

Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau



GRUNDLAGENUNTERSUCHUNG UND METHODIKENTWICKLUNG ZUR BEWERTUNG DES SCHWALLEINFLUSSES MITTELS NUMERISCHER HABITATMODELLIERUNG AN DER DRAU

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

eingereicht von:

LEOPOLD GUGER

Betreuer

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Habersack Helmut

Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Hauer Christoph

Wien, April 2012

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Bedanken, die mich bei der Entstehung dieser Arbeit und während meines Studiums unterstützt haben.

Mein Dank gilt vor allem Herrn Univ. Prof. DI Dr. Habersack für die Aufnahme als Diplomanden am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau und für die fachliche und wissenschaftliche Betreuung meiner Diplomarbeit. Ganz besonders bedanken möchte ich mich für die kollegiale und kompetente Betreuung und Unterstützung bei Herrn DI Dr. Christoph Hauer. Vor allem für die Geduld bei der Auswertung der Daten.

Für die rasche Bereitstellung der Daten bedanke ich mich bei den Mitarbeitern der Verbund AG und den Mitarbeitern des Hydrografischen Dienst Kärnten, allen voran Herrn DI Christian Kopeinig.

Großen Dank hat natürlich mein Studium- und Diplomarbeitkollege Robert Rieger verdient. Die konstruktive Zusammenarbeit und die abenteuerlichen Reisen nach Kärnten werden mir ewig in Erinnerung bleiben. Alles Gute bei der Erstellung Deiner Diplomarbeit.

Des Weiteren bedanke ich mich bei meinen Eltern Elisabeth und Karl Schmollmüller für die Unterstützung, das Vertrauen und den Beistand in jeglicher Hinsicht.

Den größten Dank gebührt natürlich meiner Lebensgefährtin Regina und meiner Tochter Amelie. Vielen Dank für eure liebevolle Art und unendliche Geduld in so manch schwieriger und scheinbar aussichtsloser Situation.

Abstract (Deutsch)

Im Jahr 2003 wurde die EU WRRL in österreichisches Recht umgesetzt, mit dem Ziel den guten ökologischen Zustand bzw. das gute ökologische Potential aller Oberflächengewässer zu erhalten bzw. zu erreichen. Daraus ergeht eindeutiger Handlungsbedarf, vor allem im Hinblick auf die energiewirtschaftliche Nutzung der Oberflächenwasserkörper im Zusammenhang mit der Schwall-Sunkproblematik.

Bisherige nationale und internationale Arbeiten zum Thema Schwall liefern teilweise nur ungenügende Grundlagen zur Erstellung von nationalen Bewirtschaftungsplänen vor dem Hintergrund der Umsetzung der WRRL. Daher ist es für Österreich als alpines Land von besonderer Bedeutung diese Wissenslücken im Kontext Schwall-Sunkverhältnisse bei Einfluss variabler Gewässermorphologie und Gewässerhydraulik zu füllen bzw. zu schließen.

Die vorliegende Arbeit liefert mit Hilfe von 2D tiefengemittelten Strömungsmodellen (hydro_AS-2d) und dem integrativen Werkzeug der Habitatmodellierung (Habitat Evaluation Model HEM) Grundlagen für die Bewertung des Schwalleinflusses am Beispiel der Drau in Kärnten. Es konnten Erkenntnisse über die Prozesse bei Schwall und Sunk in Revitalisierungsstrecken wie z.B. Flussaufweitungen gewonnen werden. Die durch kurzfristige Abflusserhöhungen (Schwall) hervorgerufenen Habitatänderungen kleinräumiger Strukturen wurden für die juvenile Bachforelle (*Salmo Trutta*, 0+) analysiert und deren Auswirkung beschrieben. Zusätzlich wurde ein Wassertemperaturmonitoring mittels Knopfsonden durchgeführt und die Wechselwirkung von thermisch beeinflussten Speicherwasser auf das Fließgewässer ermittelt.

Die Ergebnisse zeigen, dass ähnliche Restrukturierungsmaßnahmen an der Drau (Flussaufweitungen) unterschiedlich auf Schwalleinflüsse reagieren. Zu hohe und schnelle Abflussschwankungen können den Lebensraum selbst in strukturreichen Bereichen limitieren. Der Basisabfluss und das Verhältnis von Schwall zu Sunk stellen entscheidende Faktoren für das Ausmaß des Habitatverlustes dar. Beträchtliche Reduktionen der Schwallanstiegs- und Schwallrückgangsraten konnten aufgrund rückgebauter, naturnaher Gewässerabschnitte dokumentiert und quantifiziert werden.

Abstract (Englisch)

In the year 2003 the EU WFD was implemented into Austrian law with the target to keep on achieve the good ecological status or the good ecological potential of all surface waters. Therefore actions are essential, particularly concerning the hydroelectric utilization of the surface water bodies in connection with hydropeaking.

Previous national and international studies on hydropeaking provide partially insufficient basic information to generate national river basin management plans with regard to the implementation of the WFD. For Austria, as alpine country, it is of special importance to fill these knowledge gaps in the context of hydropeaking related to variable river hydraulics and morphology.

The present diploma thesis provides, based on 2D depth-averaged HN-models (hydro_AS-2d) and the integrative tool of habitat modelling (Habitat Evaluation Model HEM) basic information for the evaluation of hydropeaking reaches at the Carinthian Drau River. Understanding of hydropeaking processes in revitalization reaches like river widenings could be determined. The habitat changes in small-scale structures caused by short term fluctuations of water levels induced by hydropeaking were analysed for the juvenile brown trout (*Salmo Trutta*, 0+). Additionally, a water temperature monitoring was performed by temperature data loggers.

The results indicate that similar restoration measures at the Drau River (river widenings) react differently to hydropeaking impacts. Too high and fast discharge fluctuations can possibly limit the suitable habitats within restoration sites. Base flow and the magnitude of hydropeaking discharge represent crucial factors for the extent of the habitat losses. Moreover, based on near-natural river reaches (increased roughness impact) considerable reductions of the dewatering rates could be documented and quantified.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung, Problemstellung und Ziele.....	1
1.1 Einleitung.....	1
1.2 Problemstellung.....	2
1.3 Ziele.....	2
1.4 Vorliegende Diplomarbeit.....	3
2. Untersuchungsgebiet.....	4
2.1 Geografische Lage.....	4
2.2 Klimatologie.....	5
2.2.1 Klimatologische Lage des Einzugsgebietes (Kilian et al., 1993).....	5
2.2.2 Niederschlag.....	5
2.2.3 Lufttemperatur.....	6
2.2.4 Wassertemperatur.....	7
2.3 Geologie.....	7
2.4 Hydrologie.....	8
2.5 Gewässertypologie.....	10
2.6 Anthropogene Eingriffe und ihre Auswirkungen.....	12
2.7 Schwall-Sunkbelastung im Projektgebiet.....	13
2.7.1 Generelle Schwall-Sunkproblematik.....	15
2.8 Beschreibung der Untersuchungsstrecken.....	16
2.8.1 Kleblach (Bundeswasserbauverwaltung, 2003).....	16
2.8.2 Rosenheim (Bundeswasserbauverwaltung, 2003).....	17
2.8.3 Spittal (Bundeswasserbauverwaltung, 2003).....	18
3. Grundlagenerhebung.....	20
3.1 Externe Datenquellen.....	20
3.1.1 Geodaten.....	20
3.1.2 Hydrologische Zeitreihen.....	20
3.1.3 Temperaturaufzeichnungen.....	20
3.2 Feldaufnahmen.....	21
3.2.1 Vermessung.....	21
3.2.2 Wassertemperatur.....	21
4. Methodik.....	24
4.1 Abflussszenarien.....	24
4.1.1 Basisabfluss ohne Schwallbeeinflussung.....	24

4.1.2 Simulierte Schwall Szenarien und Schwallkennwerte.....	25
4.1.2.1 Winter (Mittwoch, 21. Dezember 2005).....	26
4.1.2.2 Frühling (Donnerstag, 12. April 2007).....	27
4.1.2.3 Sommer (Montag, 10. Juli 2006).....	28
4.1.2.4 Herbst (Dienstag, 16. September 2008).....	29
4.2 Verwendete Modellierungssoftware.....	30
4.2.1 HEC-RAS (1D).....	30
4.2.2 SMS - Surface Water Modeling System.....	30
4.2.2.1 Netzgenerierung.....	30
4.2.3 Hydro_As-2d (2D).....	31
4.2.3.1 Eingangs- und Ergebnisdaten.....	32
4.2.4 HEM - Habitat Evaluation Model.....	32
4.2.4.1 MEM Mesoscale Habitat Model.....	32
4.2.4.2 MSM Microscale Habitat Model.....	34
4.3 Schwallwellenverformung.....	36
5. Ergebnisse.....	37
5.1 Hydraulische 2D Modellierung.....	37
5.1.1 Verteilung Wassertiefen.....	37
5.1.2 Verteilung Fließgeschwindigkeit.....	39
5.1.3 Verteilung Sohlschubspannung.....	40
5.1.4 Benetzte Fläche.....	41
5.2 Mesohabitatmodellierung.....	42
5.2.1 Räumliche Verteilung Mesohabitate.....	42
5.2.2 Zeitliche Verteilung Mesohabitate.....	43
5.2.2.1 Untersuchungsstrecke Spittal.....	43
5.2.2.2 Untersuchungsstrecke Rosenheim.....	45
5.2.2.3 Untersuchungsstrecke Kleblach.....	47
5.2.3 Flachwasserhabitate.....	50
5.3 Mikrohabitatmodellierung.....	55
5.3.1 Detailstrecke Spittal.....	55
5.3.2 Detailstrecke Rosenheim.....	57
5.3.3 Detailstrecke Kleblach.....	58
5.3.4 Vergleich der Strecken	60
5.3.5 Morphologisch heterogene Strukturen.....	61
5.3.5.1 Allgemein.....	61
5.3.5.2 Pointbar Spittal.....	63
5.3.5.3 Aufweitung Rosenheim.....	64
5.3.5.4 Aufweitung Kleblach.....	65
5.3.5.5 Seitenarm Kleblach.....	66
5.4 Schwallwellenverformung.....	68

5.4.1 Fließzeiten.....	68
5.4.2 Schwallanstiegsraten und -rückgangsraten.....	70
5.4.3 Schwallwellendämpfung.....	72
5.5 Temperatur.....	74
6. Diskussion.....	79
6.1 Mesohabitatverteilung.....	79
6.2 Mikrohabitatverteilung.....	80
6.2.1 Morphologisch unterschiedliche Strukturen.....	81
6.3 Schwallwellenverformung.....	81
6.4 Temperatur.....	82
7. Zusammenfassung.....	84
8. Verzeichnisse.....	86
8.1 Literaturverzeichnis.....	86
8.2 Tabellenverzeichnis.....	90
8.3 Abbildungsverzeichnis.....	90
8.4 Formelverzeichnis.....	93

1. Einleitung, Problemstellung und Ziele

1.1 Einleitung

Im Jahr 2000 ist die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) in Kraft getreten. Im Jahr 2003 wurde die EU-WRRL mit einer Novelle des Wasserrechtsgesetzes (WRG) in österreichisches Recht umgesetzt. Die Mitgliedstaaten werden verpflichtet, alle Oberflächenwasserkörper zu schützen, zu verbessern und zu sanieren, um den guten ökologischen Zustand bzw. das gute ökologische Potential aller europäischen Gewässer zu erreichen (WRRL, 2000).

Aus diesen Anforderungen geht eindeutig Handlungsbedarf vor allem für den Bereich der energiewirtschaftlichen Nutzung der Oberflächenwasserkörper hervor. Stigler et al., (2005) weisen in ihrer Studie unter anderem die Schwall- und Sunkproblematik als gewässerökologisch relevanten Themenschwerpunkt aus.

Bisherige nationale und internationale Arbeiten zum Thema Schwall liefern nur ungenügende Grundlagen zur Erstellung von nationalen Flussgebietsbewirtschaftungsplänen im Hinblick auf die Umsetzung der WRRL und daher wird die generelle Ausweisung von Signifikanzgrenzen (Schwall-Sunkverhältnis: Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) 5:1; Qualitätszielverordnung Ökologie (QZVÖ) 3:1) als problematisch angesehen.

Es werden massive Einbußen an Leistungsvermögen und damit verbundene monetäre Verluste erwartet, da rd. 1/3 der Wasserkrafterzeugung Österreichs über alpine Speicherkraftwerke bereitgestellt werden.

Die differenzierten Ausprägungen unserer Flusslandschaft und Gewässer zeigen immer wieder, dass ähnliche anthropogene Einwirkungen auf das System unterschiedliche Reaktionen im Gewässer zeigen. Natürlich gilt dies auch für Gewässer, die vom Schwellbetrieb beeinflusst sind. Die Möglichkeit zur eigendynamischen Entwicklung und die spezifische Gewässergeomorphologie bilden die Grundlage für die Nutzbarkeit des Lebensraums Fluss. Diese flusstypspezifischen Eigenschaften und deren Wechselwirkung mit Schwall- und Sunkprozessen bilden den Kern der Studie "Schwall 2012". Unter Zuhilfenahme des integrativen Werkzeugs der Habitatmodellierung werden verschiedene Modellkonzepte getestet, weiterentwickelt und fortlaufend adaptiert und ein entscheidender Schritt in Richtung Prozessverständnis rd. um das Thema Schwallverträglichkeit eines Gewässers gesetzt. Die Generalisierung des Schwalleinflusses in Bezug auf einfach abzuleitende flussmorphologische und hydraulische Parameter und Verhältniszahlen soll es in Zukunft ermöglichen, die Auswirkungen verschiedener Schwall-Sunkverhältnisse schnell und einfach flusstypspezifisch zu bewerten.

Zusammenfassend gilt, dass zu wenig und ungenügende Kenntnisse über Schwall-Sunkprozesse in Wechselwirkung mit verschiedenen Flusstypen vorhanden sind und die Studie "Schwall 2012" diese Kenntnislücken füllen bzw. schließen soll.

1.2 Problemstellung

In Bezug auf die Auswirkungen des Schwellbetriebs auf das Fließgewässersystem sind folgende Punkte von besonderer Bedeutung

- Bisweilen international und national ungenügende Erkenntnisse über Schwall-Sunkverhältnisse (z.B. Grenzwertannahmen 3:1; 5:1; 10:1) in Wechselwirkung mit verschiedenen Flusstypen bzw. der variablen Gewässermorphologie (gestreckt, verzweigt, gewunden, Gefälle, Breite, Strukturen)
- Bisher stehen nur wenige (meist nur ungeprüfte) Modelle und Prozessanalysen zur integrativen Bewertung (Hydraulik / Ökologie) der Schwallproblematik zur Verfügung.
- Aufgrund der Umsetzung der WRRL sind bei bundesweit einheitlichen Grenzwerten für Schwall-Sunkverhältnisse hohe ökonomische Einbußen zu erwarten. Es wird erwartet, dass durch einen eingeschränkten Kraftwerkseinsatz Verluste an Regel- und Reserveleistung bei Einzelanlagen bis zu 85% betragen (z.B. 47.2 Mio. € pro Jahr für ein bestimmtes KW bei einer 3:1 Schwallbegrenzung) (Stigler et al., 2005).
- Weiters sind hohe ökonomische Einbußen aufgrund von schwalldämpfenden Maßnahmen bzw. der Schwallreduktion zu erwarten.

Momentan sieht das österreichische Recht im NGP und in der QZVÖ die gesetzlichen Regelungen zur Begrenzung des Schwall-Sunkverhältnisses von 5:1 bzw. 3:1 vor. Weiters soll die Wasserbedeckung der Gewässersohle laut QZVÖ bei Sunk mindestens 80% der bei Schwall bedeckten Sohlfläche betragen. Für die Umsetzung der Vorgaben aus dem österreichischen Recht soll daher diese Arbeit eine Grundlage für die Beurteilung des Schwellbetriebs und der Schwallauswirkung bilden.

1.3 Ziele

In der Studie "Schwall 2012" soll aufgrund fundierter Grundlagenforschung ein Lösungsweg ermittelt werden, um die ökonomischen Verluste durch die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie unter Berücksichtigung der Zielerfüllung des guten Zustandes zu minimieren. Die Forschungszusammenarbeit zwischen Energiewirtschaft (Verbund, TIWAG, Illwerke_VKW) und BOKU (Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW) und Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG)) soll innerhalb dieses Kooperationsprojektes Grundlagen erarbeiten, die auf einfachen hydraulischen Parametern und Verhältniszahlen basierende Methodik eine gewässertypspezifische Klassifizierung des Schwalls ermöglichen.

Im Hinblick auf die zu erstellenden Bewirtschaftungspläne soll dies ein Instrumentarium werden, um rasche und einfache flusstypspezifische Schwalleinflüsse innerhalb eines Fließgewässers zu beurteilen bzw. zu bewerten. Ein weiteres Ziel sind Habitatuntersuchungen mit Hilfe des integrativen Werkzeugs der Habitatmodellierung, um so wichtige Prozesse zwischen Hydraulik, Gewässergeometrie, Flusstyp und Gewässerökologie zu erforschen.

Im Rahmen der Studie "Schwall 2012" sind am IWHW Diplomarbeiten mit dem Thema „Grundlagenuntersuchungen und Methodikentwicklung zur Bewertung des Schwallinflusses bei unterschiedlichen Flusstypen“ vergeben worden. Untersuchte schwallbeeinflusste Flusstypen sind die Drau in Kärnten, der Inn und die Ziller in Tirol, die Ill und die Bregenzer Ach in Vorarlberg und die Enns in der Steiermark.

1.4 Vorliegende Diplomarbeit

Die vorliegende Diplomarbeit soll einerseits Grundlagen für die Studie "Schwall 2012" liefern und andererseits Konzepte für eine gewässertypspezifische Klassifizierung des Schwalls an der Drau ermöglichen. Mit Hilfe eindimensionaler und zweidimensionaler hydrodynamischer Modellierung und kleinräumiger Habitatuntersuchungen unter Anwendung von Habitatmodellen sollen die Interaktion von Sunk/Schwall, Gewässermorphologie und Habitatansprüchen aufgezeigt werden.

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Geografische Lage

Das Projektgebiet liegt im Oberen Drautal im Nordosten Kärntens. Es erstreckt sich von Spittal an der Drau bis in das etwa 20 Kilometer flussauf gelegene Kleblach (Abbildung 1). Für die Detailuntersuchungen wurden drei Abschnitte ausgewählt:

- Abschnitt Kleblach/Lind von Fluss-km 581,2 bis Fluss-km 582,7
- Abschnitt Rosenheim von Fluss-km 566,4 bis Fluss-km 569,6
- Abschnitt Spittal von Fluss-km 559,2 bis Fluss-km 563,5

Der Abschnitt Kleblach/Lind befindet sich flussauf der Einleitung des Krafthauses Möllbrücke und wurde trotz geringfügiger Schwallbeeinflussung (maximal 2:1) durch das Kraftwerk Straßen-Amlach als Referenzabschnitt ohne Schwallbeeinflussung aufgenommen. An den drei Abschnitten wurde im Zuge des LIFE Projektes „Lebensader Obere Drau“ in den Jahren 2001 (Spittal), 2002/03 (Kleblach) und 2006/07 (Rosenheim) Flussrevitalisierungen durchgeführt. Die umgesetzten Maßnahmen in Kleblach/Lind umfassen rechtsufrige Aufweitungen und die linksseitige Anbindung eines Altarmes. In Spittal wurden an Innenbögen Ufersicherungen entfernt und generelle Flussaufweitungen durch Rückversetzung der Böschungssicherung durchgeführt. Im Zuge des LIFE Projekts wurden in Rosenheim großflächige rechtsufrige Flussaufweitungen und die Schaffung von Augewässern umgesetzt.

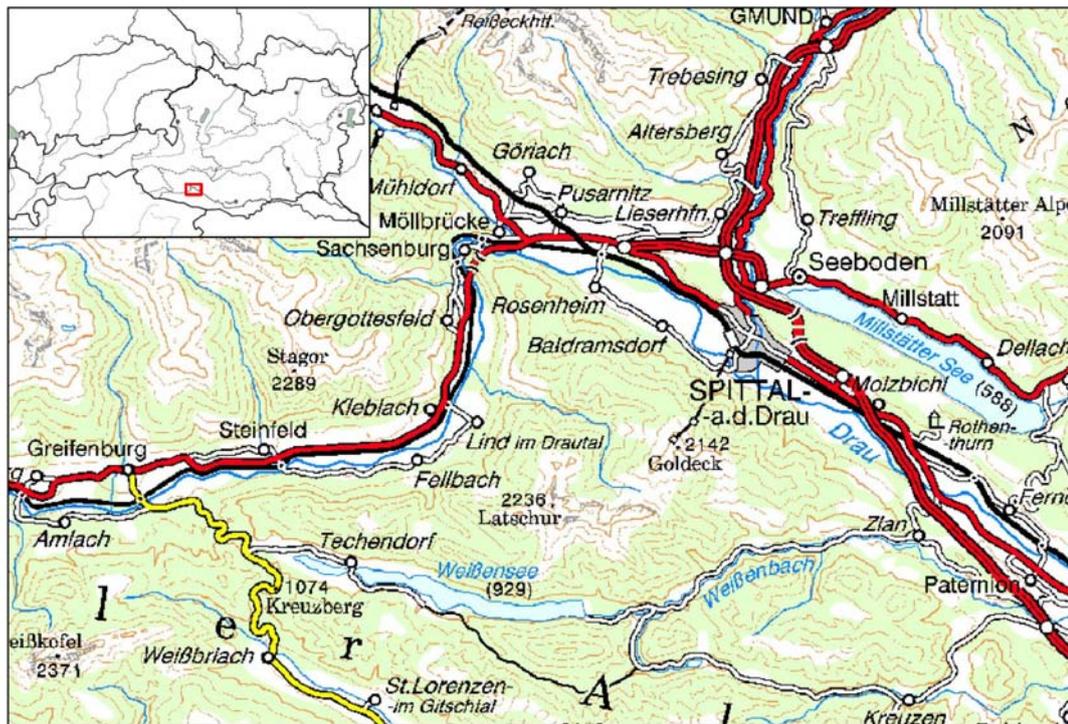


Abbildung 1: Übersicht Projektgebiet (Kartenquelle BEV, verändert)

2.2 Klimatologie

2.2.1 Klimatologische Lage des Einzugsgebietes (Kilian et al., 1993)

Das Gebiet ist gegenüber den Innenalpen durch Südstaulage niederschlagsbegünstigt und auch niederschlagsreicher als die östlichen Zwischenalpen. Jahresniederschlagssummen unter 900 mm treten nur mehr in stark abgeschirmten Tallagen im Übergangsbereich zu den Innenalpen auf (St. Johann im Walde 750 m ü.A., 816 mm). In den übrigen submontanen Tallagen sind 900-1200 mm Niederschlag vorherrschend, in montanen und subalpinen Bereichen bis 1500 mm. Bezogen auf gleiche Seehöhe sind die Kreuzeckgruppe und Übergangsbereiche zu den südlichen Randalpen vor allem durch verstärktes Auftreten von Herbstniederschlägen gekennzeichnet. Das Niederschlagsmaximum tritt im Sommer auf; in Südstaulagen ist ein sekundäres herbstliches Maximum ausgebildet.

Das Klima im Projektgebiet veranschaulicht am Klimadiagramm (Abbildung 2) von Sachsenburg :

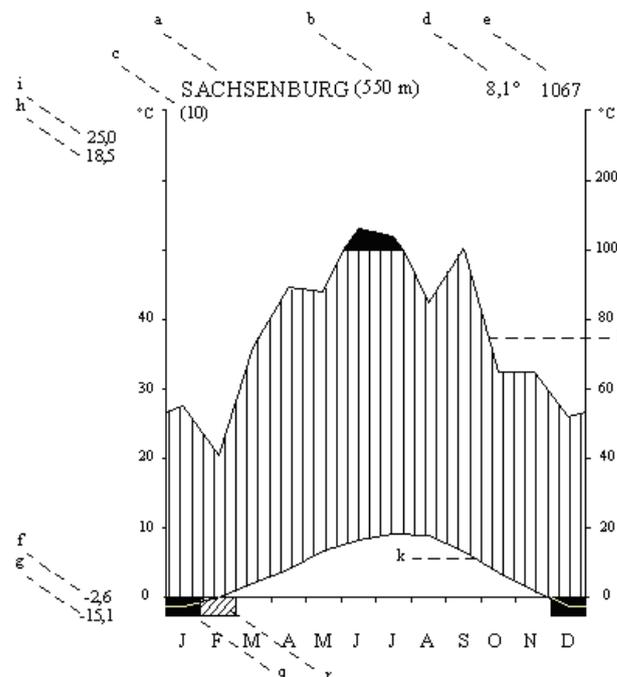


Abbildung 2: Klimadiagramm Sachsenburg nach Walther&Lieth, 1960 (Quelle: Schober, 1999)

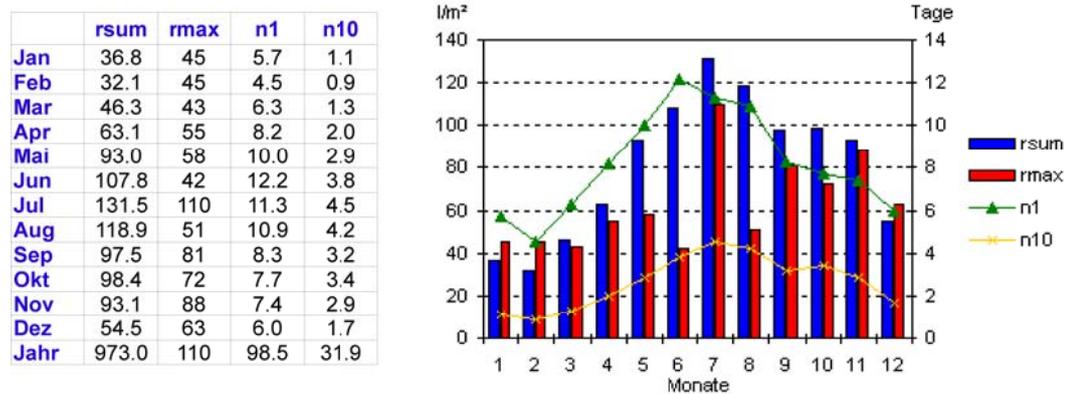
Legende: a) Stationsname, b) Höhenlage (m ü.A), c) Zahl der Beobachtungsjahre, e) mittlere Jahressumme des Niederschlages [mm], f) mittleres Maximum des kältesten Monats, g) absolutes Minimum, h) mittleres Maximum des wärmsten Monats, i) absolutes Maximum, k) Monatsmittel der Temperatur, l) Mittlere Monatssumme der Niederschläge, q) Monate mit mittleren Maximum < 0°C, r) Monate mit absoluten Tagesminimum < 0°C;

2.2.2 Niederschlag

Das Niederschlagsregime ist geprägt von einem sommerlichen Niederschlagsmaximum im Juli und einem winterlichen Minimum im Jänner (Abbildung 3). Die mittlere Jahressumme des

2. Untersuchungsgebiet

Niederschlag beträgt 1067 mm. Das beobachtete Tagesmaximum seit Beginn der Aufzeichnungen liegt bei 254,2 mm (13.09.1903), die größte beobachtete Monatssumme beträgt 368 mm (10.1993). Im Jahr wurden im Mittel 127 Regentage beobachtet (Hydrografisches Jahrbuch, 2007).

