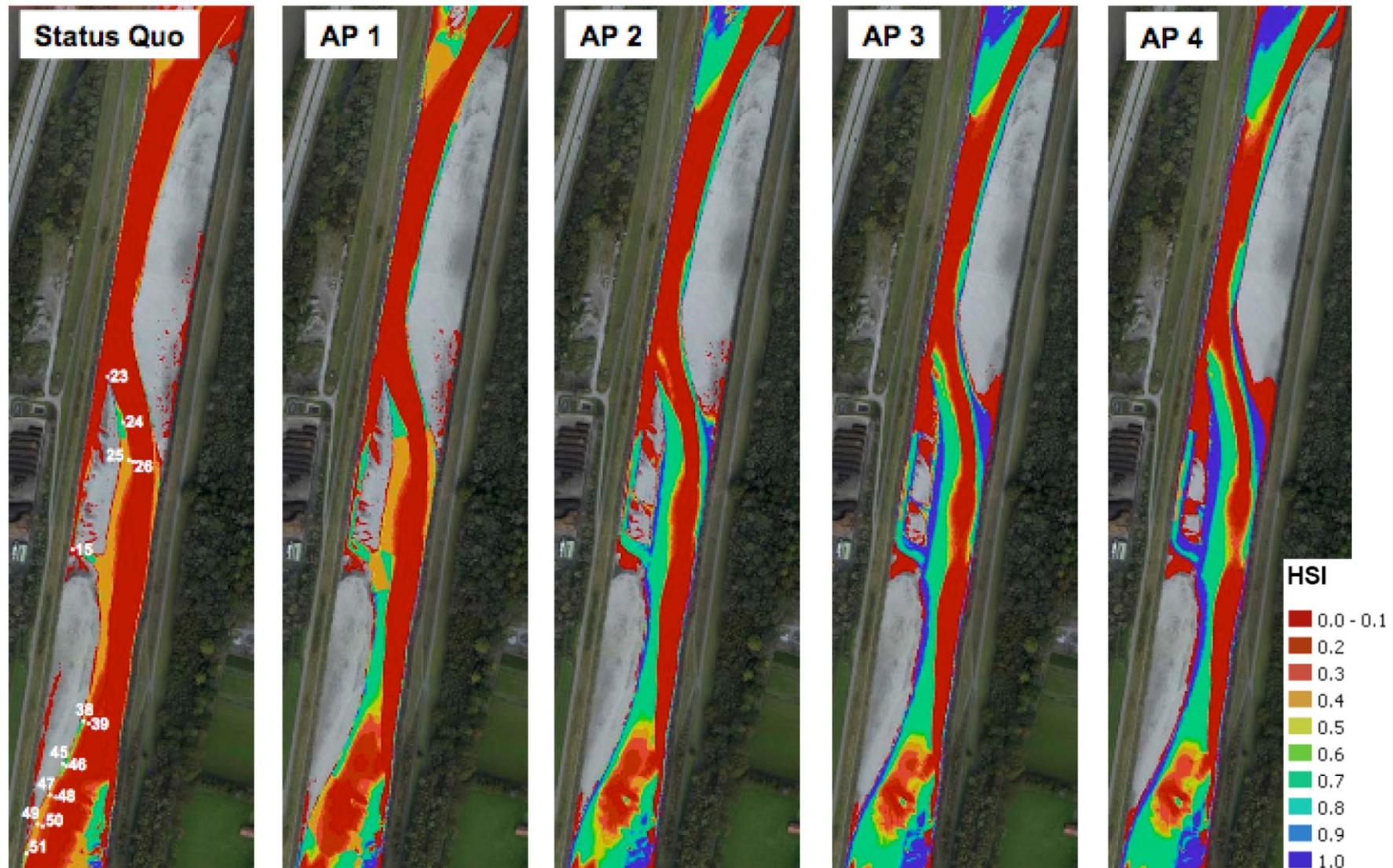


Abb. 48: Modellerte, integrierte Basiseignungen (Habitat suitability index, HSI) für das Makrozoobenthos im Ist-Zustand (Status Quo) und in den vier untersuchten Anforderungsprofilen bzw. Abflussszenarien mit zunehmender Schwalldämpfung von AP 1 bis AP 4 in der Teststrecke Buchs. Einzelheiten siehe im Text.

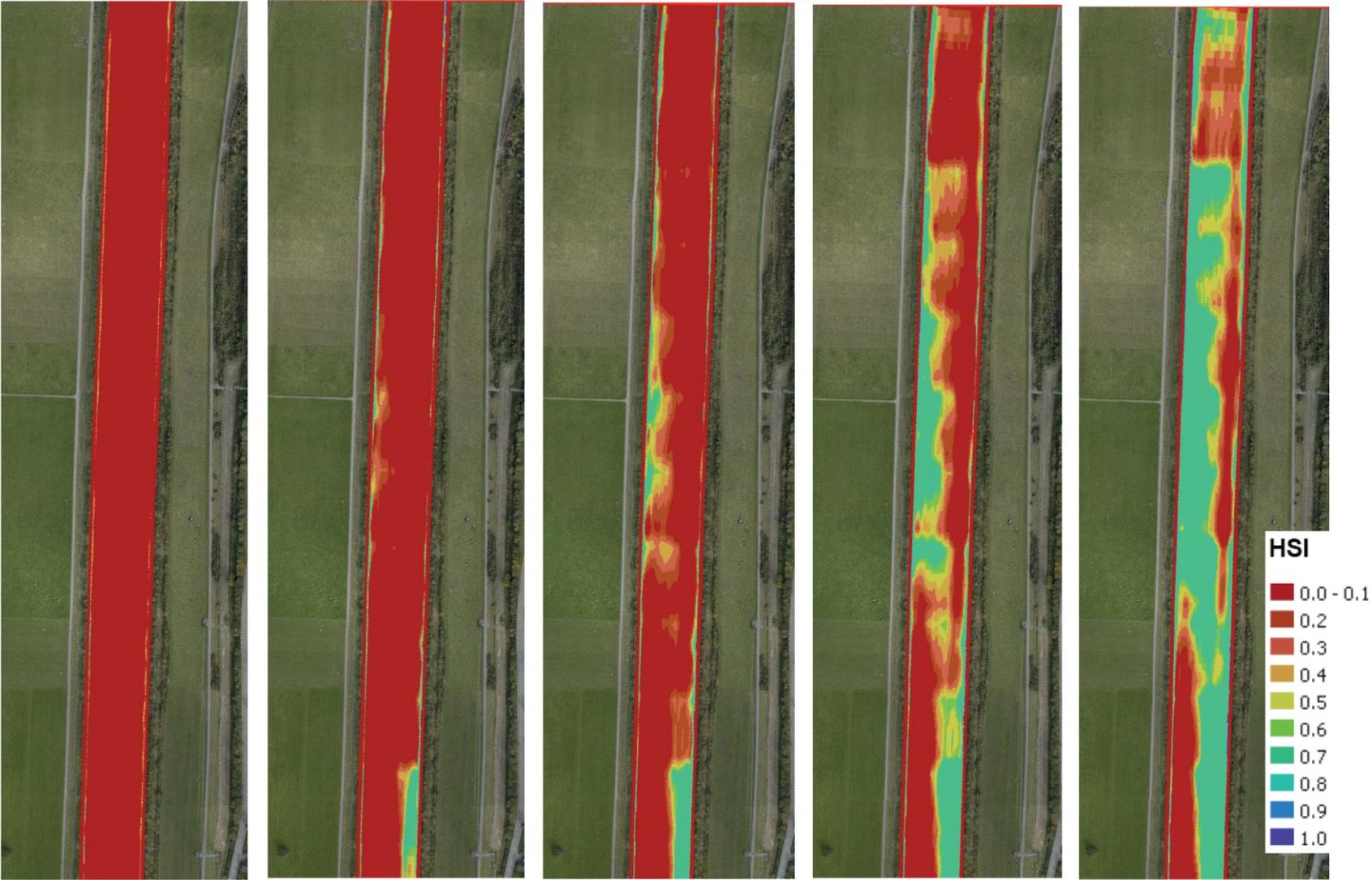


Abb. 49: Modellerte, integrierte Basiseignungen (Habitat suitability index, HSI) für das Makrozoobenthos im Ist-Zustand (Status Quo) und in den vier untersuchten Anforderungsprofilen bzw. Abflussszenarien mit zunehmender Schwalldämpfung von AP 1 bis AP 4 in der Teststrecke Koblach. Einzelheiten siehe im Text.

6 Sensitivitätsanalyse

6.1 Hintergrund

Gegenstand des vorliegenden Berichts sind Modellierungen der Habitateignungen für Gewässerorganismen in Abhängigkeit von morphologischen und hydraulischen Eingangsparametern. Um zu beurteilen, wie verlässlich die Modellergebnisse sind, ist es sinnvoll zu betrachten, wie empfindlich oder sensitiv die Ergebnisse auf Veränderung der Eingangsgrößen reagieren. Zu diesem Zweck wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. In einer derartigen Analyse wird der Einfluss von Inputfaktoren (einzeln oder gemeinsam) auf die Berechnung von Ergebnisgrößen untersucht. Eine gängige Methode ist, die Verwendung von variierten einzelnen Inputfaktoren und ein Vergleich der Ergebnisse mit dem Ergebnis des Standardinputs. Diese Methode wurde für die vorgestellten Habitatsimulationen angewendet.

6.1.1 Variation der Parameter Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit - Bodenfauna

Für den Vergleich der verschiedenen Anforderungsprofile (AP's) bzw. Schwall Szenarien waren besonders die Eingangsgrößen Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit interessant. Der Einfluss dieser Größen konnte zu Beginn der Untersuchungen nur aus Erfahrungswerten aus den Beprobungen, die bei Sunk stattgefunden hatten, abgeschätzt werden. Besonders die oberen Grenzbereiche, also hohe Wassertiefen und vor allem hohe Fließgeschwindigkeiten, ab denen die Bedingungen für die Besiedlung ungünstiger werden, wurden im Rahmen der Modellkalibrierung nach oben korrigiert (s.a. Arbeitspaket 2 Kap. 5). Da sich diese Größen außerdem in ihrer Ausprägung aber auch in den Spannweiten ihrer Veränderung in den verschiedenen Szenarien teilweise deutlich unterschieden, wurden also die Wassertiefe und die Fließgeschwindigkeit für die Sensitivitätsanalyse verwendet.

Dahingegen konnte der Einfluss des dominierenden Substrats zum einen durch den beteiligten Benthosexperten zuverlässig in die Anspruchsregeln integriert werden, zum anderen wurde die Substratverteilung in den verschiedenen APs unveränderlich angenommen, so dass sich eine Variation des Einflusses dieser Größe in allen Szenarien in gleicher Weise ausgewirkt hätte. Der Einfluss der inneren Kolmation auf die Benthosbesiedlung wurde vereinfachend über drei Eignungswerte direkt mit den in den Teststrecken flächendeckend berechneten Kolmationsstufen verknüpft (Arbeitspaket 2 Kapitel 5).

Dabei wurde bis zu einer vergleichsweise hohen Kolmationsstufe 9 keine Beeinträchtigung, zwischen den Stufen 10 und 12 eine mittlere Beeinträchtigung und erst ab Kolmationsstufe 13 eine starke Beeinträchtigung der Eignung definiert d.h. der Einfluss dieser Größe wurde „konservativ“ angesetzt und es war keine deutliche Beeinflussung der Modellergebnisse bei leichter Variation dieser Eingangsgröße zu erwarten.

Für die Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten, waren, wie erwähnt, hinsichtlich der Sensitivität vor allem die oberen Grenzen interessant, d.h. der Bereich der maximalen Fließgeschwindigkeiten und der Bereich der maximalen Wassertiefen, ab denen die Eignung sich reduziert. Es wird hier von Bereichen gesprochen, da es sich im Modellansatz um überlappende Fuzzy Mengen handelt. Um die Vorgehensweise zu verdeutlichen sind in der folgenden Abb. 50 die Fuzzymengen für die Referenzvariante (= die nach Kalibrierung verwendete Variante) und die Variante 4 dargestellt.

Im Regelwerk wurden „hohe“ Werte für Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten (H = High) noch als günstig bewertet, „sehr hohe“ Werte als ungünstig (VH = Very High). D.h. die Veränderung des Übergangsbereichs zwischen den Mengen „H“ und „VH“ wirkt sich auf die Modellergebnisse direkt aus. In der Referenzvariante (in Abb. 50 oben) gehören Wassertiefen von 1,5 m und Fließgeschwindigkeiten von 1,8 m/s noch zu 100% zur Menge „H“ (blaue Linie im Diagramm). Werte von 1,7 m und 2,2 m/s gehören hingegen bereits zu 100% zur Menge VH. In der Variante 4 gehören Wassertiefen von 1,0 m und eine Fließgeschwindigkeit von 1,7 m/s noch zu 100% zur Menge „H“, 1,2 m und 2,1 m/s bereits zu 100% zur Menge „VH“.

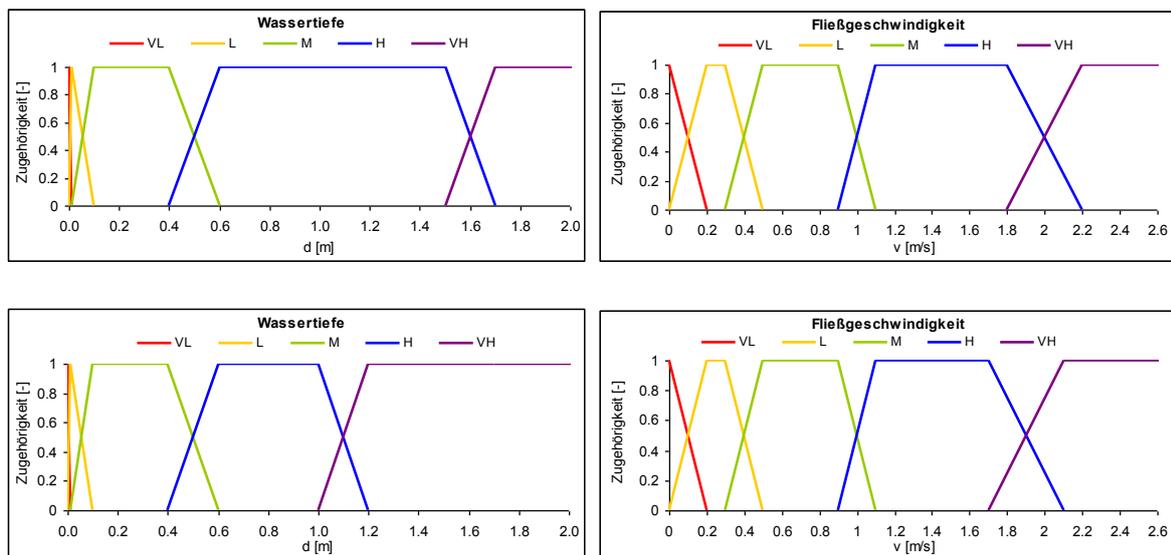


Abb. 50: Fuzzymengen für die Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten, Referenzvariante oben und Variante 4 unten (VL = Very Low, L = Low, M = Medium, H = High, VH = Very High)

Aus der Darstellung der Ergebnisse in Abb. 51 für die verschiedenen Varianten lässt sich ablesen, dass die Ergebnisse weit sensitiver auf eine Änderung der Eingabedaten für die Fließgeschwindigkeit reagieren als für die Wassertiefe. Die Änderung der Obergrenze für die Menge H (also die „hohen“ Wassertiefen) um 0,5 m zwischen Variante 4 und 5 ist kaum sichtbar. Dagegen bewirkt eine Änderung der Obergrenze für die Menge H für die Fließgeschwindigkeiten (also die „hohen“ Fließgeschwindigkeiten) um 0,1 m/s zwischen Variante 4 und der Referenzvariante deutlich stärkere Veränderungen in der Eignungsverteilung. 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. Nach dem Vergleich mit den Benthosproben (teilweise in der Abbildung für den Referenzzustand dargestellt) und deren Besiedlungsdichten wurde ein Wert von 1,8 m/s gewählt. In Zonen, in denen eine Fließgeschwindigkeit dieser Größenordnung kurzzeitig während des Schwallmaximums auftritt, scheint dies noch toleriert zu werden. Bei höheren Fließgeschwindigkeiten (größer als 2,0 m/s) nimmt die Eignung dann rapide ab.

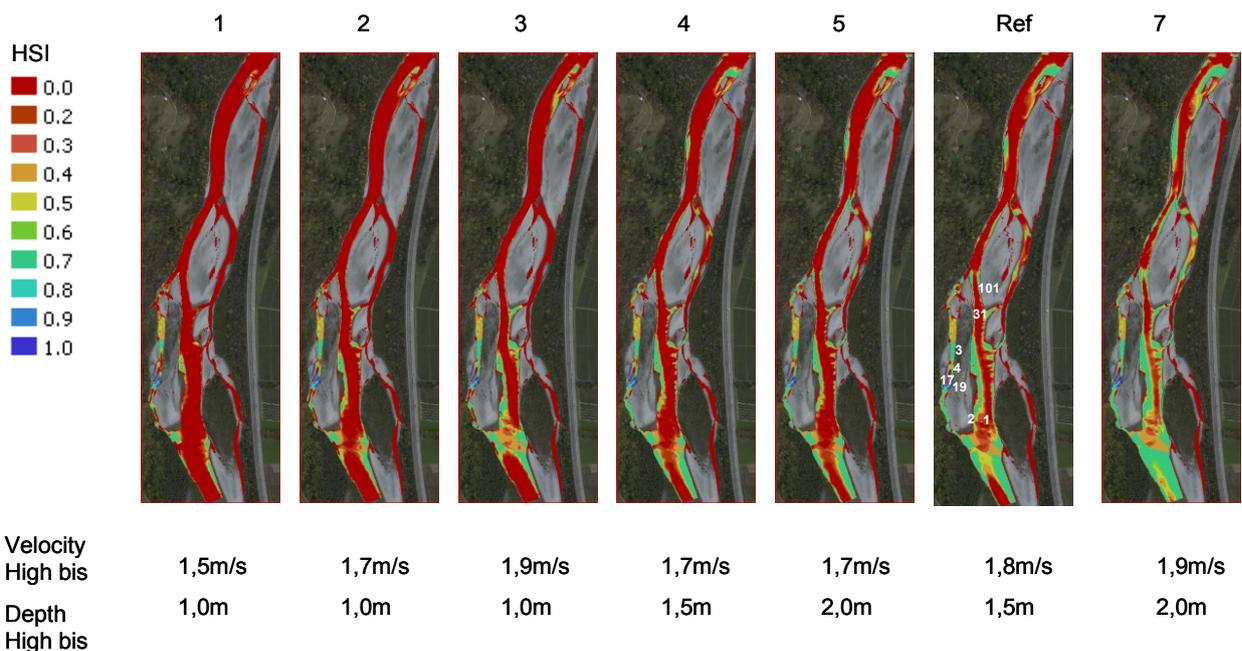


Abb. 51: Verteilung der integrierten Habitateignungen HSI für das Makrozoobenthos, bei Variation der Inputdaten. Es wurden jeweils die Obergrenzen der Mengen „hohe“ Fließgeschwindigkeit und „hohe“ Wassertiefe variiert.

6.1.2 Strandungsrisiko Jungfische: Variation des Parameters Sunkgeschwindigkeit

Bei den Jungfischen und der Ermittlung des Strandungsrisikos spielt die Wasserspiegel-Sunkgeschwindigkeit in Kombination mit morphologischen Kenngrößen eine wichtige Rolle. Die Kolmation wird in diesem Zusammenhang als weniger relevant angesehen und nicht berücksichtigt.

Das dominierende Substrat hat insofern einen Einfluss, als Unterstände das Strandungsrisiko eher erhöhen. Dies wurde aber über die Berücksichtigung von Covertypen berücksichtigt. Eine Variation ist hier wenig sinnvoll, da die Covertypen keine ordinale, also skalierbare Größe darstellen.

Für die Sunkgeschwindigkeit bestehen aus Untersuchungen in Norwegen (SALTVEIT et al., 2001; HALLERAKER et al., 2003) Anhaltswerte, ab denen bei Jungfischen erhöhte Raten von gestrandeten Individuen beobachtet wurden (vgl. Kapitel 4.4.3.1. Arbeitspaket 2). Es wird dort ein Grenzwert von 12 cm/h angegeben, ab dem eine Verschärfung des Risikos durch Trockenfallen eintrat. Der Bereich um 12 cm/h wurde deshalb auch in den Expertenregeln bzw. den zugehörigen Fuzzymengen als Übergangsbereich von eher unkritischer zu kritischer Sunkgeschwindigkeit definiert.

Für die Überprüfung der Sensitivität des Modelles gegenüber diesem Parameter wurde in einer Kontrollberechnung dieser Grenzwert von eher unkritischer zu kritischer Sunkgeschwindigkeit einerseits auf 6 cm/h halbiert bzw. auf 24 cm/h verdoppelt. Bei dieser für eine Sensitivitätsanalyse ungewöhnlich starken Variation dieses Parameters um 50% bzw. 200% verändern sich die modellierten Bereiche mit Strandungsrisiko. Bei einer kritischen Sunkgeschwindigkeit von 6 cm/h, erhöht sich das potentielle Strandungsrisiko beim in Abb. 52 dargestellten Abfluss ($49 \text{ m}^3/\text{s}$) vor allem in den ufernahen Flachzonen. Dieser Abfluss ist kritisch, weil bei dieser Verringerung des Abflusses in der abfallenden Ganglinie relativ viele der an den Hauptstrom angrenzenden Flächen hohe Risiken aufweisen. 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 unter der Bedingung, dass auch die anderen Parameter eine Gefährdung verursachen. 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 werden nicht als potentielle Gefährdung ausgewiesen).

Bei Erhöhung des Grenzwertes auf 24 cm/h weisen nur mehr die bei Sunk trockenfallenden Seitenarme ein hohes Strandungsrisiko auf (Abb. 52). Insgesamt zeigt dieser Vergleich, dass das Modell Änderungen dieses Gefährdungsfaktors im Strandungsrisiko gut abbildet.

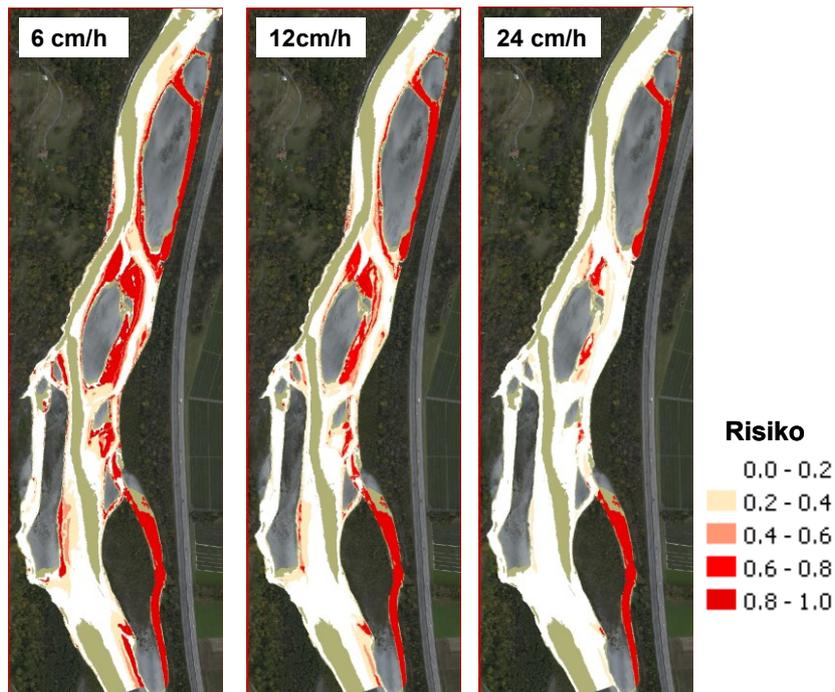


Abb. 52: Integriertes Strandungsrisiko Jungfische bei unterschiedlichen Grenzwerten (6 cm/h, 12 cm/h und 24 cm/h) der kritischen Sunkgeschwindigkeit (Bemerkung: Bereiche, in denen die Basiseignung $< 0,3$ berechnet wurde, sind in graugrün gekennzeichnet. Dort wurde kein Risiko berechnet, da nicht davon ausgegangen wird, dass Jungfische in diesen Zonen Bereiche in größerer Zahl anzutreffen sind). Darstellung für einen Abfluss von $49 \text{ m}^3/\text{s}$.

Aufgrund der verwendeten Methodik relativieren sich diese Unterschiede in der Darstellung der effektiven Lebensraumeignung etwas, da hier das Strandungsrisiko bei einem bestimmten Abfluss von der bei diesem Abfluss vorhandenen Basiseignung abgezogen wird und damit eine Resteignung bestehen bleibt. Abb. 53 zeigt diese effektive Lebensraumeignung für den hinsichtlich des Strandens eher kritischen Abfluss ($49 \text{ m}^3/\text{s}$, siehe oben). Bei einer kritischen Sunkgeschwindigkeit von 6 cm/h reduziert sich die „Effektive Lebensraumeignung $> 0,5$ “ um 3.139 m^2 auf 17.683 m^2 gegenüber 20.822 m^2 bei 12 cm/h. Bei einer kritischen Sunkgeschwindigkeit von 24 cm/h erhöht sich „Effektive Lebensraumeignung $> 0,5$ “ auf 23.089 m^2 . Bei der Halbierung des Grenzwertes von 12 cm/h auf 6 cm/h ergibt sich eine Abnahme der Fläche des „Effektiven Lebensraumes“ um 15%.

Bei Erhöhung des Grenzwertes der kritischen Sunkgeschwindigkeit auf 24 cm/h nimmt die Fläche um ca. 11%, im Vergleich zur Fläche der „Effektiven Lebensraumeignung $> 0,5$ “ bei 12 cm/h, zu. Diese Ergebnisse belegen die Robustheit des Modellierungsansatzes gegenüber allfälligen Unsicherheiten bezüglich des Grenzwertes "unkritische zu kritische Sunkrückgangsgeschwindigkeit".

Bei der im Arbeitspaket 5 verwendeten Methodik zur Ermittlung der „Effektiven Lebensraumeignung“ bei Jungfischen über die Tagesganglinie (minimale Effektive Eignung pro Zelle über die gesamte Ganglinie vgl. Arbeitspaket 2 und Kap. 3) werden die Unterschiede weiter ausgeglichen.

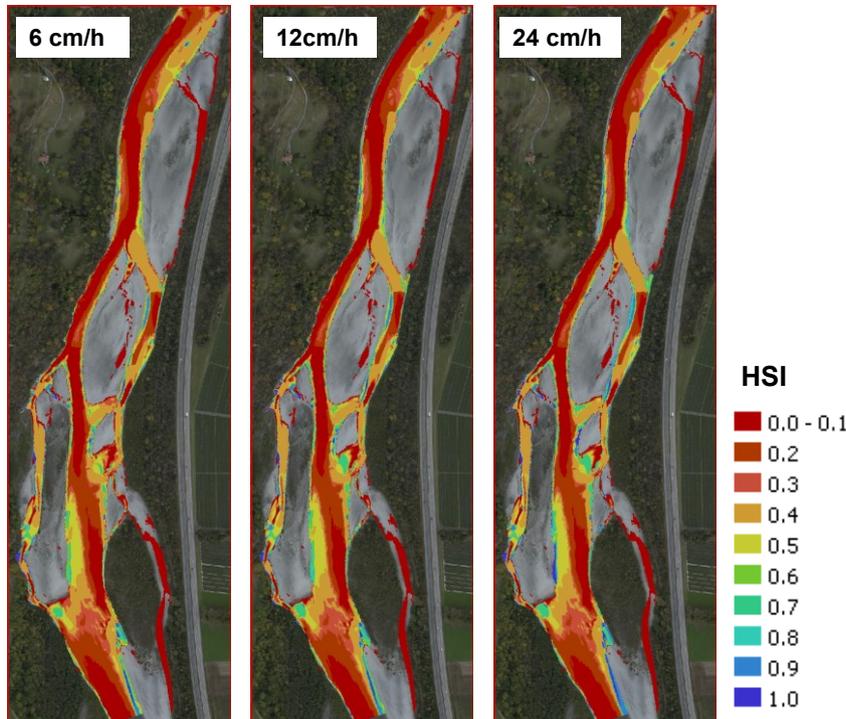


Abb. 53: Effektive Lebensraumeignung Jungfische (um das Strandrungsrisiko reduzierte Eignung) bei einem Abfluss von $49 \text{ m}^3/\text{s}$ (Bemerkung: die effektive Lebensraumeignung kann nicht integriert werden, da sich die Basiseignung für Jungfische mit dem Abfluss ständig verändert. So ist z.B. eine Schotterbank bei einem niedrigen Abfluss für Jungfische evtl. geeignet, bei einem erhöhten Abfluss aber zu tief und zu schnellfließend um noch als Jungfischhabitat zu dienen)

Insgesamt zeigt dieser Vergleich, 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. Auf Grund der verwendeten Kombination vieler Parameter und der Einbindung ökologischen Wissens sind die Ergebnisse des Modells von allen Parametern beeinflusst und kein Ergebnis eines Einzelparameters.

Gesamt 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 der untersuchten kritischen Parameter festzustellen.