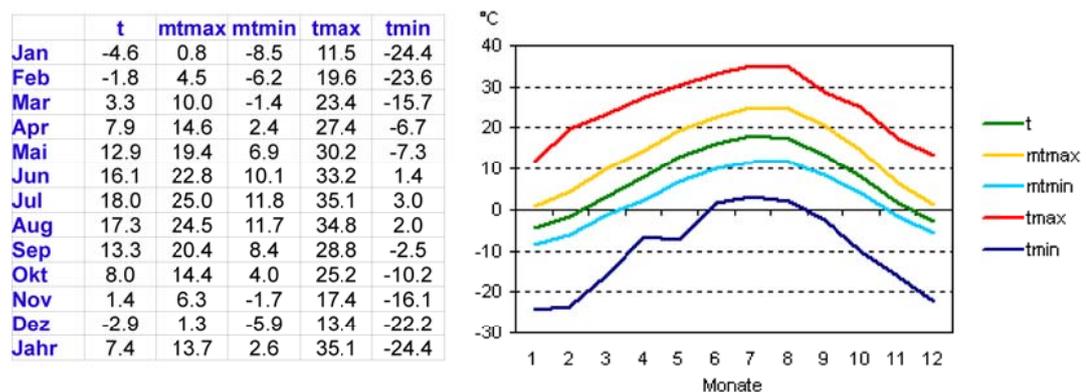


Kürzel	Einheit	Element	Definition
rsum	l/m ²	Niederschlagssumme	Mittlere Monatssumme des Niederschlags
rmax	l/m ²	Größter Tagesniederschlag	Größte Niederschlagssumme in 24 Stunden
n1	Tag	Niederschlag ≥ 1 mm	Zahl der Tage mit Niederschlagssumme ≥ 1 mm
n10	Tag	Niederschlag ≥ 10 mm	Zahl der Tage mit Niederschlagssumme ≥ 10 mm

Abbildung 3: Niederschlag Station Spittal a.d. Drau (Quelle: ZAMG)

2.2.3 Lufttemperatur

Die mittlere Tagestemperatur der Station Spittal a.d. Drau schwankt zwischen -4,6 °C im Jänner und 18,0 °C im Juli. Das absolute Minimum liegt bei -24,4 °C, das absolute Maximum bei 35,1 °C (Abbildung 4). Die Bandweite der aufgezeichneten Lufttemperatur beträgt damit etwa 60 °C. Das jährliche Mittel beträgt 7,4 °C. Sämtliche Angaben beziehen sich auf den Beobachtungszeitraum 1971 bis 2000 (ZAMG, 2010).



Kürzel	Einheit	Element	Definition
t	°C	Tagesmittel	(7 Uhr Mittel + 19 Uhr Mittel + mittl. Maximum + mittl. Minimum) / 4
mtmax	°C	Mittel aller tägl. Maxima	Summe tägl. Maxima / Anzahl der Tage
mtmin	°C	Mittel aller tägl. Minima	Summe tägl. Minima / Anzahl der Tage
tmax	°C	absolutes Maximum	größtes Tagesmaximum
tmin	°C	absolutes Minimum	kleinstes Tagesminimum

Abbildung 4: Lufttemperatur Station Spittal a.d. Drau (Quelle: ZAMG)

2.2.4 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur der Drau im Projektgebiet wird beeinflusst von den im Einzugsgebiet liegenden Hochgebirgsregionen mit Gletscherabfluss.

Die höchste beobachtete Wassertemperatur der Drau in Sachsenburg seit Beginn der Aufzeichnungen beträgt 17,5 °C (04.08.2003), die niedrigste -0,5 °C (30.01.1986). Im Berichtsjahr 2007 des hydrografischen Dienstes schwankte die Wassertemperatur zwischen 0,1 °C im Dezember und 15,4 °C im August (Abbildung 5). Das Jahresmittel der Wassertemperatur betrug 7,8 °C (Hydrografisches Jahrbuch, 2007).

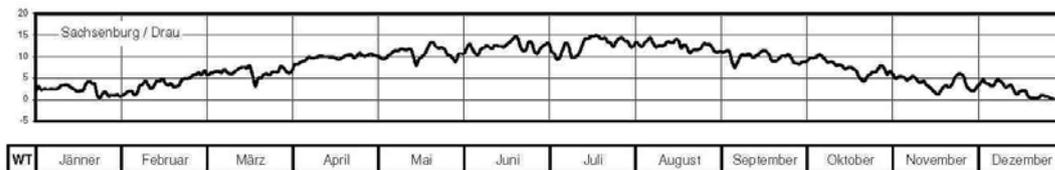


Abbildung 5: Jahrgang der Wassertemperaturen an der Messstelle Sachsenburg für das Berichtsjahr 2007 (Quelle: Hydrographisches Jahrbuch 2007, modifiziert)

2.3 Geologie

Das Obere Drautal gilt als tektonische Grenzlinie innerhalb der Alpen und liegt im Übergangsbereich der Südalpen (Gailtaler Alpen) und der Zentralalpen (Kreuzeck- und Reißeckgruppe/Hohe Tauern). Die Drau durchfließt zwischen Oberdrauburg und Spittal ein unterschiedlich breites Sohlental, dessen Talboden immer wieder durch Schwemmkegel von Zubringern eingengt wird (Bundeswasserbauverwaltung, 2003).

Im Bereich Rosenheim liegt das Flussbett in Auablagerungen (Schluff, Sand, Kies), welche auf dem im Süden zu Tage tretenden Glimmerschiefer/Paragneiskomplex des Schrölzberges aufliegen (Abbildung 6, 7 und 8). Das Flussbett im Abschnitt Spittal befindet sich ebenfalls in Auablagerungen. Im Norden werden diese durch Vorstoßschotter des Würm-Hochglazials oder älter begrenzt. Im Süden grenzt es an die Glimmerschiefer/Paragneisformationen des Goldecks an (Schuster et al., 2006).

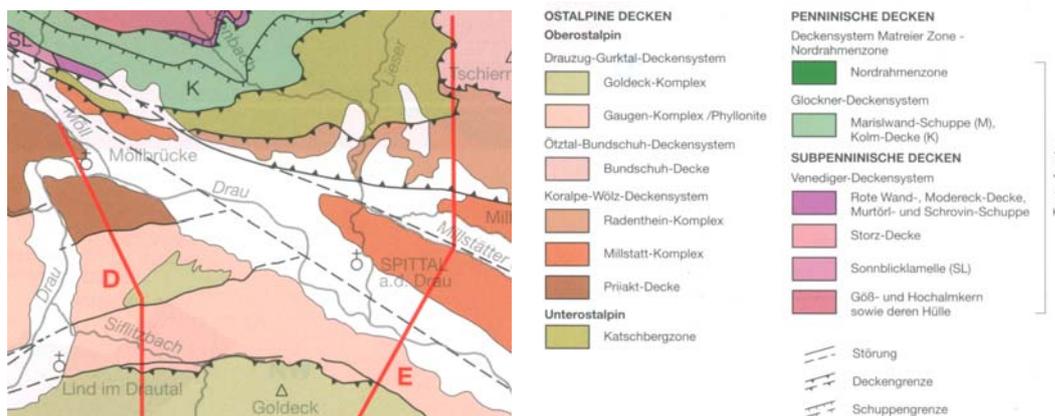


Abbildung 6: Geologische Übersichtskarte (Schuster et al., 2006)

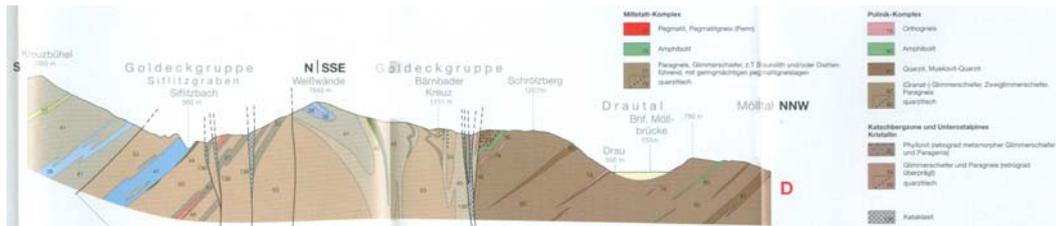


Abbildung 7: Geologischer Schnitt D (Schuster et al., 2006)

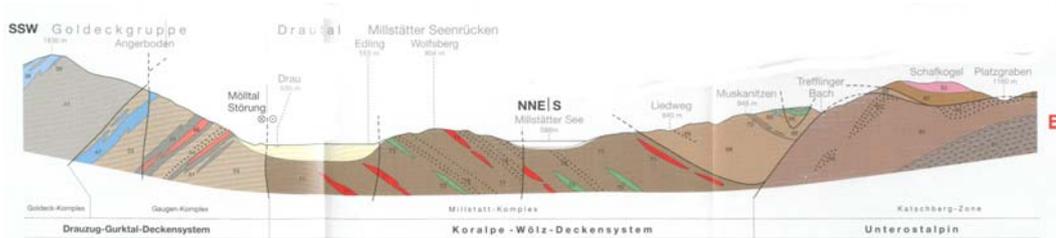


Abbildung 8: Geologischer Schnitt E (Schuster et al., 2006)

2.4 Hydrologie

Die Drau entspringt in Südtirol (Italien) oberhalb des Toblacher Feldes im Pustertal. Insgesamt hat die Drau eine Lauflänge von 748 km und ein Gesamteinzugsgebiet von 41000 km². Sie entwässert somit fast ganz Kärnten und stellt nach dem Hydrographischen Jahrbuch beim Austritt aus Kärnten ein Flussgebiet 1. Ordnung dar.

Das Längsprofil der Drau weist einen Höhenunterschied von 770 m auf und durchfließt das österreichische Staatsgebiet auf rd. 260 km. Das mittlere Sohlgefälle auf der Strecke Sillian - Lienz ist 16 ‰, auf der Strecke Lienz - Spittal 2 ‰, und im weiteren Verlauf bis Lavamünd ein solches von 1,5 ‰. Abschnittsweise finden sich einige ausgeprägte Gefällsstrecken bis 3 ‰ (nach Ludescher, 1992).

Die Isel als wichtigster Zubringer der Drau entwässert 1198,7 km² (Pegel Lienz) mit einem Gefälle von 3,5 ‰ und einem MQ von 38,8 m³/s. (Habersack et al., 2008)

Die höchsten Abflüsse der Drau treten aufgrund der Gletscherschmelze in den Sommermonaten auf, die niedrigsten in den Wintermonaten. Nach Mader et al., 1996 weist die Drau ein nivo-glaziales Abflussregime (NIG 6) auf.

Für das Untersuchungsgebiet sind der Pegel Sachsenburg flussauf der Möllmündung (Detailstrecke Kleblach) und der Pegel Drauhofen flussab der Möllmündung (Detailstrecken Rosenheim und Spittal) von Bedeutung.

Am Pegel Sachsenburg weist die Drau eine Einzugsgebietsgröße von 2561,4 km² auf, wobei durch Ableitungen ein Einzugsgebiet von 2453,9 km² wirksam wird. Der Pegelnullpunkt liegt bei 555,04 m ü.A. und das HQ₁₀₀ wird vom Hydrografischen Dienst Kärnten mit 1050 m³/s angegeben.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die charakteristischen Abflusswerte der Drau am Pegel Sachsenburg.

Jahreswerte des Abfluss in m³/s

langjährige Reihe 1951 - 2007

Tabelle 1: Charakteristische Abflusswerte Drau, Pegel Sachsenburg (Quelle: Hydrografisches Jahrbuch, 2007)

Bez.	Abfluss	Datum	Beschreibung
NNQ	13,2	19.01.1985	Niedrigster gemessener Niederwasserabfluss
MJNQ _T	19,9		Mittleres Jährliches Tagesniederwasser
MQ	72,6		Mittlerer Abfluss
MJHQ	380		Mittleres Jährliches Hochwasser
HHQ	1030	04.09.1965	Höchster gemessener Abfluss

Durch Zuleitungen aus dem Kraftwerksbetrieb der Kraftwerksgruppe Malta (Verbund) und das Einzugsgebiet der Möll ist am Pegel Drauhofen ein Einzugsgebiet von 3728.6 km² wirksam. Der Pegelnullpunkt liegt bei 547,03 m ü.A. und das HQ₁₀₀ wird vom Hydrografischen Dienst Kärnten mit 1400 m³/s angegeben.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die charakteristischen Abflusswerte der Drau am Pegel Drauhofen.

Jahreswerte des Abfluss in m³/s

langjährige Reihe 1976 - 2007

Tabelle 2: Charakteristische Abflusswerte Drau, Pegel Drauhofen (Quelle: Hydrografisches Jahrbuch, 2007)

Bez.	Abfluss	Datum	Beschreibung
NNQ	3,36	07.10.1988	Niedrigster gemessener Niederwasserabfluss
MJNQ _T	26,7		Mittleres Jährliches Tagesniederwasser
MQ	107		Mittlerer Abfluss
MJHQ	604		Mittleres Jährliches Hochwasser
HHQ	888	19.07.1981	Höchster gemessener Abfluss

2.5 Gewässertypologie

Wie in Abbildung 9 ersichtlich hat das Projektgebiet Anteil an der Ökoregion 4 - Alpen. Ökoregionen sind laut Omernik (1995) naturräumliche homogene Einheiten, die sich durch Ähnlichkeiten im Mosaik der Ökosysteme, der Umweltressourcen und der menschlichen Nutzung auszeichnen.

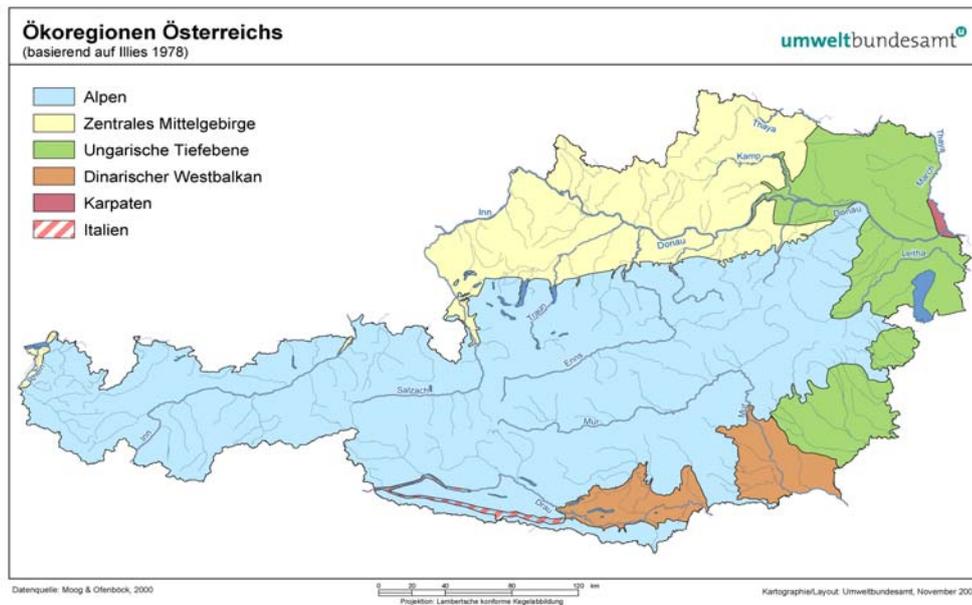


Abbildung 9: Ökoregionen Österreich (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, 2003; aus Moog et al., 2001)

Diese Definition zeigt, dass es sich beim Begriff Ökoregion um einen sehr breit gefassten Terminus handelt. Tatsächlich sind auch Ursprung, Zweck und Anwendungsgebiet dieses Begriffs sehr unterschiedlich. Wesentlich ist jedoch, dass es sich um eine übergeordnete räumliche Gliederungen der Lebensräume handelt, bei der im Gegensatz zu rein biogeographischen Gliederung die naturräumlichen Gegebenheiten stärker berücksichtigt sind (Jungwirth et al., 2003).

Die weitere Unterteilung der österreichischen Landschaft in Fließgewässer-Naturräume stellt eine wichtige Grundlage zur Klassifikation der Fließgewässer-Vielfalt unseres Bundesgebietes dar. Unter Fließgewässer-Naturräumen werden Landschaftseinheiten zusammengefasst, die in Bezug auf fließgewässer-ökologische Eigenschaften typologisch einheitliche Elemente aufweisen (Fink et al., 2000).

Die Drau stellt im Projektgebiet die Grenze zwischen den Fließgewässer-Naturräumen der Südalpen und Vergletscherte Zentralalpen dar (Abbildung 10).

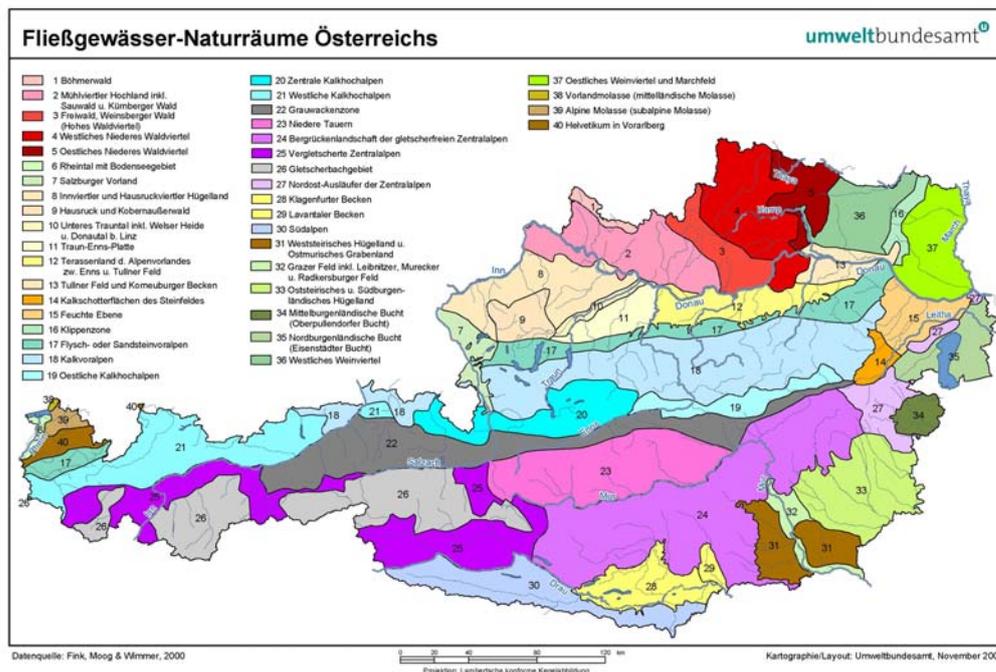


Abbildung 10: Fließgewässer – Naturräume Österreichs (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, 2003; aus Moog et al., 2001)

Die Flussordnungszahl nach Horton (1945) und Strahler (1957) ist eine Maßzahl für die Beschreibung des Einzugsgebietes und dessen Fließgewässer. Die Ordnungszahl beschreibt somit die relative Lage eines Flussabschnittes im gesamten Fließgewässer-System. Aufbauend auf das System von Horton (1945) und Strahler (1957) beschreibt das River-Continuum-Concept (RCC) von Vannote et al. (1980) die unterschiedlichen Lebensgemeinschaften im Fließgewässerlängsverlauf auf funktioneller Basis, wobei vor allem die Zusammenhänge zwischen morphologisch / hydrologischen Aspekten und den Auf- und Abbauprozessen bzw. den funktionellen Ernährungstypen der aquatischen Benthos-Biozöosen diskutiert werden. Resultierend auf dieses Konzept liegt das Projektgebiet bis zur Möllmündung im Mittellauf (Flussordnungszahl zwischen 4 und 6) und flussab der Möllmündung im Unterlauf (Flussordnungszahl 7) (Jungwirth et al., 2003).

Fließgewässer weisen eine starke längszonale Gliederung auf, wodurch es zur Ausbildung von Fischregionen kommt. Die Fischzöosen der einzelnen Regionen setzen sich aus Artengruppen mit charakteristischen ökologischen Eigenschaften, so genannten ökologischen Gilden, zusammen (Jungwirth et al., 2003).

Dieses Konzept der Gliederung wurde bereits vor über 130 Jahren angewandt (Fritsch 1872). Das heute verwendete Schema der Fischregionen geht auf Thienemann (1925) zurück. Illies & Botosaneanu (1963) entwickelten letztendlich das Konzept der "biozönotischen Regionen" (Jungwirth et al., 2003). Demnach entspricht die Drau im Projektgebiet dem Hyporhithral mit der Leitfischart Äsche (*Thymallus thymallus*).

2.6 Anthropogene Eingriffe und ihre Auswirkungen

Fließgewässer zählen weltweit zu den am vielfältigsten und zugleich am intensivsten durch den Menschen genutzten Ökosystemen. Der Mensch nutzt die an Flüssen und in deren Umland zur Verfügung stehenden Ressourcen seit Jahrtausenden (Jungwirth et al., 2003). Zugleich ändert er Flussökosysteme zum Teil tiefgreifend, um die vom Gewässer ausgehenden Gefährdungen für Siedlung, Infrastruktureinrichtungen und Produktionsflächen abzuwenden (Arthington & Welcomme, 1995). Als Resultat dieser Entwicklung ist heute weltweit nur mehr bei wenigen der großen Fließgewässer die ursprüngliche ökologische Funktionsfähigkeit erhalten (Karr 1993).

Noch vor hundert Jahren verfügte die frei fließende Drau über ein weit verzweigtes Fluss- und Augewässersystem mit großen Schotterflächen und angrenzenden Weidenbuschwälder, Grauerlenauen, ausgedehnten Hutweiden und Feuchtwiesen (Bundeswasserbauverwaltung, 2003) .

Die ersten Regulierungsarbeiten an der Drau fallen zeitlich mit dem Bau der Eisenbahn zusammen. Zur Verringerung der Hochwassergefahr und Steigerung der landwirtschaftlichen Nutzung des Talbodens wurde die Drau in der Folge durchgehend ohne Dämme verbaut. Durch die stark eingeschränkte Flussdynamik verschwanden viele flusstypspezifischen Lebensräume. In den 80-er Jahren des vergangenen Jahrhunderts begann man die bis dahin noch ungestaute Drau energiewirtschaftlich zu nutzen (Bundeswasserbauverwaltung, 2003).

Weiters kommt es durch verminderte Geschiebezufuhr aus den verbauten Wildbächen zur Sohlerosion. Die Flusssohle tiefte sich immer weiter ein und die verbliebenen Augewässer fielen mit sinkendem Grundwasserstand großflächig trocken (Petutschnig et al., 1991).

Die Fragestellung dieser Arbeit befasst sich im wesentlichen mit der Schwallbeeinflussung der Drau. In diesem Kontext ist das 1979 fertiggestellte und in Betrieb genommene Kraftwerk Malta-Unterstufe zu erwähnen. Bei diesem Kraftwerk wird das Wasser zum dritten Mal innerhalb der Maltakraftwerke zur Erzeugung von elektrischer Energie genutzt. Das Wasser gelangt noch vor der Möllmündung in die Drau und verursacht erhebliche Wasserspiegelschwankungen und hydraulische Veränderungen (genauere Erläuterung siehe Punkt 2.7 Schwall-Sunkbelastung im Projektgebiet).

Aus dem LIFE Endbericht Drau (Bundeswasserbauverwaltung, 2003) können zusammenfassend folgende anthropogenen Auswirkungen auf das Fließgewässersystem Obere Drau festgestellt werden:

- Verringerung der Flussdynamik durch Ufersicherungen
- Geschiebedefizite durch Geschieberückhalt in Seitengewässern und im Oberlauf
- Verlust von Augewässern durch Austrocknung und fehlende Neubildung
- Beeinträchtigung des aquatischen Lebensraumes durch Schwellbetrieb von Kraftwerken
- Unterbrechung des Flusses durch Wasserkraftwerke und deren Speicherseen
- Grundwasserabsenkung durch Sohleintiefung

- Verlust von Pionierstandorten durch Flussbett-Einengung
- Störungen auf Schotterflächen durch Tourismus und Freizeitnutzung
- Eintrag von Spritz- und Düngemittel aus der Landwirtschaft
- Entwässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen
- Grünlandumbruch
- Rodung von Gehölzbeständen
- Aufforstung mit biotopfremden Gehölzen
- Beweidung sensibler Auwaldbereiche
- Vitalitätsverlust der Auwälder und Einwanderung von Neophyten
- Geringer Altholzanteil in Auwäldern durch kurze Umtriebszeiten
- Potenzielle Beeinträchtigungen durch Straßenneubau und Siedlungsentwicklung

2.7 Schwall-Sunkbelastung im Projektgebiet

Die Hydrologie der Drau wird im Projektgebiet durch die Kraftwerke Straßen-Amlach, welches von der TIWAG Tiroler Wasserkraft AG betrieben wird und dem Kraftwerk Malta-Unterstufe, welches von der Verbund AG betrieben wird, beeinflusst.

Das Kraftwerk Straßen-Amlach der TIWAG in Osttirol hat einen Ausbaudurchfluss von 20,0 m³/s und befindet sich etwa 50 km oberhalb von Kleblach nahe der Stadt Lienz. Es wird als Ausleitungskraftwerk mit zwei Francisturbinen von je 30 MW Leistung betrieben. Aufgrund des geringen Ausbaudurchflusses und der Entfernung ist im Bereich der Untersuchungsstrecke Kleblach und beim Pegel Sachsenburg nur mehr eine sehr geringe Beeinflussung der Abflussganglinie durch den Schwellbetrieb feststellbar.



Abbildung 11: Kraftwerk Malta-Unterstufe (Quelle: Verbund AG)

Das von der Verbund AG betriebene Kraftwerk Malta-Unterstufe befindet sich in der KG Möllbrücke I, liegt am linken Draufer nahe der Ortschaft Möllbrücke und verursacht Schwellbetrieb in den Untersuchungsstrecken Rosenheim und Spittal. Die Malta Unterstufe bildet die dritte Stufe des Speicherkraftwerkes Malta. Sie weist eine Rohfallhöhe von 45 m auf und nützt das Unterwasser des Kraftwerkes Malta-Hauptstufe sowie das Wasser der Möll (Abbildung 11 und 12). In der

2. Untersuchungsgebiet

Kraftstation Möllbrücke sind zwei Maschinensätze mit vertikaler Welle und einer Nennleistung von zusammen 40 MW eingebaut. Jeder der beiden Maschinensätze besteht aus einer Kaplan turbine und einem Synchrongenerator. Durch einen 110 m langen, offenen Unterwasserkanal gelangt das zur Stromerzeugung genutzte Wasser in die Drau. Der Nenndurchfluss beträgt $55,0 \text{ m}^3/\text{s}$ je Turbine, in Summe $110,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (Verbund AG, 2007).



Abbildung 12: Systemskizze Kraftwerksgruppe Malta (Quelle: Verbund AG)

2.7.1 Generelle Schwall-Sunkproblematik

Speicherkraftwerke sind zum Ausgleich von Verbrauchsschwankungen im Stromnetz ein unverzichtbarer Bestandteil der Energiewirtschaft, besonders im Hinblick auf den steigenden Anteil neuer regenerativer Energiequellen. Auf der anderen Seite stellen die schnellen Abflussschwankungen des turbinieren Wassers flussab von Speicherkraftwerken eine erhebliche Beeinträchtigung der gewässerökologischen Funktion dar (Schneider & Noack, 2009).

Als Schwall wird eine natürlicherweise nicht auftretende Abflussspitze in Fließgewässern, also ein "künstliches Hochwasser" genannt. Im Gegensatz bezeichnet Sunk die Phase zwischen zwei Schwallwellen, die aber oft unter dem natürlichen Niederwasser liegt. Ein solcher Schwall-Sunkbetrieb oder kurz Schwellbetrieb ist eine direkte Folge der Produktion von elektrischer Spitzenenergie (LIMNEX, 2004).