7 Wirksamkeit bedeutender Habitats bei den einzelnen Anforderungsprofilen

Im Zuge der Modellierung und Analyse der Schwall Szenarien mit der aktuellen Morphologie zeigt sich sehr deutlich, dass in den naturnahen Mastrilser Auen bei identem Schwall Szenario wesentlich bessere ökologische Verhältnisse vorliegen als in den regulierten Strecken Buchs und Koblach. Dabei kristallisieren sich einige besonders wirksame Gewässerelemente (permanent dotierte Seitenarme, Flachwasserbereiche entlang bestimmter Kiesbänke) 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. Von großer Bedeutung ist das z.B. für die Bewertung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für juvenile Forellen, aber auch für andere Arten. Da juvenile Fische – im Gegensatz zu den Laichplätzen – mobil sind, können sie im Fall eines Schwall ereignisses ohne großen Energieaufwand in ein besser geeignetes, Schutz bietendes Mikrohabitat wechseln. Ermöglicht wird dies durch die kleinräumige Anhäufung geeigneter Habitats in diesen „funktionellen Einheiten“. Die jeweilige Gewässermorphologie entscheidet sehr stark über das Ausmaß und die Art der Schwall auswirkung auf den jeweiligen Gewässerabschnitt (LIMNEX, 2004; SCHWEIZER et al., 2009 und KUENZLI, 2005).

Um die Wirksamkeit morphologischer Verbesserungsmaßnahmen bei unterschiedlichen Schwall Szenarien quantifizieren zu können, erfolgt eine detaillierte Analyse der vorhandenen Gewässerstrukturen in Mastrils. Dadurch soll der effektive Lebensraum ermittelt werden, den die einzelnen naturnahen Strukturelemente wie z. B. Seitenarme oder Flachwasserbereiche entlang von Kiesbänken bei einzelnen Schwall Szenarien als Reproduktionsareal, für Jungfische und die Bodenfauna bieten.

Dadurch kann festgestellt werden, welche Lebensraumgüte die einzelnen Strukturelemente pro Fläche als Reproduktionsareal, für Jungfische und die Bodenfauna bei unterschiedlichen Schwall Szenarien bieten. Daraus lässt sich in weiterer Folge der Flächenbedarf an einzelnen Strukturelementen berechnen, der erforderlich ist, um in den Strecken Buchs und Koblach eine gewisse Lebensraumgüte zu erreichen.

7.1 Wirksamkeit bedeutender Habitate in Hinsicht auf die „Effektive Lebensraumeignung Reproduktion“ im Abschnitt Mastrils

Der Anschaulichkeit halber wird jeweils ein typisches Detailbeispiel pro Habitat dargestellt. Die zugrundeliegenden Tabellen der einzelnen Habitate sind dem Anhang Kap. 10.2 beigefügt. In weiterer Folge werden die einzelnen Mesohabitate pro Anforderungsprofil zusammengefasst und auf Hektar-Werte standardisiert dargestellt, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Details zur Methodik sind Arbeitspaket 2 zu entnehmen.

7.1.1 Permanente Seitenarme

Unter permanent dotierten Seitenarmen sind im Normalfall parallel zum Hauptarm fließende kleinere Flussarme zu verstehen, welche auch bei niedriger Wasserführung dotiert werden.

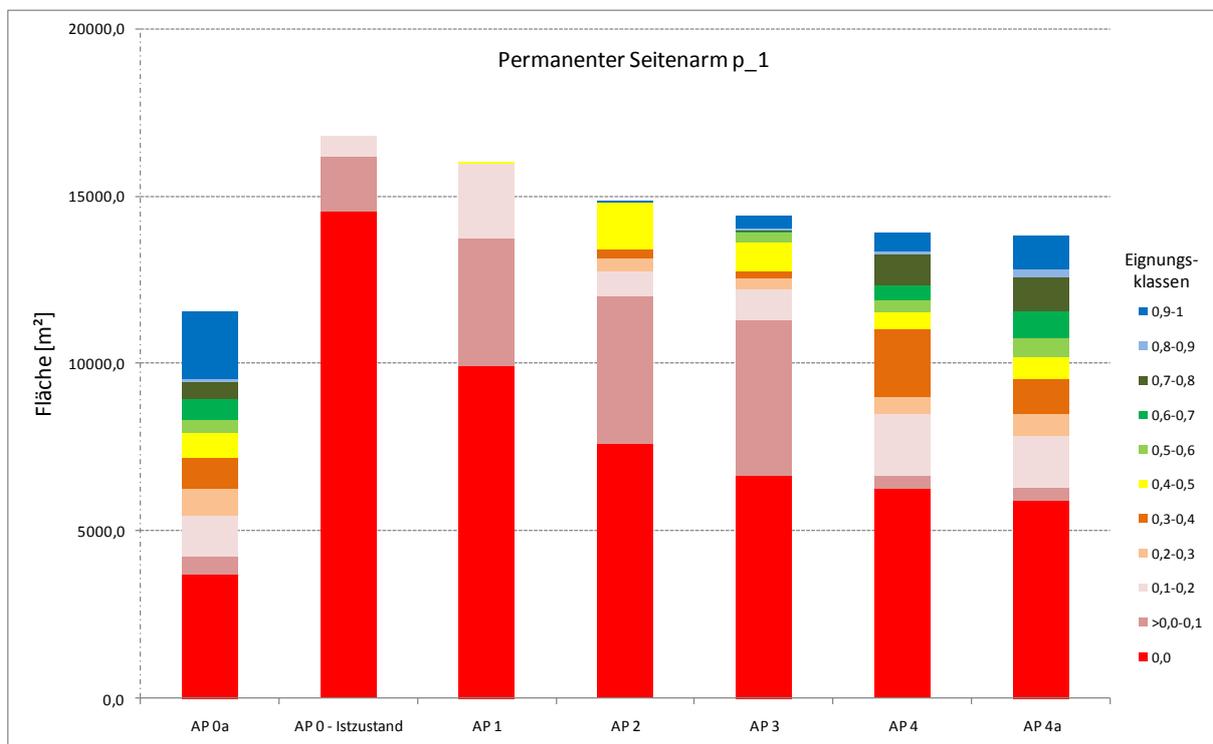


Abb. 54: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanenten Seitenarm p_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Im ursprünglichen Naturzustand wies der Alpenrhein eine große Bandbreite an unterschiedlichen Habitaten im Wasser und an Land auf. Im ehemals breiten Gewässerbett konnten sich Kiesbänke und Verzweigungen entsprechend der Flusssdynamik frei entwickeln, das Gewässerbett verfügte über eine hohe Breiten- und Tiefenvariabilität. Im Seitenarm selbst lagen noch Kolke, Flachwasserzonen mit unterschiedlichster Fließgeschwindigkeit und Rinner als Teilhabitate vor. Das dargestellte Beispiel eines permanent dotierten Seitenarms im Abschnitt Mastrils zeigt deutlich, dass sich mit zunehmendem Anforderungsprofil auch die Eignung als Laichhabitat steigert (Abb. 54).

Betrachtet man die standardisierte Auswertung der „Effektiven Lebensraumeignung – Reproduktion“ der permanent dotierten Seitenarme im Abschnitt Mastrils (Mittelwert aus 2 permanenten Seitenarmen) wird die oben getroffene Aussage bestätigt (Abb. 55 und Tab. 19).



Abb. 55: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

In Anforderungsprofil 0 und 1 verfügen permanente Seitenarme über keine geeigneten Laichhabitate, Anforderungsprofil 2 verfügt über eine „Effektive Lebensraumeignung“ von 101 m² pro Hektar. In Anforderungsprofil 3 kommt es zu einer Steigerung der geeignete Flächen auf 436 m²/ha.

Anforderungsprofile ohne kraftwerksbedingte Wasserstandschwankungen verfügen mit 1.111 m²/ha (AP 4) bzw. 1.859 m²/ha (AP 4a) schon über beträchtliche Flächen, welche für eine erfolgreiche Reproduktion geeignet wären. Im unbeeinflussten Referenzzustand beträgt der „Effektive Lebensraum“ für die Vermehrung 3.755 m²/ha permanent dotierten Seitenarm.

Tab. 19: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	2549,2	7140,7	5438,6	5699,4	5303,6	4660,1	4313,9
>0,0-0,1	520,9	2479,8	3533,9	2823,6	2556,1	322,6	244,8
0,1-0,2	893,2	320,0	958,7	443,1	924,6	1483,0	1002,2
0,2-0,3	670,8	8,9	11,4	177,9	220,8	267,2	529,1
0,3-0,4	883,8	13,1	15,3	142,3	160,7	1935,0	1540,5
0,4-0,5	726,9	37,5	42,1	612,6	398,6	221,1	510,7
0,5-0,6	384,5	0,0	0,0	71,6	238,6	168,3	356,9
0,6-0,7	610,7	0,0	0,0	2,0	27,1	209,6	421,9
0,7-0,8	679,1	0,0	0,0	1,7	27,8	462,9	569,0
0,8-0,9	199,2	0,0	0,0	2,6	17,9	52,9	105,3
0,9-1	1881,8	0,0	0,0	23,3	124,3	217,1	405,7
Fläche [m ²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

7.1.2 Temporäre Seitenarme

Im Gegensatz zu den permanent dotierten Seitenarmen sind temporäre Arme nur zeitweise dotiert, zumeist erst ab höherem Mittel- oder Hochwasser bzw. bei Schwallbetrieb. Während des Sunkabflusses werden diese Seitenarme hydraulisch vom Hauptarm abgetrennt und können während des Auftretens längerer Sunkphasen (z. B. an Feiertagen oder am Wochenende) trockenfallen. Temporäre Seitenarme können bei anderen Anforderungsprofilen durchaus permanente Seitenarme sein. Für die Auswertung wurden nur jene Seitenarme herangezogen, welche im Ist-Zustand teilweise oder ganz trockenfallen. Temporäre Seitenarme stellen aufgrund ihrer Funktion als Fischfallen und der Austrocknungsgefahr grundsätzlich keine wertvollen Habitate dar. Es gibt auch in natürlichen Flusssystemen temporär dotierte Seitenarme, diese weisen jedoch nicht die Periodizität des Trockenfallens auf wie jene in Schwallstrecken.

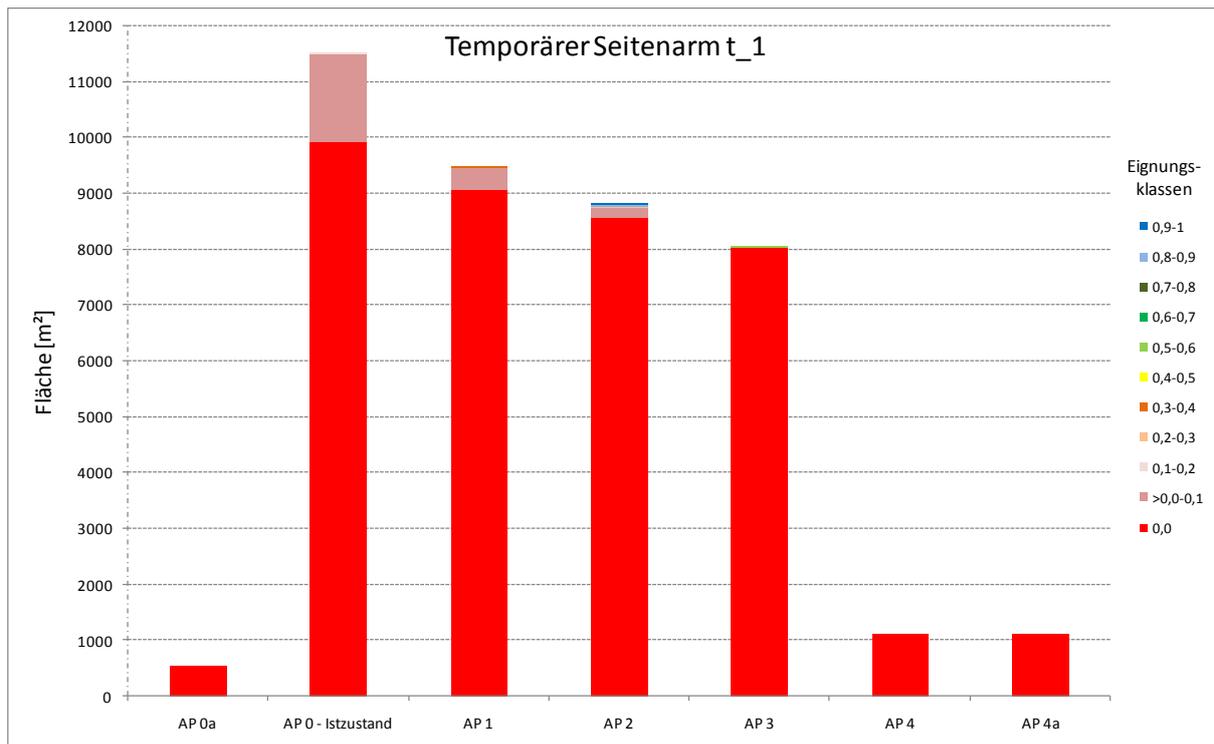


Abb. 56: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporären Seitenarm t_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Als typisches Beispiel für einen temporär dotierten Seitenarm wird Seitenarm t_1 dargestellt (Abb. 56). Über alle Anforderungsprofile hinweg werden diesem Typ nur sehr geringe Eignungen für die Reproduktion ausgewiesen. Die wasserbenetzte und damit die potentiell zur Verfügung stehende Fläche ist in den Anforderungsprofilen 0a, 4 und 4a äußerst gering.

Die Auswertung aller temporären Seitenarmen (basierend auf Anforderungsprofil 0) zeigt auf, dass in den Anforderungsprofilen 0 bis 2 im Grunde keine Reproduktionsareale vorhanden sind, bei denen von einer erfolgreichen Reproduktion ausgegangen werden kann (Abb. 57 und Tab. 20). Die relativ guten Eignungen der Anforderungsprofile 0a, 3, 4 und 4a beruhen auf der Tatsache, dass die temporären Seitenarme in diesen Anforderungsprofilen eigentlich zu permanenten Seitenarme werden. Der Wert des Referenzzustands (AP 0a) beruht im Grunde genommen auf nur einem Bereich, alle anderen Seitenarme existieren in diesem Anforderungsprofil nicht. Generell werden jedoch die „Effektiven Lebensraumeignungen“ der permanenten Seitenarme nicht erreicht.

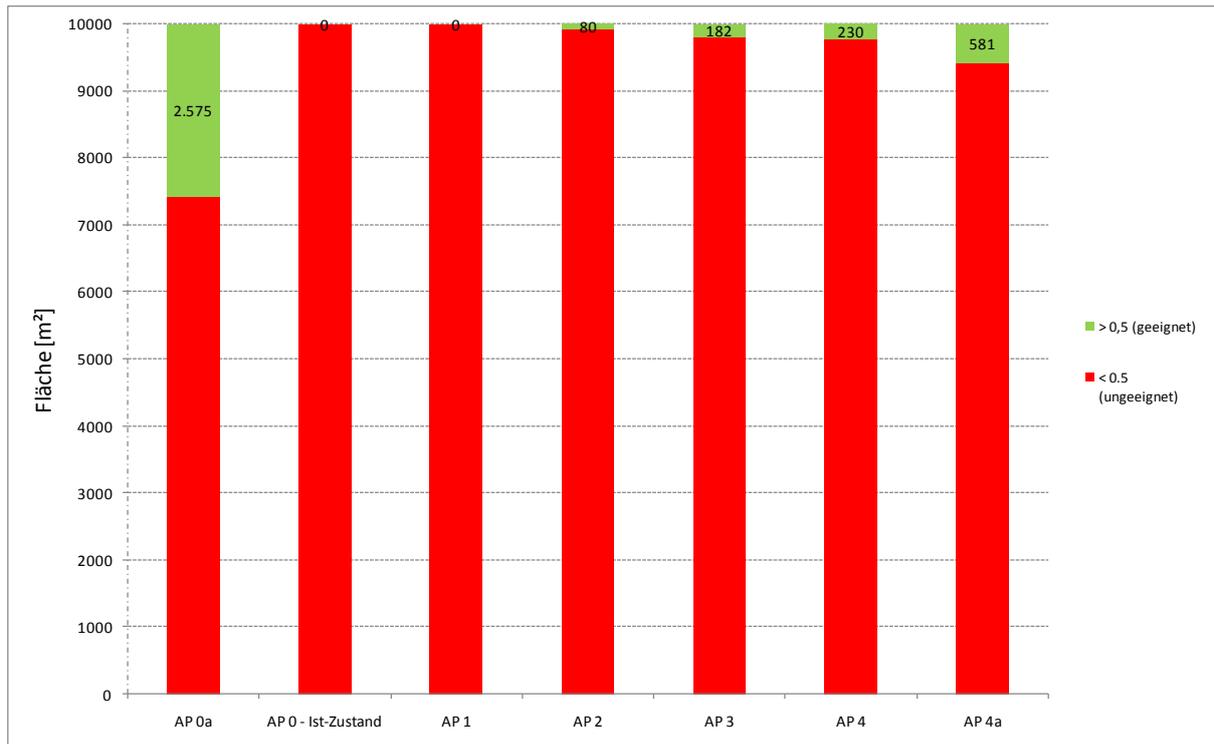


Abb. 57: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Tab. 20: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	3535,7	8070,1	8285,6	8792,3	8746,0	7250,9	7065,0
>0,0-0,1	355,5	1920,1	1652,1	981,8	819,8	188,6	215,3
0,1-0,2	1336,3	9,9	52,2	70,9	185,4	1361,9	1145,5
0,2-0,3	829,4	0,0	1,9	16,9	23,3	123,0	219,5
0,3-0,4	713,6	0,0	3,1	19,3	20,4	750,1	648,5
0,4-0,5	654,7	0,0	5,1	38,6	23,1	95,0	124,9
0,5-0,6	368,2	0,0	0,0	52,7	138,7	41,3	89,1
0,6-0,7	332,8	0,0	0,0	2,7	3,9	38,3	99,6
0,7-0,8	1117,8	0,0	0,0	3,5	3,0	88,1	215,4
0,8-0,9	106,8	0,0	0,0	2,8	3,4	11,5	14,5
0,9-1	649,3	0,0	0,0	18,5	33,0	51,2	162,6
Fläche [m²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

7.1.3 Kiesbänke

Im Naturzustand des Alpenrheins war die Ausformung der Kiesbänke äußerst vielfältig und umfasste flache und steile Kiesbankbereiche mit unterschiedlichsten Ausprägungen (Vegetationslose Schotterbänke, bewachsene Schotterbänke, usw.). Schotterbänke stellen in der Regel äußerst wertvolle Habitate für die Tier- und Pflanzenwelt dar und sind sowohl für den terrestrischen als auch den aquatischen Lebensraum von immenser Bedeutung. Aufgrund der Methodik bei der Ausweisung der Habitate ergab sich, dass sich die Furten im Wesentlichen auf die flussmittigen Bereiche beschränken (vgl. Kap. 7.1.4). Die interessanten und wertvollen ufernahen Bereiche wurden größtenteils den Kiesbänken zugerechnet.

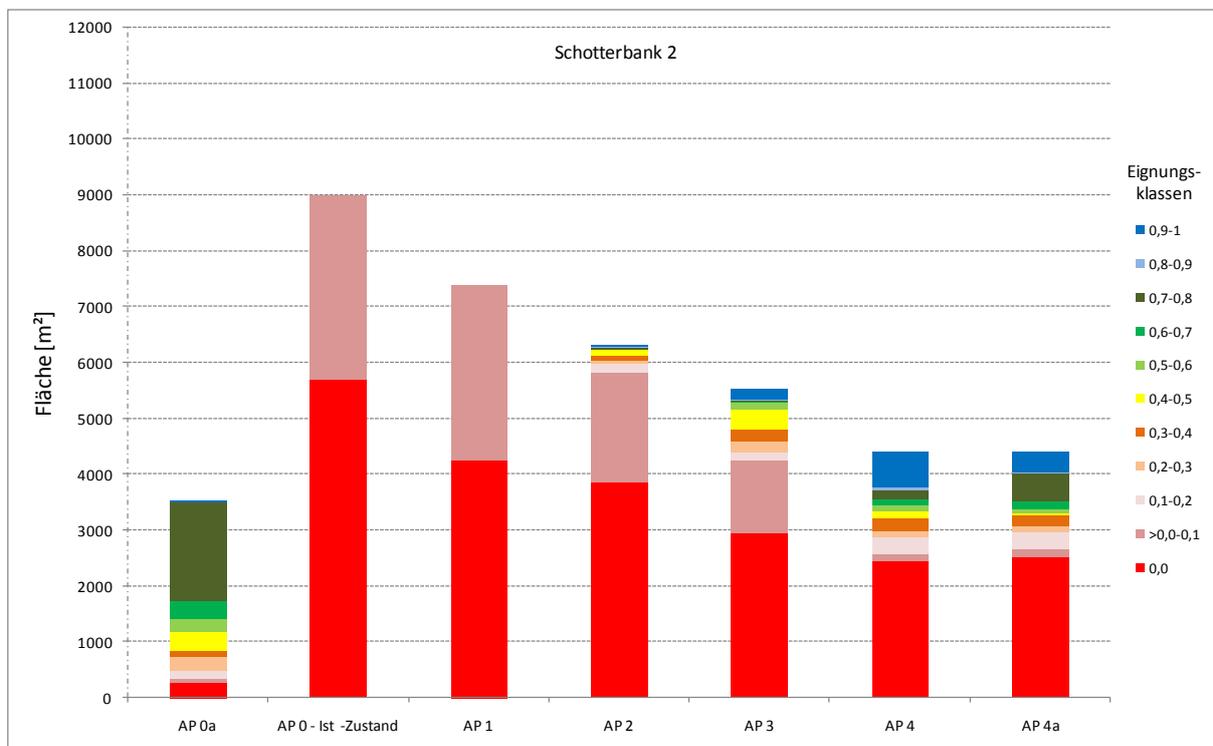


Abb. 58: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank 2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

In Abb. 58 ist die Verteilung der einzelnen Eignungsklassen für Schotterbank 2 dargestellt. Wie in den Fallbeispielen davor gibt es ab Anforderungsprofil 2 einzelne Bereiche entlang der Schotterbänke, welche über geeignete Habitate für die Naturverlaichung verfügen. Bei der Analyse aller 6 betrachteten Schotterbänke sticht der Referenzzustand mit 6.344 m²/ha an potentiell verfügbaren Laichplätzen deutlich hervor (Abb. 59 und Tab. 21).

Anforderungsprofil 4 und 4a verfügen mit 1.677 m²/ha bzw. 2.145 m²/ha auch über beträchtliche Areale, bei denen mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit von einer erfolgreichen Reproduktion auszugehen ist.

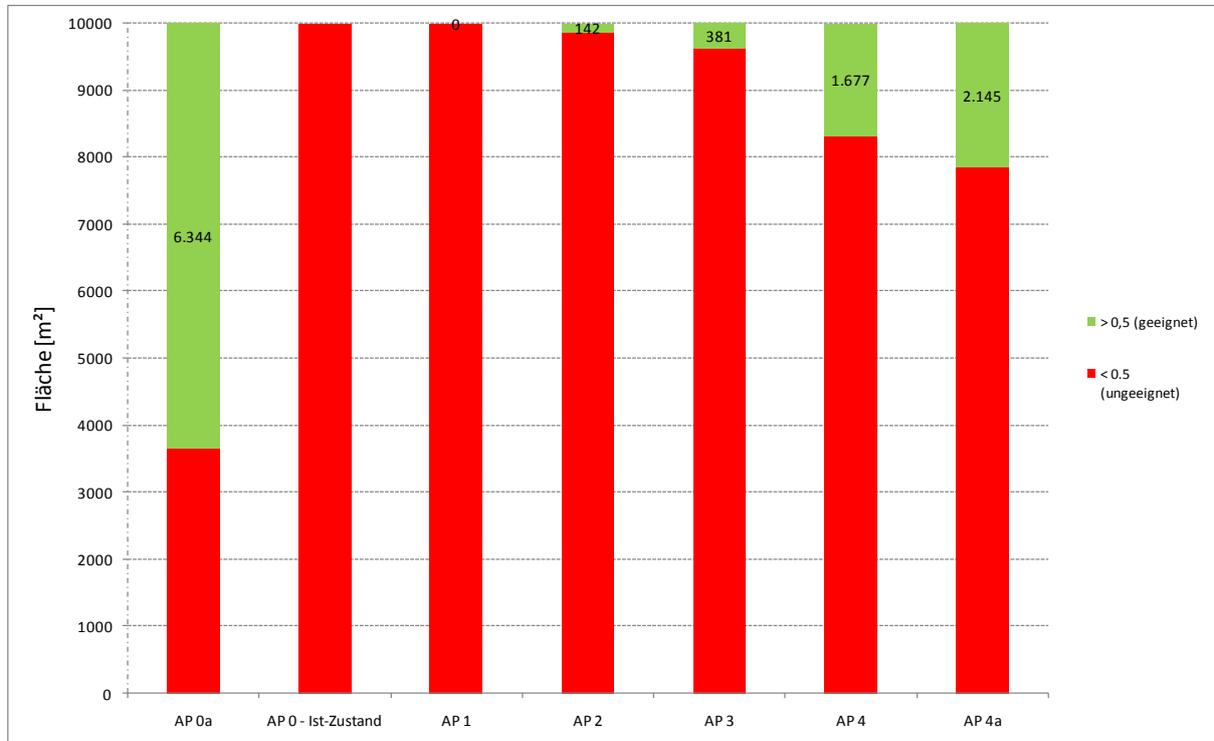


Abb. 59: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbänke pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Tab. 21: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	1083,0	7830,5	5819,9	5946,6	5993,8	5763,7	5483,8
>0,0-0,1	179,5	2132,1	3667,5	2483,5	2232,7	215,5	286,8
0,1-0,2	549,0	37,4	487,0	585,2	330,9	1015,9	712,3
0,2-0,3	538,1	0,0	6,9	137,6	189,1	355,8	436,3
0,3-0,4	502,8	0,0	3,5	118,7	195,4	770,3	543,3
0,4-0,5	803,9	0,0	15,1	586,3	677,2	201,4	393,0
0,5-0,6	522,2	0,0	0,0	61,7	223,3	156,1	270,7
0,6-0,7	1383,9	0,0	0,0	13,4	15,4	231,5	490,7
0,7-0,8	2672,5	0,0	0,0	8,0	13,0	523,9	684,7
0,8-0,9	81,1	0,0	0,0	12,1	11,9	104,8	32,2
0,9-1	1684,0	0,0	0,0	47,0	117,3	660,9	666,2
Fläche [m²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

7.1.4 Furten

Generell werden Furtbereiche als gute bis sehr gute Habitate für die Reproduktion von Forellen angesehen. Aufgrund der Methodik bei der Ausweisung der Habitate ergab sich, dass sich die Furten im Wesentlichen auf die flussmittigen Bereiche beschränken. Die interessanten und wertvollen Bereiche wurden den Schotterbänken zugerechnet. Dadurch scheinen die Furtbereiche in der Auswertung schlechter auf als es sich in Realität darstellt. Anhand Fallbeispiel Furt_1 (Abb. 60) wird ersichtlich, wie sich die Gesamtfläche der Furt je Anforderungsprofil (Abfluss) durch die Ausdehnung der angrenzenden Schotterbänke verändert. Nur äußerst geringe Anteile an der Gesamtfläche sind als Reproduktionsstätte geeignet.

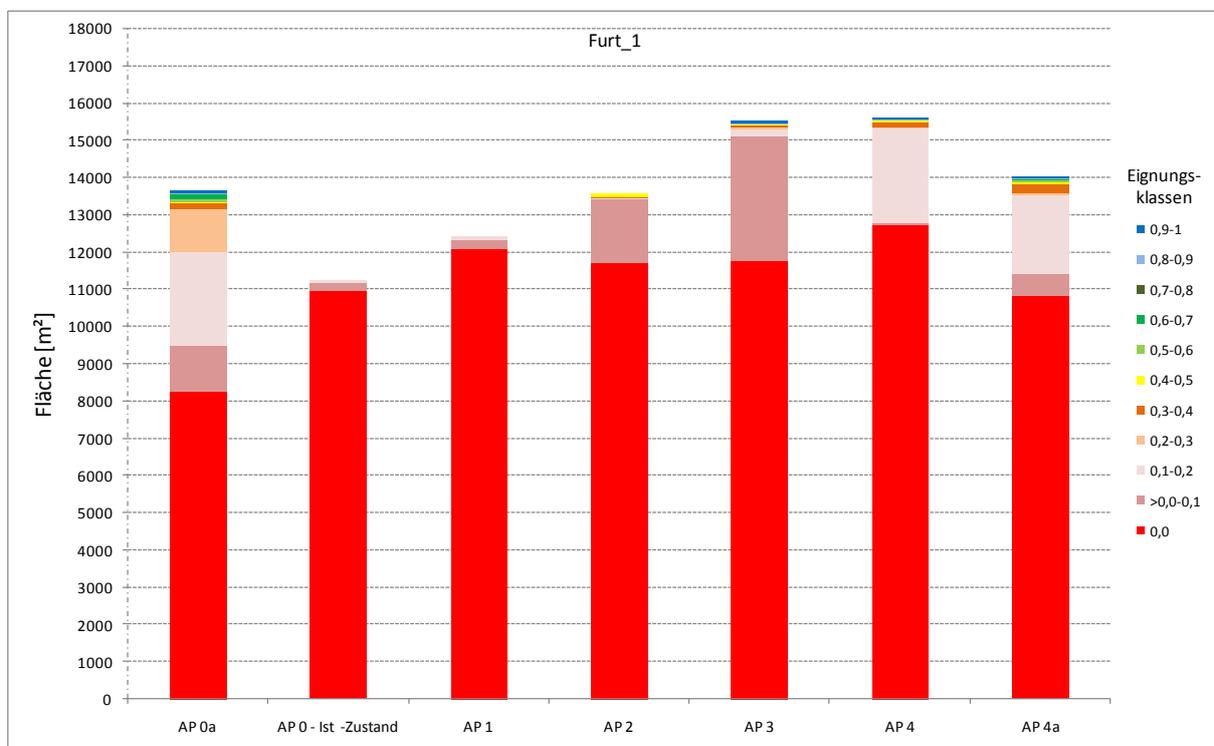


Abb. 60: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt 1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Dasselbe Bild zeigt sich auch bei der Analyse aller drei definierten Furtbereiche (Abb. 61 und Tab. 22). Die Auswertung der Eignungen der Furtbereiche beschränkt sich auf den Hauptarm, sie sind daher als nicht repräsentativ anzusehen. Durch die hauptsächliche Verortung in der Flussmitte weisen die Furten entsprechend geringe Eignungen auf.

Furtbereiche in Nebenarmen, welche den Seitenarmen zugerechnet wurden, weisen im Gegensatz dazu hohe „Effektive Eignungen“ als Reproduktionsareale auf.

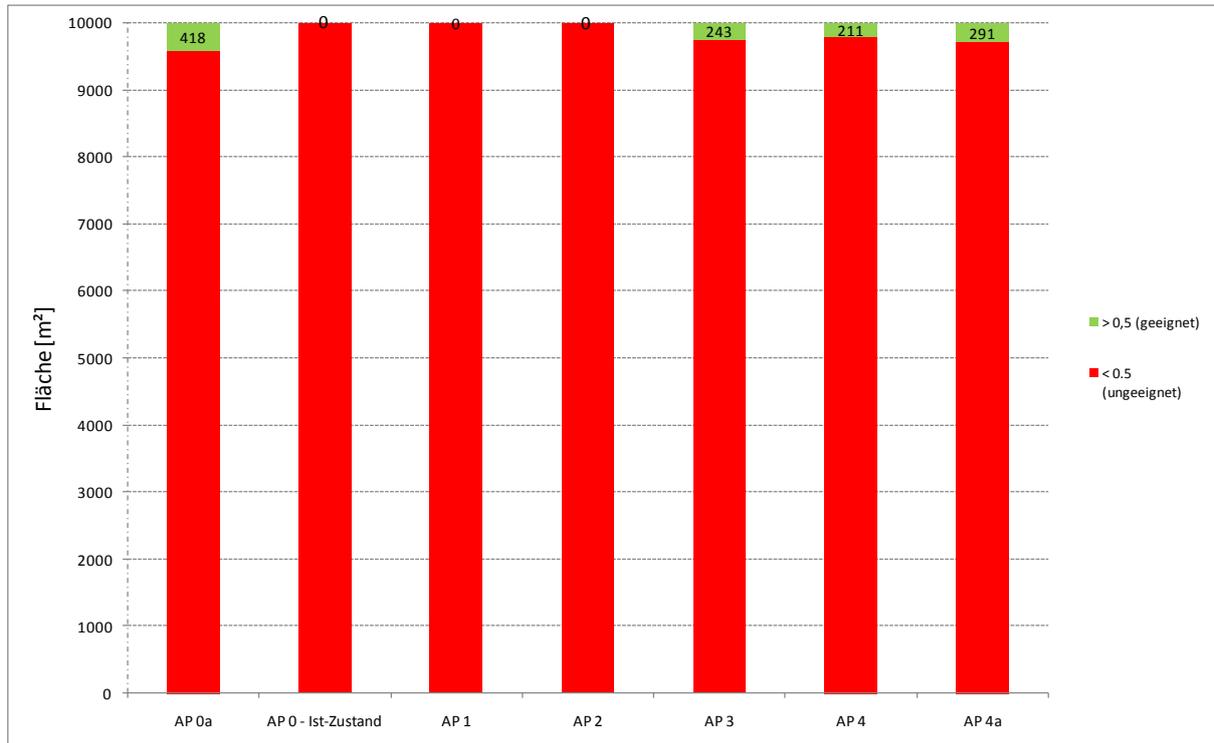


Abb. 61: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Tab. 22: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	5988,6	9097,4	9181,8	8565,0	7408,0	7243,2	7152,9
>0,0-0,1	665,1	874,7	780,2	1350,7	2099,6	274,8	282,5
0,1-0,2	2082,8	27,8	38,0	39,6	127,5	1896,4	1881,1
0,2-0,3	531,0	0,0	0,0	3,5	28,7	76,8	70,1
0,3-0,4	116,7	0,0	0,0	2,7	64,4	217,9	246,8
0,4-0,5	197,5	0,0	0,0	38,5	28,5	79,3	75,6
0,5-0,6	72,2	0,0	0,0	0,0	223,0	104,1	67,5
0,6-0,7	85,8	0,0	0,0	0,0	1,9	12,7	33,8
0,7-0,8	234,4	0,0	0,0	0,0	3,8	85,0	173,8
0,8-0,9	4,2	0,0	0,0	0,0	1,3	3,0	4,6
0,9-1	21,7	0,0	0,0	0,0	13,3	6,6	11,2
Fläche [m²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

7.2 Wirksamkeit bedeutender Habitats in Hinsicht auf die „Effektive Lebensraumeignung Stranden“ im Abschnitt Mastrils

Die zugrundeliegenden Tabellen der einzelnen Habitats sind dem Anhang Kap. 10 beigelegt.

7.2.1 Permanente Seitenarme

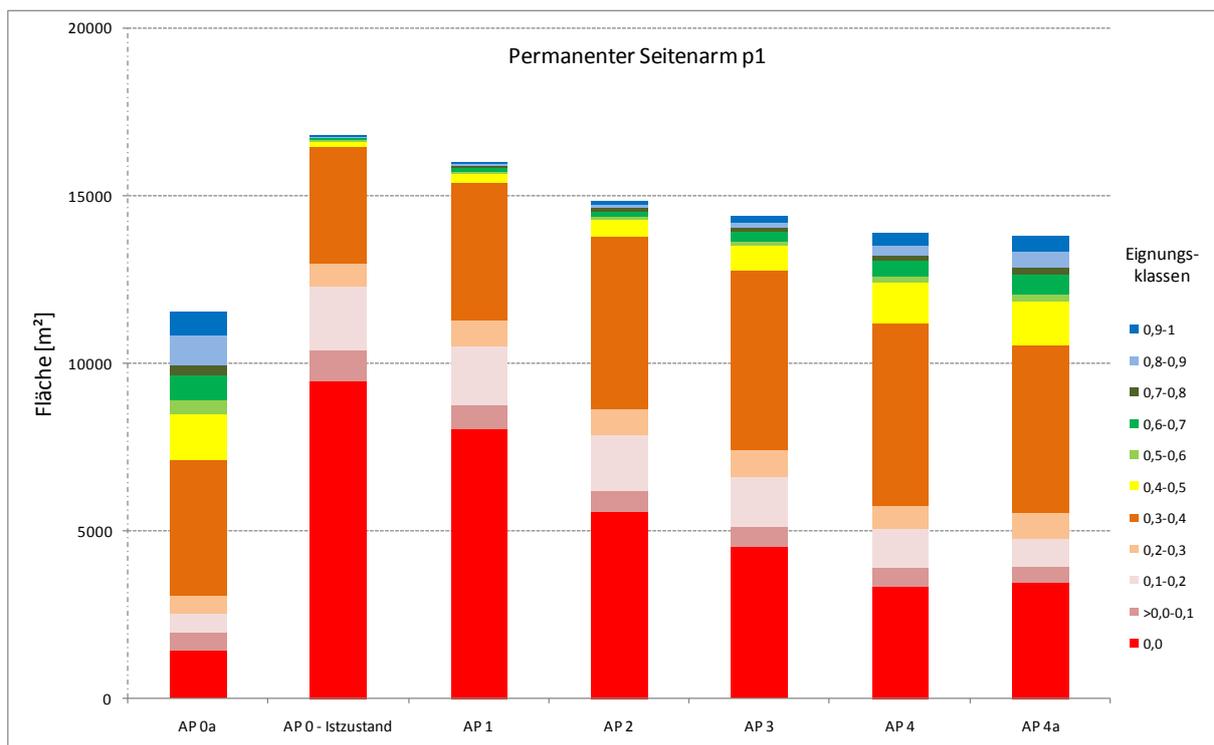


Abb. 62: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanenten Seitenarm p_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Am Beispiel von Seitenarm p_1 ist in Abb. 62 die „Effektive Lebensraumeignung Stranden“ je Anforderungsprofil dargestellt. Grundsätzlich gibt es in allen Anforderungsprofilen Flächen mit Lebensraumeignung, diese sind jedoch im Istzustand sowie im Anforderungsprofil 1 verschwindend gering. Da im Referenzzustand sowie in AP 4 und AP 4a die Strandungsgefahr nicht gegeben ist, sind hier dementsprechend mehr Flächen zu finden, die als Lebensraum für Jungfische geeignet sind.

Abb. 63 zeigt die „Effektive Lebensraumeignung“ standardisiert für zwei permanente Seitenarme im Abschnitt Mastrils.

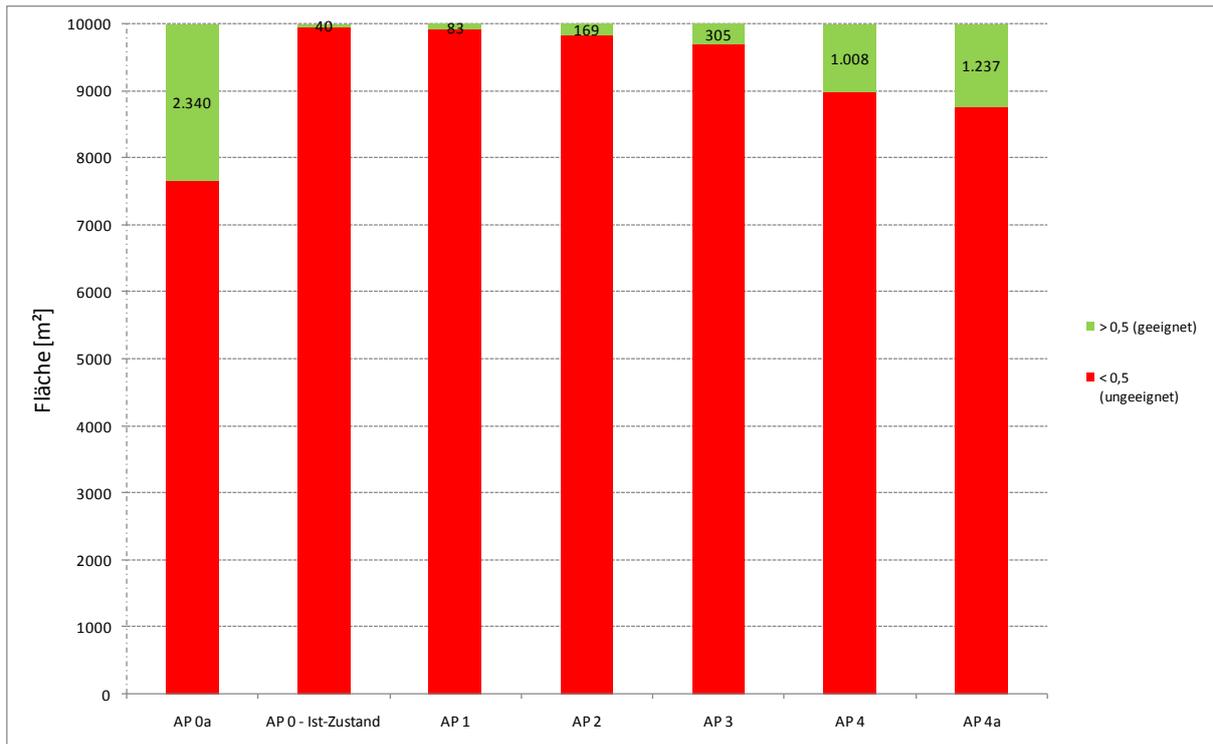


Abb. 63: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Wie beim Beispiels-Seitenarm p_1 bereits dargestellt, weisen der Referenzzustand sowie die Anforderungsprofile 4 und 4a die meisten Flächen mit „Effektiver Lebensraumeignung“ für Jungfische auf. In AP 3 werden noch 305 m²/ha an geeigneter Fläche ausgewiesen und in AP 2 sind es 169 m²/ha. Die als Lebensraum für Jungfische geeignete Fläche in AP 1 sowie im Ist-Zustand (AP 0) ist vernachlässigbar gering (Abb. 63, Tab. 23).

Tab. 23: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	763,5	8227,6	7744,0	5634,5	4618,2	2510,3	2609,2
>0,0-0,1	389,1	250,0	354,0	709,6	618,7	683,9	419,4
0,1-0,2	668,7	474,8	509,6	1183,9	1105,0	1045,8	959,4
0,2-0,3	583,8	159,1	206,6	411,5	603,0	546,6	461,3
0,3-0,4	4178,7	816,2	1040,4	1756,0	2479,5	3523,2	3595,9
0,4-0,5	1076,3	32,3	62,6	135,0	270,5	682,6	718,2
0,5-0,6	357,8	10,7	18,8	37,9	57,1	124,5	141,4
0,6-0,7	593,3	15,3	26,9	49,5	111,5	308,6	376,4
0,7-0,8	241,0	5,4	12,6	24,3	30,4	92,0	100,0
0,8-0,9	684,4	4,6	13,1	25,6	55,6	360,2	452,1
0,9-1	463,5	4,0	11,5	32,3	50,5	122,3	166,6
Fläche [m ²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

7.2.2 Temporäre Seitenarme

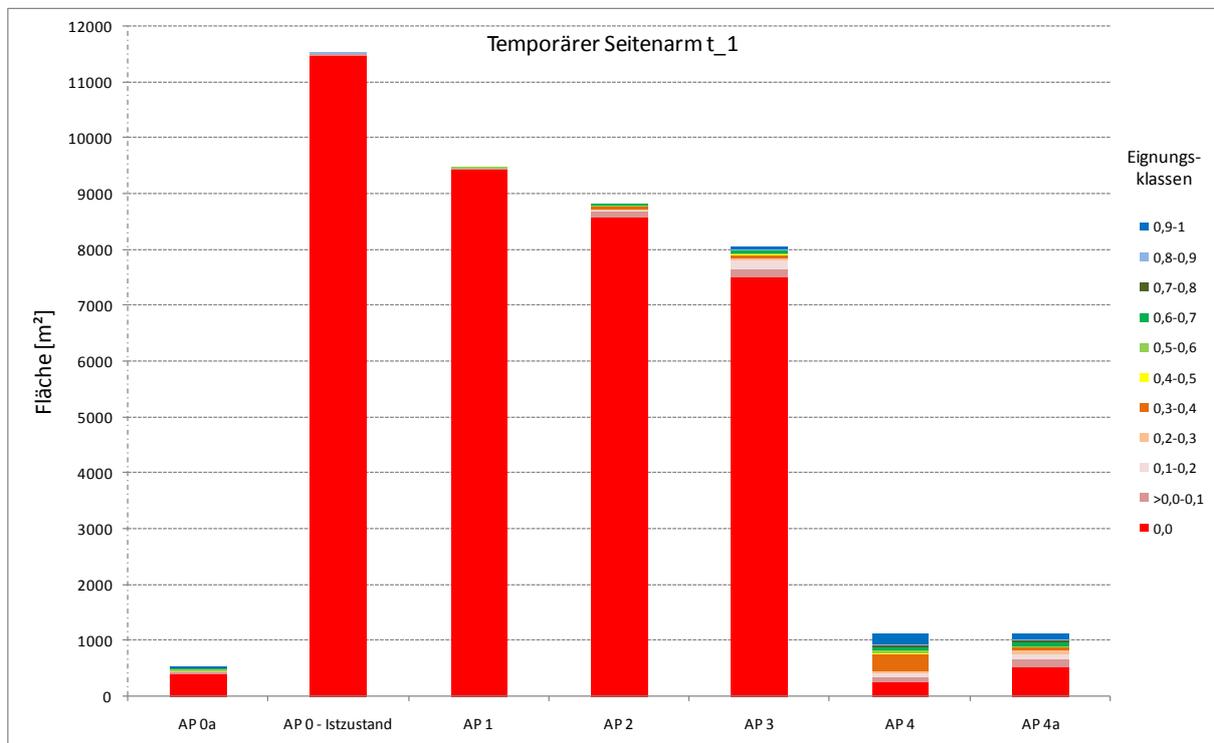


Abb. 64: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporären Seitenarm t_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

In Abb. 64 ist ein typisches Beispiel für einen temporär dotierten Seitenarm (Seitenarm t_1) dargestellt. Im Referenzzustand wird praktisch keine „Effektive Lebensraumeignung“ für Jungfische ausgewiesen, die benetzte Fläche ist hier auch am geringsten. Von AP 1 bis AP 3 verringert sich zwar die benetzte Fläche, die als Lebensraum für Jungfische geeignete Fläche steigt gleichzeitig jedoch etwas an. In den Anforderungsprofilen 0a, 4 und 4a ist die wasserbenetzte und damit die potentiell zur Verfügung stehende Fläche äußerst gering.

Die Auswertung aller temporären Seitenarmen (basierend auf Anforderungsprofil 0) zeigt, dass in den Anforderungsprofilen 0 bis 2 im Grunde kein geeigneter Lebensraum für Jungfische vorhanden ist (Abb. 65 und Tab. 24). Der Referenzzustand AP 0a weist 1.857 m² an geeignetem Lebensraum pro Hektar auf, im Anforderungsprofil 4 werden 2.713 m²/ha an geeignetem Lebensraum ausgewiesen und im AP 4a sind es 2.483 m²/ha. Die vergleichsweise relativ gute Lebensraumeignung des Referenzzustands (AP 0a) sowie der Anforderungsprofile 4 und 4a beruht auf der Tatsache, dass die temporären Seitenarme in diesen Anforderungsprofilen sich im Grunde genommen in permanent durchströmte Seitenarme verwandeln.

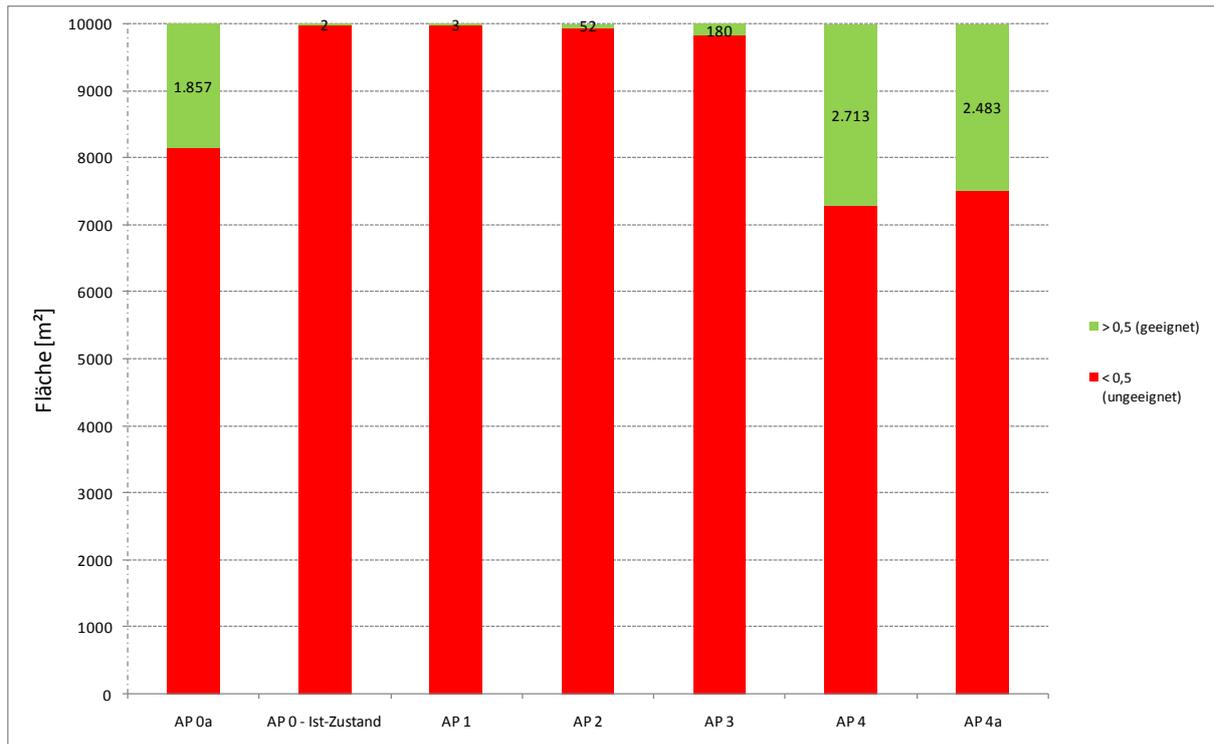


Abb. 65: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Tab. 24: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	1390,0	9772,2	9571,7	8369,3	7430,7	2123,0	3457,5
>0,0-0,1	218,3	87,4	161,1	390,7	403,3	424,5	393,9
0,1-0,2	292,1	112,3	206,8	572,0	685,0	1115,7	631,3
0,2-0,3	240,2	3,4	22,3	230,1	369,9	609,4	557,7
0,3-0,4	4191,1	21,9	32,1	344,9	838,4	2455,6	1956,9
0,4-0,5	1811,6	0,7	3,3	41,2	93,0	558,5	520,1
0,5-0,6	222,2	0,0	0,3	15,0	36,7	244,6	210,7
0,6-0,7	737,5	0,0	0,6	13,2	51,1	671,9	761,8
0,7-0,8	164,7	1,5	0,0	4,9	24,8	119,6	148,0
0,8-0,9	629,0	0,7	1,8	17,8	35,3	1292,3	1095,1
0,9-1	103,3	0,0	0,2	1,0	31,8	384,8	267,1
Fläche [m²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

7.2.3 Kiesbänke

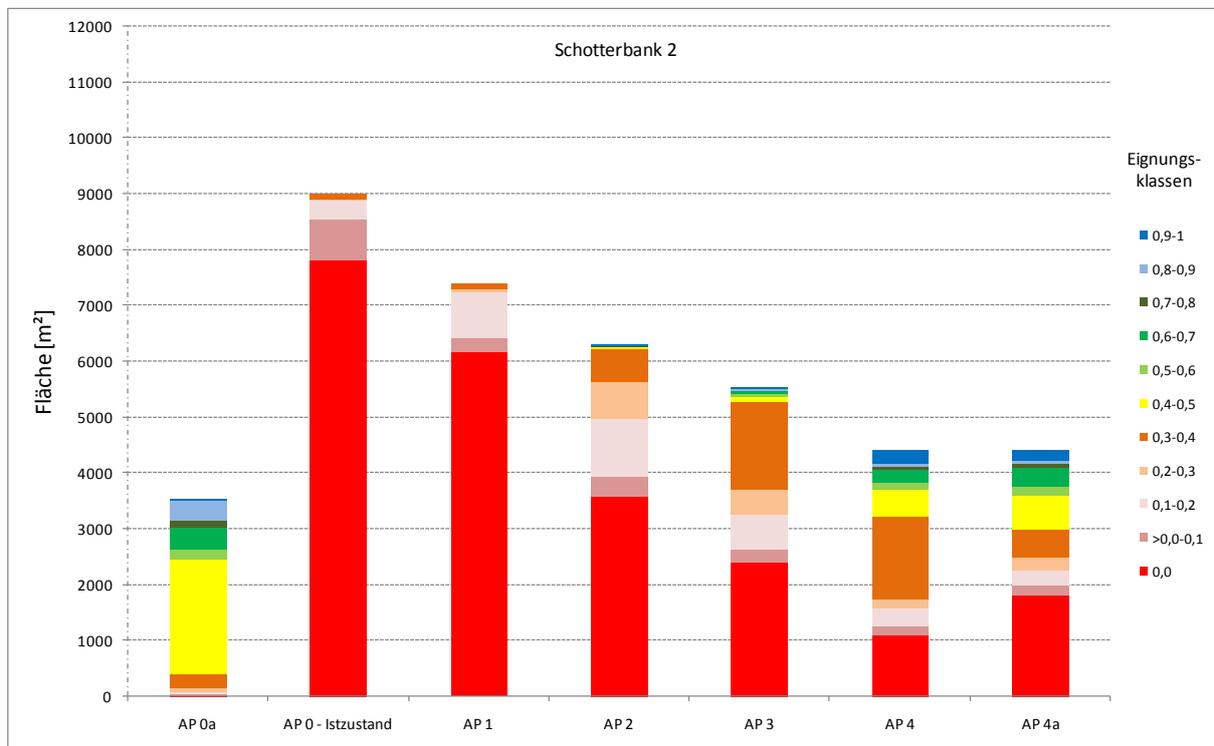


Abb. 66: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank 2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

In Abb. 66 ist die Verteilung der einzelnen Eignungsklassen für Schotterbank 2 dargestellt. In AP 0 sowie AP 1 gibt es praktisch keine Bereiche, die als Lebensraum für Jungfische unter Einbeziehung der Gefährdung durch Stranden geeignet sind. In AP 2 und AP 3 sind diese Bereiche gering ausgeprägt, in AP 4 und AP 4a werden vergleichsweise am meisten geeignete Bereiche ausgewiesen.

Bei der Analyse aller 6 betrachteten Schotterbänke weist der Referenzzustand mit 3.366 m²/ha am meisten potentiell verfügbaren, geeigneten Lebensraum auf (Abb. 67 und Tab. 25). Anforderungsprofil 4 und 4a verfügen mit 2.004 m²/ha bzw. 2.051 m²/ha auch über beträchtliche Areale mit geeignetem Lebensraum für Jungfische. Die ufernahen zumeist wertvolleren Furtbereiche wurden methodisch bedingt den Kiesbänken zugeordnet, wodurch die betrachteten flussmittigen Furtbereiche nur geringe Eignungen aufweisen (vgl. Kap. 7.2.4).



Abb. 67: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Tab. 25: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	41,4	8897,6	7837,3	5428,1	4304,0	2187,9	3641,2
>0,0-0,1	44,9	654,4	701,8	677,1	467,1	246,2	225,6
0,1-0,2	215,8	236,2	897,7	1533,1	1368,8	844,1	382,8
0,2-0,3	311,4	72,8	199,0	569,1	599,9	640,3	370,4
0,3-0,4	2755,6	137,7	361,2	1648,1	2554,7	2985,5	2393,3
0,4-0,5	3264,9	1,4	1,1	80,8	416,0	1091,8	935,8
0,5-0,6	413,4	0,0	0,0	37,9	76,9	283,3	251,7
0,6-0,7	1011,4	0,0	1,8	9,1	164,1	795,6	773,1
0,7-0,8	358,6	0,0	0,0	11,0	13,2	177,4	195,7
0,8-0,9	849,7	0,0	0,0	3,5	28,4	485,6	593,7
0,9-1	733,0	0,0	0,0	2,2	6,9	262,3	236,6
Fläche [m²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

7.2.4 Furten

Bei der Analyse aller drei definierten Furtbereiche (Abb. 68 und Tab. 26), zeigt sich, dass die Furten generell in allen Anforderungsprofilen nur wenig Fläche mit geeigneten Lebensräumen für Jungfische aufweisen. Durch die methodisch bedingte hauptsächliche Verortung der Furten in der Flussmitte weisen diese entsprechend geringe Eignungen auf.