Die am häufigsten festgestellten Auswirkungen des Schwellbetriebs auf die Fließgewässerfauna sind:

- Beeinträchtigung der natürlichen Fortpflanzung bei Fischen
- Verminderung des Fischbestandes
- abnehmende Arten- und Individuenzahl bei wirbellosen Bewohnern der Flusssohle
- Drift der wirbellosen Fauna
- Stranden von Jungfischen bei Schwallrückgang

(LIMNEX, 2004)

Weiters können zusätzlich noch zahlreiche Änderungen und Folgeerscheinungen wie z.B. Wassertemperaturänderung, Wassertrübung, Kolmation, Hydraulische Kennwerte wie Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung festgestellt werden.

Der bei Schwall und Sunk am meisten betroffene Teil des Flussbettes ist die sogenannte Wasserwechselzone (bei Schwall von Wasser bedeckt und bei Sunk wieder trocken). Die Besiedlung ist durch die kraftwerksbedingten Abflussschwankungen so stark eingeschränkt, dass zuweilen auch von einer "Verödungszone" gesprochen wird (LIMNEX, 2004).

Die Auswirkungen des Schwellbetriebs auf ein Fließgewässer und dessen Umland können sehr unterschiedlich sein. Kern dieser Arbeit sind die flusstypspezifischen Eigenschaften und deren Wechselwirkung mit Sunk- und Schwallprozessen an der Drau in drei Detailstrecken zu analysieren und zu quantifizieren.

2.8 Beschreibung der Untersuchungsstrecken

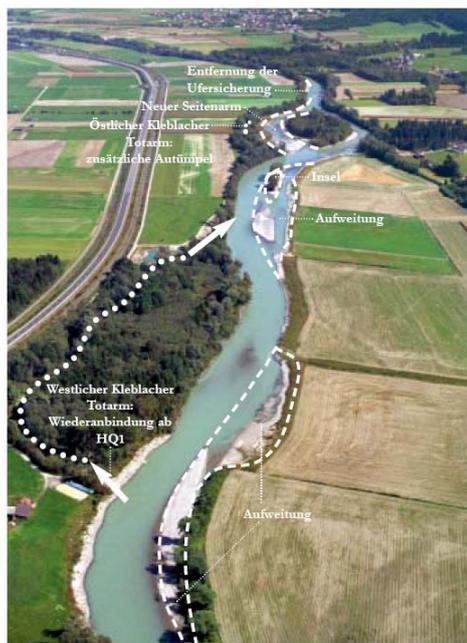
Wie bereits erwähnt befindet sich das Untersuchungsgebiet im Oberen Drautal im Nordwesten Kärntens. Die Gesamtlänge der Untersuchungsstrecke misst rd. 20 km, wobei 3 Abschnitte (Kleblach, Rosenheim, Spittal) als Detailstrecken näher betrachtet wurden. In den letzten Jahren wurden im Zuge von LIFE-Projekten (Auenverbund Obere Drau, Obere Drau II) großflächige Revitalisierungsprojekte im Oberen Drautal vorgenommen.

2.8.1 Kleblach (Bundeswasserbauverwaltung, 2003)

Der Abschnitt Kleblach befindet sich in den Gemeinden Steinfeld und Kleblach-Lind von Fluss-km 581,2 - Fluss-km 582,7.

Im Bereich des vormals gestreckten monotonem Verlauf ohne nennenswerten Strukturen wurde hier das erste LIFE-Projekt durchgeführt. Ein Schwerpunkt des LIFE-Projekts bildete die Revitalisierung der Drau im Bereich der "Kleblacher Totarme". Seltene Tier- und Pflanzenarten wie die Karausche (*Carrasius Carrasius*), der Alpenkammolch (*Triturus Carnifex*) und das Quirl-Tausendblatt (*Myriophyllum Verticillatum*) drohten durch die Absenkung des Grundwasserspiegels und der Verlandung des historischen Altarms der gänzliche Verlust. Es bestand massiver Handlungsbedarf um diese letzten Rückzugsräume zu schützen und zu erhalten.

Im Zuge des LIFE-Projekts Auenverbund Obere Drau wurden weitreichende Maßnahmen zur Stabilisierung der Gewässersohle durchgeführt, um damit eine stabile Lage des Grundwasserspiegels in der Au und in den angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen zu sichern (Abbildung 13). Weitere Ziele waren der langfristige Erhalt des hohen ökologischen Potentials, als auch eine Erhöhung der Struktur- und Lebensraumvielfalt (Augewässer, Schotterbänke) sowie der Flusssdynamik.



Für die Umsetzung der Ziele wurde im Bereich des westlichen Altarms und zwischen den beiden Altarmen auf einer Länge von rd. 1,3 km das Flussbett um bis zu 45 m aufgeweitet. Weiter wurde im Bereich des östlichen Altarmes ein 500 m langer und rd. 30 m breiter Seitenarm angelegt. Der westliche Altarm wurde so für ein HQ₁ durchströmbar ausgeführt. Dies sollte Verlandungsprozesse verhindern und Reproduktionsflächen für Jungfische und stagnophile Fischarten schaffen. Der östliche Altarm wurde punktuell revitalisiert, verlandete Bereiche teilweise mit Gumpen angelegt um die Wasserfläche zu vergrößern und Ackernutzung wurde in Teilbereichen aufgegeben und für Auwaldflächen zur Verfügung gestellt.

Abbildung 13: Maßnahmen Kleblach
(Quelle: Bundeswasserbauverwaltung, 2003)

2.8.2 Rosenheim (Bundeswasserbauverwaltung, 2003)

Der Abschnitt Rosenheim befindet sich in der Gemeinde Baldramsdorf von Fluss-km 566,4 - Fluss-km 569,6.

Im Zuge des LIFE-Projekts "Lebensader Obere Drau" wurden in Rosenheim von November 2006 bis Juni 2007 großflächige Flussaufweitungen durchgeführt, mit dem Ziel die Lebensräume der Drau oberhalb der Rosenheimer Brücke wieder herzustellen und weitere Sohlein-tiefungen zu reduzieren bzw. zu verhindern. Dabei wurde der bestehende Blockwurf am gesicherten rechten Draufer auf einer Länge von rd. 1 km entfernt bzw. rückversetzt und begradigte Flussabschnitte wurden revitalisiert.

Gleichzeitig wurde die Initiierung von Grauerlenwäldern gefördert. Mit der Schaffung von Augewässern in Form von Auweihern und mit der Wiederherstellung eines Altarm- und Flutmuldensystems wurde die Lebensraumvielfalt von Tier- und Pflanzenwelt wiederhergestellt (Abbildung 14). Auf die Schaffung von Steilufern, die als Brutareale des Eisvogels dienen, wurde beim Bau des Altarmsystems bewusst geachtet. Insgesamt wurden ideale Ruhezone für weitere seltene Vogelarten, wie beispielsweise den Flussuferläufer, hergestellt.



Gleichzeitig kann der Mensch seinen Nutzen aus der Maßnahme ziehen. In integrativer Betrachtung wurde die Drau-Revitalisierung auf die Anforderungen eines modernen Hochwasserschutzes abgestimmt. Im erweiterten Flussbett bleibt die Höhenlage der Gewässersohle stabil. Der Fluss kann außerdem im Hochwasserfall deutlich mehr Wasser aufnehmen, was der Sicherheit der angrenzenden Gemeinden zu Gute kommt (Habersack et al., 2011).

Abbildung 14: Maßnahmen Rosenheim
(Quelle: Bundeswasserbauverwaltung,
2003)

2.8.3 Spittal (Bundeswasserbauverwaltung, 2003)

Der Abschnitt Spittal befindet sich in den Gemeinden Spittal und Baldramsdorf von Fluss-km 559,2 - Fluss-km 563,5.



Abbildung 15: Maßnahmen Spittal West (Quelle: Bundeswasserbauverwaltung 2003)

Grundwassergespeiste Nebengewässer als Verbindungselement zwischen Drau und einem bestehenden Grabensystem zur Verzahnung der aquatischen, semiaquatischen und terrestrischen Lebensräume wurden angelegt.

Um der größten Sohleintiefung im Projektgebiet zwischen Fluss-km 561,7 und Fluss-km 562,7 entgegenzuwirken wurden Flussaufweitungen mit verdeckten Leitwerken errichtet. Dies ermöglicht eine begrenzte Seitenerosion, sodass Pionierstandorte an abgeflachten Ufern entstehen können.

Weiters trägt die Schaffung von Erholungsgebieten für die Bevölkerung im Nahbereich von Spittal/Drau, bestehend aus einem Aussichtsturm und einem Zugang zum Gewässer, wesentlich zur Attraktivitätssteigerung für Erholungssuchende bei.

Die Maßnahmen von Spittal basierten fachlich auf der Grundlage des "Instandhaltungsprogrammes Drau 1998-2002" und umfassten 3 Revitalisierungsstrecken mit einer Gesamtlänge von rd. 4,5 km.

Die Ziele des LIFE-Projekts waren eine Stabilisierung der Sohle durch Aufweitung und Geschiebebeigabe, eine Wiederherstellung des dynamisch geprägten Flussraumes und eine bessere Pufferung von Schadstoffeinträgen aus dem Umland (Abbildung 15 und 16).

Im Zuge der Maßnahmen wurden an den Innenbögen Ufersicherungen entfernt, um die Seitenerosion zu fördern und flache Ufer für Pionierstandorte zu initiieren. Generelle Flussaufweitungen und Rückversetzung der Böschungssicherung wurden vorgenommen. Das Aushubmaterial wurde teilweise als Geschiebeinseln im Fluss belassen, wodurch dynamische Umlagerungsprozesse initiiert werden.



Abbildung 16: Maßnahmen Spittal Süd (Quelle: Bundeswasserbauverwaltung, 2003)

Ergänzende Daten und charakteristische Eigenschaften der drei Untersuchungsstrecken sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: charakteristische Eigenschaften der Detailstrecken

	Kleblach	Rosenheim	Spittal
Lagekoordinaten GK M31 *	X: -666 Y: 179923	X: 5344 Y: 186793	X: 10527 Y: 184971
Morphologische Eigenschaft	Pool-riffle straight	Plane Bed straight	Pool-riffle sinuous
Länge l [m]	1500	3200	4300
durchschnittliche Breite b [m]	70	80	90
durchschnittliches Sohlgefälle I_s [‰]	1,5	1,6	1,5
Sohlrauigkeit k [m^{1/3}/s]	30	30	30

* Lagekoordinaten beziehen sich auf den Mittelpunkt der Detailstrecken

3. Grundlagenerhebung

3.1 Externe Datenquellen

3.1.1 Geodaten

Als Grundlage zur Erstellung des digitalen Geländemodelles stehen Daten einer Laserscanbefliegung sowie die Echolotmessungen einer bathymetrischen Aufnahme zur Verfügung. Die Laserscandaten stammen aus einer Befliegung des Amtes der Kärntner Landesregierung im Jahre 2007. Die Echolotmessungen wurden von Mayr&Sattler im Jahre 2007 durchgeführt.

3.1.2 Hydrologische Zeitreihen

Zur Ermittlung der Schwall Szenarien wurden Pegelaufzeichnungen herangezogen. Für die Messstelle Sachsenburg (Brücke) flussauf des Kraftwerkes Malta Unterstufe wurden Zeitreihen von 1971 bis 2009 vom Hydrografischen Dienst Kärnten herangezogen. Für die Messstelle Drauhofen flussab des Kraftwerkes Malta Unterstufe, dem Durchfluss der Turbinen im Krafthaus sowie der Restwasserstrecke der Möll standen Zeitreihen von 1995 bis 2009 zur Verfügung (Tabelle 4). Diese Zeitreihen wurden von der Verbund AG zur Verfügung gestellt.

Tabelle 4: Erhobene Zeitreihen

Betreiber	Messstelle	Zeitreihe	Zeitliche Auflösung	Zeitraum
HD-Kärnten	Sachsenburg (Brücke)	Abfluss [m ³ /s]	Max.	1977-2009
		Wasserstand [cm]	Max. (ca. 15 min)	1971-2009
AHP	Drauhofen	Abfluss [m ³ /s]	15 min	1995-2009
		Wasserstand [cm]	15 min	1995-2009
	Turbine Malta-Unterstufe	Abfluss [m ³ /s]	15 min	1995-2009
	Wehr Malta-Unterstufe	Abfluss [m ³ /s]	15 min	1995-2009

3.1.3 Temperaturlaufzeichnungen

Für die Zeitreihe der Wassertemperatur ohne Schwallbeeinflussung wurde die Messstelle Sachsenburg (Brücke) des Hydrografischen Dienstes Kärnten gewählt. Die Daten der Wassertemperatur standen von 2008 bis 2010 zur Verfügung, die Auflösung beträgt 0,1 °C. Um ein eventuelles Trockenfallen von Sonden zu erkennen, wurden die Aufzeichnungen der Lufttemperatur am Standort Sachsenburg erhoben und ausgewertet. Diese Messstelle wird vom Hydrografischen Dienst Kärnten betreut und die Daten der Lufttemperatur stehen von 2008 bis 2010 zur Verfügung. Die Auflösung beträgt 0,1 °C.

3.2 Feldaufnahmen

3.2.1 Vermessung

Als Grundlage für die Modellierung wurden Teile der Untersuchungsabschnitte terrestrisch vermessen (Abbildung 17 und 18). Die Aufnahme erfolgte in Form von Profilen mit einem Profilabstand von ca. 20 m. Die Punktverdichtung erfolgte mittels Polygonzug, die Detailpunkte wurden polar aufgenommen. In den Flachwasserbereichen und Schotterbänken, welche als potentielle Fischfallen erkennbar sind, wurde der Punktabstand entsprechend verdichtet. Die Vermessung wurde mit einem elektronischen Tachymeter (TC 805) mit eingebautem Laserentfernungsmesser ausgeführt. Die Detailvermessung erfolgte für den Abschnitt Rosenheim am Prallufer (rechtes Ufer) im Bereich der neu gestalteten Aufweitung. Im Abschnitt Spittal wurden Teile des Gleitufers (ebenfalls rechtes Ufer) und eine "Point Bar" im Innenbogen des Spittaler S (linkes Ufer) aufgenommen.



Abbildung 17: Abschnitt Rosenheim - Vermessung der Aufweitungstrecke



Abbildung 18: Abschnitt Spittal - Aufnahme des Gleitufers und der Schotterbänke

Im digitalen Geländemodell wurde die terrestrische Vermessung mit Echolotmessungen und Airborne Laserscannmessungen ergänzt.

3.2.2 Wassertemperatur

Zur Untersuchung der Temperaturschwankungen infolge des Schwellbetriebes wurden Temperaturmesssonden an verschiedenen Abschnitten und Habitatstrukturen installiert. Die natürliche Wassertemperatur der Drau im Projektgebiet oberhalb des Kraftwerkes Malta Unterstufe wird von den im Einzugsgebiet liegenden Hochgebirgsregionen mit Gletscherabfluss beeinflusst. Das vom Kraftwerk eingeleitete Wasser stammt aus dem Ausgleichsbecken Rottau, welches auf 600 m ü.A. liegt. Das Ausgleichsbecken Rottau wird von der Möll und von Hochgebirgsspeichern gespeist. Aufgrund der Höhenlage der Hochgebirgsspeicher (z.B.: Speicher Kölnbrein 1902 m ü.A., Hochalmsee 2379 m ü.A.) und der Aufenthaltszeit im Ausgleichsbecken wurde vermutet, dass die Temperatur des turbinieren Wassers von der Temperatur der Drau abweicht. Wie in Abbildung 19 ersichtlich, wurden die Sonden aus diesem Grund unmittelbar ober- bzw. unterhalb des Unterwasserkanals des Kraftwerkes Malta Unterstufe angeordnet. Eine Sonde wurde als Referenz flussauf in der Untersuchungsstrecke von Kleblach-Lind installiert. Weitere Sonden wurden in verschiedenen Habitaten flussab der Einleitung, in den Bereichen Rosenheim und Spittal angeordnet.

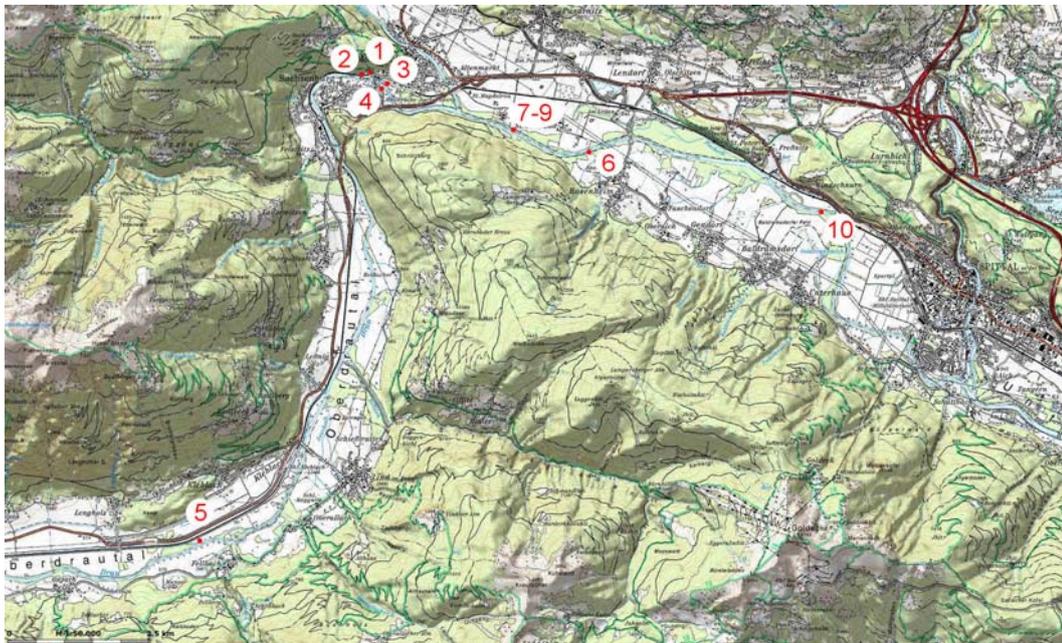


Abbildung 19: Übersichtskarte Temperatursonden (Kartenquelle: BEV)

Es kamen iButton-Sonden der Firma Maxime Integrated Products zum Einsatz. Als zeitliche Auflösung der Aufzeichnungen wurde ein Intervall von 15 und 30 Minuten gewählt. Die Sonden messen dazu in einem Intervall von zehn Sekunden die Wassertemperatur. Der integrierte Mikrochip errechnet aus diesen Einzelmessungen alle 15/30 Minuten einen Mittelwert, der aufgezeichnet wird. Die Sonden sind von Werk aus nicht wasserdicht ausgeführt und wurden daher in einem wasserdichten Gehäuse vor direktem Flüssigkeitskontakt geschützt. Das Gehäuse besteht aus handelsüblichen Stahlittings aus dem Installateurbedarf. Die Fittings wurden durch Einlegen eines Teflondichtungsbandes wasserdicht verschraubt. Zusätzlich wurde die Sonde durch eine dünne Plastikfolie vor eventuell eindringender Feuchtigkeit

geschützt. Zur Verankerung der Sonden an der Flusssohle wurden in der Periode niedriger Wasserführung, also Spätherbst bis Spätwinter, Gewindestangen verwendet, die in das Substrat eingeschlagen wurden (Abbildung 21). In der Periode höherer Wasserführung wurden die Gewindestangen durch Ketten ersetzt, die bis zu höheren Bereichen der Flussufer reichten.

Das Auslesen und Programmieren der Sonden wurde vor Ort mit einem Laptop vorgenommen. Dafür wurde die Sonde in den am Rechner angeschlossenen Adapter (Abbildung 20) eingelegt. Der Datentransfer erfolgte über ein Programm der Herstellerfirma der Sonden.



Abbildung 20: Ausleseadapter (Quelle: Maxim Inc. Sunnyvale, CA)



Abbildung 21: Einbaufertige Sonde mit Fitting und Gewindestange

Der Speicherplatz der Sonden ist begrenzt. Bei der oben genannten Einstellung musste aus diesem Grund der Speicher etwa alle 45 Tage ausgelesen werden. In manchen Fällen war dies aufgrund der Abflussverhältnisse nicht möglich.

4. Methodik

4.1 Abflussszenarien

4.1.1 Basisabfluss ohne Schwallbeeinflussung

Zur Ermittlung des Basisabflusses wurden langjährige Abfluss- und Wasserstandzeitreihen des Pegels Sachsenburg herangezogen, die Rohdaten wurden vom Hydrografischen Dienst des Landes Kärnten bezogen. Der Pegel Sachsenburg liegt ca. 1,6 km flussauf der Kraftstation Möllbrücke. Im Einzugsgebiet des Pegels treten aufgrund der räumlichen Distanz zum flussauf gelegenen Kraftwerk Amlach nur geringe Pegelschwankungen durch Wasserkraftnutzung auf.

Stammdaten Messstelle Sachsenburg (Brücke):

- Orografisches Einzugsgebiet 2561,4 km²
- Seehöhe 555,04 m ü.A.

Zur statistischen Auswertung der Zeitreihen wurde als Basis das meteorologische Jahr (1. Dezember des Vorjahres bis 30. November) gewählt und in 4 Einheiten (Winter, Frühling, Sommer und Herbst) unterteilt. Durch diese Einteilung kann die Verteilung des Abflusses im Jahresgang angenähert werden. Zur Berechnung der statistischen Kennzahlen wurden die Zeitreihen vom 1.12.1977 bis zum 30.11.2008 verwendet (siehe Abbildung 22 und Tabelle 5). Es wurden somit n=31 Jahre erfasst.

Tabelle 5: Langjähriger Durchschnitt 1977 bis 2008 Pegel Sachsenburg

	Winter			Frühling		
	1. Dez – 28./29. Feb			1. März – 31. Mai		
	Q	w		Q	w	
	[m ³ ·s ⁻¹]	[m ü.A.]	[cm]	[m ³ ·s ⁻¹]	[m ü.A.]	[cm]
Mittelwert	25,75	555,46	41,84	54,32	555,74	69,77
Perzentile 25%	21,69	555,39	35,44	44,67	555,66	62,12
Perzentile 75%	28,79	555,53	48,77	61,64	555,79	75,43
Standardabweichung	6,30		9,51	11,34		9,18
	[m ³ ·s ⁻¹] ²		[cm] ²	[m ³ ·s ⁻¹] ²		[cm] ²
Varianz	39,67		90,35	128,56		84,19

	Sommer			Herbst		
	1. Juni – 31. Aug			1. Sep – 30. Nov		
	Q	w		Q	w	
	[m ³ ·s ⁻¹]	[m ü.A.]	[cm]	[m ³ ·s ⁻¹]	[m ü.A.]	[cm]
Mittelwert	131,93	556,41	137,07	64,32	555,87	83,23
Perzentile 25%	113,21	556,31	126,51	51,07	555,76	71,88
Perzentile 75%	141,22	556,50	145,98	72,89	555,95	90,62
Standardabweichung	23,07		15,22	18,16		15,34
	[m ³ ·s ⁻¹] ²		[cm] ²	[m ³ ·s ⁻¹] ²		[cm] ²
Varianz	532,25		231,71	329,90		235,32

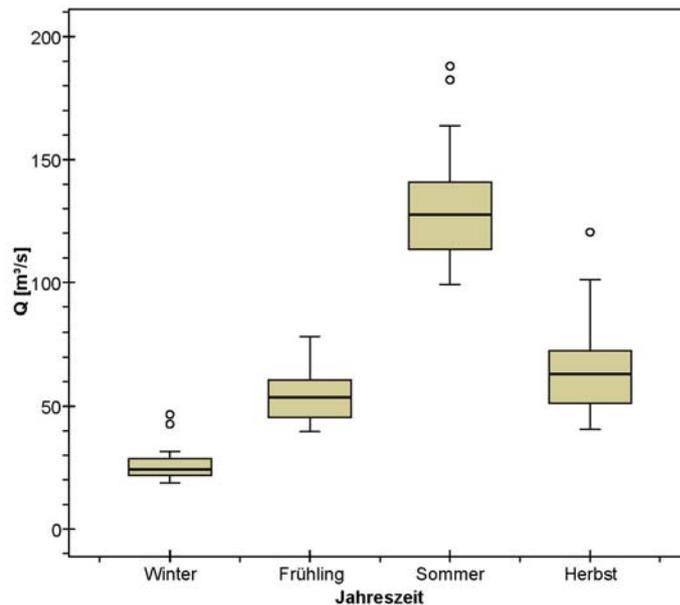


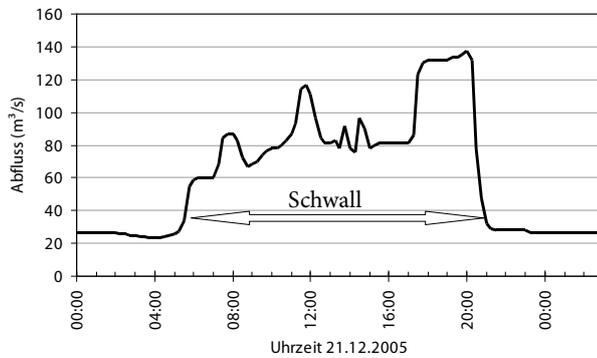
Abbildung 22: Boxplot Abfluss mit geringer Schwallbeeinflussung durch Straßen-Amlach, n=31 Jahre, Pegel "Sachsenburg (Brücke)"

4.1.2 Simulierte Schwall Szenarien und Schwallkennwerte

Für die Bestimmung der zur Modellierung benötigten Ganglinien wurden in der Natur beobachtete Schwallabflüsse herangezogen. Für jede Jahreszeit wurde eine Schwall situation mit einem Basisabfluss entsprechend dem langjährigen Mittelwert ausgewählt (siehe Tabelle 5). Die Ganglinien der Perzentile wurden durch Verschieben der gewählten Zeitreihen berechnet. Als Datengrundlage wurden die Aufzeichnungen des Hydrografischen Dienstes Kärnten am Pegel Drauhofen gewählt. Die zeitliche Auflösung der Daten beträgt 15 Minuten. Die Abflussdifferenz von $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ in Bezug auf den Pegel Sachsenburg (siehe Tabelle 5) ergibt sich aus der zwischen den Pegeln liegenden Einmündung der Möll (verpflichtete Restwasserabgabe aus dem Speicher Rottau in die Möll von $5 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.1.2.1 Winter (Mittwoch, 21. Dezember 2005)

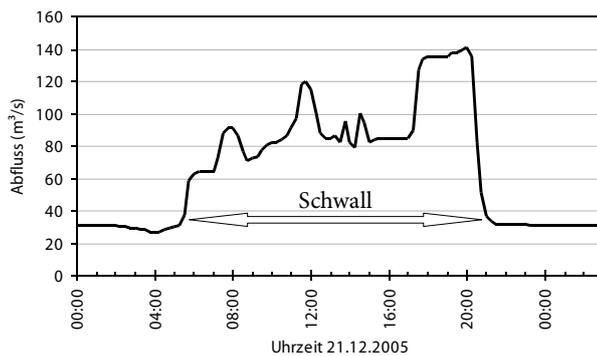
Die Abbildungen 23 bis 25 zeigen die für die Modellierung herangezogenen Ganglinien des Winterszenarios.