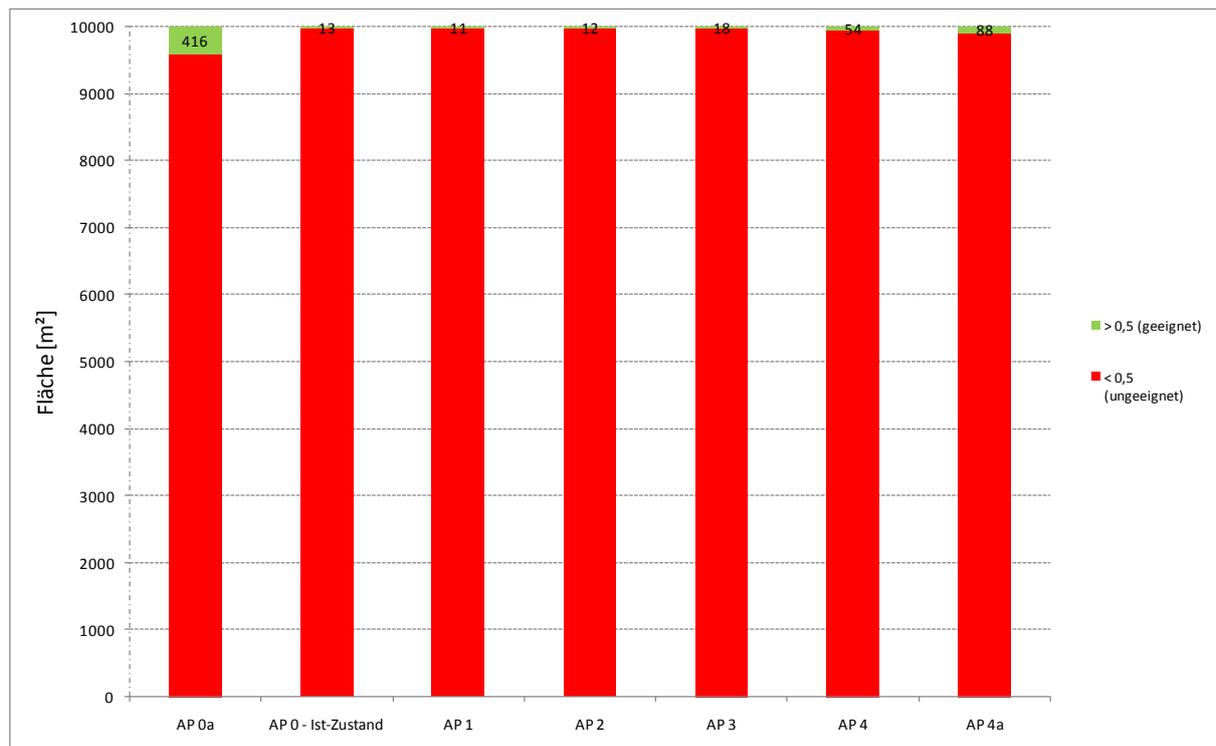


Abb. 68 Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Tab. 26: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	1444,9	6258,7	4632,8	3645,7	3351,5	2650,9	2063,1
>0,0-0,1	527,6	2422,2	1975,5	1445,6	1214,4	1068,7	806,1
0,1-0,2	2104,7	1079,7	2714,7	3725,1	3894,1	4143,9	3515,2
0,2-0,3	1605,7	84,6	252,2	372,1	418,4	497,4	1394,6
0,3-0,4	3298,3	133,8	386,4	767,9	1039,6	1489,4	1942,5
0,4-0,5	602,6	8,4	27,3	31,5	63,9	96,0	190,7
0,5-0,6	55,8	11,2	0,0	0,1	7,2	27,7	5,4
0,6-0,7	155,0	1,3	11,3	12,0	9,4	8,8	34,0
0,7-0,8	30,9	0,0	0,0	0,0	1,6	15,1	0,0
0,8-0,9	173,7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	48,4
0,9-1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fläche [m²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

7.3 Wirksamkeit bedeutender Habitats in Hinsicht auf die „Effektive Lebensraumeignung Drift“ im Abschnitt Mastrils

Der Anschaulichkeit halber wird jeweils ein typisches Detailbeispiel pro Habitat dargestellt. Die zugrundeliegenden Tabellen der einzelnen Habitats sind dem Anhang Kap. 10 beigelegt. Zusätzlich werden die einzelnen Mesohabitats pro Anforderungsprofil zusammengefasst und auf ha-Werte standardisiert dargestellt.

7.3.1 Permanente Seitenarme

In Abb. 69 ist die „Effektive Lebensraumeignung“ je nach Anforderungsprofil am Beispiel eines permanent dotierten Seitenarms im Abschnitt Mastrils dargestellt. Es wird deutlich, dass sich mit zunehmendem Anforderungsprofil auch die Lebensraumeignung für Jungfische unter Einbeziehung der Gefährdung durch Drift steigert.

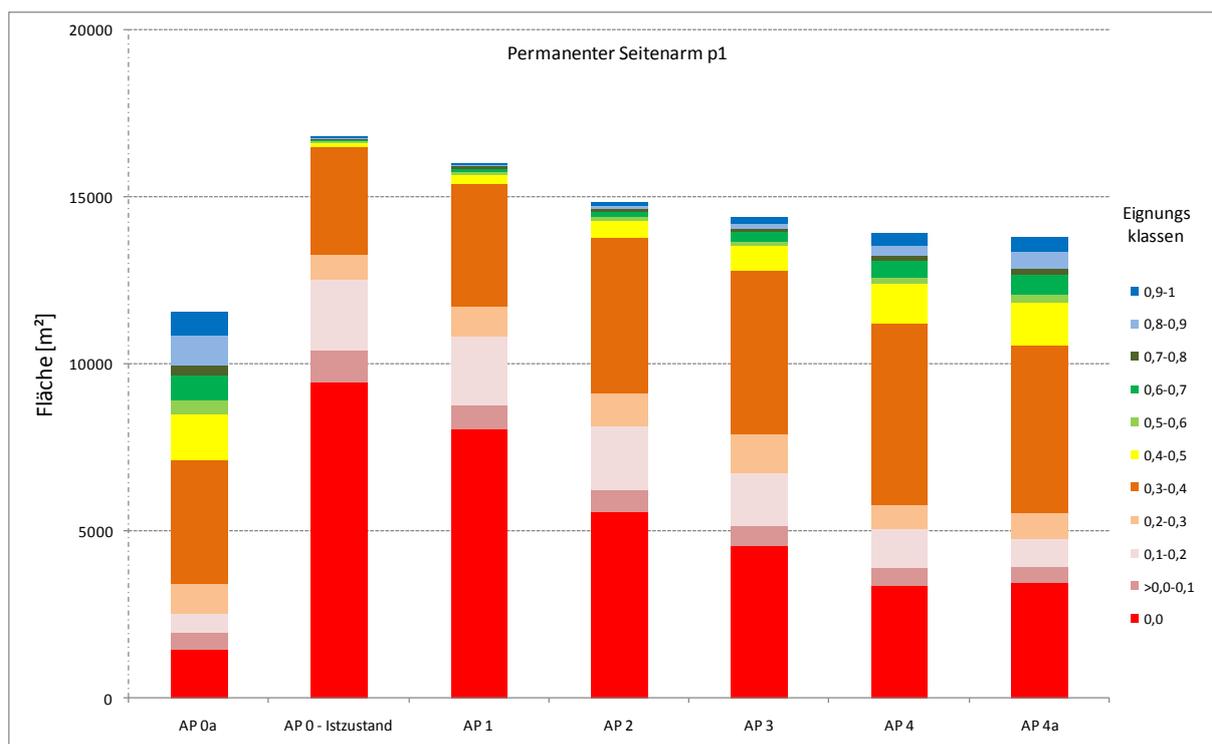


Abb. 69: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarm p_1 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Betrachtet man die standardisierte Auswertung (Abb. 70 und Tab. 27) der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Jungfische (Drift) in permanent dotierten Seitenarmen im Abschnitt Mastrils (Mittelwert aus 2 permanenten Seitenarmen), zeigt sich das gleiche Bild wie beim Beispielseitenarm. Anforderungsprofile 0 und 1 weisen ein verschwindend geringes Ausmaß an geeigneten

Lebensräumen für Jungfische auf, bei Anforderungsprofil 3 macht die für Jungfische geeignete Fläche (unter Einbeziehung der Gefährdung durch Drift) 305 m²/ha aus. In den Anforderungsprofilen 4 und 4a werden 1.008 m²/ha bzw. 1.237 m²/ha als geeigneter Lebensraum ausgewiesen und im Referenzzustand AP 0a ist die für Jungfische (Drift) als Lebensraum geeignete Fläche mit 2.339 m²/ha am größten.

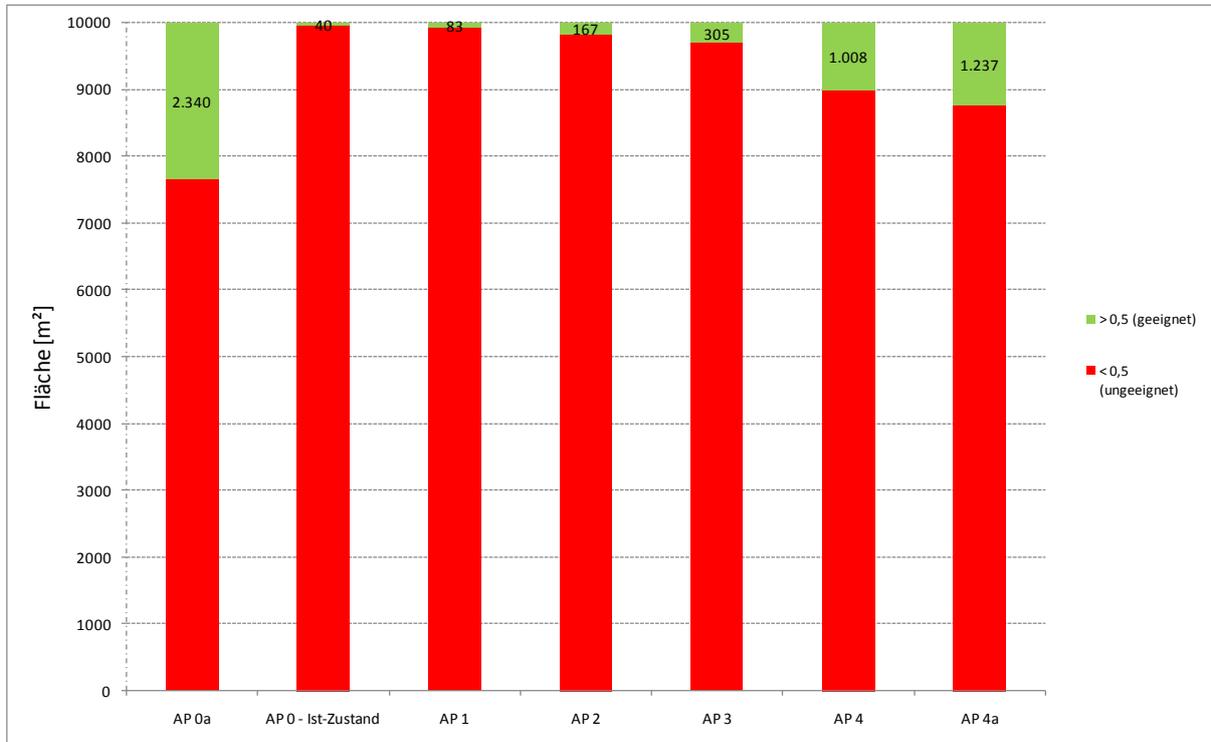


Abb. 70: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Tab. 27 Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für permanente Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	763,50	8228,07	7744,55	5634,70	4618,18	2510,31	2609,24
>0,0-0,1	389,09	252,59	354,14	710,30	618,70	683,91	419,42
0,1-0,2	683,42	523,60	575,92	1366,13	1308,79	1045,77	959,41
0,2-0,3	794,24	172,75	233,05	452,73	774,50	546,62	461,31
0,3-0,4	3966,88	750,66	946,89	1532,54	2104,27	3523,16	3595,93
0,4-0,5	1063,80	32,32	62,62	136,75	270,46	682,58	718,17
0,5-0,6	357,86	10,73	18,77	35,65	56,92	124,52	141,40
0,6-0,7	592,39	15,25	26,90	49,23	111,67	308,56	376,41
0,7-0,8	240,99	4,96	12,59	24,13	30,42	92,02	100,04
0,8-0,9	684,37	4,21	13,06	25,57	55,60	360,20	452,09
0,9-1	463,46	4,84	11,51	32,27	50,50	122,34	166,58
Fläche [m ²]	10000,00	10000,00	10000,00	10000,00	10000,00	10000,00	10000,00

7.3.2 Temporäre Seitenarme

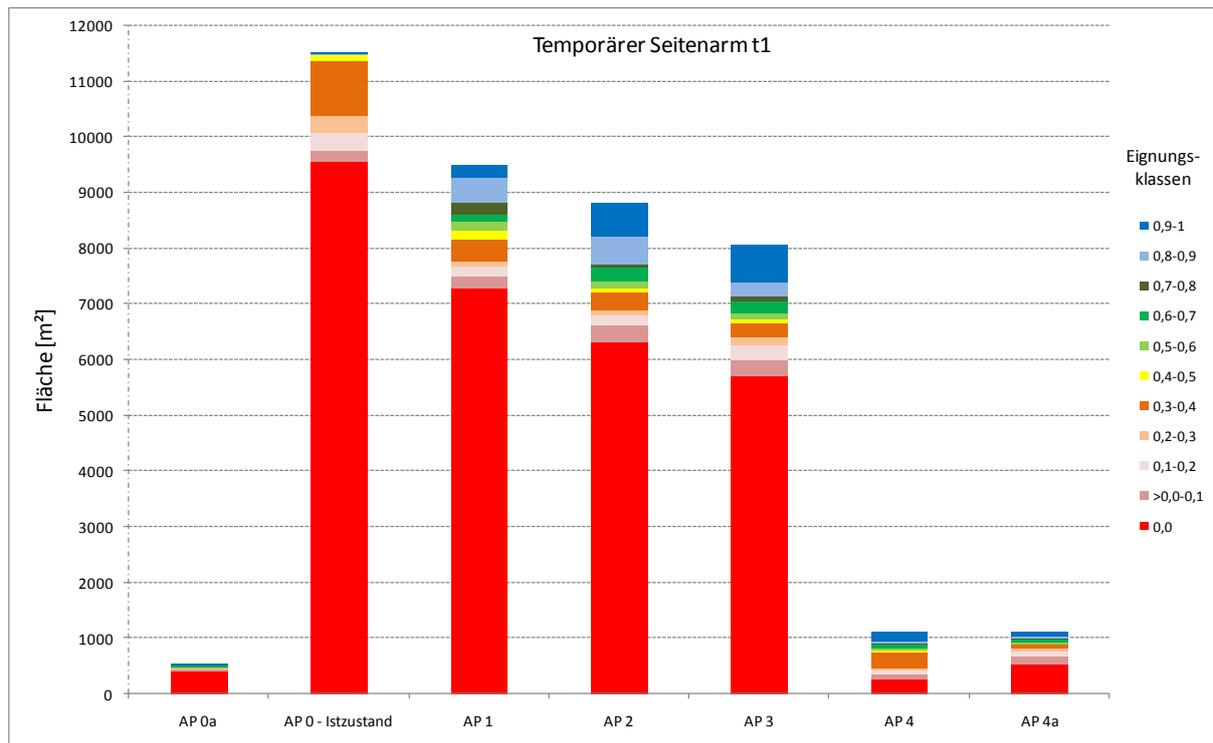


Abb. 71: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporären Seitenarm t₁ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Am Beispiel eines typischen temporär dotierten Seitenarms im Abschnitt Mastrils (Abb. 71) wird deutlich, dass im Ist-Zustand (AP 0) in temporären Seitenarmen praktisch keine für Jungfische geeigneten Lebensräume vorhanden sind (unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Drift). In den Anforderungsprofilen AP 1 bis AP 3 werden vergleichsweise am meisten Areale ausgewiesen, die sich als Lebensraum für Jungfische (Drift) eignen. Im Referenzzustand (AP 0a) sowie in den Anforderungsprofilen 4 und 4a ist die wasserbenetzte und damit die potentiell zur Verfügung stehende Fläche des temporären Seitenarms äußerst gering.

Die standardisierte Auswertung aller temporärer Seitenarme (basierend auf Anforderungsprofil 0) zeigt, dass grundsätzlich alle Anforderungsprofile ein gewisses Ausmaß an geeignetem Lebensraum für Jungfische (unter Einbeziehung der Gefährdung durch Drift) aufweisen (Abb. 72 und Tab. 28). Im Anforderungsprofil 4 ist die „Effektive Lebensraumeignung“ in temporären Seitenarmen mit 2.713 m²/ha am größten, auch AP 4a weist bei den temporären Seitenarmen ein relativ hohes Ausmaß an Flächen mit geeigneten Lebensräumen für Jungfische (Drift) auf. In den Anforderungsprofilen 1 bis 3 sind zwischen 1.044 m²/ha und 1.447 m²/ha an Flächen zu verzeichnen, welche als potentieller Lebensraum für Jungfische (Drift) geeignet wären. Im Referenzzustand AP 0a werden 1.844 m² an geeignetem Lebensraum pro Hektar ausgewiesen.

Die relativ gute Eignung des Referenzzustands (AP 0a) sowie der Anforderungsprofile 4 und 4a rührt daher, dass sich die temporären Seitenarme in diesen Anforderungsprofilen in permanent durchströmte Seitenarme verwandeln.



Abb. 72: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Tab. 28: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	1390,0	8229,6	7704,4	6347,3	5531,8	2123,0	3457,5
>0,0-0,1	218,3	179,4	270,9	505,7	499,1	424,5	393,9
0,1-0,2	301,1	331,8	320,8	706,4	840,8	1115,7	631,3
0,2-0,3	716,1	268,4	85,5	300,6	470,2	609,4	557,7
0,3-0,4	3760,1	658,7	420,4	658,1	1036,6	2455,6	1956,9
0,4-0,5	1770,1	123,0	153,9	147,7	174,8	558,5	520,1
0,5-0,6	209,9	56,6	148,3	113,7	144,0	244,6	210,7
0,6-0,7	737,5	60,4	145,2	192,8	209,9	671,9	761,8
0,7-0,8	164,7	58,1	197,8	113,2	122,1	119,6	148,0
0,8-0,9	629,0	22,3	423,7	594,4	567,1	1292,3	1095,1
0,9-1	103,3	11,7	129,0	320,1	403,5	384,8	267,1
Fläche [m²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

7.3.3 Kiesbänke

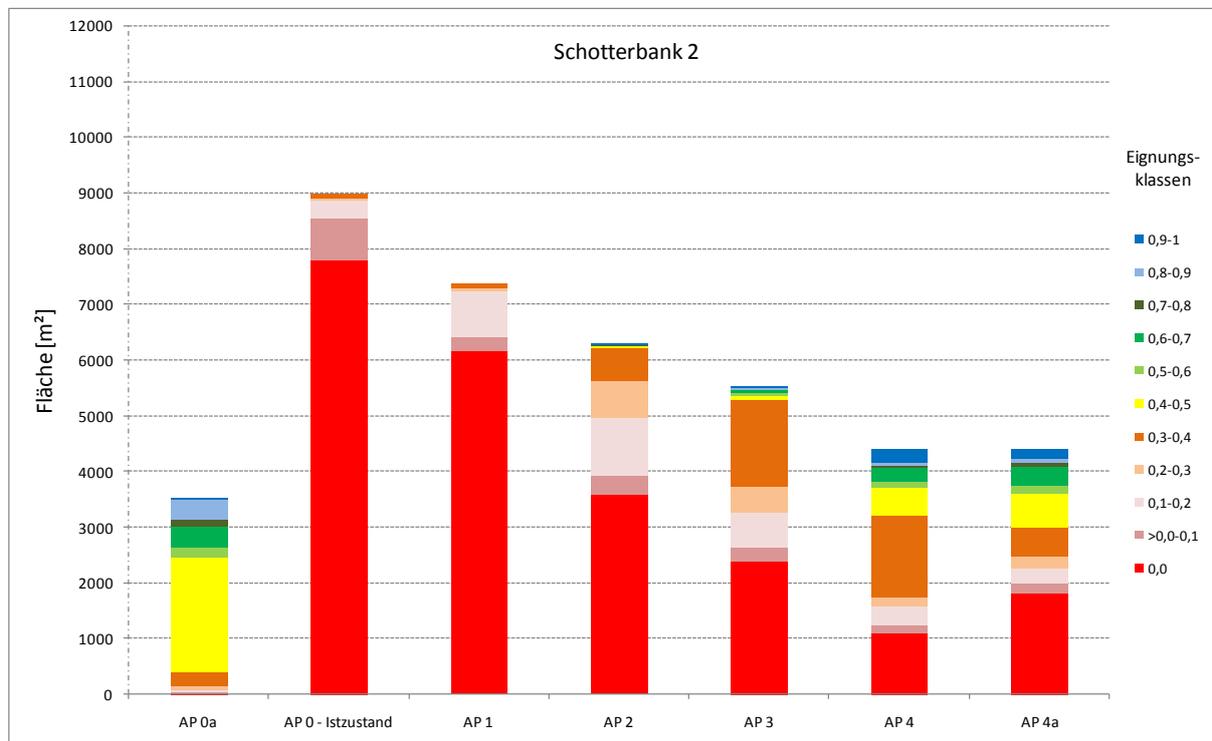


Abb. 73: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank 2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Am Beispiel von Schotterbank 2 im Abschnitt Mastrils ist in Abb. 73 die Verteilung der einzelnen Eignungsklassen je nach Anforderungsprofilen dargestellt. Die Anforderungsprofile 0 und 1 weisen keine „Effektive Lebensraumeignung“ für Jungfische unter Einbeziehung der Gefährdung durch Drift auf. In den Anforderungsprofilen 2 und 3 sind geringe Bereiche als potentieller Lebensraum für Jungfische geeignet. Im Referenzzustand (AP 0a) sowie in den Anforderungsprofilen 4 und 4a werden vergleichsweise am meisten Bereiche mit Lebensraumeignung für Jungfische ausgewiesen.

Bei der standardisierten Analyse aller 6 betrachteten Schotterbänke im Abschnitt Mastrils weist der Referenzzustand mit 3.366 m²/ha am meisten potentiell verfügbaren, geeigneten Lebensraum auf (Abb. 74 und Tab. 29). Anforderungsprofil 4 und 4a verfügen mit 2.004 m²/ha bzw. 2.051 m²/ha ebenfalls über größere Areale mit geeignetem Lebensraum für Jungfische. Im Ist-Zustand liegt bei Schotterbänken keine „Effektive Lebensraumeignung“ für Jungfische vor. Für die Anforderungsprofile 1 und 2 werden verschwindend geringe Flächen als geeigneter Lebensraum für Jungfische ausgewiesen.

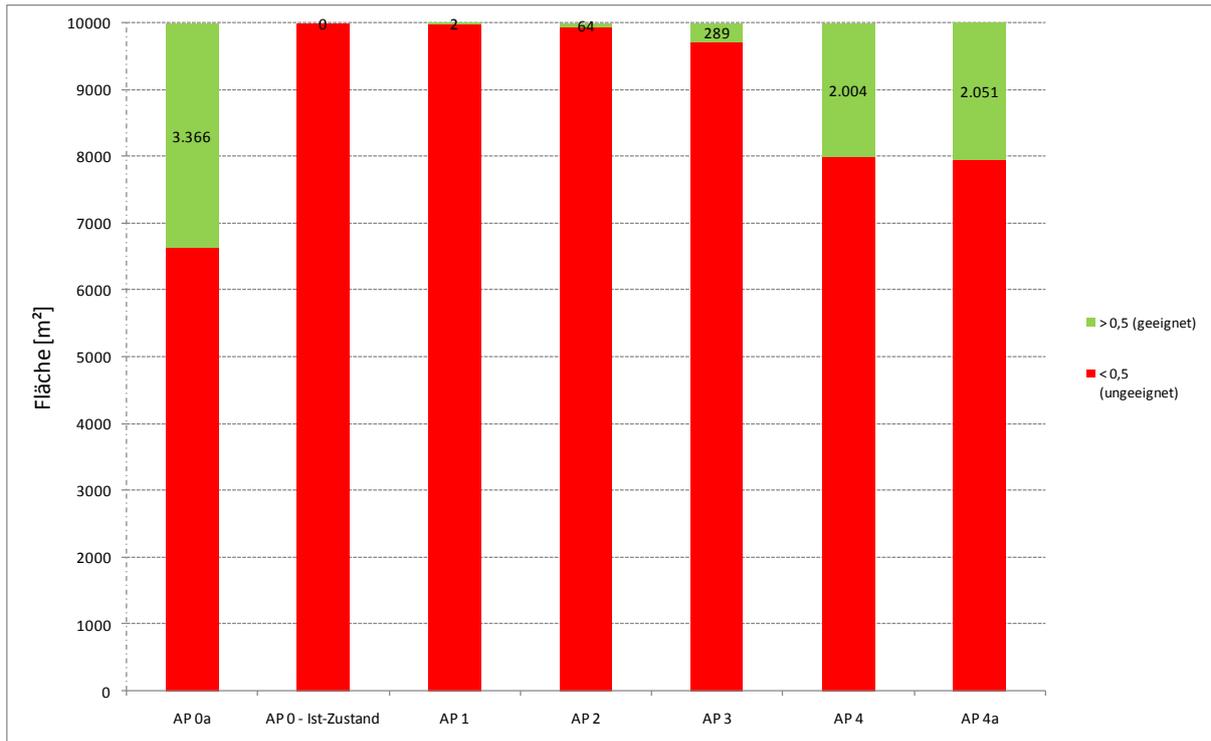


Abb. 74: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Tab. 29: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	41,4	8899,6	7839,0	5428,1	4304,0	2187,9	3641,2
>0,0-0,1	44,9	658,3	704,7	677,1	467,1	246,2	225,6
0,1-0,2	215,8	267,5	919,5	1552,5	1371,2	844,1	382,8
0,2-0,3	334,5	71,2	203,8	598,3	617,1	640,3	370,4
0,3-0,4	2736,5	102,1	330,0	1599,4	2535,1	2985,5	2393,3
0,4-0,5	3260,9	1,4	1,1	80,8	416,0	1091,8	935,8
0,5-0,6	413,4	0,0	0,0	37,9	76,9	283,3	251,7
0,6-0,7	1011,4	0,0	1,8	9,1	164,1	795,6	773,1
0,7-0,8	358,6	0,0	0,0	11,0	13,2	177,4	195,7
0,8-0,9	849,7	0,0	0,0	3,5	28,4	485,6	593,7
0,9-1	733,0	0,0	0,0	2,2	6,9	262,3	236,6
Fläche [m²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

7.3.4 Furten

Bei der Analyse aller drei definierten Furtbereiche im Abschnitt Mastrils (Abb. 75 und Tab. 30) zeigt sich, dass die Furten generell in allen Anforderungsprofilen nur wenig Fläche mit geeigneten Lebensräumen für Jungfische unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Drift aufweisen.

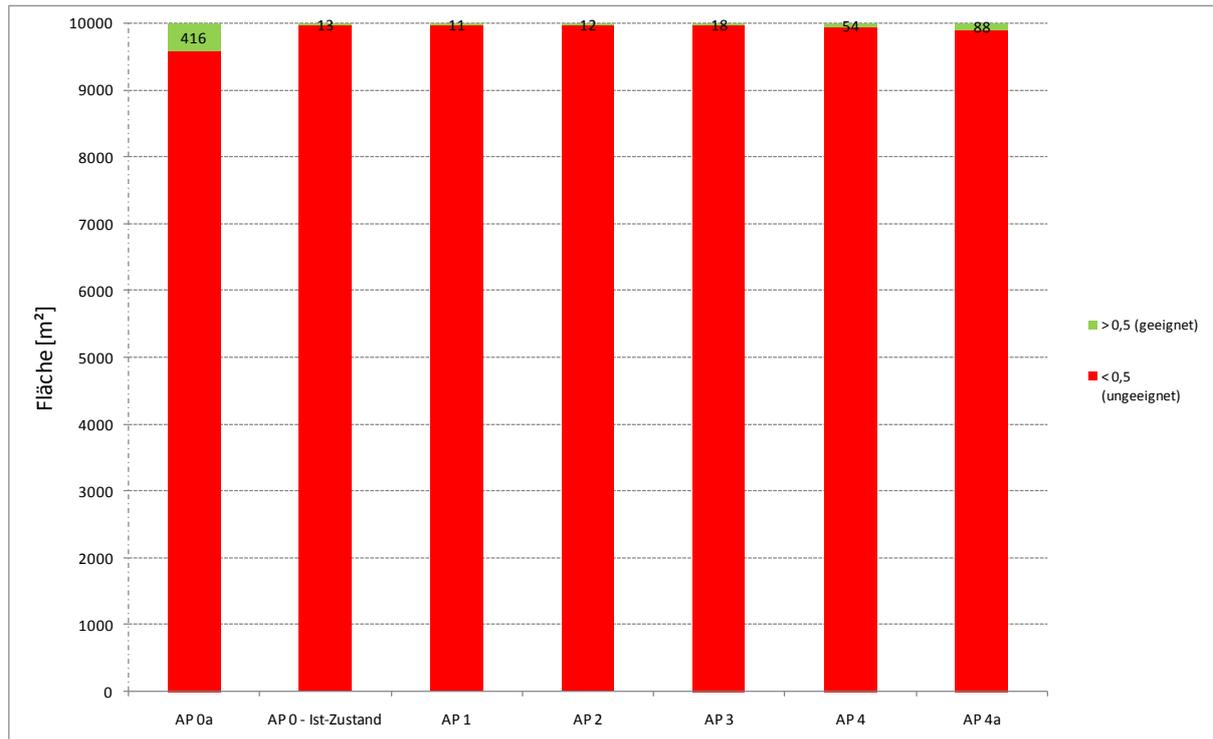


Abb. 75: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furten je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Durch die methodisch bedingte hauptsächlichliche Verortung der Furten in der Flussmitte weisen diese entsprechend geringe Eignungen auf.

Tab. 30: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furten pro Hektar je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	1444,9	6258,7	4634,1	3645,7	3351,5	2650,9	2063,1
>0,0-0,1	527,6	2422,2	1975,7	1445,6	1214,4	1068,7	806,1
0,1-0,2	2104,7	1079,7	2860,6	3977,5	3993,8	4143,9	3515,2
0,2-0,3	2144,5	84,6	169,8	384,3	642,3	497,4	1394,6
0,3-0,4	2765,9	133,8	321,2	503,4	716,1	1489,4	1942,5
0,4-0,5	596,3	8,4	27,3	31,5	63,9	96,0	190,7
0,5-0,6	55,8	11,2	0,0	0,1	7,2	27,7	5,4
0,6-0,7	155,0	1,3	11,3	12,0	9,4	8,8	34,0
0,7-0,8	30,9	0,0	0,0	0,0	1,6	15,1	0,0
0,8-0,9	173,7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	48,4
0,9-1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fläche [m ²]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

8 Interpretation und Schlussfolgerungen

8.1 Reproduktion der Bach-/Seeforelle

8.1.1 Vergleich der Reproduktionsverhältnisse bei den unterschiedlichen Szenarien

In Abb. 76 ist der Effektive Lebensraum pro Untersuchungsstrecke und Anforderungsprofil dargestellt. Als Bezugsmaßstab zur Abschätzung des Minimumlebensraumes Laichplatz, der für eine Ausbildung intakter und sich selbst erhaltender Bach-/Seeforellenpopulation erforderlich ist, wird der Referenzzustand (Anforderungsprofil 0a) herangezogen.