Schwallkennwerte Perzentile 25%:

- $Q_{\text{Schwall}} = 137,17 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Sunk}} = 26,69 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 5,13$
- Maximale Anstiegsrate:
 $P_{\text{Anstieg}} = 2,49 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Maximale Rückgangsrate:
 $P_{\text{Rückgang}} = -3,57 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Schwallamplitude:
 $Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 110,48 \text{ m}^3/\text{s}$

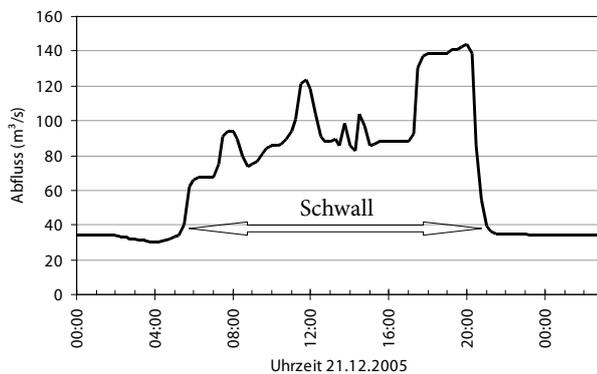
Abbildung 23: Ganglinie Winter (Perzentile 25%)



Schwallkennwerte Mittelwert:

- $Q_{\text{Schwall}} = 141,23 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Sunk}} = 30,75 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 4,59$
- Maximale Anstiegsrate:
 $P_{\text{Anstieg}} = 2,49 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Maximale Rückgangsrate:
 $P_{\text{Rückgang}} = -3,57 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Schwallamplitude:
 $Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 110,48 \text{ m}^3/\text{s}$

Abbildung 24: Ganglinie Winter (Mittelwert)



Schwallkennwerte Perzentile 75%:

- $Q_{\text{Schwall}} = 144,27 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Sunk}} = 33,79 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 4,27$
- Maximale Anstiegsrate:
 $P_{\text{Anstieg}} = 2,49 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Maximale Rückgangsrate:
 $P_{\text{Rückgang}} = -3,57 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Schwallamplitude:
 $Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 110,48 \text{ m}^3/\text{s}$

Abbildung 25: Ganglinie Winter (Perzentile 75%)

4.1.2.2 Frühling (Donnerstag, 12. April 2007)

Die Abbildungen 26 bis 28 zeigen die für die Modellierung herangezogenen Ganglinien des Frühlingsszenarios.

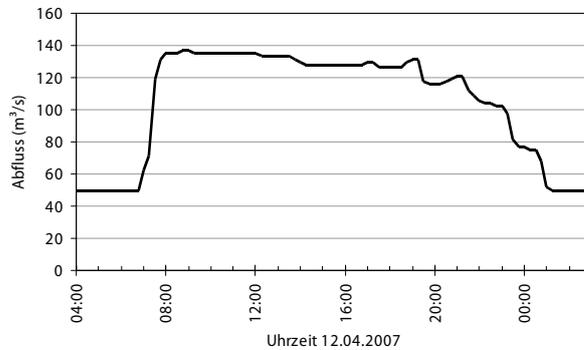


Abbildung 26: Ganglinie Frühling (Perzentile 25%)

Schwallkennwerte Perzentile 25%:

$$Q_{\text{Schwall}} = 137,03 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Sunk}} = 49,67 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 2,76$$

Maximale Anstiegsrate:

$$P_{\text{Anstieg}} = 3,20 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Maximale Rückgangsrate:

$$P_{\text{Rückgang}} = -1,10 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Schwallamplitude:

$$Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 87,36 \text{ m}^3/\text{s}$$

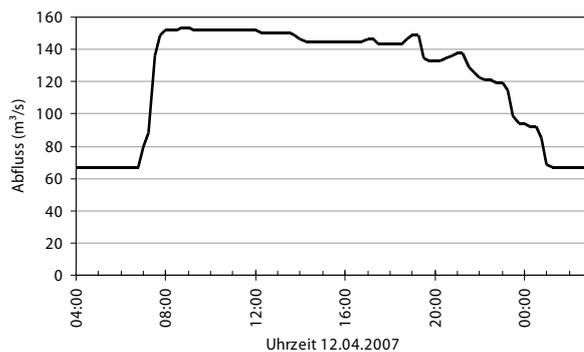


Abbildung 27: Ganglinie Frühling (Mittelwert)

Schwallkennwerte Mittelwert:

$$Q_{\text{Schwall}} = 146,68 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Sunk}} = 59,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 2,47$$

Maximale Anstiegsrate:

$$P_{\text{Anstieg}} = 3,20 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Maximale Rückgangsrate:

$$P_{\text{Rückgang}} = -1,10 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Schwallamplitude:

$$Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 87,36 \text{ m}^3/\text{s}$$

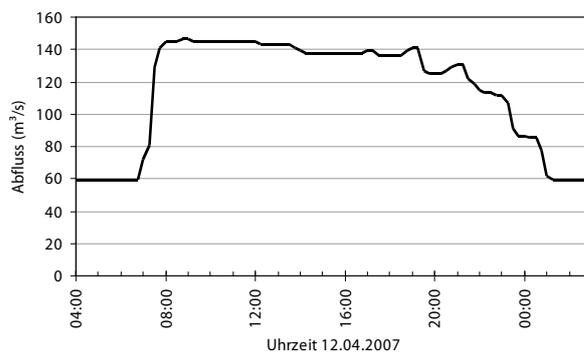


Abbildung 28: Ganglinie Frühling (Perzentile 75%)

Schwallkennwerte Perzentile 75%:

$$Q_{\text{Schwall}} = 154,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Sunk}} = 66,64 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 2,31$$

Maximale Anstiegsrate:

$$P_{\text{Anstieg}} = 3,20 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Maximale Rückgangsrate:

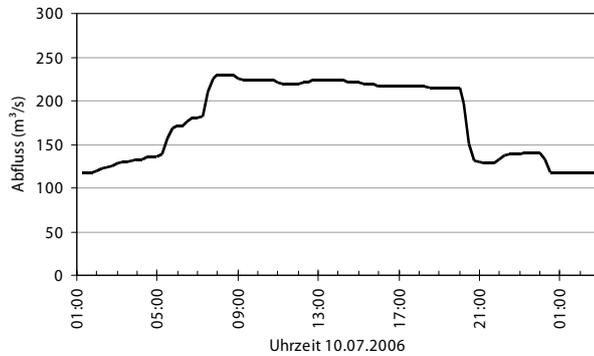
$$P_{\text{Rückgang}} = -1,10 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Schwallamplitude:

$$Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 87,36 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.1.2.3 Sommer (Montag, 10. Juli 2006)

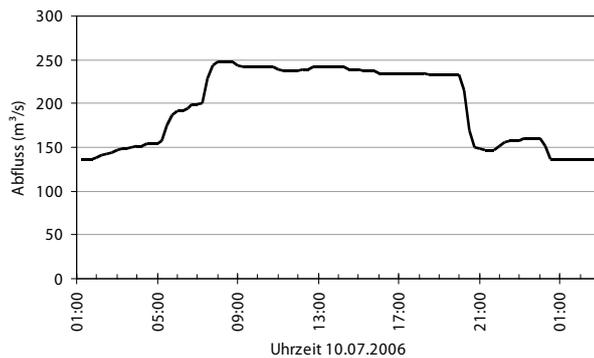
Die Abbildungen 29 bis 31 zeigen die für die Modellierung herangezogenen Ganglinien des Sommerszenarios.



Schwallkennwerte Perzentile 25%:

- $Q_{\text{Schwall}} = 229,83 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Sunk}} = 118,21 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 1,94$
- Maximale Anstiegsrate:
 $P_{\text{Anstieg}} = 1,83 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Maximale Rückgangsrate:
 $P_{\text{Rückgang}} = -3,11 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Schwallamplitude:
 $Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 111,62 \text{ m}^3/\text{s}$

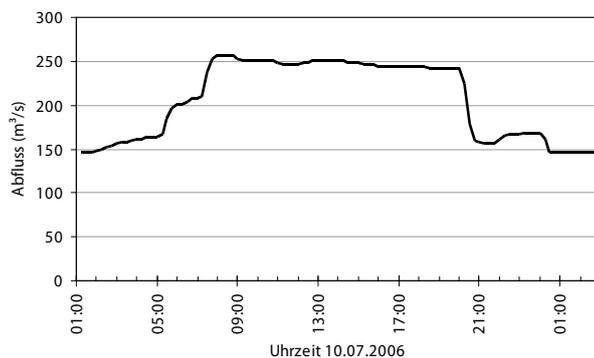
Abbildung 29: Ganglinie Sommer (Perzentile 25%)



Schwallkennwerte Mittelwert:

- $Q_{\text{Schwall}} = 248,55 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Sunk}} = 136,93 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 1,82$
- Maximale Anstiegsrate:
 $P_{\text{Anstieg}} = 1,83 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Maximale Rückgangsrate:
 $P_{\text{Rückgang}} = -3,11 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Schwallamplitude:
 $Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 111,62 \text{ m}^3/\text{s}$

Abbildung 30: Ganglinie Sommer (Mittelwert)



Schwallkennwerte Perzentile 75%:

- $Q_{\text{Schwall}} = 257,84 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Sunk}} = 146,22 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 1,76$
- Maximale Anstiegsrate:
 $P_{\text{Anstieg}} = 1,83 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Maximale Rückgangsrate:
 $P_{\text{Rückgang}} = -3,11 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$
- Schwallamplitude:
 $Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 111,62 \text{ m}^3/\text{s}$

Abbildung 31: Ganglinie Sommer (Perzentile 75%)

4.1.2.4 Herbst (Dienstag, 16. September 2008)

Die Abbildungen 32 bis 34 zeigen die für die Modellierung herangezogenen Ganglinien des Herbstszenarios.

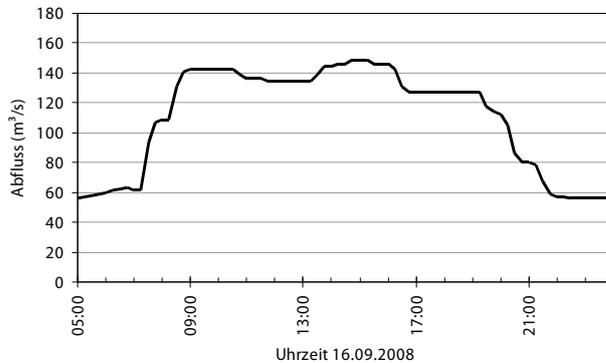


Abbildung 32: Ganglinie Herbst (Perzentile 25%)

Schwallkennwerte Perzentile 25%:

$$Q_{\text{Schwall}} = 148,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Sunk}} = 56,07 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 2,65$$

Maximale Anstiegsrate:

$$P_{\text{Anstieg}} = 2,12 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Maximale Rückgangsrate:

$$P_{\text{Rückgang}} = -1,25 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Schwallamplitude:

$$Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 92,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

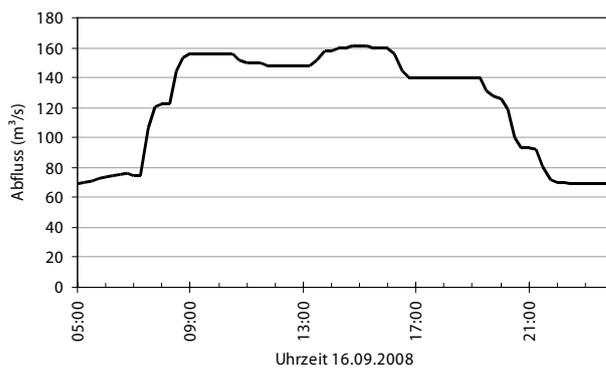


Abbildung 33: Ganglinie Herbst (Mittelwert)

Schwallkennwerte Mittelwert:

$$Q_{\text{Schwall}} = 161,64 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Sunk}} = 69,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 2,33$$

Maximale Anstiegsrate:

$$P_{\text{Anstieg}} = 2,12 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Maximale Rückgangsrate:

$$P_{\text{Rückgang}} = -1,25 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Schwallamplitude:

$$Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 92,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

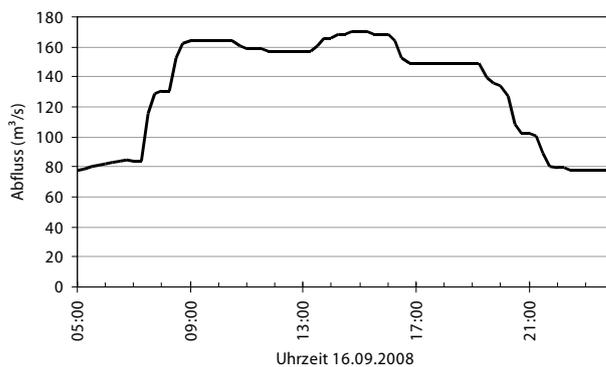


Abbildung 34: Ganglinie Herbst (Perzentile 75%)

Schwallkennwerte Perzentile 75%:

$$Q_{\text{Schwall}} = 170,21 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Sunk}} = 77,89 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Schwall}}/Q_{\text{Sunk}} = 2,19$$

Maximale Anstiegsrate:

$$P_{\text{Anstieg}} = 2,12 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Maximale Rückgangsrate:

$$P_{\text{Rückgang}} = -1,25 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{min}$$

Schwallamplitude:

$$Q_{\text{Schwall}} - Q_{\text{Sunk}} = 92,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2 Verwendete Modellierungssoftware

4.2.1 HEC-RAS (1D)

Für die vorliegende Arbeit wurden Daten aus eindimensionalen Strömungsberechnungen verwendet. Diese Ergebnisdaten wurden von Robert Rieger im Zuge seiner Diplomarbeit „Grundlagenuntersuchungen und Methodikentwicklung zur Bewertung des Schwalleinflusses bei unterschiedlichen Flusstypen - Fallbeispiel Drau“ ermittelt und für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

Die eindimensionale Modellierung beschränkt sich auf die Untersuchungsstrecken Rosenheim und Spittal und wurde mit dem 1-D-Modell HEC-RAS (Version 4.0/4.1) vorgenommen. Entwickelt wurde dieses Modell von den US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center (HEC). Diese Software wird über die Webseite des HEC kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Für eine nähere Beschreibung des Modells und seiner Ergebnisdatensätze verweist der Autor auf die oben erwähnte Diplomarbeit.

4.2.2 SMS - Surface Water Modeling System

Die Erstellung des digitalen Geländemodells für die zweidimensionale numerische Modellierung wurde mit Hilfe des Programms SMS (Surface Water Modeling System) durchgeführt. Als Pre- und Postprozessor (Netzgenerierung, Daten- und Ergebnisvisualisierung) beinhaltet SMS die Möglichkeit mittels Vierecks- und Dreieckselementen ein 2,5 dimensionales Berechnungsnetz zu erstellen. Neben dem Aufbau des Netzes wurden hier auch alle notwendigen Randbedingungen für die hydraulische Berechnung definiert. Die Software SMS ist ein Produkt des Environmental Modeling Research Laboratory der Brigham Young University, Wisconsin, USA (<http://www.aquaveo.com/sms>).

4.2.2.1 Netzgenerierung

Für die Netzgenerierung wurden die unter Punkt 3 angegebenen topografischen Daten im Programm zusammengeführt. Der Flussschlauch wurde mit Hilfe der Echolotmessungen, die Uferböschung und das Umland mit terrestrischer bzw. mit Laserscanvermessung erstellt. Die Profilabstände der Echolotmessungen in den Detailstrecken betragen maximal 40 Meter. So konnte die Sohle in den revitalisierten Detailstrecken mit den heterogenen Strukturen sehr genau generiert werden. Zusätzlich zu den geringen Profilweiten wurden im Bereich der Detailstrecken Laserscanvermessungen mit einem Raster von 1x1 Meter verwendet. Um Strukturen, wie z.B. flache Schotterbänke mit hoher Strandungsgefahr für Jungfische besonders detailliert abzubilden, wurde an diesen Stellen zusätzlich noch terrestrisch mit Totalstation vermessen (Abbildung 35).

Der Profilabstand der Echolotmessungen an Strecken zwischen den Detailstrecken betrug ca. 200 Meter. In diesen Bereichen wurde das Vorland bzw. die Böschung ebenfalls mit Profilabständen von rd. 200 Meter generiert.

Das erstellte digitale Geländemodell beinhaltet auf der Strecke von Kleblach bis Spittal 646 Dreieckselemente und 202949 Viereckselemente mit einer durchschnittlichen Maschenweite von 2x6 Meter.

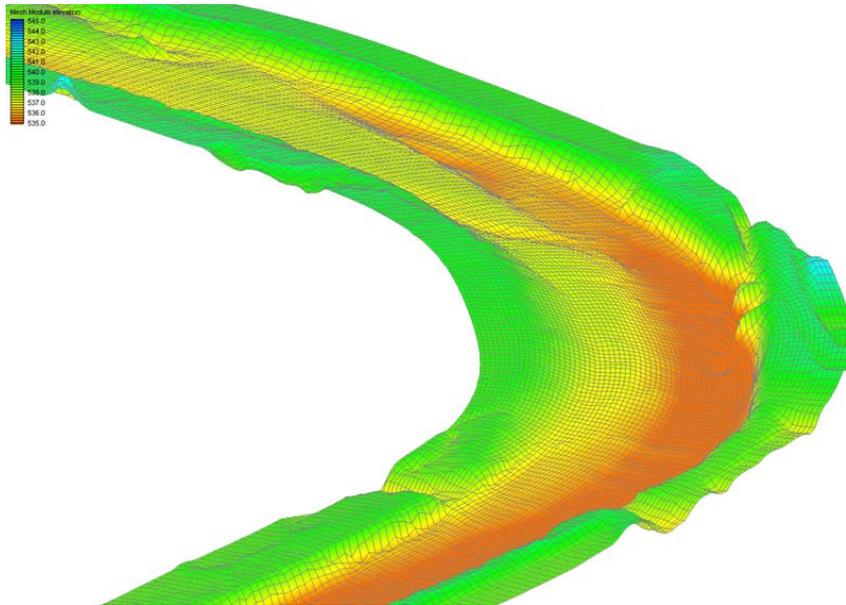


Abbildung 35: Modellausschnitt von Detailstrecke Spittal

Die erfordernten Rauigkeitsbeiwerte n nach Manning bzw. k_s nach Strickler (siehe Tabelle 6) für die einzelnen Elemente wurden aus bereits kalibrierten Modellen der Drau aus anderen Forschungsarbeiten (Formann et al., 2007 und Habersack et al., 2010) übernommen. Auf der gesamten Strecke wurden der Flusssohle der k_s -Wert 34,5, Schotterbänke der k_s -Wert 30, Böschungen der k_s -Wert 15 und dem Vorland der k_s -Wert 10 zugewiesen.

Tabelle 6: k_s Werte des Geländemodell

	k_s [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]
Flusssohle	34,5
Schotterbänke	30
Böschung	15
Vorland	10

4.2.3 Hydro_AS-2d (2D)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit Hilfe des Programms Hydro_AS-2d durchgeführt. Dieses zweidimensionale, hydrodynamisch-numerische Simulationsmodell wurde an der Universität der Bundeswehr in München entwickelt und basiert auf der numerischen Lösung der 2D-tiefengemittelten Strömungsgleichung (Flachwassergleichung) mit einer räumlichen Diskretisierung nach der Finite-Volumen-Methode.

Die zugrunde liegende Flachwassergleichung entsteht durch die Integration der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung und der Reynolds- bzw. Navier-Stokes-Gleichungen für inkom-

pressible Fluide über die Wassertiefe und unter der Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung (Pironneau, 1989).

Das Reibungsgefälle wird nach der Formel von Darcy-Weisbach gelöst, die Bestimmung des Widerstandsbeiwertes λ erfolgt über die Manning-Strickler-Formel. Die Viskosität wird aus einer Kombination aus dem empirischem Viskositätsansatz und dem Ansatz einer über das Element konstanten Viskosität gewählt, wobei aber die Viskosität bei der Abflussmodellierung in Fließgewässern meist eine untergeordnete Rolle spielt. Bei der Finite-Volumen-Methode werden die Erhaltungsgleichungen (Massen- und Energieerhaltung) in integraler Form verwendet. Zusätzlich zeichnet sich die Finite-Volumen-Methode durch ihre konservative Eigenschaft (Massen- und Impulserhaltung) aus und ist deshalb für die Berechnung von diskontinuierlichen Übergängen (Wechselsprüngen) besonders zu empfehlen. Es treten keine Massendefizite, wie bei manchen anderen Verfahren, auf. Das eingesetzte explizite Runge-Kutta-Zeitschrittverfahren zweiter Ordnung ermöglicht eine zeitgenaue Simulation des Wellenablaufs sowie eine genaue Bestimmung von Retentionswirkungen (Nujic, 2003).

4.2.3.1 Eingangs- und Ergebnisdaten

Für die Lösung der numerischen Berechnung wurden das Energieliniengefälle in Promille als Auslaufbedingung und der instationäre Durchfluss als Zulaufbedingung definiert. Die instationären Zeitreihen sind dem Kapitel 4.1 zu entnehmen.

Insgesamt wurden 12 Szenarien mit einem Berechnungsintervall von 15 Minuten Zeitschritten (Pegeldaten) erzeugt. Die Ausgabedateien wurden auch mit 15 Minuten Zeitschritten gewählt.

An dieser Stelle werden nur Fließgeschwindigkeit (veloc.dat) und Wassertiefe (depth.dat) als Ergebnisdateien erwähnt, da diese Ergebnisdaten Modellinput für die Habitatmodellierung waren.

4.2.4 HEM - Habitat Evaluation Model

Der Lebensraum, den eine bestimmte Tier oder Pflanzenart bewohnt, wird als Habitat bezeichnet. Der Ausdruck Habitat kommt aus dem Lateinischen („(es) wohnt“) und geht auf den Naturforscher Carl von Linné zurück.

Das in dieser Arbeit verwendete Habitat Evaluation Model HEM wurde vom Institut für Wasserbau, Hydrologie und Wasserwirtschaft der BOKU Wien entwickelt und beinhaltet ein Modul für die Mikrohabitatmodellierung (Microhabitat Suitability Model (MSM)) und ein Modul für die Mesohabitatmodellierung (Mesohabitat Evaluation Model (MEM)).

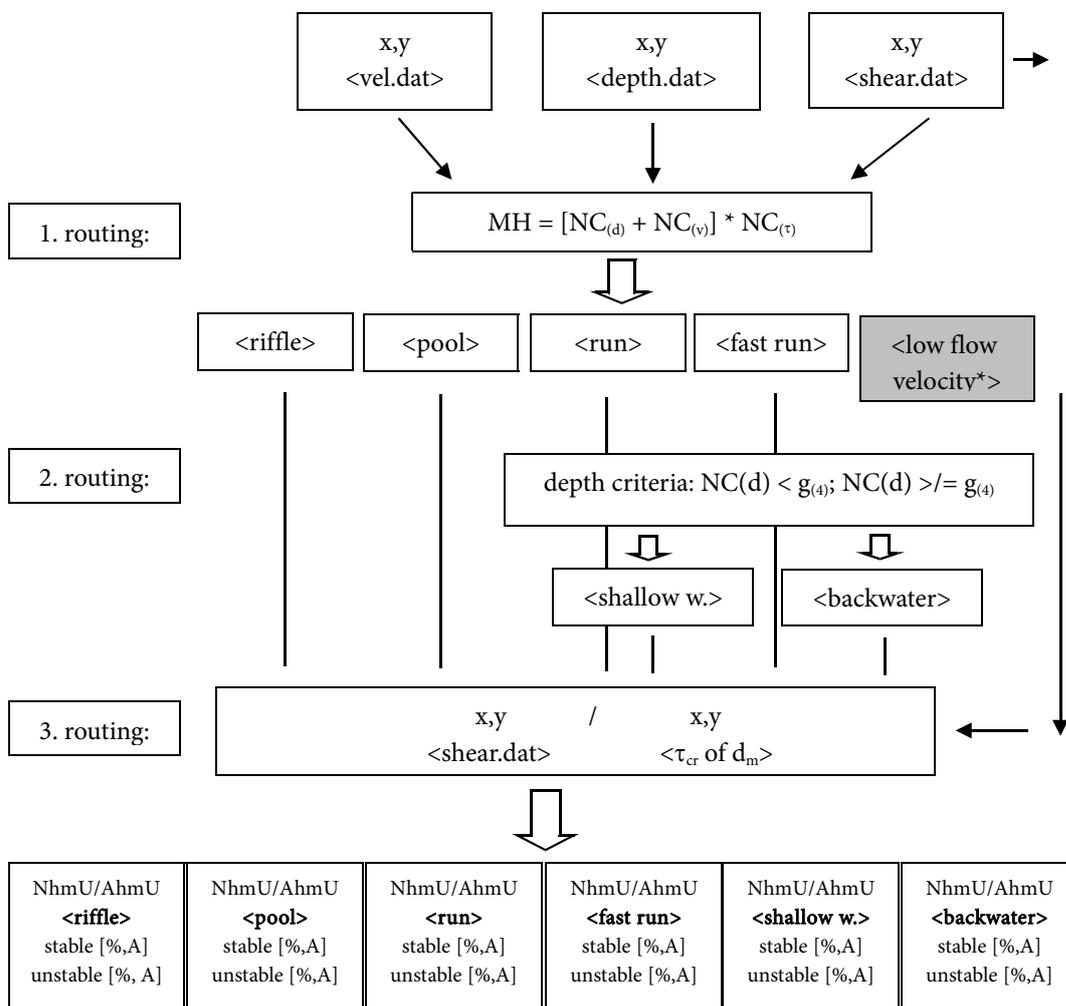
4.2.4.1 MEM Mesoscale Habitat Model

Das MEM eignet sich zur Diskretisierung von räumlicher und zeitlicher Habitatverteilung von sechs verschiedenen hydromorphologischen Einheiten (Furt, Schneller Rinner, Rinner, Kolk, Kehrwasser, Flachwasser). Basierend auf den Ergebnissen der zweidimensionalen Strömungsberechnung des Programms Hydro_As-2d werden diese Einheiten durch tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe und die Sohlschubspannung beschrieben. Dazu werden die Fließgeschwindigkeit und die Wassertiefe in fünf Klassen geteilt, diese Klassen addiert und in einem zweiten Schritt mit der in 3 Klassen geteilten Sohlschubspannung gewichtet (Abbildung 36) (Hauer et al., 2009).

Die Werte für die jeweiligen Klassen müssen im Vorfeld für den jeweiligen Flusstyp kalibriert werden. Die Kalibrierung der Grenzwerte für die Drauf sind in Tabelle 7 ersichtlich.

Tabelle 7: Grenzwerte Mesohabitate

Klasse	1	2	3	4	5
Fließgeschwindigkeit (m/s)	<0,20	0,20 - 0,50	0,50 - 0,80	0,80 - 1,00	>1,00
Klasse	5	4	3	2	1
Wassertiefe (m)	<0,60	0,60 - 1,00	1,00 - 1,20	1,20 - 1,50	>1,50
Klasse	1	2	3		
Sohlschubspannung (N/m ²)	<1,50	1,50 - 20,00	>20,00		



NhmU = number of hydro-morphologic units; AhmU = Area of hydro-morphologic units [m²]; A = area [m²]

Abbildung 36: Modellierungsschema des Habitat Evaluation Models zur Berechnung der Mesohabitate; x,y=Koordinaten, d=Tiefe, τ =Sohlschubspannung, NC=numerischer Code (1-5 für Tiefe, 1-5 für Geschwindigkeit, 0-2 für Sohlschubspannung); (Hauer et al., 2009)

Riffles (Furten) und Fast Runs (Schnelle Rinner) werden mit hoher Energie, Run (Rinner) und Pool (Kolk) mit moderater Energie, Backwater (Kehrströmung) und Shallow Water (Flachwasser) mit geringer Energie klassifiziert (Hauer et al., 2009).