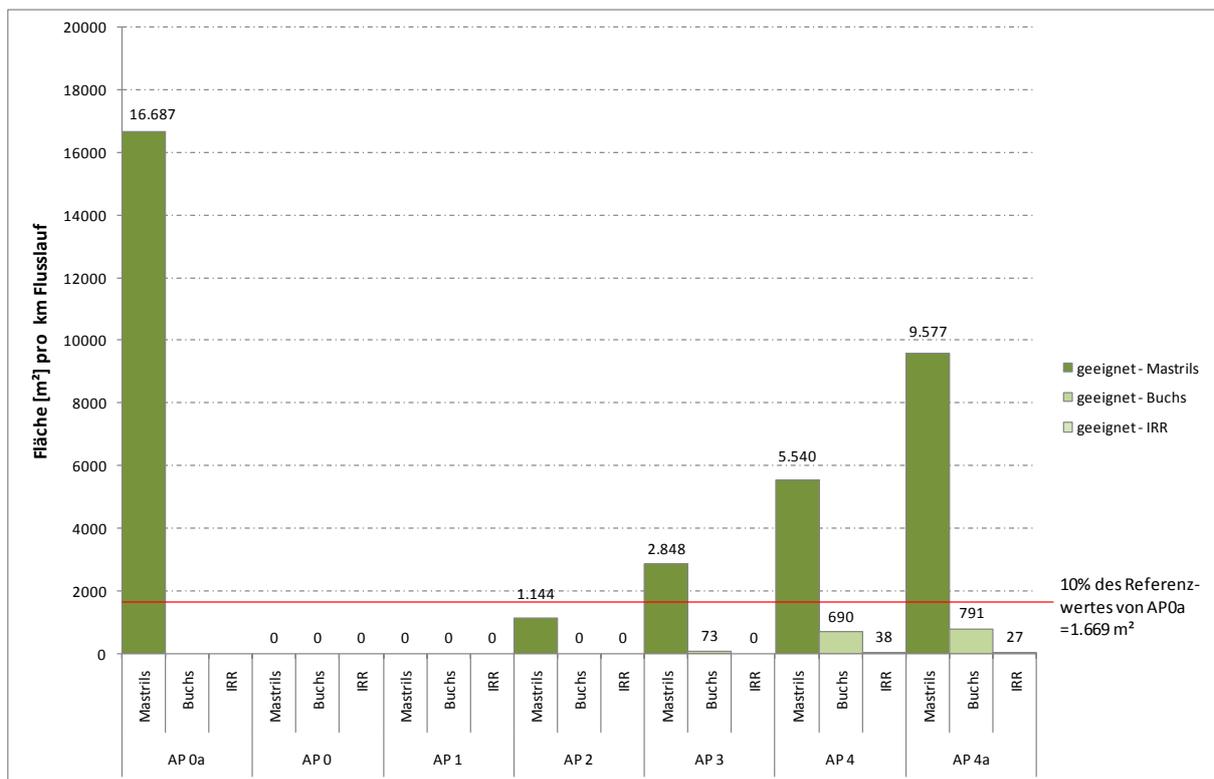


Abb. 76: Vergleich der „Effektiven Lebensraumeignung“ Laichplatz/Reproduktion AP 0a (Referenzzustand, AP 0 (aktuelle Situation), AP 1 bis 3 (zunehmende Schwalldämpfung), AP 4 und 4a (vollständiger Schwallausgleich) und erforderliche Mindestfläche (rote Linie)

Als Referenzabfluss für die Bewertung der Lebensraumgüte dient der mittlere Abfluss in den Monaten November bis März vor Errichtung der Speicher oberhalb von Domat/Ems (siehe Bericht zu Arbeitspaket 1 und 1+).

Vor Errichtung der Speicherkraftwerke wies der Alpenrhein entsprechend dem natürlichen gewässertypischen Abflussregime im Winterhalbjahr einen ausgeprägten, klaren Niederwasserabfluss von rund 40 m³/s im Bereich der Mastrilser Auen auf. Umlagerungen im Flussbett bzw. das Trockenfallen von Laichplätzen traten nur selten auf. Da im Referenzzustand ein deutlich höherer Fischbestand, als für den guten Zustand/Stufe II benötigt vorlag, ist auch nur ein gewisser Anteil an geeigneten Laicharealen für die Sicherstellung einer sich selbst erhaltenden Population im Vergleich zum Referenzzustand erforderlich.

Nach einer Literaturrecherche erscheint ein Anteil von 10% des Referenzzustandes als absolutes Minimum an funktionsfähigen Laich-/Jungfischarealen zur Sicherstellung einer sich selbst erhaltenden Bach-/Seeforellenpopulation im Alpenrhein, dieser Wert wird daher als minimaler Grenzwert angesetzt.

Mit zunehmenden Anforderungsprofil bzw. Schwalldämpfung wird die Gefahr des Trockenfallens der Laichplätze reduziert, aufgrund der geringeren Kolmationsgefährdung verbessert sich auch zunehmend die Basishabitateignung. Durch die Anhebung des Sunkabflusses in Folge des Wochenausgleiches geht aber gleichzeitig die Basishabitateignung wieder zurück, da die optimale Laichplatzeignung an die natürliche Niederwasserführung im Winter angepasst ist, d. h. die Verbesserung durch die Schwalldämpfung werden teilweise wieder durch die Sunkanhebung zunichte gemacht.

Die regelmäßige Bewegung von Teilen der Gewässersohle durch eine starke bzw. erhöhte hydraulische Belastung während der Schwallphase kann als eines der wichtigsten kurzfristig auftretenden gewässerökologischen Defizite in Schwallstrecken genannt werden (SCHWEIZER et al., 2009). Im Alpenrhein wurde Sohlenerosion durch verstärkte hydraulische Belastung bei Schwall jedoch nur örtlich sehr begrenzt festgestellt (ARGE TRÜBUNG ALPENRHEIN, 2001). Auch die Modellierung der Gefährdung der Erosion zeigte im Abschnitt Mastrils, dass die Gefährdung durch Erosion keinen großen Einfluss auf die „Effektive Lebensraumeignung“ hat.

Die ersten funktionsfähigen Laichareale im Ausmaß von 1.144 m²/km Flusslauf treten in den naturnahen Mastrilser Auen bei Anforderungsprofil 2 auf. Bei Anforderungsprofil 3 ($Q_{\text{Schwall}} / Q_{\text{Sunk}} = 1,6 : 1$) wird das oben angegebene Mindestanforderungsprofil an geeigneten Laichplätzen (1.699 m²/km Flusslauf) mit einer Fläche von 2.848 m²/km Flusslauf an funktionsfähigen Laicharealen in den naturnahen Mastrilser Auen bereits deutlich überschritten (Abb. 76). Bei vollständigen Schwallausgleich (AP 4 und 4a) kommt es zu einem weiteren Anstieg der potentiell geeigneten Laichplätzen auf 5.540 bzw. 9.577 m²/km Flusslauf.

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 (z.B. Faktor 2,2 des Referenzzustandes beim Anforderungsprofil 4 – 95m³ statt 42m³) steigt die Gesamteignung der Laichplätze jedoch nicht im erwarteten Ausmaß an und bleibt bei allen Anforderungsprofilen deutlich unter dem Wert des unbeeinflussten Referenzzustandes (Anforderungsprofil 0a).

Besonders eindrucksvoll zeigt dies der Vergleich zwischen AP 4 (95 m³/s - vollständiger Wochenausgleich in der betrachteten Woche) und 4a (69 m³/s - Schwallausgleich über den gesamten Winter = mittlerer Winterabfluss). Der Unterschied von 4.037 m² an Fläche ist einzig auf den geringeren Abfluss bei AP 4a zurückzuführen, da durch den vollständigen Schwallausgleich keine schwallbedingten Beeinträchtigungen der Reproduktion auftreten. Der Abfluss von AP 4 (95m³/s) entspricht dabei annähernd einem einjährigen Hochwasser während der Laichzeit der Bachforelle im November/Dezember (siehe Arbeitspaket 1+). Das Anforderungsprofil 4 (vollständige Schwalldämpfung mit Wochenausgleich in der modellierten Woche) erreicht 33,2% der Fläche der geeigneten Laichplätze des Referenzzustandes (AP0a). In AP 4a (vollständiger Schwallausgleich, mittlerer Winterabfluss) verdoppelt sich dieser Wert auf 57,4% des Referenzabflusses. Anforderungsprofil 3 erreicht mit 2.848 m² (17,06 %) der Fläche der „Effektiven Lebensraumeignung“ des Referenzzustandes. Da auch beim Anforderungsprofil 2 über viele Wochen im Winter eine geringere Sunkanhebung als in der modellierten Woche anzunehmen ist, dürften die tatsächlichen Verhältnisse über den gesamten Winter hinweg besser ausfallen als in der Modellierung. Eine ausreichend funktionierende Naturverlaichung (Reproduktion) für die Sicherstellung einer nachhaltig und sich selbst reproduzierenden Population kann unter den modellierten Rahmenbedingungen nicht gewährleistet werden. Für die Anforderungsprofile 0 bis 1 kann eine ausreichend funktionierende Naturverlaichung (Reproduktion) mit Sicherheit ausgeschlossen werden, vor allem weil keine wesentlichen morphologischen Verbesserungen im naturnahen Abschnitt Mastrils mehr möglich sind.

In der morphologisch bereits degradierten Strecke Buchs mit den alternierenden Kiesbänken entstehen erst ab Anforderungsprofil 3 potentiell funktionsfähige Laichplätze, welche aber selbst bei Anforderungsprofil 4a noch deutlich unter den Mindestanforderungen (10% des Referenzwertes) liegen. In der Strecke Koblach liegen selbst bei vollständigem Schwallausgleich keine geeigneten Laichplätze vor. Auch REY et al. (2011) führen im Zuge der Ergebnisse des Basismonitoring Alpenrhein strukturelle und hydrologische Defizite (vor allem Schwall-Sunk-Phänomene) als Gründe an, welche eine erfolgreiche Fischreproduktion verhindern. In den Strecken Buchs und Koblach wären daher zusätzlich zur Schwalldämpfung morphologische Aufwertungen notwendig, um ausreichend intakte Laichareale zu schaffen.

8.1.2 Erforderliche morphologische Verbesserungen zur Erreichung funktionsfähiger Laichareale

Ausgehend von den Referenzbedingungen in Mastrils (AP 0a) wurden für die einzelnen Anforderungsprofile jene erforderlichen Flächen potentiell funktionsfähiger Laichareale ermittelt, welche zusätzlich zu den bereits vorhandenen Flächen notwendig sind, um den Zielwert (10% der geeigneten Fläche des Referenzzustandes) zu erreichen.

Tab. 31: Vorhandene (oberer Tabellenteil) und zusätzlich erforderliche Fläche (unterer Tabellenteil) funktionsfähiger Laichareale je Anforderungsprofil in den drei Strecken

	Referenz	AP 0	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
Mastrils	16687	0	0	1144	2848	5540	9577
Buchs		0	0	0	73	690	791
Koblach		0	0	0	0	38	27
Abweichung 10 % vom Referenzwert (Zielwert =1669 m ² pro km Flusslauf)							
Mastrils		1669	1669	525	0	0	0
Buchs		1669	1669	1669	1596	979	878
Koblach		1669	1669	1669	1669	1631	1642

Basierend auf den Auswertungen der naturnahen Morphologie in den Mastrilser Auen (Kap. 7) wurde in den wesentlichen Gewässerstrukturen (Seitenarme, Furt und Kiesbänke) die durchschnittliche Fläche funktionsfähiger Laichareale je Anforderungsprofil ermittelt (Tab. 32).

Tab. 32: Laichplatz in m² pro Hektar Struktur in der Referenzstrecke Mastrils

	Referenz	AP 0	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
Kiesbank	6344	0	0	142	381	1677	2145
Seitenarm	3755	0	0	101	436	1111	1859
Furt	418	0	0	0	243	211	291

Basierend auf Tab. 31 und Tab. 32 wurde anschließend jene Fläche an einzelnen Strukturen berechnet die zusätzlich zu den vorhandenen Strukturen bei den jeweiligen Anforderungsprofilen erforderlich wären um den Zielwert an Laicharealen von 10% zu erreichen (Tab. 33).

Tab. 33: Erforderliche Struktur in ha pro km Flusslauf in Buchs und Koblach um das Mindestanfordernis an funktionsfähigen Laicharealen zu erreichen

Buchs	AP 0	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
Kiesbank	-	-	11,7	4,2	0,6	0,4
Seitenarm_p	-	-	16,5	3,7	0,9	0,5
Furt	-	-	-	6,6	4,6	3,0
Koblach	AP 0	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
Kiesbank	-	-	11,7	4,4	1,0	0,8
Seitenarm_p	-	-	16,5	3,8	1,5	0,9
Furt	-	-	-	6,9	7,7	5,6

Bei den Anforderungsprofilen 0 und 1 bzw. Anforderungsprofil 2 (Struktur Furt) liegen in den Strukturen bei den jeweiligen Anforderungsprofilen keine geeigneten Laichhabitate vor, der Zielwert kann daher auch rechnerisch nicht erreicht werden. Zur Abschätzung der Realisierbarkeit der berechneten Zahlenwerte ist anzuführen, dass eine zusätzliche Fläche an Strukturen von 20 ha/km Flusslauf eine benetzte Breite der Strukturen bei Niederwasser von 200 m entlang des gesamten Flusslaufes erfordern würde. Damit sich diese Strukturen entwickeln könnten, müsste das Flussbett des Alpenrheins deutlich breiter als die Strecke Mastrils aufgeweitet werden. Darüber hinaus gehende Verbesserungen erscheinen den Verfassern daher jedenfalls als nicht realistisch bzw. umsetzbar. Zum Vergleich sind die Flächen der einzelnen Strukturelemente pro Flusskilometer im naturnahen Abschnitt Mastrils angeführt (Tab. 34).

Tab. 34: Strukturelemente pro km Flusslauf in Mastrils

Furt	1,7 ha
Kiesbank (benetzt)	0,9 ha
Seitenarm	1,6 ha
Gesamtfläche benetzt – Referenzzustand Mastrils	7,4 ha

Mit der Umgestaltung des Unterlaufes zu einem ähnlichen naturnahen Morphologie wie im Abschnitt Mastrils könnten derzeit max. 7 bis 10 ha an Strukturen geschaffen werden, was den Erfordernissen des Anforderungsprofils 3 in den Strecken Buchs und Koblach entsprechen würde. Wesentlich ist aber, dass die Qualität der Strukturelemente und der damit geschaffene geeignete Lebensraum mit zunehmendem Abflussschwall deutlich zurückgeht und damit der erforderliche Flächenbedarf exponentiell steigt.

Es gilt zu berücksichtigen, dass beim historischen Alpenrhein ein beträchtlicher Anteil der Reproduktion in den Zubringern stattfand. Durch Vernetzung der Zuflüsse mit dem Alpenrhein und deren ökologischer Aufwertung könnten diese ihre Funktion als Laichareal für die Fischfauna des Alpenrheins wieder erfüllen, wodurch der erforderliche Flächenanteil für funktionsfähige Laichplätze im Alpenrhein selbst sinken würde.

8.2 Jungfische Bach-/Seeforelle

8.2.1 Vergleich der Effektiven Lebensraumeignung bei den unterschiedlichen Szenarien

8.2.1.1 Effektive Lebensraumeignung - Jungfische „Drift“

Bei der Auswertung der Jungfische wurde zwischen „Effektiven Lebensraum – Gefährdung durch Drift“ und „Effektiven Lebensraum – Gefährdung durch Stranden“ unterschieden und auch getrennt Analysen durchgeführt. In Abb. 77 ist der „Effektive Lebensraum - Drift“ pro Untersuchungsstrecke und Anforderungsprofil dargestellt. Als Bezugsmaßstab zur Abschätzung des Minimumlebensraumes Jungfische unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Verdriftung (Jungfische-Drift) wird wieder wie im vorherigen Kapitel der Referenzzustand der Strecke Mastrils herangezogen.

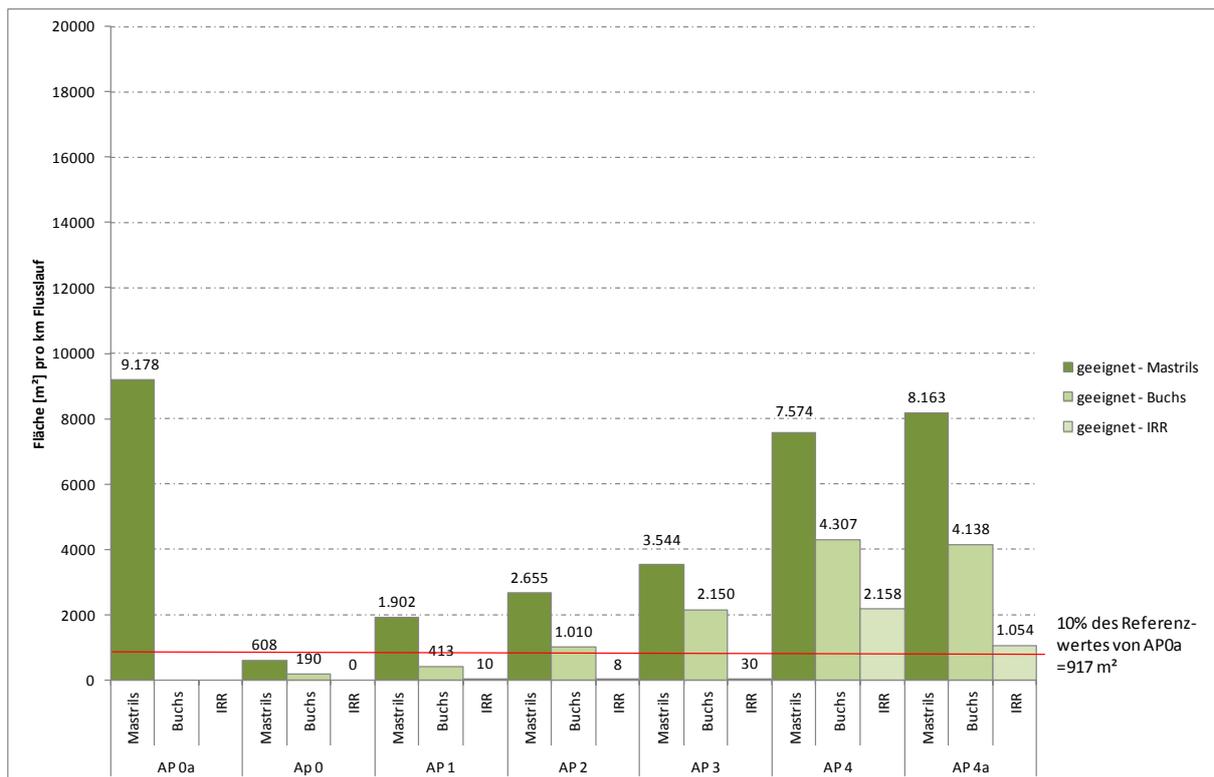


Abb. 77: Vergleich der „Effektiven Lebensraumeignung“ Jungfische „Drift“ AP0a (Referenzzustand, AP 0 (aktuelle Situation), AP1 bis 3 (zunehmende Schwalldämpfung), AP4 und 4a (vollständiger Schwallausgleich) und erforderliche Mindestfläche (rote Linie)

Im Referenzzustand (Anforderungsprofil 0a - Mastrils) stehen rund 9.180 m² an geeignetem Lebensraum zur Verfügung. Als Zielwert für einen ausreichenden Winterlebensraum für die Jungfische wird eine Fläche von 917m² (10% der Fläche des Referenzzustandes) angesetzt, welcher das Überleben einer sich selbst erhaltenden Forellenpopulation ermöglichen würde. In Mastrils wird dieser Zielwert bereits ab Anforderungsprofil 1 (leichte Schwalldämpfung) deutlich überschritten. In den Anforderungsprofilen mit vollständigem Schwallausgleich (4 und 4a) wird nahezu der Wert des Referenzzustandes erreicht. Die erfolgte Sunkanhebung mit zunehmendem Anforderungsprofil wirkt sich im Fall der Jungfische-Drift nicht so eklatant auf das Ergebnis aus wie bei den Laichplätzen. Maßgebend für die schlechteren Werte der „Effektiven Lebensraumeignung“ in den Anforderungsprofilen 0-3 sind die hohen Schwallabflüsse, die ein höheres Verdriftungsrisiko verursachen und zugleich deutlich schlechtere Lebensraumbedingungen für Jungfische bieten. Das Verdriftungsrisiko ist allerdings in Mastrils aufgrund des guten Angebots an Strukturen und Unterständen (Strömungsschutz) relativ gering. Weiters sind Bachforellenjungfische im ersten Winter bereits über 100 mm groß und verfügen dann bereits über eine ausreichend hohe Schwimmkapazität.

In der Strecke Buchs wird der Zielwert ab Anforderungsprofil 2 gerade erreicht. Bei allen Anforderungsprofilen liegt aber das Lebensraumangebot deutlich unter dem des jeweiligen Anforderungsprofils in Mastrils. Zurückzuführen ist dieses Faktum auf die deutlich schlechtere Strukturausstattung, die einerseits eine schlechtere Basiseignung und andererseits ein – mangels Strömungsschutz – deutlich höheres Verdriftungsrisiko bewirkt. In der Internationalen Strecke wird der Zielwert erst bei den Anforderungsprofilen 4 und 4a erreicht. Aufgrund der naturfernen Ausformung handelt es dabei aber um keinen hochwertigen Lebensraum, einzig das Blockwurfufer wird von der strukturbezogenen Bachforelle genutzt.

8.2.1.2 Effektive Lebensraumeignung Jungfische „Stranden“

Als Bezugsmaßstab zur Abschätzung des Minimumlebensraumes Jungfische unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Stranden (Jungfische-Stranden) wird wieder wie im vorherigen Kapitel der Referenzzustand der Strecke Mastrils herangezogen.

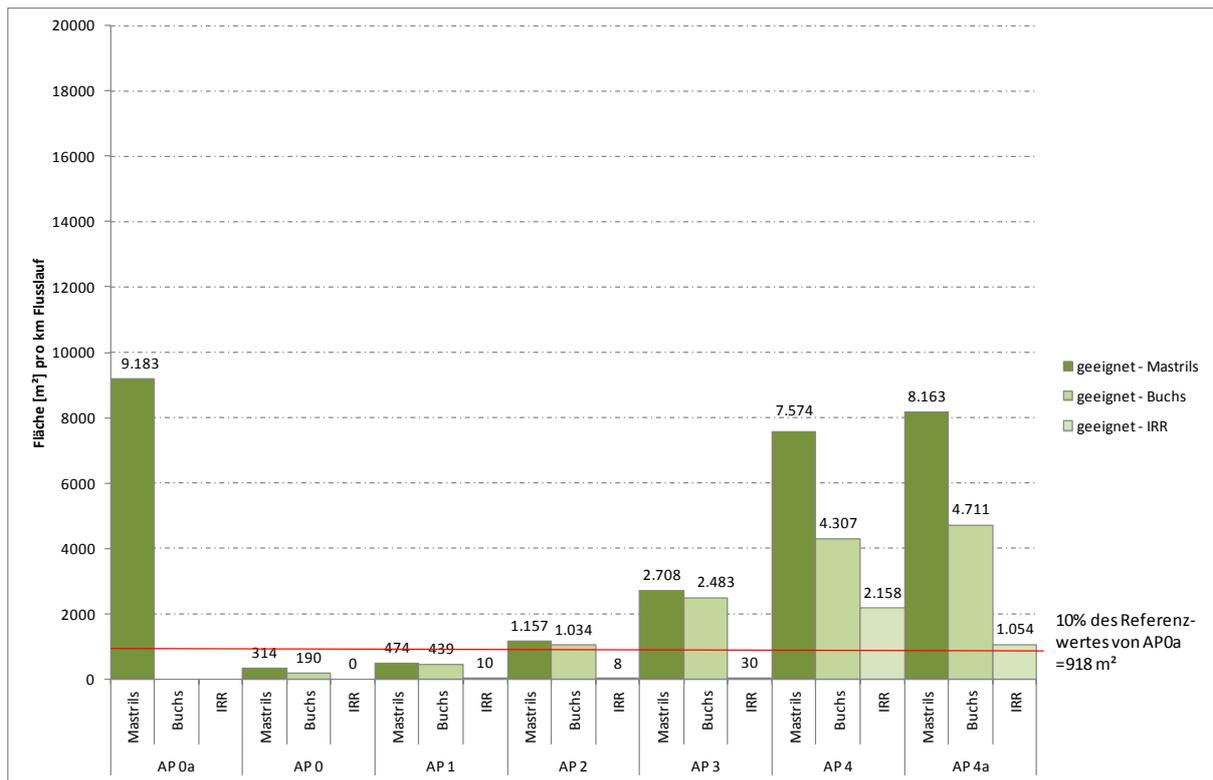


Abb. 78: Vergleich der „Effektiven Lebensraumeignung“ Jungfische „Stranden“ AP0a (Referenzzustand), AP 0 (aktuelle Situation), AP1 bis 3 (zunehmende Schwalldämpfung), AP4 und 4a (vollständiger Schwallausgleich) und erforderliche Mindestfläche (rote Linie)

Im Gegensatz zur Auswertung der Jungfische-Drift erfolgt die Erreichung des Zielwertes in der Strecke Mastrils erst ab dem Anforderungsprofil 2. Anforderungsprofil 1 liegt mit 474 m² deutlich unter dem Zielwert von 918 m². Die Werte der Anforderungsprofile 0 bis 3 in der Strecke Mastrils entsprechen annähernd den Werten der Strecke Buchs. Die gute Strukturausstattung in der naturnahen Morphologie in Mastrils führt im Gegensatz zum Verdriftungsrisiko zu einem erhöhten Strandungsrisiko, weil die Jungfische beim Einsetzen des Sunks länger in den Strukturen verbleiben. Das bessere Habitatangebot wird daher durch das höhere Strandungsrisiko egalisiert (vgl. REY et al., 2011). Beginnend mit Anforderungsprofil 3 überwiegt das bessere Lebensraumangebot die Strandungsgefährdung, bei den Anforderungsprofilen ohne Abflussschwankungen weist die naturnahe Strecke Mastrils nahezu doppelt so viele geeignete Lebensräume wie die Strecke Buchs auf.

Insgesamt liegt der „Effektive Lebensraum“ unter Berücksichtigung der Strandungsgefährdung deutlich unter den vergleichbaren Werten des Verdriftungsrisikos und stellt daher den limitierenden Wert für die Gesamteignung „Jungfische“ im Winter dar. Die anschließenden Auswertungen beschränken sich daher nur auf die Erfordernisse der „Effektiven Lebensraumeignung – Stranden“.

8.2.2 Erforderliche morphologische Verbesserungen zur Erreichung funktionsfähiger Jungfischlebensräume

Ausgehend von den Referenzbedingungen in Mastrils (AP 0a) wurden für die einzelnen Anforderungsprofile jene erforderlichen Flächen potentiell funktionsfähiger Winterhabitate für juvenile Bachforellen ermittelt, welche zusätzlich zu den bereits vorhandenen Flächen notwendig sind um den Zielwert zu erreichen.

Tab. 35: Vorhandene (oberer Tabellenteil) und zusätzlich erforderliche Fläche (unterer Tabellenteil) geeigneter Jungfischlebensräume je Anforderungsprofil in den drei Strecken

	Referenz	AP 0	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
Mastrils	9183	314	474	1157	2708	7574	8163
Buchs		190	439	1034	2483	4307	4711
Koblach		0	10	8	30	2158	1054
Abweichung 10 % vom Referenzwert (Zielwert =9183 m ² pro km Flusslauf)							
Mastrils		604	444	0	0	0	0
Buchs		728	479	0	0	0	0
Koblach		918	908	911	888	0	0

Basierend auf den Auswertungen der naturnahen Morphologie in den Mastrilser Auen (Kap. 7) wurde in den wesentlichen Gewässerstrukturen (Seitenarme, Furt und Kiesbänke) die durchschnittliche Fläche funktionsfähiger Jungfischlebensräume je Anforderungsprofil ermittelt (Tab. 36).

Tab. 36: Jungfischlebensraum in m² pro Hektar Struktur in der Referenzstrecke Mastrils

	Referenz	AP 0	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
Kiesbank	3366	0	2	64	289	2004	2051
Seitenarm	2340	40	83	169	305	1008	1237
Furt	416	13	11	12	18	54	88

Basierend auf Tab. 31 und Tab. 36 wurden anschließend jene Flächen an einzelnen Strukturen berechnet, die zusätzlich zu den vorhandenen Strukturen bei den jeweiligen Anforderungsprofilen erforderlich wären, um den Zielwert an Jungfischlebensraum von 10% des Referenzzustandes zu erreichen (Tab. 37).

Tab. 37: Erforderliche Struktur in ha pro km Flusslauf in Buchs und Koblach um das Mindestanfordernis an geeigneten Jungfischhabitaten zu erreichen

Buchs	AP 0	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
Kiesbank	-	261,4	0	0	0	0
Seitenarm_p	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_p	23,0	11,0	5,4	2,9	0	0
Furt	73,3	80,5	75,2	49,0	0	0

Beim Anforderungsprofil 0 liegt bei Kiesbänken kein geeignetes Jungfischhabitat vor, der Zielwert kann daher auch rechnerisch nicht erreicht werden.

In der Strecke Buchs kann mit morphologischen Verbesserungsmaßnahmen bei den Anforderungsprofilen 0 und 1 realistisch der Zielwert nicht erreicht werden. Nur mit permanenten Seitenarmen würden weniger als 10 ha an erforderlichen Strukturen pro Flusskilometer benötigt, die dauerhafte Erhaltung von 5,8 ha funktionsfähiger Seitenarme pro Flusskilometer würden jedoch ebenfalls beträchtliche bauliche Maßnahmen nach sich ziehen (entspricht in etwa der jetzigen bei Niederwasser benetzten Breite des Alpenrheins im Abschnitt Buchs). Ab Anforderungsprofil 2 wären im Abschnitt Buchs keine morphologischen Aufwertungen hinsichtlich der Jungfischfauna im Winter erforderlich.

In der Strecke Koblach könnte der Zielwert mithilfe morphologischer Verbesserungen bei Anforderungsprofil 3 mit entsprechenden Maßnahmen (naturnahe Gestaltung ähnlich Mastrils) erreicht werden, bei den Anforderungsprofilen 0 bis 2 erscheint die Erreichung des Zielwertes durch morphologische Aufwertungen unwahrscheinlich.

8.3 Resümee Fischfauna

Bei juvenilen Bachforellen im Winter sind deutliche Verbesserungen der Lebensraumverhältnisse (Erreichung des Zielwertes) in Mastrils und Buchs ab AP2 erreichbar, in der Strecke Koblach ist dies erst ab Anforderungsprofil 3 und nur kombiniert mit umfangreichen morphologischen Aufwertungen möglich. Generell ist die Auswirkung der Gefährdung durch Drift deutlich geringer als die Gefährdung durch Stranden. 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- als auch strandungsgefährdet. Dieses Stadium konnte aber nicht modelliert werden, da zusätzlicher Aufwand im Bereich Hydraulik und Modellierung notwendig gewesen wäre.

Laichplätze und eine erfolgreiche Eientwicklung sind der limitierende Faktor für eine intakte Bachforellenpopulation im Alpenrhein. Da die Eier den gesamten Winter über im Schottersubstrat liegen, sind sie gegenüber dem Abflussschwall und den resultierenden Auswirkungen besonders sensibel (vgl. Bericht zu Arbeitspaket 2). 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 (z.B. Faktor 2,2 des Referenzzustandes beim Anforderungsprofil 4 – 95m³ statt 42m³) steigt die Gesamteignung der Laichplätze jedoch nicht im erwarteten Ausmaß an und erreicht nie die Werte des unbeeinflussten Referenzzustandes (AP 0a). Die optimalen hydraulischen Bedingungen am Laichplatz treten bei der natürlichen Niederwasserführung im Winter auf, an welche die Bachforelle angepasst ist.

Die Anhebung des Sunks bedingt die Erhöhung der Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe, wodurch die Basishabitateignung 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 zu einem erheblichen Teil durch die Sunkanhebung zunichte gemacht. Die niedrigen Sunkabflüsse der Anforderungsprofile 0 und 1 entsprechen annähernd den natürlichen Niederwasserabflüssen zur Laichzeit.

Durch den geforderten Wochenausgleich erfolgte in diesem Projekt eine starke Sunkanhebung, weil die betrachtete Woche an allen Tagen untypisch hohe Abflüsse aufwies (vgl. Arbeitspaket 1+). Über viele Wochen des Winters ist der Abfluss geringer, der Schwallausgleich ergibt daher geringere Sunkabflüsse als in der modellierten Woche.

Ab Anforderungsprofil 3 ist im Abschnitt Mastrilser Auen von einem ausreichenden Angebot an funktionsfähigen Laichplätzen auszugehen.

In Buchs und Koblach wären auch bei weitgehender Schwalldämpfung (beginnend ab Anforderungsprofil 3) zusätzlich noch umfangreiche morphologische Verbesserungen notwendig, um ein ausreichendes Angebot an potentiellen Laichplätzen gewährleisten zu können.

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

Zusätzliche Verbesserungen für die Reproduktionsverhältnisse der Bach-/Seeforelle könnten weiters durch Vernetzung der Zuflüsse mit dem Alpenrhein und deren morphologische Aufwertung erreicht werden wie dies z. B. beim Liechtensteiner Binnenkanal erfolgreich geschah.

Deutliche Verbesserungen bei der Reproduktion sind daher nur möglich durch

1. weitgehende Schwalldämpfung (Anforderungsprofil 3) oder
2. Schwalldämpfung mit reduzierter Sunkanhebung oder
3. Schwallausleitung und
4. Aufwertung der Zubringer als Laichareal

Zusammenfassend ist daher festzustellen, dass – aufgrund der Ergebnisse – für die Sicherstellung einer intakten und nachhaltig, sich selbst erhaltenden Bach-/Seeforellenpopulation eine weitgehende Schwalldämpfung, beginnend mit Anforderungsprofil 3, in der Strecke Mastrils erforderlich wäre. Für die anderen Strecken (Buchs und Koblach) wären gleichzeitig neben der Schwalldämpfung auch umfangreiche morphologische Verbesserungen entsprechend dem Entwicklungskonzept Alpenrhein (ZARN et al., 2005) erforderlich. Durch die oben angeführten zusätzlichen Verbesserungsmöglichkeiten der Reproduktionsbedingungen durch Schwalldämpfung mit reduzierter Sunkanhebung oder Schwallausleitung und Aufwertung der Zubringer als Laichareal wäre unter Umständen auch eine etwas geringere Schwalldämpfung (als Anforderungsprofil 3) in der Strecke Mastrils ausreichend.

Der (fisch)ökologische Zustand eines Gewässers/Gewässerabschnittes wird nicht nur durch den Zustand einer Art definiert (HAUNSCHMID et al., 2006, SCHAGER & PETER, 2005). Wird als Zielzustand der gute ökologische Zustand im Alpenrhein angesetzt, könnte ebenfalls eine etwas geringe Schwalldämpfung als AP 3 für die Zielerreichung ausreichend sein, da die übrigen Fischarten weniger sensibel auf den Winterschwall reagieren als die modellierte Bach-/Seeforelle. So sind für den Oberlauf des Alpenrheins 3-4 Leitfischarten und 4 typische Begleitarten genannt, im Mittel- und Unterlauf 4 Leit- und 10-12 typische Begleitarten. Viele der vorkommenden Arten laichen im Frühjahr bei natürlicherweise höheren Basisabflüssen und höherer Trübung. Diese Fischarten weisen deutlich kürzere Eientwicklungszeiten auf und sind somit in der Reproduktionsphase deutlich weniger sensibel gegenüber den Auswirkungen des Abflussschwalls. Für die gesamte Fischfauna und damit den fischökologischen Zustand sind daher bei den einzelnen Anforderungsprofilen deutlich bessere Verhältnisse als für die Bach-/Seeforelle anzunehmen.

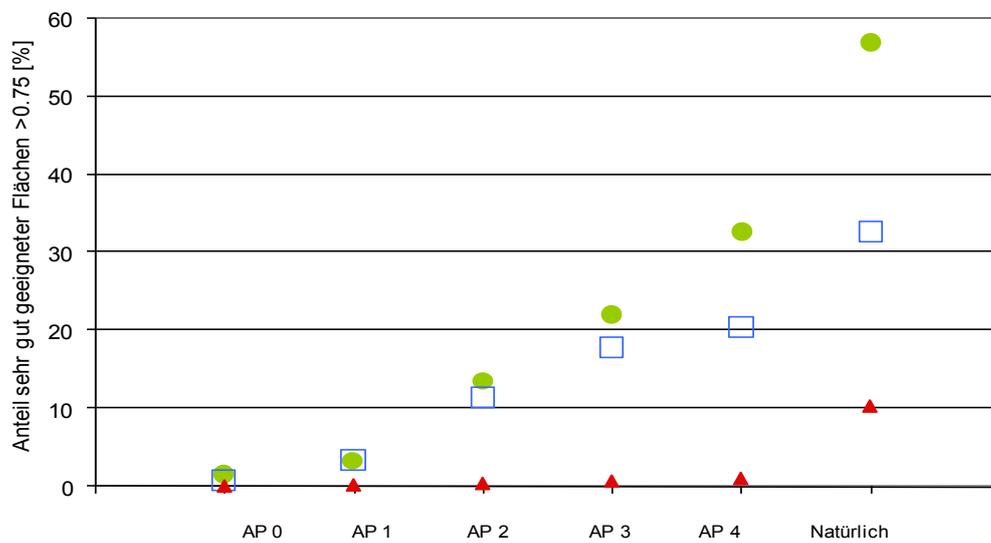
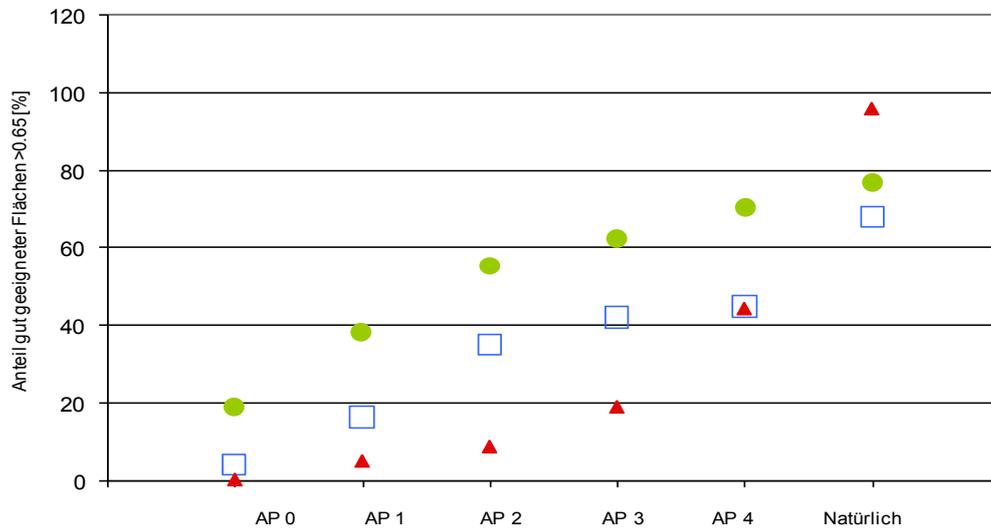
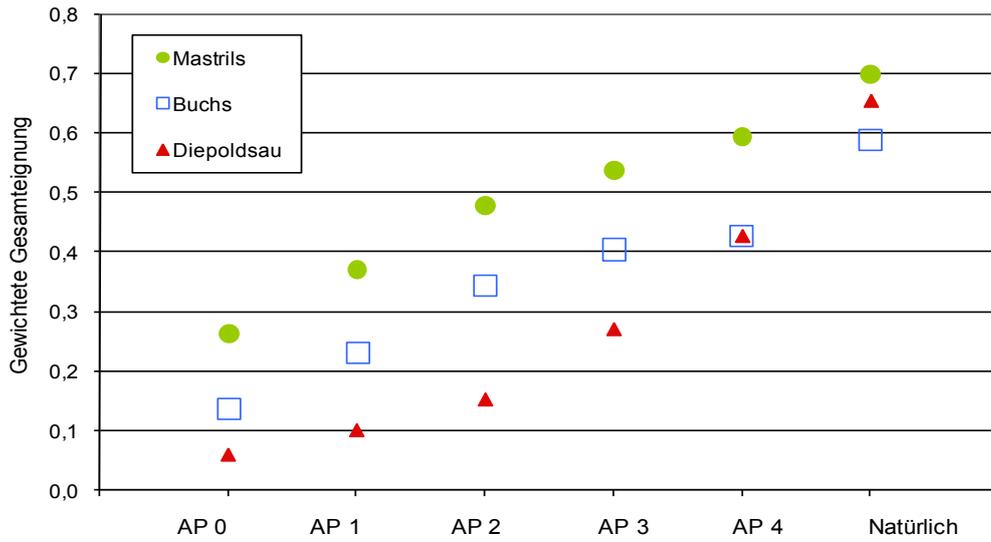
Da in Österreich und Liechtenstein der Alpenrhein als erheblich veränderter Wasserkörper eingestuft ist, wäre als Zielzustand das gute ökologische Potential anzusetzen. Die diesbezüglichen Anforderungen müssten aber noch im Detail von den betroffenen Ländern abgeklärt werden.

8.4 Interpretation und Schlussfolgerungen Makrozoobenthos

Wie sich die Anteile der verschiedenen Habitateignungen mit zunehmender Schwalldämpfung entwickeln (Kapitel 5.4.2), lässt für sich alleine genommen noch keine Schlussfolgerungen über das aus ökologischer Sicht notwendige Ausmaß dieser Dämpfung zu. Der Grund dafür ist, dass kein Mindestwert dafür angegeben werden kann, wie viele Flächen vorhanden sein sollten, die sich für eine Besiedlung durch das Makrozoobenthos sehr gut, gut oder auch nur mittelmäßig eignen. In der maßgebenden schweizerischen Gesetzgebung, d.h. im Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG) und in der zugehörigen Gewässerschutz-Verordnung (GSchV), gilt seit der jüngsten, 2011 in Kraft getretenen Revision der Grundsatz, dass „kurzfristige, künstliche Änderungen des Wasserabflusses in einem Gewässer (Schwall und Sunk) „ (Art. 39a Abs. 1 GSchG) dann durch Sanierungsmassnahmen zu verhindern oder zu beseitigen sind, wenn sie „die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume wesentlich beeinträchtigen“ (Art. 39a Absatz 1 GSchG). Eine wesentliche Beeinträchtigung liegt gemäß Art. 41e GSchV dann vor, wenn erstens „die Abflussmenge bei Schwall mindestens 1.5-mal grösser ist als bei Sunk“ und zweitens „die standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaft nachteilig verändert werden (...)“. Damit wird die natürliche, d.h. unter unbeeinflussten Abflussverhältnissen zu erwartende Lebensgemeinschaft zum Maßstab für die Beurteilung der von Schwall und Sunk beeinflussten Gewässer gemacht (BAUMANN et al., 2012).

Es liegt deshalb nahe, den Ist-Zustand (Kapitel 5.4.1) und die untersuchten Szenarien (Kapitel 5.4.2) mit den Verhältnissen unter den natürlicherweise relativ konstant tiefen, winterlichen Abflüssen (Kapitel 3.1.1 im Bericht zu AP 2) zu vergleichen. Diesen Vergleich zeigt Abb. 79 anhand von drei Kennwerten, welche die aus dem Modell Casimir hervorgehenden Flächenanteile der einzelnen Habitateignungen zu jeweils einem Gesamtwert integrieren: Es sind dies die flächengewichtete Gesamteignung als Lebensraum für das Makrozoobenthos sowie der Anteil jener Flächen an der ständig benetzten Flusssohle, die sich für Benthos-Organismen sehr gut ($HSI > 0.75$) bzw. gut bis sehr gut ($HSI > 0.65$) eignen. Der Ist-Zustand wird in Abb. 79 als AP 0 bezeichnet.

Abb. 79: (Folgeseite): Kennwerte für die Gesamteignung der drei untersuchten Teststrecken des Alpenrheins vom Ist-Zustand (als AP 0 bezeichnet) über die Anforderungsprofile AP 1 bis AP 4 mit zunehmend gedämpftem Schwall bis hin zum natürlichen winterlichen Niedrigwasserabfluss. Alle dargestellten Werte sind jeweils auf die ganze ständig benetzte Fläche der entsprechenden Teststrecke bezogen. Der Anteil gut bzw. sehr gut geeigneter Flächen wird durch die Flächenanteile der Gesamt- oder Basiseignungen ($HSI > 0.65$ bzw. > 0.75) an der ganzen benetzten Sohlenfläche ausgedrückt. Der natürliche Zustand entspricht einer winterlichen Niedrigwasserführung im Bereich der Abflusskennwerte Q_{347} und Q_{300} , gemessen zwischen 1910 und 1950 und damit noch vor dem Einfluss der Speicherkraftwerke (Tab. 18).



Wie aus Abb. 79 ersichtlich ist, entwickeln sich die beiden Kennwerte der gewichteten Gesamteignung und des Anteils von gut bis sehr gut geeigneten Flächen (mit HSI >0.65) vom Ist-Zustand über die Abflussszenarien mit zunehmend gedämpftem Schwall bis zum natürlichen winterlichen Niedrigwasserabfluss recht ähnlich. In den Teststrecken Mastrils und Buchs nehmen beide Kennwerte zwischen dem Ist-Zustand und Szenario AP 2 stärker und danach bis zum vollständig vergleichmässigten Szenario AP 4 nur noch wenig zu. Gemessen am natürlichen Zustand werden bei AP 2 in Mastrils je nach Kennwert 68 – 72% und in Buchs 52 – 58% der Eignung im natürlichen Zustand erreicht. Eine genau gegenteilige Entwicklung zeigt die Teststrecke Koblach, bei der beide Kennwerte von den Szenarien AP 2 zu AP 4 wesentlich stärker ansteigen als vom Ist-Zustand zu Szenario AP 2. In dieser Teststrecke erreichen die Kennwerte denn unter den Bedingungen von Szenario AP 2 auch erst einen Anteil von 9 – 23% der Eignung im natürlichen Zustand.

Der dritte untersuchte Kennwert, der Anteil der sehr gut geeigneten Flächen (mit HSI >0.75), nimmt in Mastrils und Buchs von den Szenarien AP 0 zu AP 1 nur geringfügig, danach bis Szenario AP 4 aber stark zu (Abb. 79). In Mastrils werden, im Gegensatz zu den zwei anderen Kennwerten, bei Szenario AP 2 erst 24% und in Buchs 35% der Eignung im natürlichen Zustand erreicht. Dass der Anteil in Buchs in diesem Fall höher ist, liegt v.a. am natürlichen Bezugswert, der in Mastrils fast doppelt so hoch ist wie in Buchs. In Koblach bleibt der Anteil der besten geeigneten Flächen hingegen bis Szenario AP 4 verschwindend klein. Er erreicht bei Szenario AP 2 erst 0.3% und auch beim natürlichen Zustand nur 10% der ständig benetzten Sohlenfläche.

Auch beim Anteil der sehr gut geeigneten Flächen zeigt sich sowohl bei den meisten Abflussszenarien als auch im natürlichen Zustand ein ähnlicher Einfluss der Morphologie wie bei den anderen beiden Kennwerten: Der Anteil jener Flächen, die sich für die Besiedlung durch das Makrozoobenthos sehr gut eignen, steigt in der Regel nicht nur mit zunehmender Schwalldämpfung, sondern auch mit zunehmend natürlicherer bzw. naturnäherer Morphologie deutlich bis stark an. Der Einfluss der Morphologie ist dabei beim natürlichen Abfluss am stärksten, wird dann aber umso geringer, je stärker die Schwalleinwirkung ist. Dies entspricht den modellhaften, v.a. auf die „Intermediate Disturbance Hypothesis“ abgestützten Vorstellungen in LIMNEX (2007b).

Das Verhältnis zwischen Schwall- und Sunkabfluss wird verschiedentlich als Indikator verwendet, um das Ausmaß der Schwalleinwirkung zu erfassen und zu bewerten. Zur Bewertung eignet sich dieser Indikator aber nur beschränkt, weil der absolute Wert des Schwall/Sunk-Verhältnisses keine zuverlässigen Aussagen über die ökologischen Auswirkungen eines bestimmten Schwallbetriebes auf das Gewässer erlaubt (BAUMANN & KLAUS, 2003; BAUMANN et al., 2012).

Eine relative Betrachtung ergibt aber immerhin, dass das Schwall/Sunk-Verhältnis in den Teststrecken Mastrils und Buchs vom Ist-Zustand bis zum Szenario AP 2 am stärksten und danach bis zum Szenario AP 4 nur noch verhältnismäßig wenig abnimmt. In der Teststrecke Koblach (bzw. bei der nahe gelegenen Abfluss-Messstelle Diepoldsau) verläuft diese Abnahme hingegen viel gleichmäßiger (Tab. 18). Das ist v.a. darauf zurückzuführen, dass die Sunkabflüsse in Koblach zwischen den einzelnen Abflussszenarien weniger stark zunehmen als in den zwei anderen Teststrecken.

Gestützt auf die Resultate aus den Habitatmodellierungen mit Casimir (Kapitel 5.4) und auf deren Interpretation erfüllt das Anforderungsprofil bzw. Abflussszenario AP 2 im Wesentlichen die Voraussetzungen, um im Alpenrhein ein ausreichendes Angebot an Lebensräumen (Habitaten) für das Benthos zu schaffen. Trifft dies tatsächlich zu, so wäre damit wohl auch eine standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt von Algenbewuchs und Makroinvertebraten gewährleistet.

Mit einer über Szenario AP 2 hinausgehenden Schwalldämpfung, also mit Szenario AP 3 oder gar mit dem vergleichmässigten Szenario AP 4, ließe sich die Eignung der Alpenrhein-Sohle für die benthische Besiedlung gemäß den Casimir-Resultaten noch weiter verbessern. Diese Verbesserungen wäre aber in den morphologisch naturnahen oder zumindest etwas vielfältigeren Teststrecken Mastrils und Buchs bei drei von vier betrachteten Kennwerten nur noch relativ gering (bei der gewichteten Gesamteignung, beim Anteil gut bis sehr gut geeigneter Flächen und beim Schwall/Sunk-Verhältnis; siehe Abb. 79). Die ökologische Aufwertung stünde zwischen den Szenarien AP 2 und AP 4 damit vermutlich in einem schlechteren Verhältnis zu Aufwand und Kosten für die Dämpfungsmaßnahmen als zwischen Ist-Zustand und Szenario AP 2.

Einzig in der morphologisch sehr gleichförmigen Teststrecke Koblach und beim vierten Kennwert (dem Anteil ausschließlich sehr gut geeigneter Flächen) steigt der ökologische „Gewinn“ erst bei den Szenarien AP 3 und AP 4 überproportional an (Abb. 79). Das ist jedoch noch keine ausreichende Begründung für eine Schwalldämpfung über Szenario AP 2 hinaus:

- In der Internationalen Rheinstrecke, hier vertreten durch die Teststrecke 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 Teststrecke auch bei Szenario AP 2 immer noch auf sehr tiefem Niveau verharren, sollte deshalb auch nicht durch eine weitergehende Schwalldämpfung, sondern durch eine morphologische Aufwertung des Gerinnes behoben werden. Ein entsprechendes Projekt für die umfassende Evaluation und Planung von Revitalisierungsmaßnahmen in diesem Flussabschnitt ist denn auch jüngst gestartet worden.

- Wenn mit der Schwalldämpfung auch für die „benthologisch“ sehr gut geeigneten Flächen ein hoher Anteil an der benetzten Flusssohle erreicht werden müsste, wäre dies eine maximale Anforderung und entspräche gewissermaßen der Zielvorstellung eines sehr guten Gewässerzustandes. Sowohl in der EU-Wasserrahmenrichtlinie als auch in den schweizerischen Normen zum Gewässerschutz werden die gesetzlichen Vorgaben aber schon bei einem guten Gewässerzustand erfüllt (CIS, 2003).

In Mastrils erreichen die gut geeigneten Flächen, die hier stellvertretend für den guten Gewässerzustand stehen, bei Szenario AP 2 einen Anteil von 72% des natürlichen Zustandes, was als ausreichend betrachtet wird. In Buchs liegt dieser Anteil zwar mit 52% deutlich tiefer. Auch dieses zusätzliche Defizit ist aber vorwiegend durch die naturfernere Morphologie bedingt und dementsprechend nicht durch Schwalldämpfungs-, sondern vielmehr durch Revitalisierungs-Maßnahmen zu beheben.

Eine Schwalldämpfung, die weniger weit geht als Szenario AP 2, erfüllt die gewässerökologischen Anforderungen gemäß den vorliegenden Resultaten nicht. Wie Abb. 79 und Tab. 18 zeigen, verschlechtern sich die untersuchten Kennwerte – außer in der Teststrecke Koblach – von Szenario AP 2 zu AP 1 so stark, dass der gute Gewässerzustand bei AP 1 als nicht mehr erreicht betrachtet werden muss.

Für die weitere Planung von schwalldämpfenden Maßnahmen wird deshalb aus Sicht der Bodenfauna empfohlen, die Schwall- und Sunkabflüsse von Anforderungsprofil 2 als Bemessungsgrundlage zu verwenden. Damit kann die Eignung des Alpenrheins als Lebensraum für ein standortgerechtes Phyto- und Makrozoobenthos gemäß den Resultaten aus dem Habitatmodell Casimir in ausreichendem Maß verbessert werden.

Ob mit einer Realisierung von Szenario AP 2 auch die gewässerökologischen Anforderungen der neuen schweizerischen Gesetzgebung im Bereich Schwall und Sunk (siehe oben) vollständig erfüllt wären, lässt sich allein aufgrund der Resultate aus der Habitatmodellierung noch nicht sagen. Zu diesem Zweck wären vielmehr auch noch andere abiotische und biologische Indikatoren zu berücksichtigen, die in BAUMANN et al. (2011) angeführt sind (und die bei der Konzeption und Durchführung des vorliegenden Projektes noch nicht bekannt waren).

Die eigenen Makrozoobenthos-Probenahmen in speziellen Habitaten des Alpenrheins (Kapitel 5.3.3) haben auch Hinweise darauf geliefert, welche Teil-Lebensräume sich für die benthische Besiedlung auch unter Schwall-Bedingungen relativ gut eignen und bei zukünftigen Revitalisierungen deshalb im Interesse eines qualitativ und quantitativ guten Bestandes an Aufwuchsalgen und Makroinvertebraten möglichst gefördert werden sollten.

Es sind dies in erster Linie (Abb. 43):

- Permanent (d.h. auch bei Sunk) durchflossene Seitengerinne wie jenes auf der orografisch linken Flussseite in der Teststrecke Mastrils (vgl. Abb. 44). Noch gesteigert wird der Wert dieser Lebensräume in einem solchen Seitengerinne dann, wenn der Einlauf verengt ist und die Abflussschwankungen zwischen Schwall und Sunk in der Folge schon natürlicherweise gedämpft werden, wie dies in Mastrils ebenfalls festgestellt wurde (vgl. Abb. 39).
- Permanent (d.h. auch bei Sunk) überflossene Schnellen (Riffles). Diese Habitats bieten v.a. den sensiblen, oft strömungsliebenden oder –bedürftigen Arten des Makrozoobenthos auf der einen Seite selbst bei geringer Wasserführung (Sunk) eine minimale Fliessgeschwindigkeit. Auf der anderen Seite können sich dieselben Organismen bei den ausgesprochen starken Fliessgeschwindigkeiten (und entsprechend großem hydraulischem Stress) während Zeiten mit hoher Wasserführung (Schwall) im groben Substrat der Riffles vermutlich am ehesten in die relativ großen, strömungsgeschützten Zwischenräume (hydraulische Refugien) zurückziehen. Ein Beispiel dafür dürfte die Larve der Eintagsfliege *Epeorus alpicola* sein, die von allen untersuchten Habitats bisher nur in einem Riffle der Aufweitung Oldis nachgewiesen werden konnte (Kapitel 5.3.3).

Nicht nutzbar sind die hydraulischen Refugien natürlich für die festsitzenden Algen oder Kriebelmückenlarven (*Simuliidae*), welche bei den punktuellen Aufnahmen im Alpenrhein als hauptsächliche Indikatoren für die benthische Besiedlung dienen (Kapitel 5.3.2). Die Dichte dieser Organismen war eine der wichtigen Grundlagen, um die Eingabedaten ins Habitatmodell zu bestimmen (Kapitel 5.2 im Bericht zu AP 2). Die Resultate dieser Modellierung berücksichtigen deshalb auch jenen Teil des Benthos, der den hohen Schwallabflüssen am stärksten ausgesetzt ist.

Neben den besonders schnell überflossenen sind auf der anderen Seite auch jene Habitats besonders stark vom Schwallbetrieb betroffen, die in den Randbereichen des Gerinnes liegen, darunter etwa schwach überströmte Flachwasserzonen oder stehende Hinterwasser. Je naturnaher die Morphologie des Gewässers ist, desto ausgedehnter bzw. häufiger sind diese Sohlenbereiche und desto grösser ist gleichzeitig die Gefahr, dass sie nur bei Schwall überflutet sind, bei Sunk aber trockenfallen (Wasserwechselzonen). In diesen Stillwasserbereichen leben, ähnlich wie in den Riffles, ebenfalls Makrozoobenthos-Arten, welche an die entsprechenden, speziellen Bedingungen angepasst sind. Darunter fällt beispielsweise der Wasserkäfer *Platambus maculatus*, der bisher nur in einem Hinterwasser bei Buchs gefunden wurde (Kapitel 5.3.3).

Im Interesse einer möglichst standortgerechten Artenvielfalt sollten bei Revitalisierungen deshalb vermehrt auch ständig benetzte Stillwasserzonen geschaffen bzw. ermöglicht werden.

8.5 Zusammenfassende Empfehlungen

Wie die gesammelten Ergebnisse des Projektes D6 zeigen, reagieren die einzelnen Altersstadien der Fische als auch die benthischen Faunenelemente (Makrozoobenthos) sehr unterschiedlich auf die Auswirkungen des Abflussschwalls. Die jeweiligen Beeinträchtigungen werden zudem durch unterschiedliche, saisonale Hauptschadensfaktoren verursacht.