Riffles (Furten)	Flachwasserbereiche mit erhöhten Fließgeschwindigkeiten, geringen Turbulenzen an der Oberfläche und einer konvexen Flussbettform. Gebrochene Wellen können auftreten.
Fast Runs (Schnelle Rinner)	Gleichmäßig schnell fließender Strömungskanal.
Runs (Rinner)	Gleichförmig Strömungskanal mit gut ausgebildeten Talweg. Das Strömungsbett ist longitudinal flach und lateral konkav ausgebildet.
Pools (Kolke)	Tiefe langsam fließende Abschnitte oder Stillwasserzonen zwischen zwei Furtbereichen. Fließbewegungen des Wassers sind kaum erkennbar.
Shallow Waters (Flachwasser)	Flachwasserbereiche mit geringen Fließgeschwindigkeiten.
Backwaters (Kehrströmungen)	Kehrströmungen am Flussufer und im Strömungsschatten hinter Abflusshindernissen.

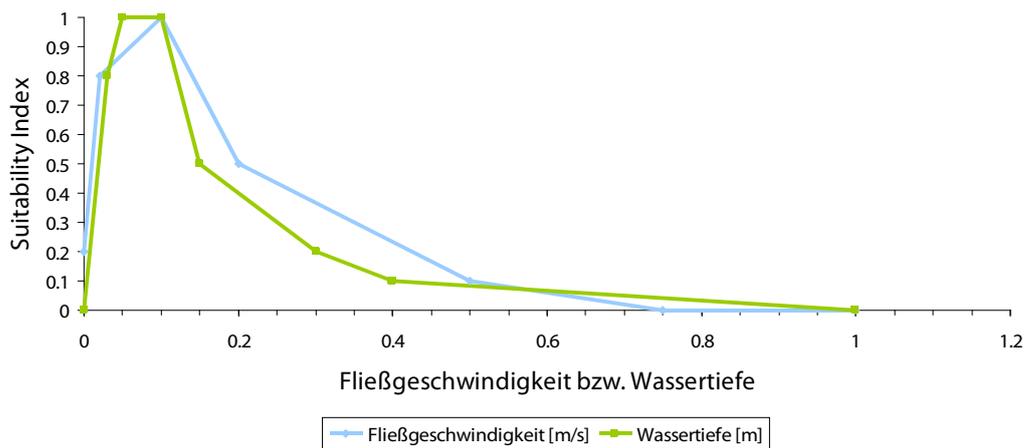
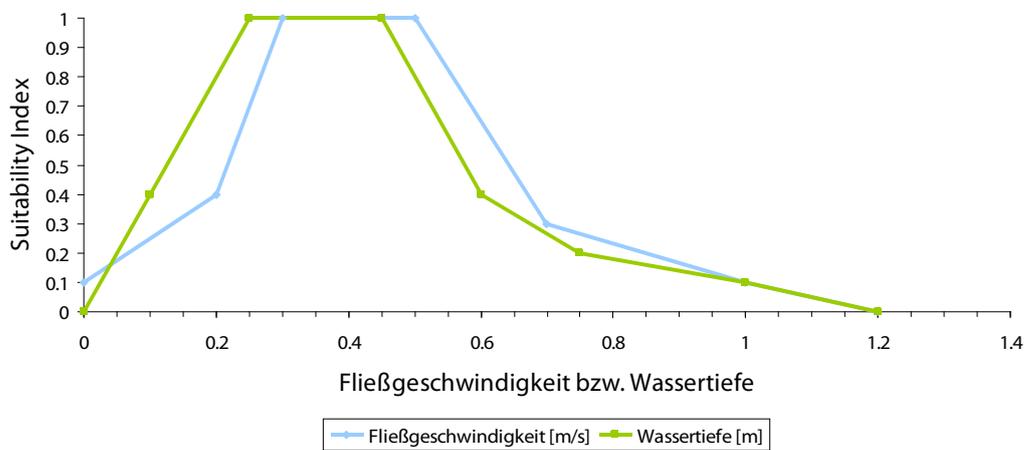
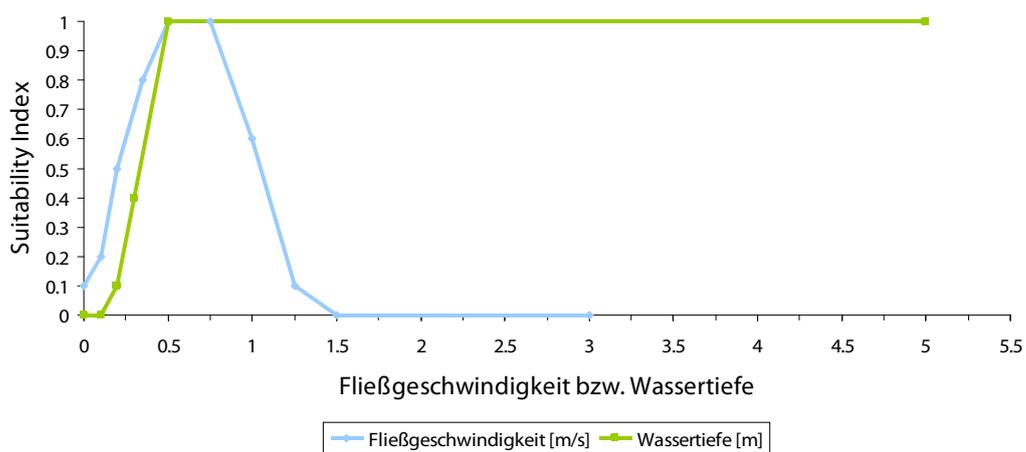
4.2.4.2 MSM Microscale Habitat Model

Die Mikrohabitatmodellierung wurde für die heimische Bachforelle (*Salmo Trutta*) in den Alterstadien 0+, 1+ und Adult vorgenommen. Dazu wurden am IHG (Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, BOKU Wien) Präferenzkurven (Abbildung 37, 38, 39), welche auf Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit basieren, erstellt. Somit konnten Flächenanteile mit verschiedenen Eignungsklassen (10 Klassen mit Eignung 0 - 1) errechnet werden.

Gewichtete nutzbare Flächen (WUA weighted usable areas) konnten über die Formel

$$WUA = \sum_{i=1}^n HSI_i * A_i \quad \text{Gleichung 1: gewichtete nutzbare Flächen WUA}$$

für die jeweiligen Alterstadien der Bachforelle ausgewiesen werden. HSI_i bezeichnet dabei die Nutzbarkeit einer Fläche und A_i die Fläche der Rasterzelle (m^2). Anhand der Flächenänderung durch Schwall-Sunkprozesse konnten somit Aussagen über die Mikrohabitatänderung getroffen werden.

Abbildung 37: Präferenzkurven *Salmo Trutta* 0+Abbildung 38: Präferenzkurven *Salmo Trutta* 1+Abbildung 39: Präferenzkurven *Salmo Trutta* Adult

4.3 Schwallwellenverformung

Für die Evaluierung der Fortpflanzung und möglichen Verformung einer Schwallwelle des Kraftwerks Malta Unterstufe wurde ein 2,5 dimensionales Geländemodell von Sachsenburg bis Spittal erstellt (Abbildung 40). In diesem Abschnitt befinden sich nach rd. 2 km vom Modellbeginn die Detailstrecke Rosenheim und nach rd. 8 km die Detailstrecke Spittal. Als Zulauf- und Abflussbedingung wurden die Mittelwertszenarien der jeweiligen Jahreszeiten herangezogen (siehe Kapitel 4.1).

Ziel dieser Methode war es, die Schwallwellenverformung (Dämpfung und Translation) in Bezug auf abiotische Parameter ($\Delta Q/\Delta t$) festzustellen und diesbezüglich Aussagen über die positiven bzw. negativen Auswirkungen der morphologischen Strukturen im Untersuchungsgebiet treffen zu können.

Zu erwähnen bleibt, dass aufgrund des gewählten Modellierungszeitschrittes von 15 Minuten gewisse Unsicherheiten in den Ergebnissen zu erwarten sind. Diese 15 Minuten Zeitschritte wurden auf Basis von den zur Verfügung gestellten Eingangsdaten der Abflusswerte gewählt. Dies kann in den Ergebnissen zu einer maximalen Abweichung von ± 7 Minuten führen. Die Trends sind jedoch deutlich zu erkennen.

Es wird die Hypothese geprüft, ob sich kurze Schwallabflüsse mit hohem Schwall-Sunkverhältnis gegenüber lang dauernden Wellen in einem renaturierten Gerinne stärker verformen und in weiterer Folge diese erzeugten künstlichen Wellen somit flussab geringere nachteilige Auswirkungen zeigen.

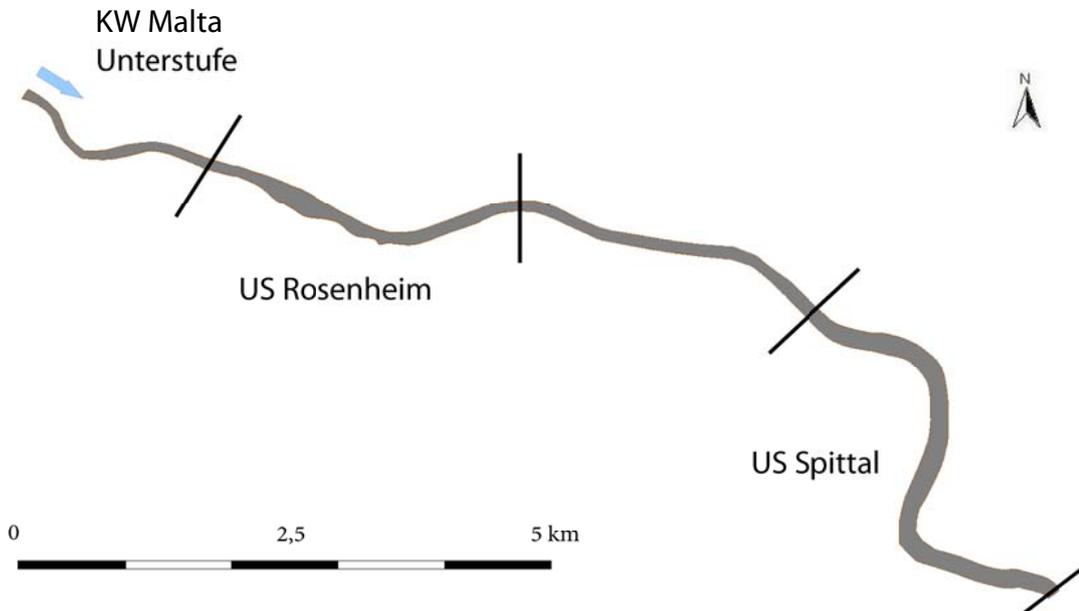


Abbildung 40: 2,5 D-Geländemodell von Sachsenburg bis Spittal mit den Untersuchungsstrecken Rosenheim und Spittal

5. Ergebnisse

5.1 Hydraulische 2D Modellierung

In folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der zweidimensionalen hydraulischen Abflussmodellierung dargestellt. Mit Hilfe der 2D Modellierung wurden die Parameter Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Sohlschubspannung berechnet. Diese Ergebnisse sind die Eingangsparameter für die Habitatmodellierung.

5.1.1 Verteilung Wassertiefen

Abbildung 41 gibt die Wassertiefenverteilung jeweils bei Sunk und bei Schwall des Szenarios Frühling Mittelwert wieder. Für eine bessere Visualisierung werden in den Abbildungen nur Ausschnitte aus den Detailstrecken gezeigt. Die Fließrichtung ist in allen 3 Strecken von links nach rechts.

Zu erwähnen ist, dass es sich in der Untersuchungsstrecke Kleblach um einen theoretischen Schwall handelt, der so in der Natur nicht auftritt. Diese Untersuchungen wurden zusätzlich für eine Erweiterung der Datengrundlage durchgeführt (siehe Kapitel 2.7).

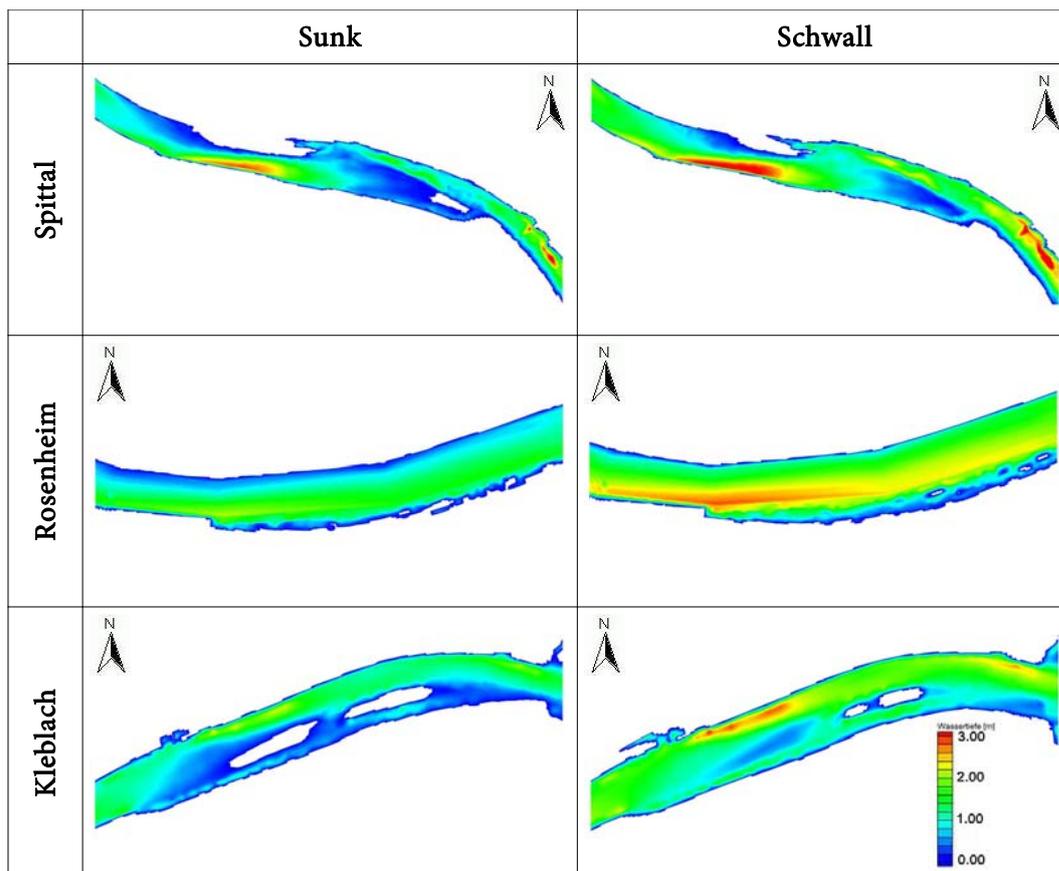


Abbildung 41: Grafische Darstellung der Wassertiefenverteilung in allen Untersuchungsstrecken bei Sunk und Schwall

Die durchschnittliche Wassertiefenänderung zwischen Sunk und Schwall ist in allen Untersuchungsstrecken ähnlich. In den Winterszenarien mit der höchsten Schwallamplitude ergeben sich Änderungen zwischen 0,88 und 0,95 m, umgekehrt werden in den Sommerszenarien mit der geringsten Schwallamplitude Änderungen zwischen 0,53 und 0,59 m dokumentiert (vergleiche Tabelle 11).

Die Untersuchungsstrecke Spittal weist in der Sunkphase aufgrund der ausgeprägten und wechselnden Kolk-Furt-Sequenzen eine sehr heterogene Wassertiefenverteilung auf. Man erkennt deutlich die geringen Wassertiefen an den Gleitufeln und in den Furten, dagegen tiefe Bereiche in Kolken und z.B. an Bühnenköpfen mit erhöhter Sohlschubspannung und daraus resultierenden Auskolkungen. An der heterogenen Wassertiefenverteilung ändert sich auch bei Schwall aufgrund der flachen und breiten Uferbereiche in den Innenbögen wenig. Lediglich Bereiche mit Wassertiefen unter 0,20 m in den Furtbereichen und an einigen Kiesbänken nehmen ab.

Der morphologisch gestreckte Flusslauf in Rosenheim weist bei dessen ausgeprägten "Planebed" eine homogenere Wassertiefenverteilung als in Spittal auf. Über den Querschnitt betrachtet ist die Wassertiefe relativ konstant, nimmt aber zum orografisch linken Ufers aufgrund der steilen Böschung rasch ab. An den restrukturierten Bereichen des orografisch rechten Ufers sind diese Wasserwechselzonen flacher ausgebildet, wodurch der Übergang Wasser-Land weniger abrupt ausfällt. Bei den regulierten Böschungen an beiden Flussufeln zeigt auch bei Schwall die Wassertiefenverteilung ein ähnliches Bild. Über einen Großteil des Querschnittes bis zu den Ufern ist eine gleichmäßige Wassertiefe erkennbar, die am Gewässerrand infolge der steilen Böschung keine ausgeprägte Wasserwechselzone aufweist, sondern rasch abnimmt. An den restrukturierten Stellen dagegen findet ein gleichmäßiger Übergang statt.

Die Untersuchungsstrecke in Kleblach weist wiederum sehr heterogene Wassertiefen auf. In restrukturierten Bereichen mit Aufweitungen finden flache Übergänge der Wasserwechselzone statt, bei steilen regulierten Böschungen dagegen sind Flachwasserbereiche nur in den äußersten Randbereichen zu finden. Bei höheren Abflüssen wird der Seitenarm in Kleblach stärker durchströmt, wodurch Flachwasserbereiche flächenmäßig zunehmen. Im Flussschlauch werden einige Kiesbänke überströmt und Zonen mit geringer Wassertiefe ändern sich aufgrund des höheren Abflusses hin zu tieferen Bereichen.

5.1.2 Verteilung Fließgeschwindigkeit

Analog zu Kapitel 5.1.1 gibt Abbildung 42 die Fließgeschwindigkeitsverteilung jeweils bei Sunk und bei Schwall des Szenarios Frühling Mittelwert wieder. Für eine bessere Visualisierung werden in den Abbildungen nur Ausschnitte aus den Untersuchungsstrecken gezeigt. Die Fließrichtung ist in allen 3 Strecken von links nach rechts.

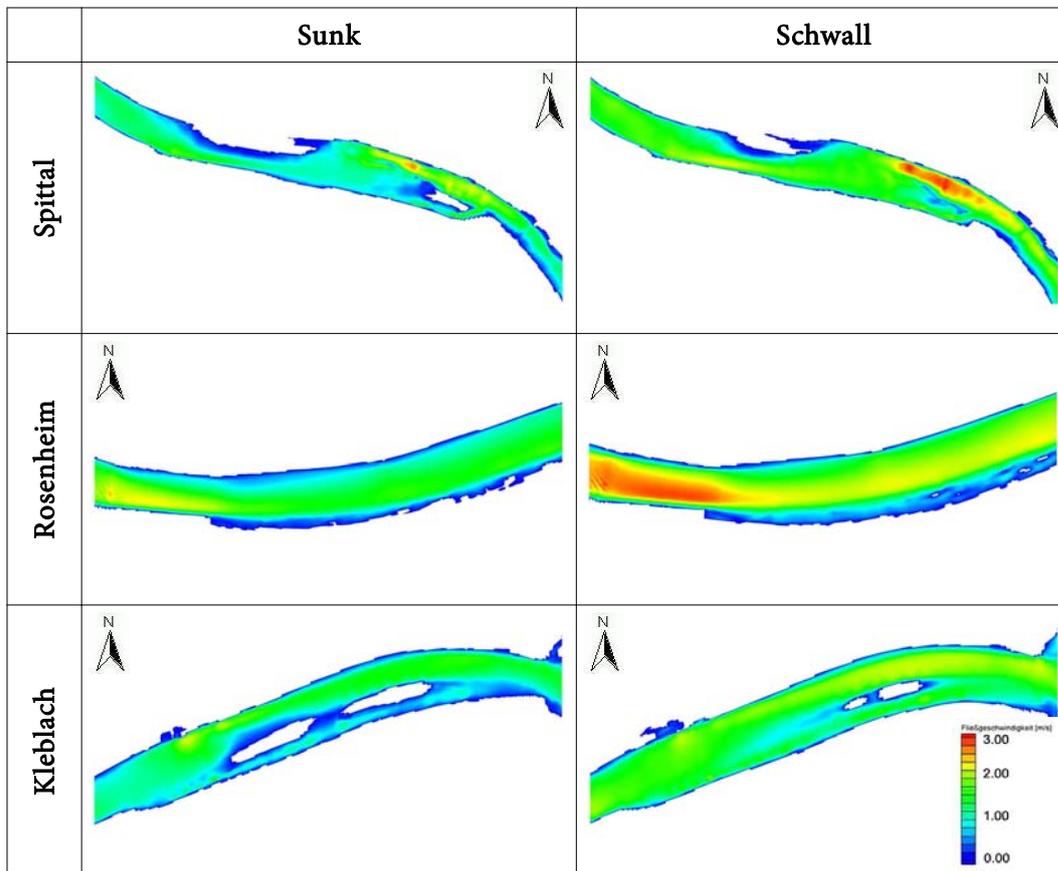


Abbildung 42: Grafische Darstellung der Fließgeschwindigkeitsverteilung in allen Untersuchungsstrecken bei Sunk und Schwall

Grundsätzlich können bei allen drei Untersuchungsabschnitten aufgrund der morphologischen Strukturen sehr heterogene Fließgeschwindigkeiten festgestellt werden. Das Strömungsbild der Strecke Rosenheim fällt angesichts des gestreckten Flusslaufes weniger differenziert aus. An Kiesbänken bilden sich Bereiche mit geringer Fließgeschwindigkeit aus, die bei Schwall teilweise verloren gehen. In Flussmitte oder bei Rinnern treten bei Schwall Fließgeschwindigkeiten von 3 m/s und darüber auf. Entlang des Ufers und in Buchten sind dennoch auch bei höheren Abflüssen durch den Schwall Flächen mit geringen Fließgeschwindigkeiten erkennbar.

5.1.3 Verteilung Sohlschubspannung

Analog zu Kapitel 5.1.1 und Kapitel 5.1.2 gibt Abbildung 43 die Sohlschubspannung jeweils bei Sunk und bei Schwall des Szenarios Frühling Mittelwert wieder. Für eine bessere Visualisierung werden in den Abbildungen nur Ausschnitte aus den Untersuchungsstrecken gezeigt. Die Fließrichtung ist in allen 3 Strecken von links nach rechts.

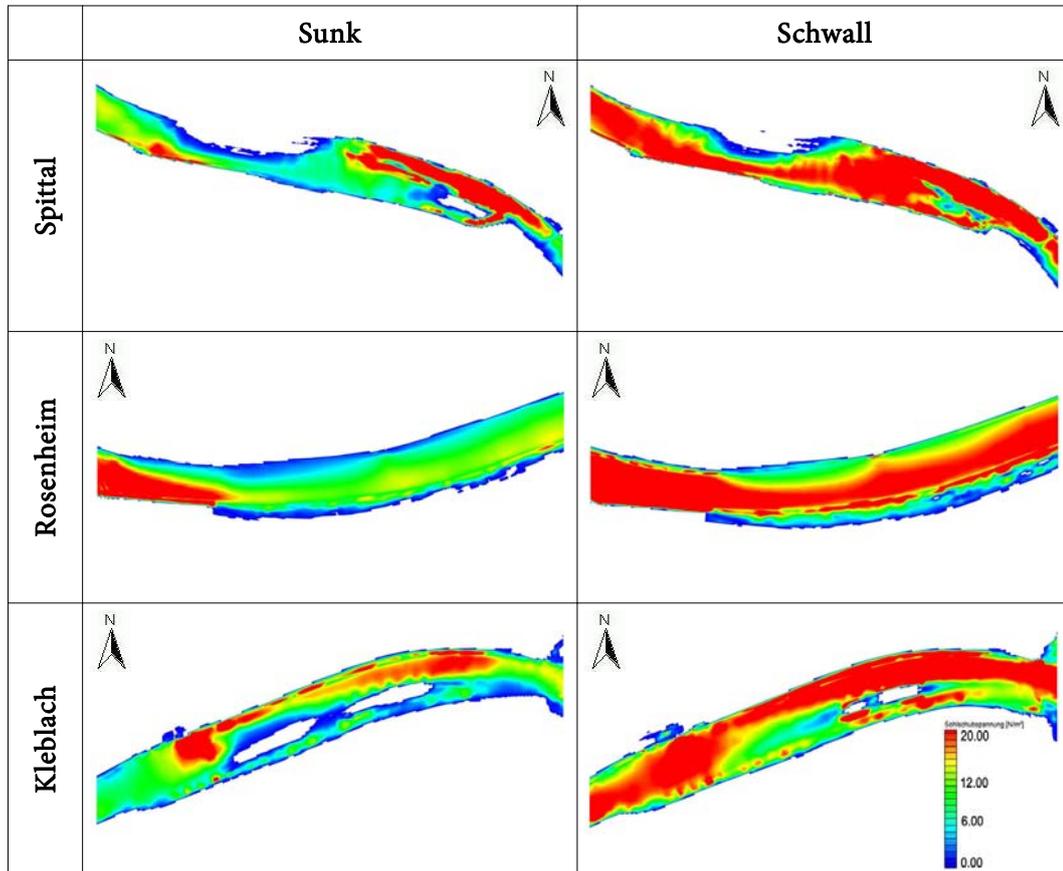


Abbildung 43: Grafische Darstellung der Sohlschubspannung in allen Untersuchungsstrecken bei Sunk und Schwall

Das Ergebnis der Modellierung zeigt bei Sunk in allen Untersuchungsstrecken Sohlschubspannungen mit durchschnittlich 12 N/m^2 . Diese Werte steigen bei Schwall in Abhängigkeit von Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit bis maximal 40 N/m^2 an. In strömungsberuhigten Bereichen werden sehr geringe Sohlschubspannungen berechnet. Aufgrund des höheren Abflusses bei Schwall und in Abhängigkeit von Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe erreichen die Sohlschubspannungen im Mittel bei allen Untersuchungsstrecken Werte von rd. 20 N/m^2 und Spitzenwerte von 100 N/m^2 .

5.1.4 Benetzte Fläche

Abbildung 44 zeigt die Veränderung der benetzten Fläche pro 100 Meter Flusslänge in Abhängigkeit vom Abfluss in allen drei Untersuchungsstrecken. Bei geringen Abflüssen ist der Zuwachs an überströmten Flächen deutlich ausgeprägter, als dies bei höheren Abflüssen der Fall ist. Dieser nichtlineare Flächenzuwachs beruht auf den morphologischen Gegebenheiten der Drau, bei geringen Basisabflüssen ausgeprägte Kiesbänke aufzuweisen und einen pendelnden Verlauf zwischen diesen zu vollführen. Erhöht sich der Abfluss z.B. von 30 m³/s auf 90 m³/s werden diese Kiesbänke überströmt und der Zuwachs der benetzten Fläche steigt im Vergleich schneller an als bei einer Abflusserhöhung von 90 m³/s auf 150 m³/s. Ist ein bestimmter Abfluss erreicht, wird das Flussbett vollständig benetzt und der Flächenzuwachs stagniert aufgrund der steileren Böschung.

Für aquatische Organismen bedeutet dieser nichtlineare Flächenzuwachs eine erhöhte Veränderung der besiedelbaren Wasserwechselzone bis zu einem Abfluss von rd. 90 m³/s. Vergleicht man die Basisabflüsse des langjährigen Mittels aus der vorliegenden Diplomarbeit mit diesem Grenzwert, dann fällt die Veränderung dieser besiedelbaren Flächen im Herbst ($Q = 69,32$), Winter ($Q = 30,75$) und Frühling ($Q = 59,32$ m³/s) unterhalb dieses Grenzwertes. Ausschließlich im Sommerszenario ($Q = 136,93$) liegt der Basisabfluss über diesem kritischen Wert und der Flächenzuwachs bei Schwall nimmt weniger stark zu.