Aus Sicht des MZB reichen die Verbesserungen durch Anforderungsprofil 2 in den Strecken Mastrils und Buchs aus, um im Alpenrhein eine standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt des Algenbewuchses und des Makrozoobenthos zu ermöglichen. In der Strecke Koblach würde dies erst ab Anforderungsprofil 3 oder mit entsprechenden morphologischen Verbesserungen erreicht. Mit dem verfügbaren Volumen von Schwalldämpfungsbecken sollten daher, jahreszeitlich abgestimmt, gezielt jeweils die Auswirkungen des limitierenden Schadensfaktors reduziert werden, wobei in Kauf genommen werden muss, dass weniger limitierende Schadensfaktoren nicht optimal behandelt werden können.

Da die Bodenfauna entsprechend den Modellierungsergebnissen geringere Anforderungen an die Schwalldämpfung (Anforderungsprofil 2) stellt, nehmen die nachfolgenden Empfehlungen vor allem bezug auf die Anforderungen der einzelnen Stadien der Bach-/Seeforelle. Die optimale Betriebsweise von Schwalldämpfungsbecken muss daher an die Jahreszeit und die jeweils empfindlichsten Stadien angepasst werden:

- Mitte November/Dezember (Laichzeit Bach-/Seeforelle): Vermeidung zu starker Sunkanhebung.

Die Reproduktion der Bach-/Seeforelle stellt derzeit das limitierende Entwicklungsstadium für eine intakte Bach-/Seeforellenpopulation im Alpenrhein dar. Durch die Vermeidung einer zu starken Sunkanhebung könnte somit eine massive Verbesserung der fischökologischen Verhältnisse erreicht werden. Da die Hauptlaichzeit nur einen Zeitraum von ca. 4-6 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 hätten zu 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-/Seeforellenpopulation.

- Frühjahr/Frühsummer (Schlupf der Fischlarven von Bach-/Seeforelle und anderen Leitfischarten wie Äsche usw.): Empfohlen wird vor allem ein möglichst langsamer Anstieg/Rückgang des Wasserspiegels bei Schwall/Sunk, optimal kombiniert mit einer verringerten Schwallamplitude.

Eine Anhebung des Sunkabflusses ist vermutlich in dieser Periode nicht der Hauptschadensfaktor für diese Stadien. Eine genaue Überprüfung bzw. Modellierung der Verhältnisse zu diesem Zeitraum wird jedoch dringend empfohlen.

- Sommer/Frühherbst: Die Fischfauna ist aufgrund der wärmeren Temperaturen zu dieser Jahreszeit generell unsensibler als im Winter. Besonders sensible Stadien sind zu diesem Zeitpunkt nicht vorhanden, da keine Fischart zu diesem Zeitpunkt laicht bzw. die Fischlarven sich bereits zu Jungfischen entwickelt haben. Zudem treten in dieser Jahreszeit erhöhte Abflüsse und Trübungen natürlicherweise im Alpenrhein auf.

Zusätzliche Verbesserungen für die Fischfauna des Alpenrheins wären durch Vernetzung der Zuflüsse mit dem Alpenrhein und deren ökologischen Aufwertung zu erreichen.

9 Literaturverzeichnis

ARGE Limnologie (2001): Fachbericht Makrozoobenthos, Phytobenthos. Teilbericht zu ARGE Trübung Alpenrhein (2001). Erhältlich auf der Homepage der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA). URL://<http://www.alpenrhein.net>.

ARGE Limnologie (2008): Limnologische Untersuchung an ausgewählten Fließgewässern in Liechtenstein im Februar 2008. Bericht im Auftrag von Limnex AG, Zürich.

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). URL://<http://www.alpenrhein.net>.

Baumann, P., Kirchofer A., Schälchli U. (2012): Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1203: 126 S. (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01637/index.html?lang=de>)

Baumann, P. (2004): Revitalisierung und Benthos der Rhone. Schlussbericht SP I-6, Rhone-Thur Projekt, Eawag, WSL, Limnex AG.

Baumann, P., Klaus, I. (2003): Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 75, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/04851/index.html?lang=de).

Biggs, B.J.F. (1996): Patterns in benthic algae of streams. In Stevenson, R.J. (Eds.): Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems. Academic Press, San Diego: 31 - 56.

Biggs, B.J.F., Stokseth, S. (1996): Hydraulic habitat suitability for periphyton in Rivers. Regul. Rivers: Res. & Man. 12: 251 - 261.

Bovee, K., Lamb, B., Bartholomew, J., Stalnaker, C., Taylor, J., and Henriksen, J. (1998). "Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology." USGS/BRD-1998-0004, US Geological Survey, Washington DC.

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

Dückelmann, H. (2001): Seehöhen-Biomassen-Beziehung des Makrozoobenthos in österreichischen Fließgewässern. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.

Gard, M. (2006): Flow-Habitat relationships for macroinvertebrates in the Sacramento River between Keswick Dam and Battle Creek. Final report, Sacramento Fish and Wildlife Office, Sacramento, CA.

Gore, J.A., Layzer, J.B., Mead, J. (2001): Macroinvertebrate instream flow studies after 20 years: A role in stream management and restoration. Regul. Rivers: Res. & Man. 17: 527 – 542.

Gore, J.A., Niemela, S., Resh, V.H., Statzner, B. (1994): Near-substrate hydraulic conditions under artificial floods from peaking hydropower operation: A preliminary analysis of disturbance intensity and duration. Regulated Rivers: Research & Management 9, 15 . 34.

Haas R. & Peter A. (2009): Lebensraum Hasliaare 2009: Eine fischökologische Zustandserhebung zwischen Innertkirchen und Brienersee. Eawag Kastanienbaum. KTI-Projekt: Nachhaltige Nutzung der Wasserkraft - Innovative Massnahmen zur Reduzierung der Schwall-Sunk Problematik.

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.

Imbert, J.B. (1996): Influence of flow on benthic invertebrates and community organization in experimental streams. Ph. D. Thesis, University of Minnesota, USA.

Jungwirth, M., Moog, O., Winkler, H. (1980): Vergleichende Fischbestandsaufnahmen an elf niederösterreichischen Fließgewässerstrecken. Jubiläumsschrift der Österreichischen Fischereigesellschaft, Wien, 81 – 104.

Kiel, E. (1996): Effects of Aufwuchs on Colonization by Simuliids (Simuliidae, Diptera). Int. Revue ges. Hydrobiol. 81: 565 – 576.

Kopecki, I. (2008): Calculational Approach to FST-Hemispheres for Multiparametrical Benthos Habitat Modelling. Mitteilung Nr. 169 des Instituts für Wasserbau der Universität Stuttgart.

Künzli, F. (2005): Fischökologische Untersuchung in vier schwallbeeinflussten Schweizer Fließgewässern. Diplomarbeit. an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) Kastanienbaum in der Abteilung für angewandte Gewässerökologie (APEC).

Limnex (2001): Fachbericht zu den Teilaspekten Trübung, Licht, Bewuchs und Drift. Teilbericht zu ARGE Trübung Alpenrhein (2001). Erhältlich auf der Homepage der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA). URL://<http://www.alpenrhein.net>.

Limnex (2004): Auswirkungen des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fließgewässer: Grundlagen zur Beurteilung. Studie im Auftrag WWF Schweiz Abteilung Wasser.

Limnex (2006): Schwallversuche in der Linth: Ökologische Auswirkungen von schwalldämp-fenden Massnahmen. Bericht zuhanden des kantonalen Amtes für Umweltschutz, Glarus.

Limnex (2007a): Szenarien für eine ökologisch begründete Schwallminderung in den Flüssen Alpenrhein, Rhone, Linth und Doubs. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

Limnex (2007b): Morphologie und Schwallbetrieb in Fließgewässern. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

Moog, O., Janecek, B.F.U. (1991): River flow, substrate type and Hydrurus density as major determinants of benthic macroinvertebrate abundance, composition and distribution. Verh. Internat. Verein. Limnol. 24: 1888 – 1896.

Ogilvie, G (1988): The effects of periphyton manipulations on the micro-distribution of grazing macroinvertebrates. Verh. Internat. Verein. Limnol. 23: 1101 – 1106.

Rey, P., Werner, S., Mürle, U., Becker, A., Ortlepp, J. & J. Hürlimann, 2011: Monitoring Alpenrhein. Basismonitoring Ökologie 2009 bis 2011. Herausgeber: Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie. 150 S. St. Gallen 2011. Erhältlich auf der Homepage der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA). URL://<http://www.alpenrhein.net>

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 hydropeaking. 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, U., Wyrsh, F. & Schumacher, A. (2011). Alpenrhein D6 - Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Arbeitspaket 1, Anforderungsprofile und Kolmation. Im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA).

Schälchli, U., Eberstaller, J., Moritz, Ch., Schmutz, S. (2003): Notwendige und wünschbare Schwallreduktion im Alpenrhein. Bericht im Auftrag, der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz.

Schmedtje, U. (1995): Ökologische Grundlagen für die Beurteilung von Ausleitungsstrecken. Schriftenreihe Nr. 25 des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, München.

Schweizer, S., Neuner, J. & N. Heuberger (2009): Bewertung von Schwall/Sunk – Herleitung eines ökologisch abgestützten Bewertungskonzepts. «Wasser Energie Luft» – 101. Jahrgang, 2009, Heft 3.

Shields, A. (1936). Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung [Application of similarity mechanics and turbulence research on shear flow]. Mitteilungen der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau. 26. Berlin: Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau.

Wood, P.J., Boulton, A.J., Little, S., Stubbington, R. (2010): Is the hyporheic zone a refugium for aquatic macroinvertebrates during severe low flow conditions? Arch. Hydrobiol. 176/4: 377 – 390.

Zimmerli, W. (1991): Die Algenflora des Rheines von Quelle (Tomasee) bis Basel. Bauhinia 9/4: 291-307.

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>.

10.1 Kapitel 3.1

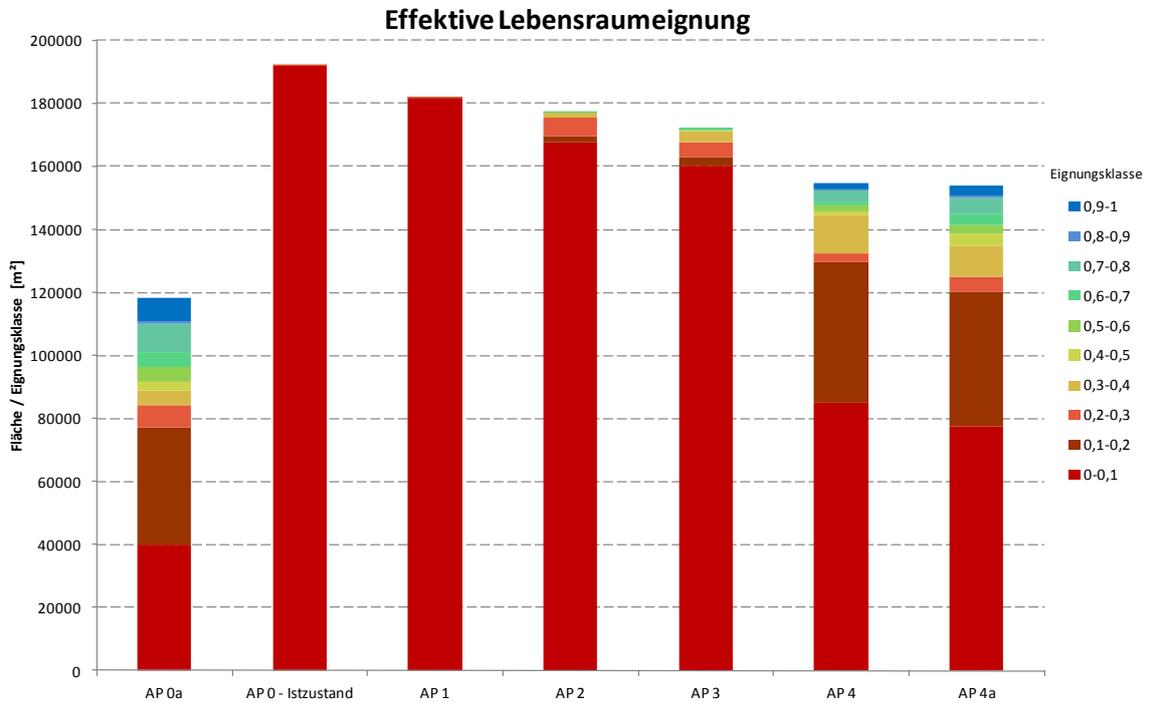


Abb. 80: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

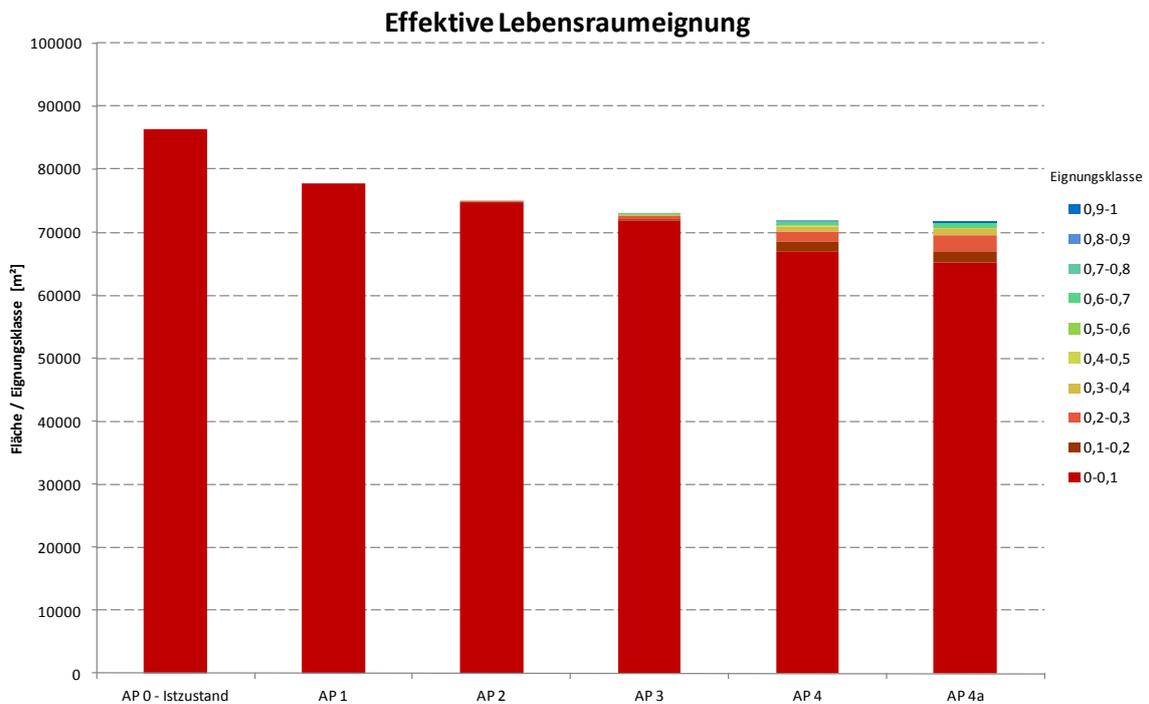


Abb. 81: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Buchs

10.2 Kapitel 6

Tab. 38: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Seitenarm p_1 und p_2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	3692,5	14559,8	9935,7	7624,0	6625,1	6271,0	5909,2
>0,0-0,1	574,3	1629,5	3808,1	4401,7	4665,7	384,9	398,7
0,1-0,2	1179,1	615,3	2261,6	729,7	935,3	1849,5	1526,0
0,2-0,3	823,7		1,6	376,3	294,9	484,6	671,7
0,3-0,4	939,7		1,9	282,1	253,0	2069,0	1043,1
0,4-0,5	747,5		2,6	1423,7	836,7	484,6	645,7
0,5-0,6	353,8			5,6	299,2	351,5	570,9
0,6-0,7	641,0				41,0	466,4	821,6
0,7-0,8	482,5			1,7	60,8	872,8	984,1
0,8-0,9	119,3				33,1	126,8	227,3
0,9-1	2017,4			12,4	352,5	558,2	1009,0
	11570,6	16804,6	16011,4	14857,1	14397,3	13919,3	13807,4
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	2153,1	18111,9	13161,8	14921,5	13283,3	8916,3	8003,5
>0,0-0,1	620,3	9716,3	11200,3	6767,9	4929,1	666,4	390,7
0,1-0,2	869,1	849,0	1810,1	1023,1	2535,3	2983,5	1706,2
0,2-0,3	714,5	40,6	46,8	327,3	534,1	386,4	1034,6
0,3-0,4	1087,1	60,0	63,0	281,0	350,2	4237,0	3925,3
0,4-0,5	919,4	171,5	176,0	999,4	659,5	236,1	1001,2
0,5-0,6	527,9			277,6	596,4	197,1	580,1
0,6-0,7	759,5			7,8	60,6	216,8	539,0
0,7-0,8	1074,7			4,9	43,7	635,9	851,1
0,8-0,9	337,5			10,3	34,1	45,6	112,3
0,9-1	2297,7			79,8	113,9	149,5	299,5
	11360,8	28949,3	26458,1	24700,5	23140,2	18670,5	18443,4

Tab. 39: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme 1 bis 5 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	532,7	9927,7	9062,9	8571,2	8021,5	1107,4	1107,5
>0,0-0,1		1596,5	424,9	172,8	28,7		
0,1-0,2				36,0	0,2		
0,2-0,3				0,5			
0,3-0,4			0,2		0,5		
0,4-0,5				4,1			
0,5-0,6				11,9	8,6		
0,6-0,7							
0,7-0,8				4,4			
0,8-0,9				1,1			
0,9-1				5,9			
	532,7	11524,1	9487,9	8807,8	8059,6	1107,4	1107,5
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	2,3	360,6	346,1	539,0	400,3	388,2	396,7
>0,0-0,1		468,7	418,6	64,2	74,1	4,5	3,3
0,1-0,2				29,3	24,6	7,8	2,1
0,2-0,3				19,4	8,9	9,5	3,4
0,3-0,4				15,0	11,6	3,6	6,8
0,4-0,5				8,5	16,6	5,4	15,4
0,5-0,6				53,9	98,2	3,4	5,2
0,6-0,7						7,4	1,7
0,7-0,8						18,3	12,6
0,8-0,9							
0,9-1							
	2,3	829,2	764,7	729,3	634,4	448,1	447,2
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	597,6	5291,8	3672,7	3926,0	3751,9	2808,0	2742,7
>0,0-0,1	113,9	1878,3	2782,6	1923,6	1548,8	229,0	266,9
0,1-0,2	428,0	15,8	115,8	78,1	335,0	1677,5	1442,9
0,2-0,3	265,7			12,2	30,1	141,5	274,0
0,3-0,4	228,6			27,8	25,3	925,0	808,7
0,4-0,5	209,7			66,9	29,4	112,3	142,5
0,5-0,6	117,9			41,3	178,3	47,7	107,4
0,6-0,7	106,6			2,1	5,7	38,3	122,5
0,7-0,8	358,1			1,4	2,5	90,8	259,7
0,8-0,9	34,2			1,5	5,0	14,3	18,4
0,9-1	208,0			11,4	50,3	63,4	205,5
	2668,3	7185,8	6571,1	6092,3	5962,4	6147,9	6391,3

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0		546,4	609,0	801,8	698,8	704,8	698,8
>0,0-0,1		115,0	34,6	21,6	36,8	0,2	2,0
0,1-0,2		11,8	6,7	14,7	24,2	1,7	2,9
0,2-0,3			4,4	5,6	9,3	1,4	0,0
0,3-0,4			7,2	0,3	4,9	0,6	4,2
0,4-0,5			11,8	6,4	1,8	0,0	0,0
0,5-0,6				10,3	2,1	0,0	0,0
0,6-0,7				3,9	2,3	1,7	1,7
0,7-0,8				2,0	3,8		
0,8-0,9				3,6	2,0		
0,9-1				24,1	18,1		
	0.0	673,3	673,6	894,3	804,0	710,4	709,6
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0		6462,5	5731,3	5755,4	5242,1	3973,6	3984,9
>0,0-0,1		1316,1	212,1	5,7	9,5		
0,1-0,2							
0,2-0,3							
0,3-0,4							
0,4-0,5							
0,5-0,6							
0,6-0,7							
0,7-0,8							
0,8-0,9							
0,9-1							
	0.0	7778,6	5943,4	5761,0	5251,6	3973,6	3984,9

Tab. 40: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbänke 1 bis 6 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	312,6	5952,7	3338,3	3294,7	2862,9	2537,9	2273,2
>0,0-0,1	10,5	1859,1	1688,3	983,9	936,8	100,4	57,3
0,1-0,2	14,8	82,8	289,6	638,9	69,7	92,5	63,7
0,2-0,3	67,4		1,9	7,0	30,7	253,4	244,0
0,3-0,4	39,7		0,8	3,8	40,6	34,9	16,9
0,4-0,5	194,3		1,9	386,0	616,9	38,7	230,2
0,5-0,6	70,6			3,7	91,8	48,0	102,6
0,6-0,7	524,6					137,1	375,2
0,7-0,8	425,9				0,4	324,2	77,9
0,8-0,9	4,0				0,6	78,8	0,0
0,9-1	554,2				16,6	237,4	367,8
	2218,7	7894,6	5320,8	5318,0	4666,9	3883,1	3808,8
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	271,6	5703,9	4251,6	3863,6	2946,3	2448,6	2515,7
>0,0-0,1	55,3	3280,6	3136,2	1960,6	1290,8	112,8	150,7
0,1-0,2	162,0			147,8	174,2	309,7	296,1
0,2-0,3	233,1			73,1	180,2	108,3	123,4
0,3-0,4	131,7			79,8	212,1	230,9	167,6
0,4-0,5	330,0			112,3	355,0	144,6	60,9
0,5-0,6	219,9			18,2	129,8	92,8	68,4
0,6-0,7	343,2			10,8	23,9	108,7	124,3
0,7-0,8	1792,1			7,2	21,1	149,0	517,0
0,8-0,9	0,0			9,2	20,0	68,8	23,5
0,9-1	0,3			17,6	168,8	630,1	362,8
	3539,0	8984,4	7387,8	6300,3	5522,2	4404,2	4410,4
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	163,3	1955,5	1123,2	936,6	802,7	525,5	454,3
>0,0-0,1	41,5	143,7	274,4	205,8	109,4	48,9	34,6
0,1-0,2	68,4	27,4	262,5	66,8	109,6	43,5	37,1
0,2-0,3	61,1		4,7	10,2	13,3	21,1	46,0
0,3-0,4	160,8		5,3	21,7	13,0	129,4	170,3
0,4-0,5	13,7		18,8	83,3	58,3	18,7	10,2
0,5-0,6	18,1			14,4	15,6	13,5	15,1
0,6-0,7	19,2			5,0		6,4	17,3
0,7-0,8	40,4			1,3		38,1	15,2
0,8-0,9	20,7			4,9	0,1	6,4	8,6
0,9-1	212,3			60,6	5,3	26,0	86,4
	819,4	2126,5	1688,9	1410,5	1127,2	877,5	895,4

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	194,9	1399,6	1241,2	923,4	906,4	604,6	611,5
>0,0-0,1	54,6			48,9	55,5	36,7	32,2
0,1-0,2	27,5			39,5	45,5	31,2	45,0
0,2-0,3	30,6					30,8	23,4
0,3-0,4	82,3					76,7	68,7
0,4-0,5							
0,5-0,6							
0,6-0,7							
0,7-0,8							
0,8-0,9							
0,9-1							
	389,9	1399,6	1241,2	1011,7	1007,3	780,0	780,8
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	331,0	4846,9	3472,9	3074,7	2402,5	1158,7	1199,1
>0,0-0,1	43,8	1108,4	1459,5	432,9	415,9	31,2	52,1
0,1-0,2	327,3			110,1	95,2	114,8	81,5
0,2-0,3	98,3			32,0	31,8	48,6	76,7
0,3-0,4	85,6			32,4	53,0	69,5	49,9
0,4-0,5	92,4			53,5	101,3	23,7	39,0
0,5-0,6	36,5			52,8	32,2	26,0	23,1
0,6-0,7	49,7			1,2	1,1	33,2	23,4
0,7-0,8	132,0			0,3	1,0	80,3	78,6
0,8-0,9	0,0			0,0	1,7	18,9	7,1
0,9-1	0,8			0,3	3,6	98,1	79,7
	1197,5	5955,3	4932,4	3790,2	3139,4	1703,1	1710,3
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	246,8	13495,9	5303,2	4576,9	4198,1	2805,1	2525,7
>0,0-0,1	46,3	2689,9	5245,0	3330,0	2450,9	46,9	174,1
0,1-0,2	170,7	49,2	1015,1	637,3	285,1	1185,2	720,8
0,2-0,3	264,8		15,8	263,5	189,6	160,0	248,6
0,3-0,4	205,7		5,1	195,0	141,7	805,9	475,6
0,4-0,5	498,1		27,9	1008,3	463,6	126,6	346,1
0,5-0,6	388,0			83,9	256,6	92,8	263,6
0,6-0,7	1006,0			20,4	11,2	119,5	317,1
0,7-0,8	1361,3			13,7	8,2	324,7	507,3
0,8-0,9	89,3			19,8	5,7	10,4	17,0
0,9-1	1596,5			53,2	82,1	164,4	267,1
	5873,4	16235,0	11612,2	10202,1	8092,9	5841,5	5862,9

Tab. 41: Laichplatz/Reproduktion – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt 1 bis 3 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	8236,0	10962,4	12071,6	11713,2	11766,4	12734,7	10849,3
>0,0-0,1	1247,6	218,2	247,2	1724,4	3328,7	67,7	554,1
0,1-0,2	2530,9	63,2	86,1	48,9	225,0	2562,0	2112,8
0,2-0,3	1132,1			8,6	52,9	7,8	91,8
0,3-0,4	169,5			7,3	43,7	175,2	211,2
0,4-0,5	55,1			101,2	37,3	9,0	65,0
0,5-0,6	41,7				20,8	5,4	47,3
0,6-0,7	138,8				5,7	9,0	46,3
0,7-0,8	31,8				6,0	2,5	27,6
0,8-0,9	6,7				4,0	5,2	6,5
0,9-1	57,6				40,3	14,0	24,9
	13647,7	11243,8	12405,0	13603,5	15530,7	15592,6	14036,8
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	4201,7	4049,6	4236,9	5124,1	5466,5	5088,8	4907,1
>0,0-0,1	69,0	111,2	94,0	43,6	312,5	142,3	156,4
0,1-0,2	562,5				0,5	760,8	661,8
0,2-0,3	1,6					0,0	2,9
0,3-0,4	16,9					0,0	6,6
0,4-0,5	0,0					0,0	2,0
0,5-0,6	0,0					0,0	0,1
0,6-0,7	0,0					0,0	0,0
0,7-0,8	0,0					0,0	0,1
0,8-0,9	0,0					0,0	0,0
0,9-1	0,0					0,0	0,0
	4851,7	4160,8	4330,9	5167,7	5779,6	5992,0	5737,1
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	3723,3	5651,8	6843,9	6625,8	5264,8	5137,3	4547,4
>0,0-0,1	478,4	1657,5	1626,1	1932,2	2735,1	661,2	91,3
0,1-0,2	2527,3		9,6	59,6	161,8	2688,7	2565,1
0,2-0,3	299,2			1,0	34,3	235,7	104,4
0,3-0,4	128,4				151,9	515,5	482,6
0,4-0,5	477,8			4,2	49,3	242,5	147,6
0,5-0,6	153,2				656,5	324,6	144,1
0,6-0,7	92,7					31,3	49,7
0,7-0,8	600,8					5,5	267,0
0,8-0,9	4,7					4,3	6,6
0,9-1	1,0				0,0	6,9	6,9
	8486,8	7309,3	8479,7	8622,8	9059,2	10115,2	8611,4

Tab. 42: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Seitenarm p_1 und p_2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	1430,2	9482,8	8052,5	5576,9	4544,7	3356,2	3451,8
>0,0-0,1	531,1	908,6	704,5	634,9	597,8	536,2	480,2
0,1-0,2	548,5	1905,0	1761,0	1659,9	1504,8	1160,7	848,7
0,2-0,3	569,4	687,7	795,0	778,6	757,2	713,9	753,1
0,3-0,4	4038,4	3489,6	4082,5	5162,6	5375,3	5446,5	5019,8
0,4-0,5	1371,4	147,9	264,1	472,2	743,7	1194,9	1284,7
0,5-0,6	418,4	49,1	79,7	107,1	134,8	191,4	243,8
0,6-0,7	730,5	69,8	114,3	162,3	291,4	482,2	585,8
0,7-0,8	314,5	24,8	53,5	85,5	98,7	153,6	191,0
0,8-0,9	894,3	21,1	55,5	89,4	173,1	317,1	498,2
0,9-1	724,1	18,3	48,9	127,7	175,7	366,7	450,3
	11570,6	16804,6	16011,4	14857,1	14397,3	13919,3	13807,4
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	320,6	28161,9	24836,0	16711,9	12790,8	4824,8	4963,2
>0,0-0,1	361,2	235,3	798,8	2172,0	1724,6	1692,7	872,5
0,1-0,2	984,9	267,4	403,3	3023,5	2643,2	2247,4	2245,4
0,2-0,3	769,4	40,0	82,3	849,2	1506,2	1067,6	734,7
0,3-0,4	5544,1	244,7	335,9	1783,6	3932,3	6035,4	6577,4
0,4-0,5	1096,7	0,0	1,9	61,8	271,5	1029,6	1031,4
0,5-0,6	402,1	0,0	0,0	42,7	79,7	214,4	212,2
0,6-0,7	630,0	0,0	0,0	33,5	126,9	523,4	628,2
0,7-0,8	238,1	0,0	0,0	10,5	15,4	146,3	131,6
0,8-0,9	675,1	0,0	0,0	11,8	35,6	856,8	959,8
0,9-1	338,7	0,0	0,0	0,0	13,9	32,0	86,9
	11360,8	28949,3	26458,1	24700,5	23140,2	18670,5	18443,4