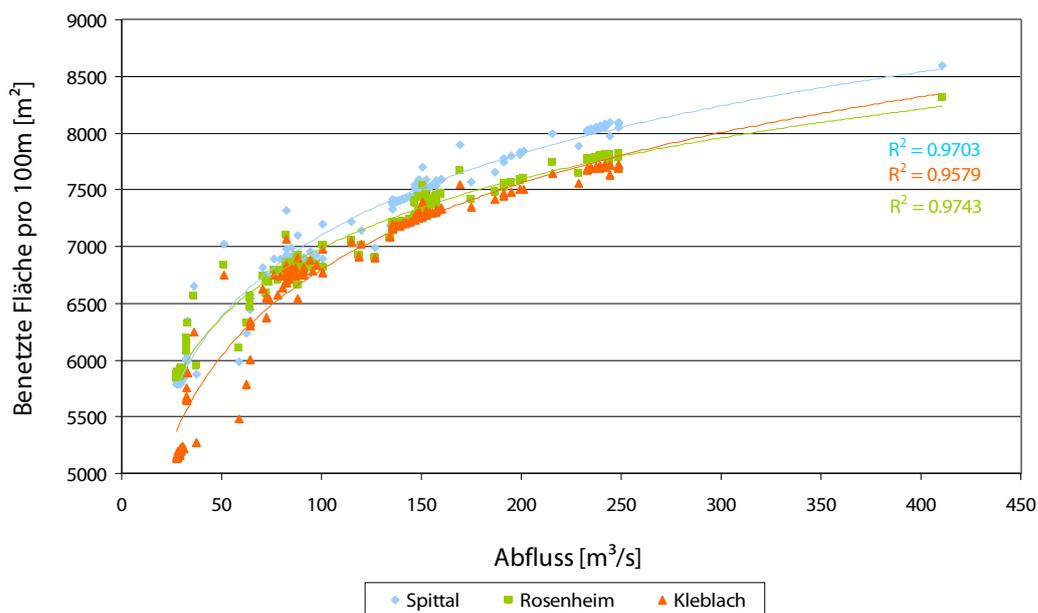


Abbildung 44: Benetzte Fläche in Abhängigkeit vom Abfluss

5.2 Mesohabitatmodellierung

Zur Quantifizierung der Änderungen der Mesohabitate verursacht durch den Schwellbetrieb wurde auf Grundlage der hydraulischen 2D Abflussmodellierung mit Hilfe des Programms Habitat Evaluation Model die Verteilung der Mesohabitate vor, während und nach dem Durchlauf einer Schwallwelle ausgewertet.

5.2.1 Räumliche Verteilung Mesohabitate

Für die grafische Darstellung der Mesohabitatverteilung bei Sunk und Schwall in Abbildung 45 wurde wiederum das Szenario Frühling Mittelwert herangezogen. Die Abbildung zeigt die gesamte räumliche Ausdehnung der Abschnitte.

Die Verteilung der Mesohabitate ist bei Sunk in allen Untersuchungsabschnitten vom Habitat-typ Rinner (Runs - grüne Bereiche) dominiert. Schnelle Rinner (Fast Runs - gelbe Bereiche) treten räumlich begrenzt an Stellen mit erhöhter Fließgeschwindigkeit auf. Am Ufer und in Nebengewässern treten Flachwasserbereiche (Shallow Water - rote Bereiche) bzw. Kehrwasserbereiche (Backwater - orange Bereiche) auf. Kolke (Pool - hellblaue Bereiche) kommen vorwiegend im Abschnitt Spittal vor. Flach überströmte Furten (Riffle - dunkelblaue Bereiche) sind zwar in allen Untersuchungsstrecken vorhanden, überwiegen allerdings in Spittal. In Rosenheim und Kleblach treten diese Mesohabitattypen lokal begrenzt auf.

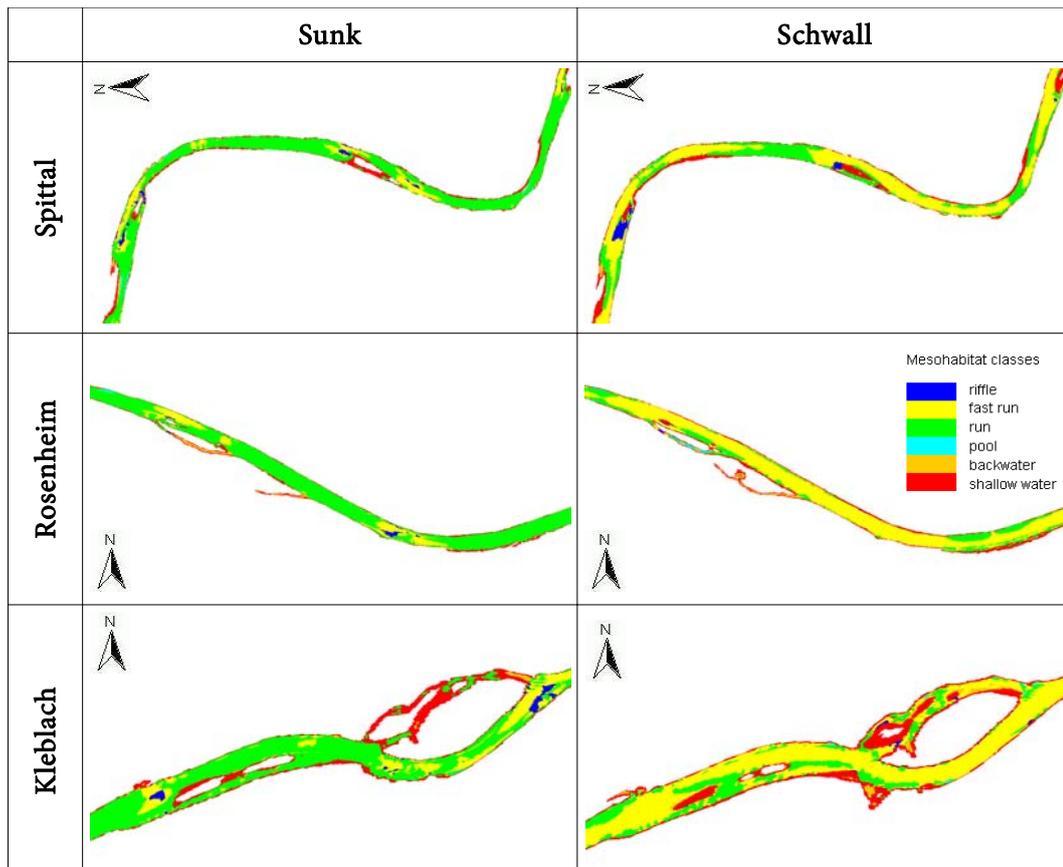


Abbildung 45: Mesohabitatverteilung bei Sunk und Schwall, Frühling Mittelwert

Die Mesohabitate ändern sich bei Schwall aufgrund der erhöhten Fließgeschwindigkeit vorwiegend von Runs hin zu Fast Runs. Die Schnellen Rinner nehmen bei erhöhten Abflüssen fast die gesamte benetzte Fläche ein. Flachwasserbereiche nehmen zwar in allen revitalisierten Untersuchungsstrecken zu, ändern aber ihre räumliche Situierung teilweise beträchtlich. Für Jungfische kann dieser Umstand mit großen Shifts verbunden sein. Wie auch die Shallow Waters nehmen in allen berechneten Szenarien die Backwaters mit höherem Abfluss zu, sind allerdings nicht mit einer Ortsveränderung gekoppelt. Für Riffles und Pools können keine einheitlichen Trends festgestellt werden. Je nach Szenario und Durchflussmenge könne diese zu- bzw. abnehmen. Allerdings haben diese Bereiche wie schon bei Sunk nur geringe Flächenanteile.

5.2.2 Zeitliche Verteilung Mesohabitate

5.2.2.1 Untersuchungsstrecke Spittal

Tabelle 8 gibt die Verteilung der Mesohabitate der Untersuchungsstrecke Spittal für die Mittelwertszenarien aller Jahreszeiten wieder. Zum Vergleich zweier Schwallwellen sind in Abbildung 46 und 47 die Verteilungen des Frühlings- und Winterszenarios in Diagrammform abgebildet.

Tabelle 8: Übersicht Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal

	Abfluss-Situation	riffle		fast run		run		pool		backwater		shallow w.		Gesamt m ²
		m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	
Frühling Q 50%	vor Schwall	5588	1.9	37219	12.9	203058	70.4	2555	0.9	4130	1.4	35696	12.4	288245
	max. Schwall	7031	2.1	172635	52.1	90631	27.3	782	0.2	5763	1.7	54590	16.5	331433
	nach Schwall	5544	1.9	37151	12.8	203274	70.0	2554	0.9	4180	1.4	37660	13.0	290363
Sommer Q 50%	vor Schwall	6012	1.8	105844	32.2	186220	56.7	738	0.2	3168	1.0	26397	8.0	328380
	max. Schwall	3741	1.0	256967	71.5	49928	13.9	1076	0.3	4864	1.4	42675	11.9	359251
	nach Schwall	6036	1.8	106195	32.2	186002	56.3	750	0.2	3113	0.9	28106	8.5	330202
Herbst Q 50%	vor Schwall	5411	1.8	43951	14.9	206769	70.0	1582	0.5	3499	1.2	34252	11.6	295464
	max. Schwall	6424	1.9	190852	56.8	80495	24.0	746	0.2	5172	1.5	52348	15.6	336036
	nach Schwall	5435	1.8	43785	14.7	207058	69.6	1568	0.5	3532	1.2	36192	12.2	297571
Winter Q 50%	vor Schwall	7860	3.0	18556	7.1	173218	66.4	8206	3.1	8269	3.2	44730	17.1	260840
	max. Schwall	5542	1.7	175809	53.4	62046	18.8	857	0.3	24240	7.4	60705	18.4	329198
	nach Schwall	7902	3.0	18585	7.0	173204	65.5	8178	3.1	8316	3.1	48101	18.2	264286

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel erwähnt nehmen bei Sunk die Runs den größten Anteil der benetzten Fläche mit Werten zwischen 56,3 und 70,4 % ein. Der Anteil an Fast Runs beträgt im Sommerszenario 32,2 %, im Herbst und Frühling zwischen 12,8 und 14,9 %, nimmt aber im Winter auf rd. 7,0 % ab. Backwater und Riffle haben während der Sunkphase mit 0,9 bis 3,0 % den geringsten Anteil an benetzter Fläche. Shallow Waters weisen im Winter bei Sunk einen Flächenanteil von rd. 17,1 % auf. Bei einem Basisabfluss von rd. 136 m³/s verringert sich im Sommer dagegen, der Anteil an Flachwasserbereichen auf rd. 8,0 %, wogegen im

Frühling und Herbst bei Basisabflüssen von 59,32 bzw. 69,32 m³/s der Anteil an Shallow Water zwischen 11,6 und 12,4 % einnimmt.

In allen Jahreszeiten kommt es während des Schwallenflusses zu einem Wandel der Runs hin zu Fast Runs. Diese nehmen im Sommerszenario bis zu 71,5% der gesamten benetzten Fläche ein. Aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeiten verschwinden Pools fast gänzlich. Riffles zeigen mit der Abflusszunahme keine einheitliche Tendenz auf. Im Sommer- und im Winterszenario verringert sich deren prozentualer Anteil. Diese nehmen aber in den übrigen Jahreszeiten leicht zu. Flachwasser- und Kehrwasserbereiche nehmen mit steigendem Abfluss ebenfalls zu. Vor allem im Winterszenario verdoppelt sich der Anteil an Kehrwasserbereichen.

Stellt sich nach Ablauf der Welle der Basisabfluss ein, nehmen nahezu alle Mesohabitate die ursprünglichen Flächenanteile ein. Allerdings ist bei den Flachwasserbereichen ein Flächenzuwachs gegenüber vor Beginn des Schwallereignisses feststellbar (Bereiche mit geringen Wassertiefen, die vom Hauptgewässer abgetrennt wurden). In den Jahreszeiten Frühling, Sommer und Herbst beträgt der Zuwachs 0,5 bis 0,6 % oder rd. 2000 m². Im Winter kommt es zu einer Zunahme der Flächenanteile von 1,1 % oder rd. 3400 m². Dies ist darauf zurückzuführen, dass Bereiche wie z.B. in Senken auf Kiesbänken oder in Nebengerinnen, die während des Schwallereignisses benetzt und überströmt waren, bei zurückgehendem Wasserspiegel vom Hauptgewässer abgetrennt werden und sich sogenannte Pocket Pools ausbilden. Verbleiben juvenile Fische bei Rückzug des Wasserspiegels in diesen Bereichen, wird ihnen nach Abtrennung zum Hauptgewässer die Rückzugsmöglichkeit genommen. Versickert zusätzlich das Wasser in den Pocket Pools (abhängig vom Grundwasserspiegel) trocknen diese aus, so dass die Jungfische stranden (Schneider und Noack, 2009).

Vergleicht man die Ergebnisse der Mesohabitatmodellierung für Spittal, so kann keine generelle Aussage darüber getroffen werden, in welcher Jahreszeit oder bei welchem Schwall-Sunkverhältnis die größten Änderungen auftreten. Ein Trend ist jedoch feststellbar, da im Winterszenario mit dem höchsten Schwall-Sunkverhältnis in 5 von 6 Mesohabitaten auch die größten Änderungen auftreten und im Sommerszenario mit dem geringsten Verhältnis in 3 von 6 Mesohabitaten die geringste Veränderung zu finden ist.

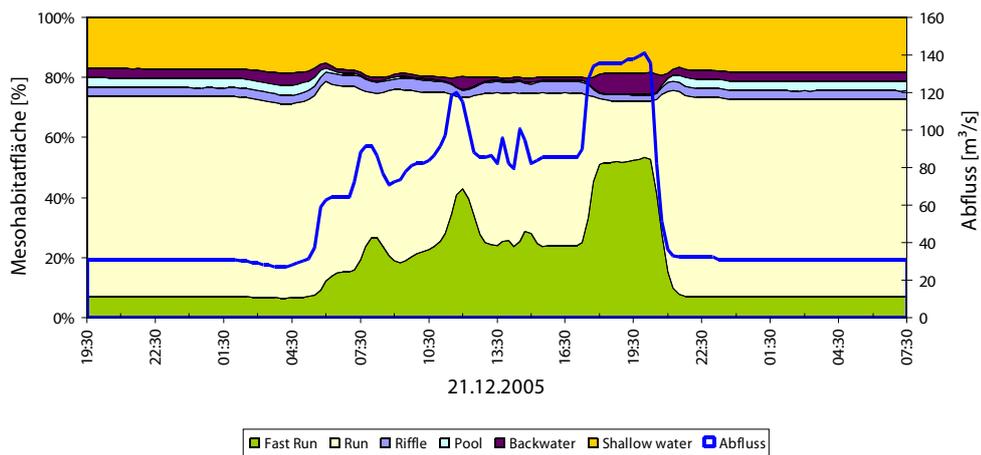


Abbildung 46: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Winter Mittelwert

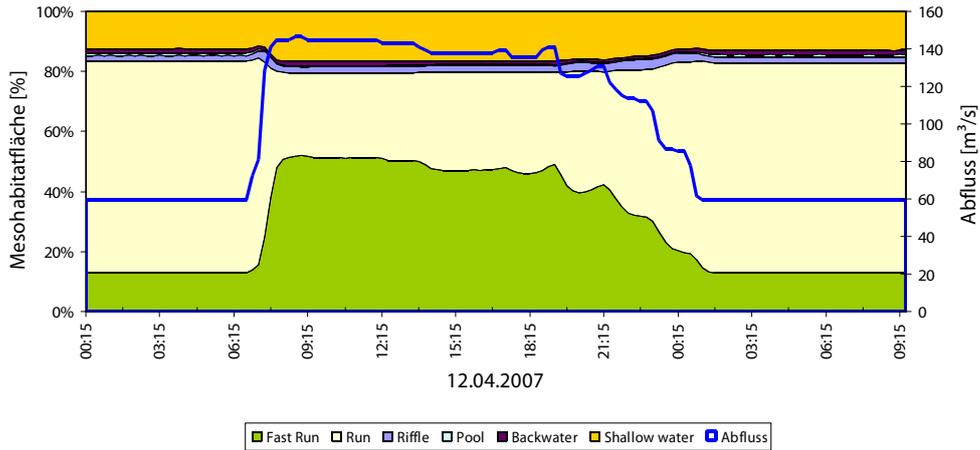


Abbildung 47: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Frühling Mittelwert

5.2.2.2 Untersuchungsstrecke Rosenheim

Tabelle 9 gibt die Verteilung der Mesohabitate der Untersuchungsstrecke Rosenheim für die Mittelwertszenarien aller Jahreszeiten wieder. Zum Vergleich zweier Schwallwellen sind in Abbildung 48 und 49 die Verteilungen des Frühlings- und Winterszenarios in Diagrammform abgebildet.

Tabelle 9: Übersicht Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim

	Abfluss-Situation	riffle		fast run		run		pool		backwater		shallow w.		Gesamt m ²
		m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	
Frühling Q 50%	vor Schwall	1617	0.7	27774	11.5	185866	77.0	695	0.3	3128	1.3	22389	9.3	241470
	max. Schwall	1195	0.4	179081	65.9	46479	17.1	1863	0.7	4848	1.8	38342	14.1	271808
	nach Schwall	1606	0.7	27785	11.3	185889	75.7	695	0.3	4422	1.8	25287	10.3	245684
Sommer Q 50%	vor Schwall	1244	0.5	129835	48.5	116018	43.3	1711	0.6	2911	1.1	15971	6.0	267690
	max. Schwall	327	0.1	225154	77.5	26959	9.3	2189	0.8	5719	2.0	30331	10.4	290679
	nach Schwall	1244	0.5	130122	47.7	115973	42.5	1722	0.6	5064	1.9	18530	6.8	272655
Herbst Q 50%	vor Schwall	1505	0.6	36470	14.8	183091	74.3	584	0.2	3312	1.3	21532	8.7	246495
	max. Schwall	1020	0.4	189354	68.7	41613	15.1	2121	0.8	5119	1.9	36295	13.2	275522
	nach Schwall	1506	0.6	36535	14.6	183070	73.0	563	0.2	4615	1.8	24337	9.7	250625
Winter Q 50%	vor Schwall	2102	1.0	18971	8.6	169620	77.0	459	0.2	2302	1.0	26841	12.2	220296
	max. Schwall	163	0.1	185105	69.0	22219	8.3	1994	0.7	18931	7.1	39831	14.8	268242
	nach Schwall	2109	0.9	19062	8.5	169760	75.5	461	0.2	2503	1.1	30888	13.7	224783

Aufgrund des gestreckten Verlaufs der Untersuchungsstrecke Rosenheim nehmen bei Sunk große Anteile der benetzten Fläche Rinner ein. Deren prozentualer Anteil beträgt in den Jahreszeiten mit geringem Basisabfluss (Herbst, Winter, Frühling) zwischen 73 und 77 %. Lediglich im Sommerszenario beträgt der Flächenanteil an Runs rd. 43 %. Das spiegelt sich auch bei den Schnellen Rinnern wieder. Nimmt in dieser Jahreszeit der Fast Run noch rd. 48 % ein, sinkt der Anteil an der benetzten Fläche in den übrigen Jahreszeiten auf Werte zwischen 8,5

und 14,8 %. Die Mesohabitate Furt, Kolk und Kehrwasser spielen in der Untersuchungsstrecke Rosenheim nur eine untergeordnete Rolle. Die morphologische Ausprägung der Drau in diesem Abschnitt lässt deren Anteil in der Sunkphase nicht über maximal 1,9 % steigen. Neben den dominierenden Mesohabitaten Rinner und Schneller Rinner haben Flachwasserbereiche noch einen Flächenanteil von 6,0 bis 13,7 %. Auffallend ist, dass der Anteil an Shallow Water und Riffle mit höher werdendem Basisabfluss sinkt.

Während des Schwall nimmt der Anteil an Rinnern nahezu im gleichen Ausmaß ab, wie der Anteil an Schnellen Rinnern zunimmt. Durchschnittlich werden in allen Jahreszeiten Werte um die 70% Flächenanteil von Schnellen Rinnern erreicht. Furten, welche bei Sunk schon einen geringen Anteil haben, verschwinden bei Schwall fast gänzlich. Die Mesohabitate Kolk, Kehrwasser und Flachwasser zeigen bei Schwall eine Zunahme, wobei aber Kolke nach wie vor nicht über 0,8 % und Kehrwasserbereiche in den Jahreszeiten Frühling, Sommer und Herbst maximal 2 % erreichen. Lediglich im Winterszenario nimmt der Flächenanteil an Kehrwasser von 1,0 % auf 7,1 % stark zu. Dies ist auf die Dotierung des Nebenarms im Auslauf des restrukturierten Amphibiengewässers zurückzuführen. Die Zunahme an Flachwasserhabitaten ist in allen Jahreszeiten gegeben, fällt jedoch beim geringsten Basisabfluss auch am geringsten aus.

Auch im Abschnitt Rosenheim kommt es nach dem Durchgang der Schwallwelle zu Flachwasserbereichen die vom Hauptgewässer abgetrennt werden. Deren flächenmäßiger Zuwachs gegenüber vor dem Schwallereignis beträgt zwischen 0,8 und 1,5 % oder rd. 2500 und 4000 m². Dies ist vorwiegend auf die 2009 durchgeführte Aufweitung am rechten Draufer zurückzuführen. Aufgrund des großen Korndurchmessers in diesem Bereich und der noch nicht überprägten künstlich geschaffenen flachen Wasserwechselzone mit großflächigen Senken, kommt es in diesem Bereich nach Absinken des Wasserspiegels zu Pocket Pools. Die weiteren Mesohabitate nehmen wieder ihren ursprünglichen Anteil an der benetzten Fläche ein.

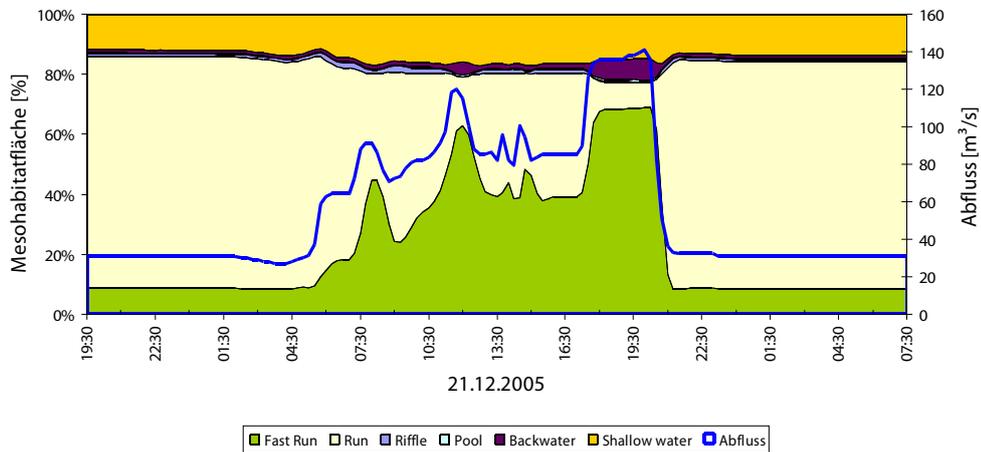


Abbildung 48: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Winter Mittelwert

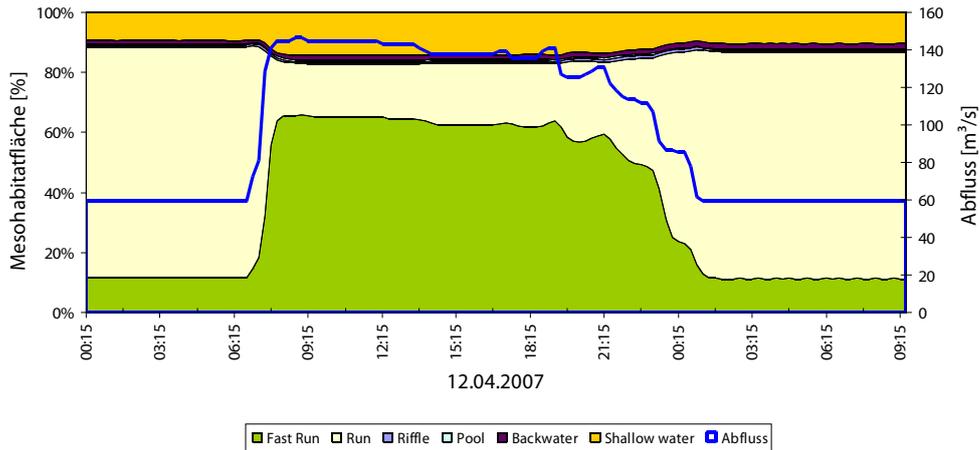


Abbildung 49: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Frühling Mittelwert

Wie schon in der Untersuchungsstrecke Spittal lassen sich auch in Rosenheim keine einheitlichen Aussagen über die größten Änderungen in den Mesohabitaten in Bezug auf den Basisabfluss oder dem Schwall-Sunkverhältnis machen. Der Trend geht aber wiederum in die Richtung, dass bei geringem Basisabfluss und hohem Schwall-Sunkverhältnis auch die größten Änderungen auftreten.

5.2.2.3 Untersuchungsstrecke Kleblach

Tabelle 10 gibt die Verteilung der Mesohabitate der Untersuchungsstrecke Kleblach für die Mittelwertszenarien aller Jahreszeiten wieder. Zum Vergleich zweier Schwallwellen sind in Abbildung 50 und 51 die Verteilungen des Frühlings- und Winterszenario in Diagrammform abgebildet. In der Detailstrecke Kleblach handelt es sich um einen theoretischen Schwall, der so in der Natur nicht vorkommt, aber für die Untersuchungen zu Vergleichszwecken durchgeführt wurde.

Tabelle 10: Übersicht Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Kleblach

	Abfluss-Situation	riffle		fast run		run		pool		backwater		shallow w.		Gesamt m ²
		m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	m ²	%	
Frühling Q 50%	vor Schwall	2133	1.4	21107	13.5	108332	69.0	262	0.2	1245	0.8	23828	15.2	156906
	max. Schwall	654	0.4	107120	58.6	38126	20.9	894	0.5	4805	2.6	31243	17.1	182843
	nach Schwall	2112	1.3	21141	13.2	108839	68.2	294	0.2	1377	0.9	25911	16.2	159674
Sommer Q 50%	vor Schwall	1223	0.7	72661	40.1	90715	50.0	833	0.5	1803	1.0	14161	7.8	181396
	max. Schwall	317	0.2	137259	70.4	28047	14.4	2969	1.5	5141	2.6	21330	10.9	195063
	nach Schwall	1230	0.7	72504	39.9	90864	50.0	840	0.5	1785	1.0	14396	7.9	181620
Herbst Q 50%	vor Schwall	2127	1.3	25673	15.7	111887	68.5	252	0.2	1507	0.9	21809	13.4	163256
	max. Schwall	530	0.3	115929	62.6	34528	18.6	1215	0.7	5148	2.8	27898	15.1	185248
	nach Schwall	2158	1.3	25630	15.6	111917	67.9	261	0.2	1598	1.0	23169	14.1	164734
Winter Q 50%	vor Schwall	2449	1.9	9660	7.3	94071	71.2	1355	1.0	1864	1.4	22816	17.3	132215
	max. Schwall	60	0.0	105994	58.3	20663	11.4	817	0.5	19268	10.6	35082	19.3	181883
	nach Schwall	2447	1.7	9793	6.9	93891	66.6	1365	1.0	2036	1.4	31549	22.4	141082

Ähnlich den beiden anderen Untersuchungsabschnitten weist auch Kleblach bei Sunk für die Mesohabitate Furt, Kolk und Kehrwasser nur geringe Flächenanteile auf. In den Jahreszeiten mit geringem Basisabfluss (Herbst, Winter, Frühling) haben diese Habittypen gesamt eine maximale Flächenausbreitung von 2,4 %, im Winterszenario 4,3 %. Mit steigendem Basisabfluss nimmt der Anteil von Furten und Kehrwasserbereichen an der benetzten Fläche ab. Im Herbst, Winter und Frühling nehmen den Hauptanteil von rd. 70 % der benetzten Fläche in Kleblach wiederum die Rinner ein. Im Sommer hingegen ist nur die Hälfte der Fläche dem Habittyp Rinner zuzuweisen und rd. 40 % den Schnellen Rinnern. In den Jahreszeiten Frühling und Herbst werden rd. 15 % der benetzten Fläche als Schnelle Rinner bzw. Flachwasser quantifiziert. Bei geringem Basisabfluss im Winter weist Kleblach rd. 17 % Flachwasserhabitat und rd. 7 % an Schnellen Rinnern auf. Deutlich zu erkennen ist der sinkende Flachwasseranteil mit steigendem Basisabfluss. Vor allem im Sommer beträgt der Flächenanteil um bis zu 8000 m² weniger als im Winter. Dies ist auf die Dotierung des Kleblacher Seitenarmes bei hohem Basisabfluss zurückzuführen.

Während des theoretischen Schwall kommt es zur Erhöhung des Anteils an Schnellen Rinnern auf rd. 60 % im Herbst, Winter und Frühling und rd. 70 % im Sommer. Dem steht wiederum eine Abnahme der Rinner in etwa gleichem Ausmaß gegenüber. Die ohnehin schon geringen Anteile an Furten verringern sich bei Schwall zusätzlich oder gehen wie im Winterszenario ganz verloren. Eine untergeordnete Rolle spielen die Kolke, die außer im Winter eine leichte Zunahme bei Schwall erfahren, deren Anteil aber dennoch nicht über maximal 1,5 % ansteigt. Einen stärkeren Flächenzuwachs lassen die Kehrwasserbereiche erkennen. Deren Anteil verdreifacht sich nahezu, beträgt aber in den Jahreszeiten mit höherem Basisabfluss (Frühling, Sommer, Herbst) maximal 2,8 %. Im Winter jedoch ist eine prozentuale Zunahme auf rd. 10 % zu verzeichnen, was wiederum mit dem Durchfließen des Kleblacher Seitenarmes zusammenhängt. Flachwasserhabitate erfahren eine prozentuale Zunahme zwischen 1,7 und 3,1 %. Der höchste Zuwachs ist mit rd. 12000 m² im Winterszenario zu verzeichnen.

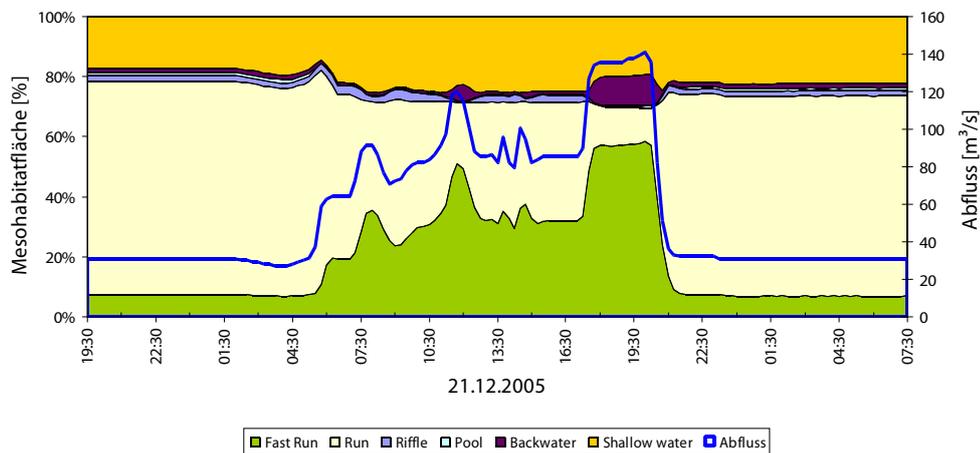


Abbildung 50: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Kleblach Winter Mittelwert

Ist der Basisabfluss nach dem Schwallereignis wieder erreicht, nehmen bis auf die Flachwasserhabitate alle Mesohabitate die ursprünglichen Flächenanteile ein. Die Zunahme an Flachwasserbereichen deutet auf Bereiche hin, die vom Hauptgewässer abgetrennt wurden. Besonders ausgeprägt ist dies im Winter, weil bei diesem Szenario der Seitenarm nur bei Schwall durch-

flossen wird. Nach Rückgang der Welle bleiben aufgrund der morphologischen Struktur im Seitenarm große Flächen (rd. 8700m²) als Pocket Pools temporär benetzt. Kaum ein Flächenzuwachs ist dagegen im Sommer (rd. 230 m²) zu verzeichnen. In dieser Jahreszeit ist der Seitenarm ständig durchflossen.

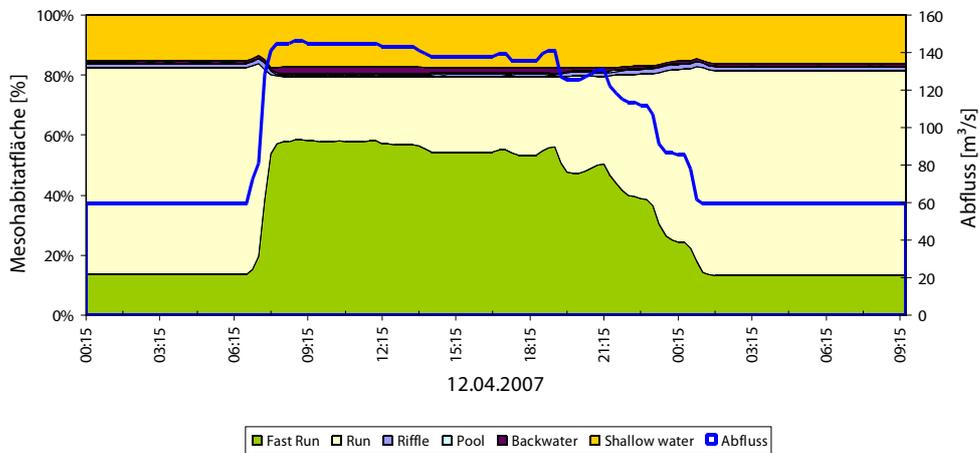


Abbildung 51: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Kleblach Frühling Mittelwert

5.2.3 Flachwasserhabitate

Im folgenden Kapitel werden schwallspezifische Parameter den Änderungen der Flachwasserhabitate bedingt durch die durchlaufende Schwallwelle in den drei Untersuchungsstrecken gegenübergestellt (siehe Tabelle 11). Als maßgebende Parameter dienen die Wassertiefenänderung und die benetzte Breitenänderung.

Tabelle 11: Gegenüberstellung Flachwasserbereich und Pocket Pools zu schwallspezifische Parameter

		Δ Shallow Water		Pocket Pools		Qmax/ Qmin	Δh			Δb			max. Anstiegs rate m ³ /s.min	max. Sunk rate m ³ /s.min
		m ²	%	m ²	%		MW	max	min	MW	max	min		
							m	m	m	m	m	m		
Spittal	Frühjahr	18894	4.1	1964	0.6	2.47	0.61	0.75	0.44	13.92	61.98	1.76	3.20	1.10
	Sommer	16278	3.8	1708	0.5	1.82	0.56	0.71	0.38	9.09	41.53	1.27	1.83	3.11
	Herbst	18095	4.0	1940	0.6	2.33	0.59	0.73	0.42	12.56	60.01	1.65	2.12	1.25
	Winter	15975	1.3	3371	1.1	4.59	0.95	1.17	0.67	22.59	82.86	2.84	2.49	3.57
Rosenheim	Frühjahr	15953	4.8	2898	1.0	2.47	0.58	0.71	0.43	8.66	32.26	2.22	3.20	1.10
	Sommer	14360	4.5	2560	0.8	1.82	0.53	0.61	0.40	5.70	21.39	1.80	1.83	3.11
	Herbst	14763	4.4	2804	1.0	2.33	0.62	0.72	0.45	9.03	29.72	2.27	2.12	1.25
	Winter	12990	2.7	4046	1.6	4.59	0.88	1.13	0.68	15.77	40.56	3.60	2.49	3.57
Kleblach	Frühjahr	7415	1.9	2083	1.0	2.47	0.62	0.77	0.49	12.36	73.59	2.18	3.20	1.10
	Sommer	7170	3.1	236	0.1	1.82	0.59	0.77	0.37	6.39	38.14	2.09	1.83	3.11
	Herbst	6089	1.7	1360	0.7	2.33	0.61	0.78	0.46	10.53	60.93	2.22	2.12	1.25
	Winter	12266	2.0	8733	5.1	4.59	0.95	1.18	0.74	24.39	112.62	3.80	2.49	3.57

Aus Tabelle 11 ist ersichtlich, dass bei Schwall in allen Untersuchungsstrecken eine Zunahme der Flachwasserhabitate zu verzeichnen ist.

In der Untersuchungsstrecke Spittal ist der Flächenzuwachs im Winterereignis trotz der höchsten Wassertiefenänderung am geringsten. Dies ist auf die geringe Wasserführung im Winter zurückzuführen. Der ansteigende Wasserspiegel fällt zwar am höchsten aus, ist aber bei diesem Ereignis nicht in der Lage, die an den Innenbögen vorhandenen Kiesbänke zu überströmen.

Ähnliche Verhältnisse werden in der Untersuchungsstrecke Rosenheim beobachtet. In Kleblach dagegen ist der geringste Flächenzuwachs im Herbst zu verzeichnen. Wie schon in Kapitel 5.2.2.3 erwähnt, weist dagegen das Winterereignis aufgrund der Dotation des Seitenarmes bei steigendem Abfluss einen hohen Flächenzuwachs auf.

Betrachtet man in Abbildung 52 die Änderungen des Flächenzuwachses der Flachwasserhabitate zu den Schwall-Sunkverhältnissen, sind keine eindeutigen Aussagen zu treffen. Zu erkennen ist, dass bei hohen Abflussdifferenzen von Schwall zu Sunk eher geringe Flächenzuwächse zu verzeichnen sind. Bei diesem Ergebnis ist auf jeden Fall der Basisabfluss mit zu beachten. Das jeweils größte Schwall-Sunkverhältnis ist durch das Winterereignis mit geringem Basisabfluss und somit geringen Wassertiefen gegeben.

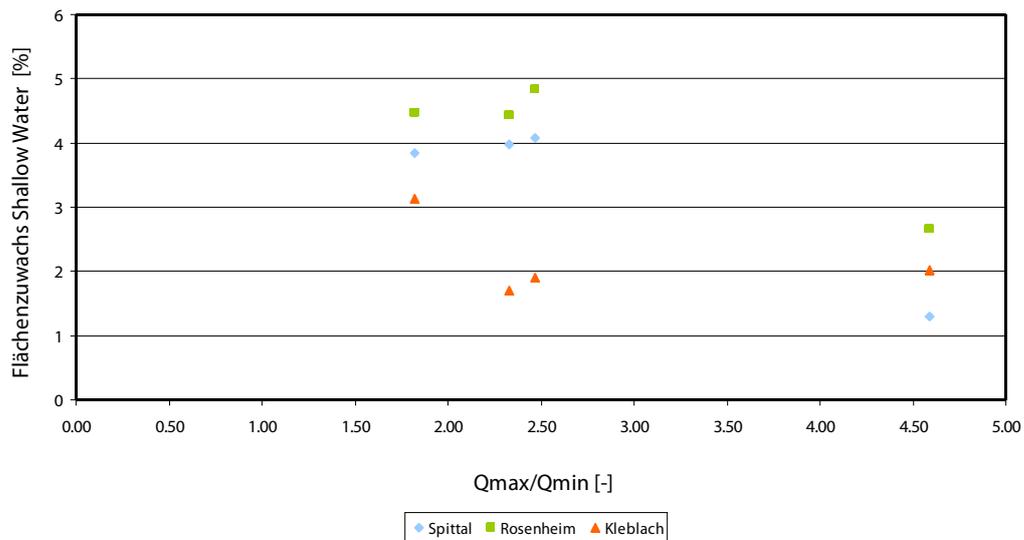


Abbildung 52: Prozentueller Zuwachs von Flachwasserhabitaten zwischen Sunk- und Schwallphase

Vergleicht man die Untersuchungsstrecken untereinander, ist der Flächenzuwachs in Rosenheim bei allen untersuchten Abflussdifferenzen am höchsten und in Kleblach in drei von vier Schwallverhältnissen am geringsten. Somit ist klar zu erkennen, dass gleiche Schwall-Sunkverhältnisse unterschiedliche Auswirkungen bei verschiedenen morphologischen Flussstrukturen zeigen.

Sind bei Sunk hohe Anteile an Flachwasserhabitaten zu verzeichnen, fällt der Flächenzuwachs bei Schwall geringer aus als bspw. bei anfänglich geringen Anteilen an Flachwasserbereichen (vergleiche Abbildung 53).

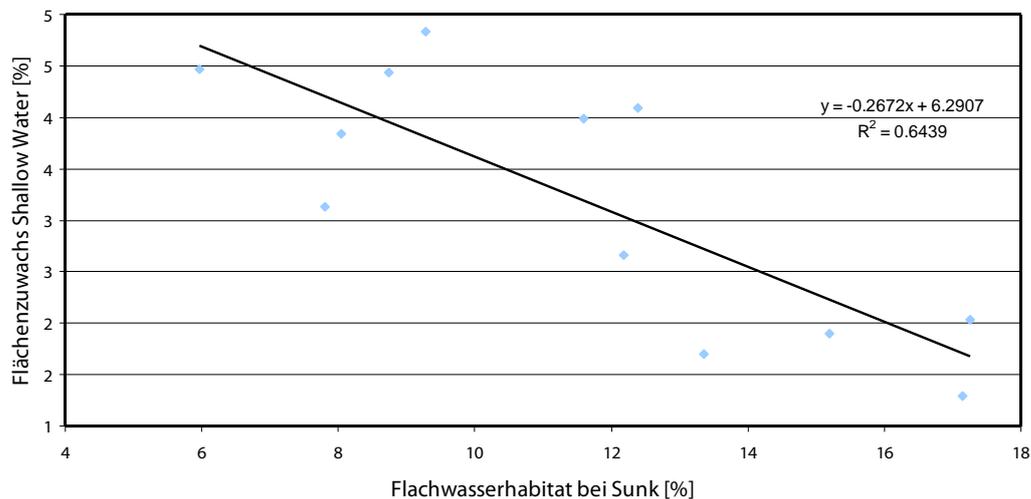


Abbildung 53: Flachwasserhabitatzuwachs bei Schwall von unterschiedlichen Flachwasseranteilen bei Sunk

Die Begründung hierfür liegt wiederum in der Betrachtung des Basisabflusses. Die bei Sunk hohen Anteile an Flachwasserhabitaten sind fast ausschließlich in den Ereignissen mit geringem Basisabfluss festzustellen. Tritt nun Schwall auf, verschieben sich die Flachwasserhabitate lateral Richtung Ufer. Somit bleibt der Anteil konstant bzw. erfährt nur eine geringe Erhöhung. Bei hohen Basisabflüssen treten ähnliche Effekte des Habitatshifts auf, allerdings werden zusätzlich die in allen Untersuchungsstrecken vorhandenen flachen Schotterbänke bei steigendem Wasserspiegel überströmt. Es kommt somit zu stärkeren Flächenzuwächsen bei diesen Ereignissen.

Das in Tabelle 11 gleichzeitige Auftreten von hohen Breiten- und Tiefenänderungen und die für die Abbildungen 54 und 55 herangezogenen Werte sind in diesem Fall auf die unterschiedlichen Schwall-Sunkverhältnis zurückzuführen.

In Abbildung 54 erkennt man deutlich den Zusammenhang zwischen der Breitenänderung der Wasseroberfläche und Bereiche die trocken fallen (Pocket Pools). Es scheint klar zu sein, dass an flussmorphologisch naturnahen Strukturen, wie sie an der Drau im Untersuchungsabschnitt zu finden sind, infolge der flachen Ufergradienten bei Schwall ausgeprägte Breitenänderungen der Wasseroberfläche stattfinden. Je weiter sich die Anschlaglinie nach außen bewegt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei Rückgang der Schwallwelle Wasser in Senken und Mulden zurück bleibt. Es konnten z.B. in der Detailstrecke Rosenheim bei einer Breitenänderung von 15 m, die fast ausschließlich am rechten Ufer zu verzeichnen ist, 1,6 % der benetzten Fläche oder rd. 4000 m² an Pocket Pools dokumentiert werden.

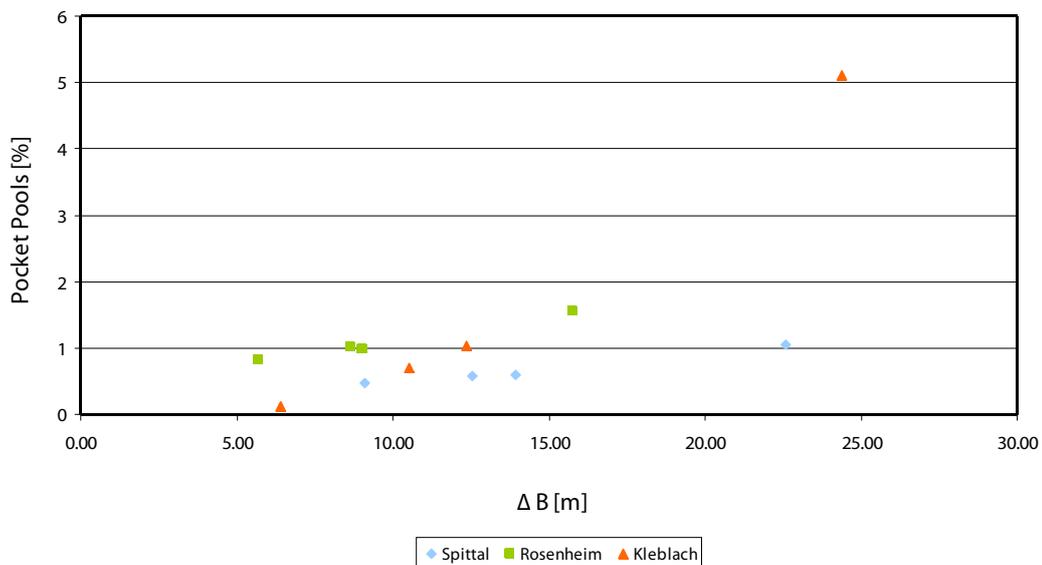


Abbildung 54: Gegenüberstellung von trocken fallenden Bereichen zur Breitenänderung der Wasseroberfläche

Ähnliches gilt natürlich auch für die Wassertiefe. Abbildung 55 bestätigt, dass je höher der Wasserspiegel bei Schwall steigt, desto weiter wird die Anschlaglinie Richtung Ufer wandern und desto höher ist die Wahrscheinlichkeit vom Auftreten von Pocket Pools.

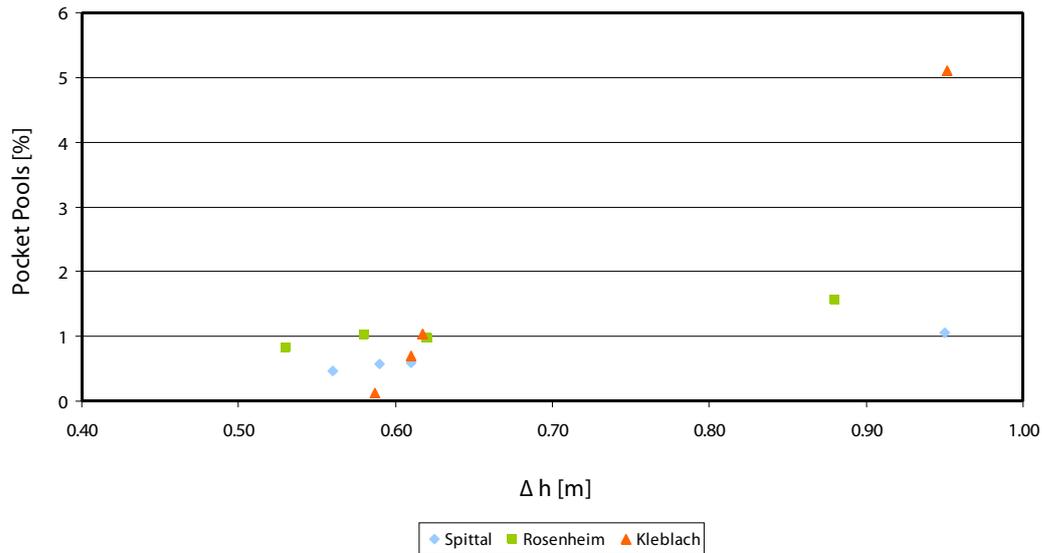


Abbildung 55: Gegenüberstellung von trocken fallenden Bereichen zur Wassertiefenänderung

Abbildung 56 vergleicht die ausgewiesenen Flächen an Pocket Pools zwischen den Untersuchungsabschnitten. Pro 100 m Flusslänge bilden sich im Winter insgesamt größere Flächen, die vom Hauptgewässer abgetrennt werden, als in den übrigen Jahreszeiten. Der hohe Anteil in der Untersuchungsstrecke Kleblach ist, wie schon oben erwähnt, auf die Dotation des Seitenarmes zurückzuführen. Dagegen werden im Sommerereignis nur wenig Flächen abgetrennt.

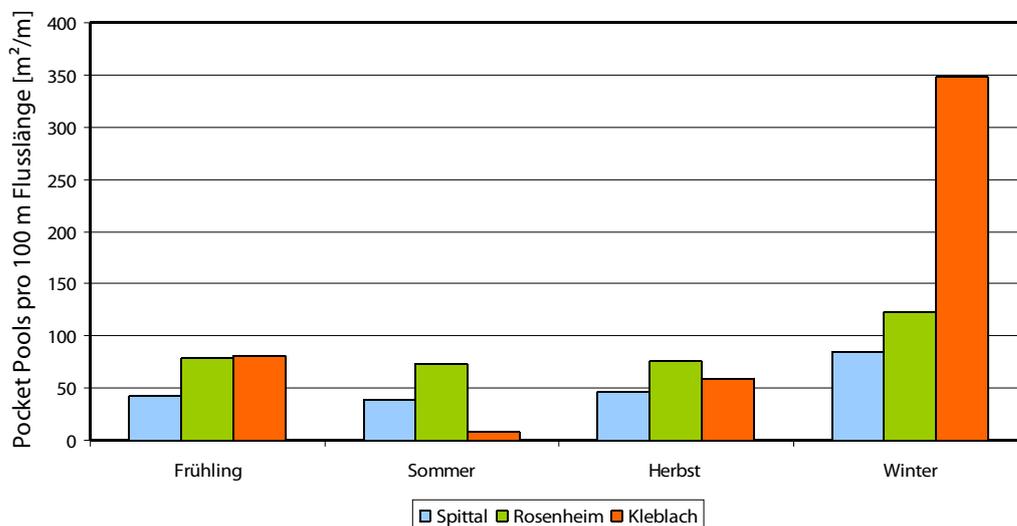


Abbildung 56: Flächenanteile Pocket Pools

Die Habitatergebnisse aus dem Programm HEM in Abbildung 57 veranschaulichen Bereiche, die vom Hauptgewässer nach dem Durchlauf der Schwallwelle abgetrennt wurden. Dabei zeigt Abbildung 57a die Situation bei Sunk vor dem Schwall und Abbildung 57b die Situation bei Sunk nach dem Schwallereignis. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, ökologisch

5. Ergebnisse

sensible Bereiche im Detail aufzunehmen (siehe Kapitel 3.2.1), um Auswirkungen durch Schwall und Sunk quantifizieren zu können.

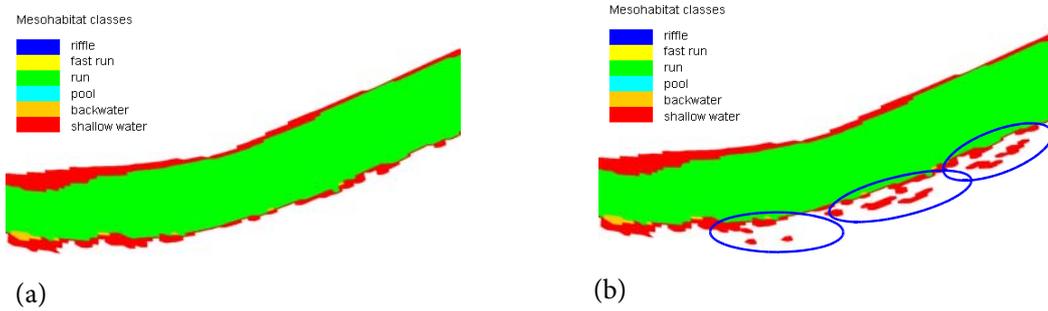


Abbildung 57: Habitatmodellierung Rosenheim vor bzw. nach dem Schwallereignis

Abbildung 58 veranschaulicht die morphologischen Strukturen in der Natur.



Abbildung 58: Strukturen in Rosenheim (gegen die Fließrichtung fotografiert)

5.3 Mikrohabitatmodellierung

In den folgenden Kapiteln wird die durch Schwall hervorgerufene Mikrohabitatveränderung der Bachforelle (*Salmo Trutta*) behandelt. Es werden die Altersstadien 0+, 1+ und Adult in den einzelnen Untersuchungsstrecken gesondert und an speziell ausgewählten Bereichen (Pointbar, Aufweitung und Seitenarm) näher betrachtet.

5.3.1 Detailstrecke Spittal

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die gewichteten nutzbaren Flächen (weighted usable area) der juvenilen und adulten Bachforelle (*Salmo Trutta*) vor, während und nach einem Schwallerereignis in der Untersuchungsstrecke Spittal. Zur besseren Veranschaulichung zeigt Abbildung 59 die prozentuale Änderung der gewichteten nutzbaren Flächen während eines Schwallerereignisses.

Tabelle 12: Übersicht Mikrohabitatverteilung für *Salmo Trutta* in Untersuchungsstrecke Spittal

	Abfluss-situation	<i>Salmo Trutta</i> 0+		<i>Salmo Trutta</i> 1+		<i>Salmo Trutta</i> Adult	
		m ²	%	m ²	%	m ²	%
Frühling Q 50%	vor Schwall	9232	3.2	28562	9.9	104175	36.1
	max. Schwall	5608	1.7	17783	5.4	43718	13.2
	nach Schwall	9404	3.2	28607	9.9	104281	35.9
Sommer Q 50%	vor Schwall	6021	1.8	18283	5.6	46111	14.0
	max. Schwall	4116	1.2	12554	3.5	34273	9.5
	nach Schwall	6192	1.9	18312	5.6	46161	14.0
Herbst Q 50%	vor Schwall	8685	2.9	26204	8.9	92015	31.1
	max. Schwall	4843	1.4	16920	5.0	40982	12.2
	nach Schwall	8846	3.0	26318	8.8	92195	31.0
Winter Q 50%	vor Schwall	12854	4.9	44469	17.1	131214	50.3
	max. Schwall	5884	1.8	18035	5.5	45245	13.7
	nach Schwall	13167	5.0	44533	16.9	131222	49.7

Generell ist ein Rückgang der gewichteten nutzbaren Fläche bei allen Altersstadien und Jahreszeiten während eines Schwallerereignisses vorhanden. Vergleicht man die Jahreszeiten untereinander fällt auf, dass im Sommer mit einem hohen Basisabfluss weniger nutzbare Fläche zur Verfügung steht, als z.B. im Winter mit einem geringeren Basisabfluss.