Tab. 43: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme 1 bis 5 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	403,8	11499,5	9453,6	8586,3	7510,4	260,3	540,1
>0,0-0,1	42,5	9,8	15,2	103,5	149,9	81,6	117,6
0,1-0,2	12,2	6,9	10,4	26,4	138,6	72,9	93,6
0,2-0,3	8,3	3,0	3,6	16,2	64,2	42,1	63,1
0,3-0,4	15,1	0,8	4,0	34,0	37,8	296,2	84,7
0,4-0,5	0,9	0,1	0,6	16,2	23,8	22,8	7,4
0,5-0,6	3,0	0,0	0,6	11,2	17,5	35,4	8,4
0,6-0,7	30,7	0,0	0,0	14,0	35,7	81,9	83,1
0,7-0,8		2,0	0,0	0,0	26,4	8,1	4,9
0,8-0,9	12,1	2,0	0,0	0,0	14,1	40,2	22,4
0,9-1	3,9	0,0	0,0	0,0	41,2	166,0	82,2
	532,7	11524,1	9487,9	8807,8	8059,6	1107,4	1107,5
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	2,0	746,8	682,0	597,8	376,0	184,0	258,0
>0,0-0,1		5,9	6,2	19,8	27,9	15,9	11,5
0,1-0,2		36,5	7,8	8,6	15,1	13,7	9,0
0,2-0,3		0,0	28,9	13,6	41,5	11,0	9,9
0,3-0,4	0,2	40,0	35,7	71,4	95,5	53,6	29,1
0,4-0,5		0,0	4,1	18,1	66,8	71,6	20,0
0,5-0,6		0,0	0,0	0,0	2,8	9,0	4,0
0,6-0,7		0,0	0,0	0,0	2,0	25,8	14,2
0,7-0,8		0,0	0,0	0,0	3,4	6,7	7,9
0,8-0,9		0,0	0,0	0,0	3,3	56,8	83,6
0,9-1		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2,3	829,2	764,7	729,3	634,4	448,1	447,2
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	39,4	6706,1	5749,1	3080,1	1756,9	691,5	1294,0
>0,0-0,1	27,4	227,2	351,6	720,0	631,7	224,2	263,8
0,1-0,2	81,4	249,2	462,1	1213,7	1244,4	1133,3	611,6
0,2-0,3	68,6	1,3	4,2	467,9	646,7	578,5	569,2
0,3-0,4	1327,2	2,0	4,1	608,6	1547,3	2439,2	2099,9
0,4-0,5	579,4	0,0	0,0	0,0	69,0	489,7	567,3
0,5-0,6	68,2	0,0	0,0	2,0	33,2	140,6	152,1
0,6-0,7	205,5	0,0	0,0	0,0	31,2	361,4	676,8
0,7-0,8	52,8	0,0	0,0	0,0	2,0	13,6	28,8
0,8-0,9	189,3	0,0	0,0	0,0	0,0	42,2	60,9
0,9-1	29,2	0,0	0,0	0,0	0,0	33,6	66,7
	2668,3	7185,8	6571,1	6092,3	5962,4	6147,9	6391,3

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	0,0	622,2	612,3	629,2	536,1	274,1	359,6
>0,0-0,1	0,0	1,8	2,8	25,4	19,1	62,8	37,6
0,1-0,2	0,0	21,6	4,3	27,8	23,6	41,1	23,4
0,2-0,3	0,0	5,3	15,5	13,1	11,1	25,0	14,9
0,3-0,4	0,0	18,5	29,5	52,7	46,5	42,5	30,1
0,4-0,5	0,0	1,7	2,9	57,5	33,0	24,4	10,8
0,5-0,6	0,0	0,0	0,0	20,2	20,6	21,5	17,7
0,6-0,7	0,0	0,0	1,3	15,4	31,8	59,5	57,0
0,7-0,8	0,0	2,2	0,0	11,0	19,6	26,2	24,5
0,8-0,9	0,0	0,0	4,3	39,7	52,6	72,2	85,1
0,9-1	0,0	0,0	0,5	2,3	10,2	61,1	48,9
	0,0	673,3	673,6	894,3	804,0	710,4	709,6
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	0,0	5395,4	3733,4	3525,5	3074,8	1219,9	1918,7
>0,0-0,1		87,1	73,8	58,4	67,6	141,4	67,5
0,1-0,2		298,7	85,4	80,0	80,8	121,1	60,3
0,2-0,3		439,0	64,2	57,6	60,3	98,2	47,8
0,3-0,4		785,4	502,5	516,5	417,7	210,4	229,7
0,4-0,5		234,6	218,9	149,2	98,9	83,4	51,9
0,5-0,6		143,2	183,4	119,6	133,5	96,5	84,2
0,6-0,7		160,5	194,3	175,8	155,0	303,6	131,8
0,7-0,8		154,8	271,4	162,7	152,7	93,6	121,0
0,8-0,9		60,5	542,6	798,3	865,0	1389,5	1132,1
0,9-1		19,4	73,6	117,5	145,3	216,1	139,8
	0,0	7778,6	5943,4	5761,0	5251,6	3973,6	3984,9

Tab. 44: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank 1 bis 6 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	3,9	6756,7	4612,7	3237,0	2351,9	650,8	1282,2
>0,0-0,1	1,9	494,3	92,1	99,3	62,1	72,8	49,2
0,1-0,2	145,2	283,0	123,7	256,8	190,1	132,9	73,2
0,2-0,3	140,7	132,4	67,3	146,9	131,1	75,9	69,5
0,3-0,4	228,6	228,3	425,0	1305,2	981,4	1069,0	833,9
0,4-0,5	167,4	0,0	0,0	148,7	581,4	486,3	166,5
0,5-0,6	157,6	0,0	0,0	73,9	83,0	165,3	81,2
0,6-0,7	236,2	0,0	0,0	10,9	212,2	555,1	389,3
0,7-0,8	140,6	0,0	0,0	29,5	22,9	132,1	126,1
0,8-0,9	359,0	0,0	0,0	9,7	50,8	527,2	680,1
0,9-1	637,3	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	57,7
	2218,7	7894,6	5320,8	5318,0	4666,9	3883,1	3808,8
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	16,2	7818,8	6181,2	3577,7	2393,7	1089,4	1811,2
>0,0-0,1	30,1	735,1	236,9	351,7	243,9	157,6	175,7
0,1-0,2	32,8	322,5	827,6	1031,3	619,8	336,7	263,7
0,2-0,3	70,3	33,1	44,3	676,0	457,7	164,8	219,4
0,3-0,4	252,5	74,9	97,8	584,0	1569,2	1475,8	524,2
0,4-0,5	2043,6	0,0	0,0	41,8	89,6	485,8	608,2
0,5-0,6	183,2	0,0	0,0	21,7	43,5	101,2	156,6
0,6-0,7	376,5	0,0	0,0	8,6	67,5	265,9	329,3
0,7-0,8	149,3	0,0	0,0	1,4	7,9	46,6	72,9
0,8-0,9	382,3	0,0	0,0	0,0	13,7	43,1	62,3
0,9-1	2,2	0,0	0,0	6,1	15,6	237,2	186,9
	3539,0	8984,4	7387,8	6300,3	5522,2	4404,2	4410,4
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	3,4	1500,8	1245,8	623,0	413,9	205,8	289,1
>0,0-0,1	10,8	229,6	66,1	130,0	82,3	18,4	11,6
0,1-0,2	9,3	247,2	89,3	157,1	87,0	34,2	19,9
0,2-0,3	15,5	84,4	69,9	93,4	89,1	51,4	14,0
0,3-0,4	284,3	64,6	217,9	394,1	350,1	269,6	195,8
0,4-0,5	60,6	0,0	0,0	11,8	44,8	94,9	46,4
0,5-0,6	43,7	0,0	0,0	1,1	27,9	46,5	60,5
0,6-0,7	302,5	0,0	0,0	0,0	32,1	151,5	230,3
0,7-0,8	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	7,1
0,8-0,9	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	12,3
0,9-1	72,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5
	819,4	2126,5	1688,9	1410,5	1127,2	877,5	895,4

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	9,5	1399,4	1225,6	812,5	665,1	238,7	314,3
>0,0-0,1	11,3	0,2	13,2	68,9	81,6	89,3	49,0
0,1-0,2	17,8	0,0	2,5	42,6	55,2	64,5	53,3
0,2-0,3	40,2	0,0	0,0	37,9	33,3	32,3	38,2
0,3-0,4	123,6	0,0	0,0	30,7	78,5	86,9	102,1
0,4-0,5	24,8	0,0	0,0	13,3	22,2	32,1	18,4
0,5-0,6	20,9	0,0	0,0	5,9	17,3	42,5	27,7
0,6-0,7	141,9	0,0	0,0	0,0	54,0	193,7	177,7
0,7-0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,8-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,9-1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	389,9	1399,6	1241,2	1011,7	1007,3	780,0	780,8
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	0,0	5812,7	4440,7	2696,7	2084,5	603,9	971,7
>0,0-0,1	8,8	141,7	319,9	319,3	128,2	41,0	39,4
0,1-0,2	51,3	0,9	171,7	473,6	244,5	75,5	73,1
0,2-0,3	113,7	0,0	0,0	165,8	212,0	74,8	38,2
0,3-0,4	394,1	0,0	0,0	128,1	417,6	400,9	164,0
0,4-0,5	290,7	0,0	0,0	6,7	35,3	231,5	174,2
0,5-0,6	47,9	0,0	0,0	0,0	8,7	45,9	40,7
0,6-0,7	194,3	0,0	0,0	0,0	8,5	132,9	124,8
0,7-0,8	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0	36,3	26,5
0,8-0,9	82,1	0,0	0,0	0,0	0,0	29,3	38,4
0,9-1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	31,2	19,2
	1197,5	5955,3	4932,4	3790,2	3139,4	1703,1	1710,3
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	25,0	14611,3	7517,1	4269,7	2229,4	1037,9	1692,1
>0,0-0,1	0,1	1186,4	1530,4	928,9	502,0	51,3	69,1
0,1-0,2	46,6	152,6	1674,2	2336,2	2027,8	832,5	185,5
0,2-0,3	56,8	60,1	459,0	475,3	489,8	720,6	267,8
0,3-0,4	2585,1	218,7	421,9	2178,0	2621,0	1919,3	2360,8
0,4-0,5	1996,2	5,9	3,7	4,2	206,6	579,0	620,9
0,5-0,6	127,1	0,0	0,0	3,7	0,8	94,2	73,1
0,6-0,7	168,3	0,0	5,9	6,0	12,1	92,4	99,2
0,7-0,8	192,7	0,0	0,0	0,0	0,1	93,4	109,3
0,8-0,9	359,2	0,0	0,0	0,0	2,5	246,3	244,0
0,9-1	316,3	0,0	0,0	0,0	0,7	174,7	141,0
	5873,4	16235,0	11612,2	10202,1	8092,9	5841,5	5862,9

Tab. 45: Jungfische Stranden – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt 1 bis 3 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	61,0	5044,9	3779,8	2871,3	3199,0	2203,2	970,5
>0,0-0,1	707,8	4446,4	3001,4	2006,7	1922,9	1802,4	1220,2
0,1-0,2	3090,8	1478,7	4851,7	7165,2	8196,8	8602,9	6415,0
0,2-0,3	2767,5	79,1	244,2	499,6	627,2	948,9	2221,6
0,3-0,4	5527,3	194,7	528,0	1060,7	1584,9	1967,8	2822,4
0,4-0,5	1177,6	0,0	0,0	0,0	0,0	43,8	286,4
0,5-0,6	37,2	0,0	0,0	0,0	0,0	23,5	11,4
0,6-0,7	267,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	89,2
0,7-0,8	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,8-0,9	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,9-1	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	13647,7	11243,8	12405,0	13603,5	15530,7	15592,6	14036,8
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	3287,3	4142,3	3962,3	4100,4	4199,8	4208,6	3819,4
>0,0-0,1	326,1	16,8	351,7	641,3	646,2	339,2	261,4
0,1-0,2	434,9	1,7	16,8	331,8	697,1	1071,2	1031,2
0,2-0,3	418,6	0,0	0,0	59,8	99,5	248,7	185,0
0,3-0,4	335,1	0,0	0,0	34,5	137,0	124,3	422,6
0,4-0,5	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9
0,5-0,6	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
0,6-0,7	43,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6
0,7-0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,8-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,9-1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	4851,7	4160,8	4330,9	5167,7	5779,6	5992,0	5737,1
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0,0	550,9	5028,8	3939,7	3015,3	2779,5	1991,5	1066,2
>0,0-0,1	389,9	1038,6	1628,2	1312,0	1118,9	1246,2	806,6
0,1-0,2	2154,0	972,1	1976,6	2707,6	2932,4	3461,9	2531,9
0,2-0,3	1147,1	113,1	391,7	460,0	544,1	379,0	1552,0
0,3-0,4	3038,5	109,3	446,3	1008,4	1435,3	2629,2	2268,7
0,4-0,5	443,8	19,1	68,8	86,3	194,1	260,6	247,9
0,5-0,6	112,0	25,4	0,0	0,3	21,9	64,2	0,0
0,6-0,7	107,7	3,0	28,4	32,8	28,4	27,8	0,7
0,7-0,8	77,4	0,0	0,0	0,0	4,7	47,8	0,0
0,8-0,9	465,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	137,4
0,9-1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	8486,8	7309,3	8479,7	8622,8	9059,2	10115,2	8611,4

Tab. 46: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Seitenarm p_1 und p_2 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	1430.2	9483.3	8052.5	5576.9	4544.7	3356.2	3451.8
>0,0-0,1	531.1	921.9	705.0	634.9	597.8	536.2	480.2
0,1-0,2	573.4	2128.3	2043.4	1897.5	1611.3	1160.7	848.7
0,2-0,3	876.7	758.4	908.8	1040.8	1161.0	713.9	753.1
0,3-0,4	3720.7	3181.9	3685.6	4664.5	4865.0	5446.5	5019.8
0,4-0,5	1356.9	147.9	264.1	470.8	743.7	1194.9	1284.7
0,5-0,6	418.4	49.1	79.7	105.8	134.8	191.4	243.8
0,6-0,7	730.5	69.8	114.3	163.4	291.4	482.2	585.8
0,7-0,8	314.5	22.7	53.5	85.5	98.7	153.6	191.0
0,8-0,9	894.3	19.3	55.5	89.4	173.1	317.1	498.2
0,9-1	724.1	22.2	48.9	127.7	175.7	366.7	450.3
	11570.6	16804.6	16011.4	14857.1	14397.3	13919.3	13807.4
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	320.6	28163.4	24838.2	16712.6	12790.8	4824.8	4963.2
>0,0-0,1	361.2	233.9	799.0	2174.8	1724.6	1692.7	872.5
0,1-0,2	993.8	267.4	402.4	3506.6	3301.5	2247.4	2245.4
0,2-0,3	944.6	32.0	80.9	750.1	1746.3	1067.6	734.7
0,3-0,4	5376.0	252.6	335.7	1397.9	3033.9	6035.4	6577.4
0,4-0,5	1082.6	0.0	1.9	70.2	271.5	1029.6	1031.4
0,5-0,6	402.3	0.0	0.0	35.3	78.9	214.4	212.2
0,6-0,7	627.9	0.0	0.0	31.3	127.7	523.4	628.2
0,7-0,8	238.1	0.0	0.0	10.0	15.4	146.3	131.6
0,8-0,9	675.1	0.0	0.0	11.8	35.6	856.8	959.8
0,9-1	338.7	0.0	0.0	0.0	13.9	32.0	86.9
	11360.8	28949.3	26458.1	24700.5	23140.2	18670.5	18443.4

Tab. 47: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für temporäre Seitenarme 1 bis 5 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	403.8	9565.0	7282.4	6312.3	5713.7	260.3	540.1
>0,0-0,1	42.5	180.2	201.1	301.6	287.5	81.6	117.6
0,1-0,2	12.2	322.6	192.4	177.0	272.9	72.9	93.6
0,2-0,3	8.3	305.8	87.7	94.2	129.7	42.1	63.1
0,3-0,4	15.1	997.9	413.6	309.6	229.4	296.2	84.7
0,4-0,5	0.9	108.0	134.8	104.4	94.3	22.8	7.4
0,5-0,6	3.0	15.3	164.3	111.6	108.2	35.4	8.4
0,6-0,7	30.7	8.6	144.8	238.4	214.8	81.9	83.1
0,7-0,8		5.7	192.2	78.7	75.0	8.1	4.9
0,8-0,9	12.1	1.8	446.2	486.6	253.7	40.2	22.4
0,9-1	3.9	13.2	228.3	593.6	680.3	166.0	82.2
	532.7	11524.1	9487.9	8807.8	8059.6	1107.4	1107.5
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	2.0	746.8	682.0	597.8	376.0	184.0	258.0
>0,0-0,1		5.9	6.2	19.8	27.9	15.9	11.5
0,1-0,2		36.5	7.8	8.6	17.1	13.7	9.0
0,2-0,3		0.0	28.9	13.6	39.5	11.0	9.9
0,3-0,4	0.2	40.0	35.7	71.4	95.5	53.6	29.1
0,4-0,5		0.0	4.1	18.1	66.8	71.6	20.0
0,5-0,6		0.0	0.0	0.0	2.8	9.0	4.0
0,6-0,7		0.0	0.0	0.0	2.0	25.8	14.2
0,7-0,8		0.0	0.0	0.0	3.4	6.7	7.9
0,8-0,9		0.0	0.0	0.0	3.3	56.8	83.6
0,9-1		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2.3	829.2	764.7	729.3	634.4	448.1	447.2
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	39.4	6706.1	5749.6	3080.1	1756.9	691.5	1294.0
>0,0-0,1	27.4	227.2	351.1	721.8	631.7	224.2	263.8
0,1-0,2	84.3	249.2	462.1	1280.7	1347.1	1133.3	611.6
0,2-0,3	221.0	1.3	4.2	491.4	733.4	578.5	569.2
0,3-0,4	1189.1	2.0	4.1	516.3	1358.0	2439.2	2099.9
0,4-0,5	566.1	0.0	0.0	0.0	69.0	489.7	567.3
0,5-0,6	64.3	0.0	0.0	2.0	33.2	140.6	152.1
0,6-0,7	205.5	0.0	0.0	0.0	31.2	361.4	676.8
0,7-0,8	52.8	0.0	0.0	0.0	2.0	13.6	28.8
0,8-0,9	189.3	0.0	0.0	0.0	0.0	42.2	60.9
0,9-1	29.2	0.0	0.0	0.0	0.0	33.6	66.7
	2668.3	7185.8	6571.1	6092.3	5962.4	6147.9	6391.3

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	0.0	622.2	612.3	629.2	536.1	274.1	359.6
>0,0-0,1	0.0	1.8	2.8	25.4	19.1	62.8	37.6
0,1-0,2	0.0	21.6	4.3	27.8	23.6	41.1	23.4
0,2-0,3	0.0	5.3	15.5	13.1	11.1	25.0	14.9
0,3-0,4	0.0	18.5	29.5	52.7	46.5	42.5	30.1
0,4-0,5	0.0	1.7	2.9	57.5	33.0	24.4	10.8
0,5-0,6	0.0	0.0	0.0	20.2	20.6	21.5	17.7
0,6-0,7	0.0	0.0	1.3	15.4	31.8	59.5	57.0
0,7-0,8	0.0	2.2	0.0	11.0	19.6	26.2	24.5
0,8-0,9	0.0	0.0	4.3	39.7	52.6	72.2	85.1
0,9-1	0.0	0.0	0.5	2.3	10.2	61.1	48.9
	0.0	673.3	673.6	894.3	804.0	710.4	709.6
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	0.0	5395.4	3733.4	3525.5	3074.8	1219.9	1918.7
>0,0-0,1		87.1	73.8	58.4	67.6	141.4	67.5
0,1-0,2		298.7	85.4	80.0	80.8	121.1	60.3
0,2-0,3		439.0	64.2	57.6	60.3	98.2	47.8
0,3-0,4		785.4	502.5	516.5	417.7	210.4	229.7
0,4-0,5		234.6	218.9	149.2	98.9	83.4	51.9
0,5-0,6		143.2	183.4	119.6	133.5	96.5	84.2
0,6-0,7		160.5	194.3	175.8	155.0	303.6	131.8
0,7-0,8		154.8	271.4	162.7	152.7	93.6	121.0
0,8-0,9		60.5	542.6	798.3	865.0	1389.5	1132.1
0,9-1		19.4	73.6	117.5	145.3	216.1	139.8
	0.0	7778.6	5943.4	5761.0	5251.6	3973.6	3984.9

Tab. 48: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Schotterbank 1 bis 6 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	3.9	6756.7	4612.7	3237.0	2351.9	650.8	1282.2
>0,0-0,1	1.9	494.3	92.1	99.3	62.1	72.8	49.2
0,1-0,2	145.2	283.0	123.7	256.8	190.1	132.9	73.2
0,2-0,3	140.7	132.4	67.3	146.9	133.0	75.9	69.5
0,3-0,4	228.6	228.3	425.0	1305.2	979.5	1069.0	833.9
0,4-0,5	167.4	0.0	0.0	148.7	581.4	486.3	166.5
0,5-0,6	157.6	0.0	0.0	73.9	83.0	165.3	81.2
0,6-0,7	236.2	0.0	0.0	10.9	212.2	555.1	389.3
0,7-0,8	140.6	0.0	0.0	29.5	22.9	132.1	126.1
0,8-0,9	359.0	0.0	0.0	9.7	50.8	527.2	680.1
0,9-1	637.3	0.0	0.0	0.0	0.0	15.6	57.7
	2218.7	7894.6	5320.8	5318.0	4666.9	3883.1	3808.8
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	16.2	7818.8	6181.2	3577.7	2393.7	1089.4	1811.2
>0,0-0,1	30.1	735.1	236.9	351.7	243.9	157.6	175.7
0,1-0,2	32.8	322.5	827.6	1031.3	619.8	336.7	263.7
0,2-0,3	79.7	35.4	46.5	676.6	470.9	164.8	219.4
0,3-0,4	245.0	72.7	95.6	583.4	1556.0	1475.8	524.2
0,4-0,5	2041.7	0.0	0.0	41.8	89.6	485.8	608.2
0,5-0,6	183.2	0.0	0.0	21.7	43.5	101.2	156.6
0,6-0,7	376.5	0.0	0.0	8.6	67.5	265.9	329.3
0,7-0,8	149.3	0.0	0.0	1.4	7.9	46.6	72.9
0,8-0,9	382.3	0.0	0.0	0.0	13.7	43.1	62.3
0,9-1	2.2	0.0	0.0	6.1	15.6	237.2	186.9
	3539.0	8984.4	7387.8	6300.3	5522.2	4404.2	4410.4
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	3.4	1500.8	1245.8	623.0	413.9	205.8	289.1
>0,0-0,1	10.8	229.6	66.1	130.0	82.3	18.4	11.6
0,1-0,2	9.3	247.2	89.3	159.1	87.0	34.2	19.9
0,2-0,3	24.1	119.0	63.0	102.0	89.1	51.4	14.0
0,3-0,4	279.4	29.9	224.8	383.5	350.1	269.6	195.8
0,4-0,5	56.8	0.0	0.0	11.8	44.8	94.9	46.4
0,5-0,6	43.7	0.0	0.0	1.1	27.9	46.5	60.5
0,6-0,7	302.5	0.0	0.0	0.0	32.1	151.5	230.3
0,7-0,8	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	7.1
0,8-0,9	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	12.3
0,9-1	72.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5
	819.4	2126.5	1688.9	1410.5	1127.2	877.5	895.4

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	9.5	1399.4	1225.6	812.5	665.1	238.7	314.3
>0,0-0,1	11.3	0.2	13.2	68.9	81.6	89.3	49.0
0,1-0,2	17.8	0.0	2.5	43.3	57.7	64.5	53.3
0,2-0,3	44.8	0.0	0.0	39.9	39.8	32.3	38.2
0,3-0,4	119.0	0.0	0.0	28.0	69.5	86.9	102.1
0,4-0,5	24.8	0.0	0.0	13.3	22.2	32.1	18.4
0,5-0,6	20.9	0.0	0.0	5.9	17.3	42.5	27.7
0,6-0,7	141.9	0.0	0.0	0.0	54.0	193.7	177.7
0,7-0,8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0,8-0,9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0,9-1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	389.9	1399.6	1241.2	1011.7	1007.3	780.0	780.8
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	0.0	5812.7	4440.7	2696.7	2084.5	603.9	971.7
>0,0-0,1	8.8	141.7	319.9	319.3	128.2	41.0	39.4
0,1-0,2	51.3	0.9	171.7	474.1	244.5	75.5	73.1
0,2-0,3	123.3	0.0	0.0	165.2	215.5	74.8	38.2
0,3-0,4	384.5	0.0	0.0	128.1	414.1	400.9	164.0
0,4-0,5	290.7	0.0	0.0	6.7	35.3	231.5	174.2
0,5-0,6	47.9	0.0	0.0	0.0	8.7	45.9	40.7
0,6-0,7	194.3	0.0	0.0	0.0	8.5	132.9	124.8
0,7-0,8	14.1	0.0	0.0	0.0	0.0	36.3	26.5
0,8-0,9	82.1	0.0	0.0	0.0	0.0	29.3	38.4
0,9-1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	31.2	19.2
	1197.5	5955.3	4932.4	3790.2	3139.4	1703.1	1710.3
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	25.0	14619.7	7522.6	4269.7	2229.4	1037.9	1692.1
>0,0-0,1	0.1	1203.1	1539.8	928.9	502.0	51.3	69.1
0,1-0,2	46.6	285.9	1744.3	2387.6	2030.8	832.5	185.5
0,2-0,3	57.0	16.5	479.1	546.6	505.4	720.6	267.8
0,3-0,4	2584.9	103.8	316.8	2055.3	2602.5	1919.3	2360.8
0,4-0,5	1996.2	5.9	3.7	4.2	206.6	579.0	620.9
0,5-0,6	127.1	0.0	0.0	3.7	0.8	94.2	73.1
0,6-0,7	168.3	0.0	5.9	6.0	12.1	92.4	99.2
0,7-0,8	192.7	0.0	0.0	0.0	0.1	93.4	109.3
0,8-0,9	359.2	0.0	0.0	0.0	2.5	246.3	244.0
0,9-1	316.3	0.0	0.0	0.0	0.7	174.7	141.0
	5873.4	16235.0	11612.2	10202.1	8092.9	5841.5	5862.9

Tab. 49: Jungfische Drift – Darstellung der „Effektiven Lebensraumeignung“ für Furt 1 bis 3 je Anforderungsprofil und Referenzabfluss im Abschnitt Mastrils

Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	61.0	5044.9	3779.8	2871.3	3199.0	2203.2	970.5
>0,0-0,1	707.8	4446.4	3001.4	2006.7	1922.9	1802.4	1220.2
0,1-0,2	3090.8	1478.7	4851.7	7183.8	8200.5	8602.9	6415.0
0,2-0,3	2895.8	79.1	244.2	517.1	657.3	948.9	2221.6
0,3-0,4	5416.2	194.7	528.0	1024.5	1551.0	1967.8	2822.4
0,4-0,5	1160.4	0.0	0.0	0.0	0.0	43.8	286.4
0,5-0,6	37.2	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	11.4
0,6-0,7	267.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.2
0,7-0,8	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0,8-0,9	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0,9-1	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	13647.7	11243.8	12405.0	13603.5	15530.7	15592.6	14036.8
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	3287.3	4142.3	3962.3	4100.4	4199.8	4208.6	3819.4
>0,0-0,1	326.1	16.8	351.7	641.3	646.2	339.2	261.4
0,1-0,2	434.9	1.7	16.8	331.8	697.1	1071.2	1031.2
0,2-0,3	432.1	0.0	0.0	59.8	100.1	248.7	185.0
0,3-0,4	321.6	0.0	0.0	34.5	136.3	124.3	422.6
0,4-0,5	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9
0,5-0,6	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
0,6-0,7	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6
0,7-0,8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0,8-0,9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0,9-1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4851.7	4160.8	4330.9	5167.7	5779.6	5992.0	5737.1
Eignungsklasse	AP 0a	AP 0 - Istzustand	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 4a
0.0	550.9	5028.8	3942.9	3015.3	2779.5	1991.5	1066.2
>0,0-0,1	389.9	1038.6	1628.8	1312.0	1118.9	1246.2	806.6
0,1-0,2	2154.0	972.1	2344.5	3380.3	3231.2	3461.9	2531.9
0,2-0,3	2459.1	113.1	184.1	475.7	1193.2	379.0	1552.0
0,3-0,4	1726.4	109.3	282.1	320.0	487.4	2629.2	2268.7
0,4-0,5	443.8	19.1	68.8	86.3	194.1	260.6	247.9
0,5-0,6	112.0	25.4	0.0	0.3	21.9	64.2	0.0
0,6-0,7	107.7	3.0	28.4	32.8	28.4	27.8	0.7
0,7-0,8	77.4	0.0	0.0	0.0	4.7	47.8	0.0
0,8-0,9	465.6	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	137.4
0,9-1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	8486.8	7309.3	8479.7	8622.8	9059.2	10115.2	8611.4