Die nutzbaren Habitate für den 0+ Jahrgang beschränken sich im Frühling auf 3,2 % und im Sommer auf lediglich 1,8 % der benetzten Fläche. Trotz geeigneter Strukturen und Rückzugsmöglichkeiten verringern die negativen Auswirkungen des Schwalls die nutzbaren Flächen in der sensiblen Frühjahrszeit um fast die Hälfte auf 1,7 %, im Sommer bis auf 1,2 %. Der leichte Anstieg der nutzbaren Habitate nach dem Schwallerereignis ist auf Pocket Pools (siehe Kapitel 5.2.3) zurückzuführen und wird daher in weiterer Folge aufgrund des Risikos der Austrocknung nicht näher betrachtet.

Für die 1+ Bachforellen stehen bei Sunk je nach Jahreszeit sehr unterschiedlich große Habitatflächen zur Verfügung. Im Winter erreicht der Anteil an nutzbarer Fläche 17,1 %, im Sommer dagegen nur 5,6 %. Frühling und Herbst weisen bei Sunk zwischen 8,9 und 9,9 % auf. Bei

Schwall verringert sich die Fläche im Frühling, Herbst und Winter auf Werte zwischen 5,0 und 5,5 % sowie im Sommer bis auf 3,5 %.

Aufgrund der Größe der Drau und den damit verbundenen Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten ergeben sich die größten nutzbaren Habitats für die adulte Bachforelle. Bei den mittleren Basisabflüssen im Frühling und Herbst erreichen die Anteile zwischen 31,1 und 36,1 % und steigen im Winter bis auf rd. 50 % der benetzten Fläche an. Der hohe Basisabfluss im Sommer lässt die nutzbare Fläche der adulten Bachforelle auf maximal 14 % abfallen. Bei Schwall differieren die nutzbaren Habitats zwischen den Jahreszeiten nicht so stark. Die Werte pendeln sich zwischen 9,5 % im Sommer und 13,7 % im Winter ein. Allerdings ist in Hinsicht auf reduzierten Metabolismus der Fische im Winter der Rückgang von über 35 % nutzbarer Fläche und dem damit verbundenen Habitatwechsel hervorzuheben.

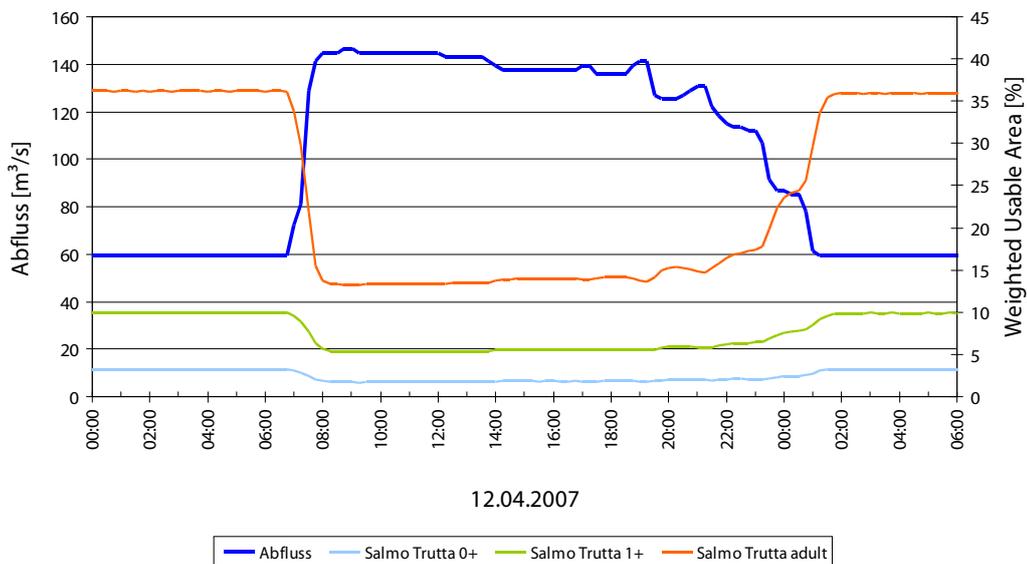


Abbildung 59: Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Spittal Frühling Mittelwertszenario, Szenarios Winter, Sommer und Herbst siehe Anhang A1.2

5.3.2 Detailstrecke Rosenheim

Tabelle 13 gibt einen Überblick über die gewichteten nutzbaren Flächen (weighted usable area) der juvenilen und adulten Bachforelle (*Salmo Trutta*) vor, während und nach einem Schwallereignis in der Untersuchungsstrecke Rosenheim. Zur besseren Veranschaulichung zeigt Abbildung 60 die prozentuale Änderung der gewichteten nutzbaren Flächen während eines Schwallereignisses.

Tabelle 13: Übersicht Mikrohabitatverteilung für Salmo Trutta in Untersuchungsstrecke Rosenheim

	Abfluss-situation	<i>Salmo Trutta</i> 0+		<i>Salmo Trutta</i> 1+		<i>Salmo Trutta</i> Adult	
		m ²	%	m ²	%	m ²	%
Frühling Q 50%	vor Schwall	5990	2.5	21817	9.0	68089	28.2
	max. Schwall	4328	1.6	14348	5.3	39788	14.6
	nach Schwall	6154	2.5	21917	8.9	68265	27.8
Sommer Q 50%	vor Schwall	4438	1.7	14275	5.3	40236	15.0
	max. Schwall	2777	1.0	10568	3.6	36798	12.7
	nach Schwall	4523	1.7	14418	5.3	40563	14.9
Herbst Q 50%	vor Schwall	6048	2.5	19840	8.1	60330	24.5
	max. Schwall	3988	1.5	13683	5.0	38788	14.1
	nach Schwall	6196	2.5	19957	8.0	60503	24.1
Winter Q 50%	vor Schwall	8626	3.9	37254	16.9	98435	44.7
	max. Schwall	4377	1.6	14234	5.3	39953	14.9
	nach Schwall	8749	3.9	37400	16.6	98525	43.8

Ähnlich der Untersuchungsstrecke Spittal kommt es auch im Abschnitt Rosenheim bei allen Altersstadien und zu allen Jahreszeiten während des Schwalls zu einem Rückgang der gewichteten nutzbaren Fläche. Des Weiteren sind auch in Rosenheim die bei Sunk vorhandenen nutzbaren Habitate vom Basisabfluss abhängig, was wiederum bedeutet, dass im Sommer bei hohen Basisabflüssen geringere nutzbare Flächen als z.B. im Winter ausgewiesen wurden.

Die nutzbaren Flächen für das Altersstadium 0+ erreichen während der Sunkphase im Frühling und Herbst 2,5 %. Im Winter steigt der Wert auf 3,9 % und erreicht aber im Sommer lediglich 1,7 % der gesamten benetzten Fläche. Tritt Schwall auf, verringern sich die nutzbaren Habitate für die juvenile Bachforelle auf 1,0 % im Sommer, 1,5 % im Herbst und 1,6 % im Frühling und Winter.

In der Untersuchungsstrecke Rosenheim sind für 1+ Bachforellen während Sunk gewichtete nutzbare Flächen von 9,0 % im Frühling, lediglich 5,3 % im Sommer, 8,1 % im Herbst und 16,9 % im Winter vorhanden. Der Rückgang an nutzbaren Flächen fällt im Winter am höchsten aus, wobei wie im Frühling 5,3 % erreicht werden, im Herbst 5,0 % und im Sommer 3,6 %.

Der adulten Bachforelle stehen, wie auch in Spittal, während der Sunkphase die größten gewichteten nutzbaren Habitate zur Verfügung, wobei die Flächenanteile sehr von der Jahreszeit abhängen. Sind im Winter mit 44,7 % sehr hohe Anteile geeignet, sinkt dagegen im Sommer der Wert auf 15,0 %. Im Frühling und Herbst sind 28,2 % bzw. 24,5 % an nutzbaren Habitaten vorhanden. Während Schwall verringert sich der nutzbare Lebensraum auf 12,7 % im Sommer und rd. 14,0 % in den übrigen Jahreszeiten.

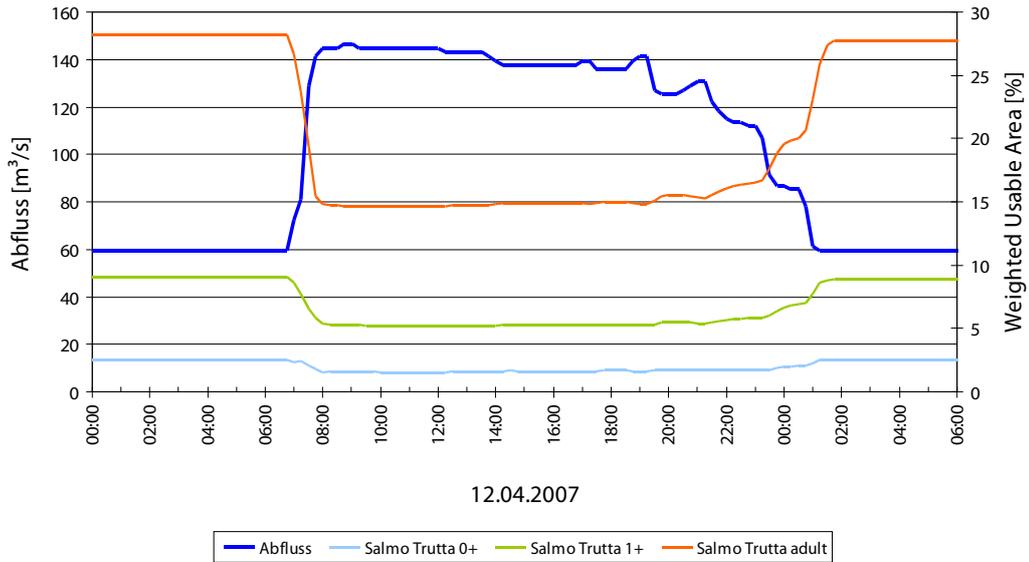


Abbildung 60: Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Rosenheim Frühling Mittelwertszenario, Szenarios Winter, Sommer und Herbst siehe Anhang A1.2

5.3.3 Detailstrecke Kleblach

Tabelle 14 gibt einen Überblick über die gewichteten nutzbaren Flächen (weighted usable area) der juvenilen und adulten Bachforelle (*Salmo Trutta*) vor, während und nach einem theoretischen Schwallereignis in der Untersuchungsstrecke Kleblach. Zur besseren Veranschaulichung zeigt Abbildung 61 die prozentuale Änderung der gewichteten nutzbaren Flächen während eines Schwallereignisses.

Tabelle 14: Übersicht Mikrohabitatverteilung für *Salmo Trutta* in Untersuchungsstrecke Kleblach

	Abfluss-situation	<i>Salmo Trutta 0+</i>		<i>Salmo Trutta 1+</i>		<i>Salmo Trutta Adult</i>	
		m ²	%	m ²	%	m ²	%
Frühling Q 50%	vor Schwall	7469	4.8	15163	9.7	45918	29.3
	max. Schwall	2390	1.3	9363	5.1	34866	19.1
	nach Schwall	7505	4.7	15488	9.7	46133	28.9
Sommer Q 50%	vor Schwall	2674	1.5	10384	5.7	36145	19.9
	max. Schwall	1858	1.0	5206	2.7	26675	13.7
	nach Schwall	2682	1.5	10384	5.7	36140	19.9
Herbst Q 50%	vor Schwall	6447	4.0	16572	10.2	42288	25.9
	max. Schwall	2323	1.3	8053	4.4	32913	17.8
	nach Schwall	6505	4.0	16611	10.1	42301	25.7
Winter Q 50%	vor Schwall	5948	4.5	19635	14.9	58337	44.1
	max. Schwall	2568	1.4	10042	5.5	35574	19.6
	nach Schwall	6674	4.7	19884	14.1	58446	41.4

Ähnlich zu den beiden anderen Untersuchungsstrecken kommt es auch im Abschnitt Kleblach bei allen Altersstadien und Jahreszeiten während des Schwalls zu einem Rückgang der gewich-

teten nutzbaren Fläche. Anders als bei den bereits beschriebenen Untersuchungsabschnitten scheint jedoch bei Sunk keine Abhängigkeit der nutzbaren Habitate mit dem Basisabfluss gegeben zu sein. Es ist zwar im Sommerszenario der geringste Flächenanteil gegeben, dieser steigt auch mit Frühling und Herbst an, fällt jedoch im Winter mit dem geringsten Basisabfluss nicht am höchsten aus. Dies ist während der Sunkphase auf die fehlende Dotation des Seitenarmes im Winterszenario zurückzuführen. Wäre dieser auch im Winter durchflossen, würde wie in den anderen Untersuchungsstrecken der Flächenanteil an gewichteten nutzbaren Habitaten mit dem Basisabfluss korrelieren.

Während der Sunkphase limitieren sich die nutzbaren Habitate für 0+ Bachforellen im Frühling auf 4,8 %, im Herbst auf 4,0 %, im Winter auf 4,5 % und im Sommer auf lediglich 1,5 % der gesamten benetzten Fläche. Der Rückgang auf 1,0 % im Sommer, 1,3 % im Frühling und Herbst und 1,4 % im Winter fällt gegenüber den anderen Untersuchungsabschnitten am höchsten aus. Verantwortlich hierfür ist der Kleblacher Seitenarm, der bei Sunk beträchtliche Flächen an geeigneten Habitaten für die juvenile Bachforelle bietet, die jedoch bei theoretischem Schwall großteils verloren gehen.

In der Untersuchungsstrecke Kleblach sind für 1+ Bachforellen während des theoretischen Sunks WUA von 9,7 % im Frühling, lediglich 5,7 % im Sommer, 10,2 % im Herbst und 14,9 % im Winter der benetzten Fläche vorhanden. Während des Schwallereignisses kommt es zu einem Rückgang der nutzbaren Habitate auf 5,1 % im Frühling, 2,7 % im Sommer, 4,4 % im Herbst und 5,5 % im Winter.

Bei Sunk ergeben sich für die adulten Bachforellen im Winter die höchsten Anteile an nutzbaren Habitaten von 44,1 %. Bei höheren Basisabflüssen im Frühling und Herbst sinken die Anteile auf 29,3 bzw. 25,9 % und erreichen im Sommer bei 19,9 % das Minimum. Der Schwall bewirkt einen deutlichen Rückgang an nutzbarer Fläche. Für die adulten Bachforellen stehen im Sommerszenario nur noch 13,7 %, im Frühling 19,1 %, im Herbst 17,8 % und im Winter 19,6 % an nutzbaren Lebensräumen zur Verfügung.

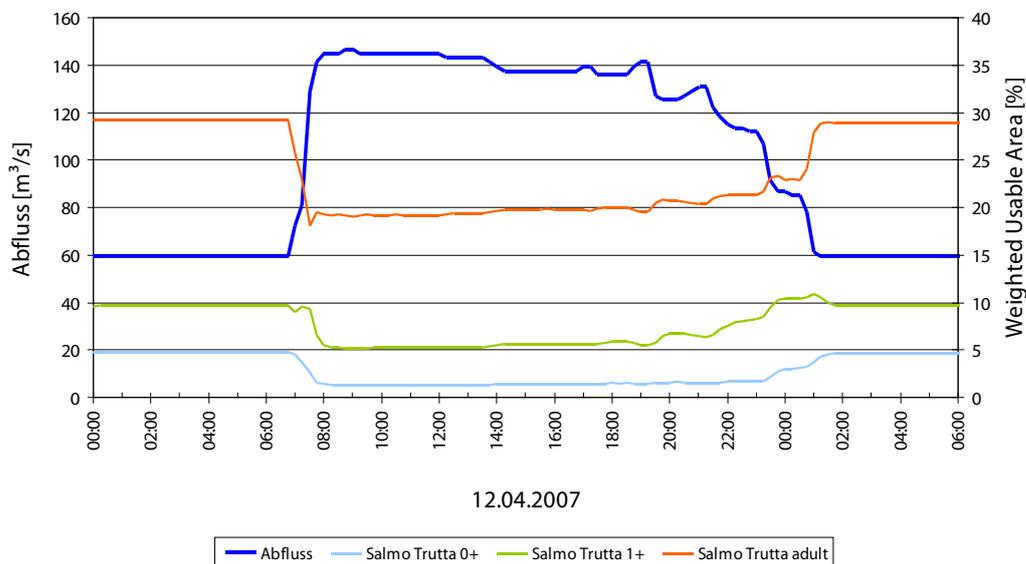


Abbildung 61: Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Kleblach Frühling Mittelwertszenario, Szenarios Winter, Sommer und Herbst siehe Anhang A1.2

5.3.4 Vergleich der Strecken

Betrachtet man in Abbildung 62 a den Verlust des nutzbaren Lebensraumes für die juvenile Bachforelle, kann in der theoretischen Schwallstrecke von Kleblach eine stärkere Beeinträchtigung als in den beiden anderen Untersuchungsabschnitten dokumentiert werden. Bei Sunk werden große Flächen nutzbarer Lebensraumes durch die geringe Dotation des Seitenarmes in den Frühjahrs- und Herbstszenarien quantifiziert. Bei Schwall wird der Seitenarm bei der vermessenen Geometrie aus dem Jahr 2007 stark durchströmt und es kommt bei hoher Fließgeschwindigkeit zu beträchtlichen Verlusten der WUA (siehe Kapitel 5.3.5.5 und Abbildung 71). Im Sommerszenario ist aufgrund des hohen Basisabflusses generell wenig nutzbarer Lebensraum für die juvenile Bachforelle vorhanden. Der Schwall dezimiert in allen Untersuchungsabschnitten den Lebensraum nur noch gering.

Abbildung 62 b vergleicht den Verlust des nutzbaren Lebensraumes der adulten Bachforelle in allen drei Untersuchungsabschnitten. Spittal bietet aufgrund der wechselnden Kolk-Furt Abschnitte bei Sunk für die adulte Bachforelle die höchsten Anteile an WUA. Bei Schwall wird der Lebensraum im Abschnitt Spittal jedoch am stärksten dezimiert und erreicht z.B. im Winterszenario nur noch 13,7 % WUA der benetzten Fläche (Vergleich Rosenheim mit 14,9 % und Kleblach mit 19,6 % WUA). Der geringste Verlust in allen drei Detailstrecken ist wiederum im Sommerszenario aufgrund des hohen Basisabflusses und des dadurch bei Sunk schon eingeschränkten Lebensraumes gegeben.

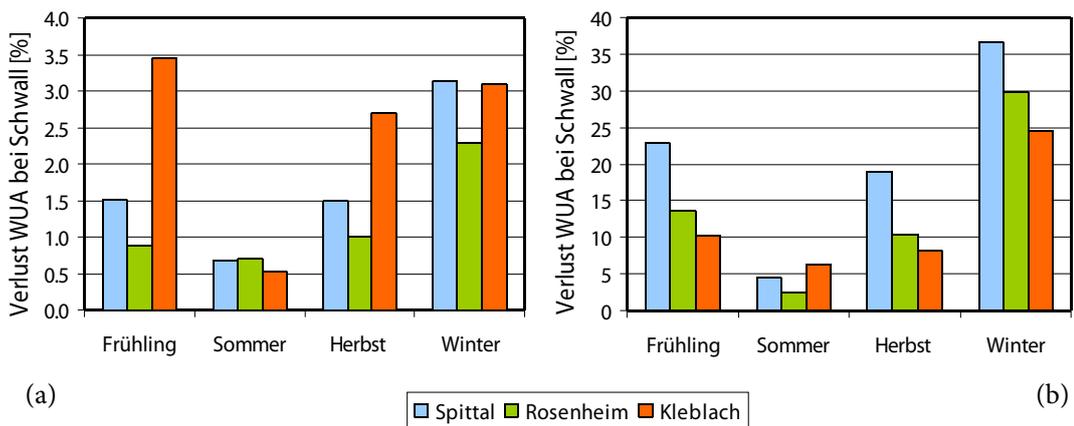


Abbildung 62: Bei Schwall auftretender Verlust des nutzbaren Lebensraumes für *Salmo Trutta* 0+ (a) und *Salmo Trutta Adult* (b)

5.3.5 Morphologisch unterschiedliche Strukturen

5.3.5.1 Allgemein

Im folgenden Kapitel wird der Schwalleinfluss an unterschiedlichen morphologischen Strukturen (Pointbar, Aufweitung, Seitenarm) anhand der Habitatänderung der Fischart Bachforelle (*Salmo Trutta*) im Altersstadium 0+ untersucht. Abbildung 63 beschreibt den Verlauf der Habitatänderung von vier verschiedenen Bereichen bei zunehmendem Abfluss, wobei die Struktur der Flussaufweitung doppelt vorkommt. Der Grund hierfür liegt bei den unterschiedlichen Charakteren der Aufweitungen aufgrund des morphologischen Grundtyps der Untersuchungsstrecke.

Pointbars entstehen bei Ablagerungsprozessen an Innenbögen von gewundenen bis mäandrierenden Flüssen. Sie weisen meist eine sichelförmige Gestalt und ein gleichmäßig, eher flaches Land-Wasser-Gefälle auf. Die Zusammensetzung des Sediments ist gut sortiert (downstream fining).

Bei Flussaufweitungen handelt es sich bei zuvor regulierten Flüssen um künstliche Verbreiterungen des Flusslaufes. In vielen Fällen soll mit ihrer Hilfe die Flusssohle stabilisiert und das Fließgewässer aufgewertet werden. Dadurch kann sich ein dynamisch verzweigtes Gerinne entwickeln und neue Lebensräume für Pflanzen und Tiere entstehen.

Seiten- oder Nebenarme entstehen durch natürliche Verlagerung des Hauptstromes, besonders bei Umlagerungsprozessen bei Hochwässern oder durch Mäandersprünge des Fließgewässers im Flachland.

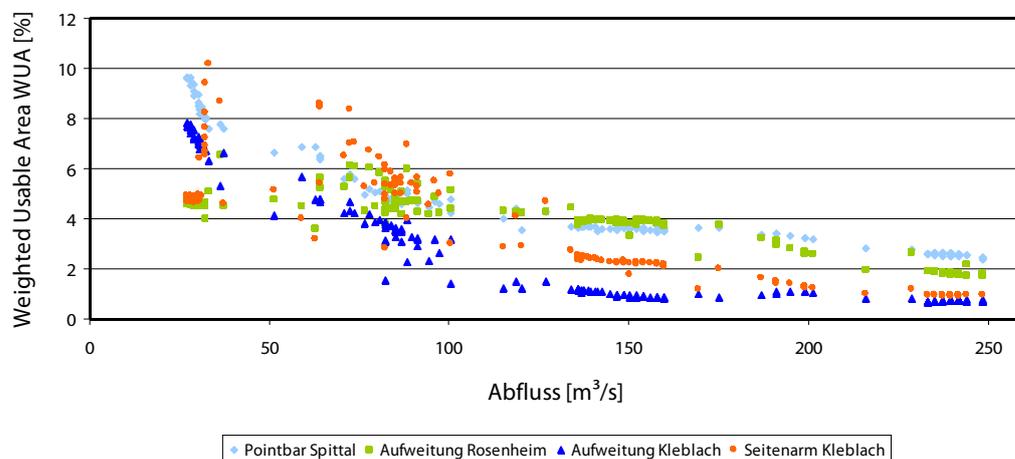


Abbildung 63: WUA - Vergleich unterschiedlicher Strukturen, *Salmo Trutta* 0+

Abbildung 63 zeigt den Verlauf der gewichteten nutzbaren Flächen für die juvenile Bachforelle in Bezug auf den Abfluss. In jeder Struktur ist der Rückgang an Habitaten mit Anstieg des Durchflusses zu erkennen.

Die Aufweitung Kleblach bietet bis 50 m³/s rd. 6 - 7 % der gesamten benetzten Fläche weighted usable area. Schotterbänke und kleine Inseln erzeugen große Uferbereiche und sind ideale Lebensräume für juvenile Fische. Bei Abflüssen ab rd. 100 m³/s wird der gesamte Fluss-schlauch in Kleblach benetzt. Inselbereiche werden dadurch verringert oder teilweise überströmt. Bei einer weiteren Durchflusserhöhung verlagern sich die Habitate der 0+ Bachforellen auf den Uferbereich oder gehen aufgrund zu hoher Fließgeschwindigkeit gänzlich verloren.

Das Ausmaß des Habitatverlusts fällt in der Aufweitung von Rosenheim geringer aus als in der Aufweitung von Kleblach, bietet jedoch bei geringeren Abflüssen weniger geeignete Habitate. Bei rd. 90 m³/s ist in Rosenheim die Aufweitung vollständig benetzt und die Bachforelle findet das maximale Habitatangebot vor. Die Erhöhung der Fließgeschwindigkeit durch eine weitere Durchflusserhöhung verringert in Rosenheim wiederum die Habitatverfügbarkeit.

Am stärksten reagiert der Seitenarm in Kleblach auf eine Abflusserhöhung. Bei der vermessenen Flussgeometrie aus dem Jahr 2007 ist dieser bei rd. 25 m³/s nur durch das Unterwasser angebunden und bietet daher begrenzt Habitate für die juvenile Bachforelle. Zwischen 30 m³/s und 50 m³/s wird der Seitenarm auch vom Oberwasser dotiert und es werden die zuvor trockenen Schotterbereiche überströmt. Dabei wächst der Anteil an nutzbaren Flachwasserbereichen. Steigt die Durchflussmenge im Seitenarm noch weiter an, nimmt auch die Fließgeschwindigkeit zu und es kommt zu einer starken Reduktion der gewichteten nutzbaren Habitate.

Die Pointbar in Spittal erfährt bei einer Abflusserhöhung von 25 m³/s auf 35 m³/s eine starke Reduzierung der nutzbaren Habitate von rd. 10 % auf rd. 7 % der benetzten Fläche. Bei einem weiteren Anstieg des Durchflusses wandern die Jungfischhabitate mit der Anschlaglinie lateral nach außen und werden weiter verringert, allerdings nicht mehr in diesem Ausmaß. Bei hohen Abflüssen sind am Innenbogen jedoch immer noch moderate Fließgeschwindigkeiten feststellbar und die Pointbar bietet im Vergleich zu den anderen Strukturen die beste Rückzugsmöglichkeit für juvenile Fische.

5.3.5.2 Pointbar Spittal

Der Lebensraum für die juvenile Bachforelle (*Salmo Trutta 0+*) im Bereich der Pointbar in Spittal wird mit Hilfe eines Suitability Index (SI) von 0,0 bis 1,0 im Detail bewertet. Der SI wird in 10 Klassen (Klasse 1: 0,0 - 0,1, Klasse 2: 0,1 - 0,2, usw.) unterteilt, wobei gilt, je höher die Klasse, desto größer die Habitateignung. Abbildung 64 zeigt Flächenanteile einzelner Klassen in Bezug zum Abfluss. Zusätzlich ist die Änderung der für die juvenile Bachforelle relevanten Mesohabitate Flachwasser und Kehrwasser abgebildet.

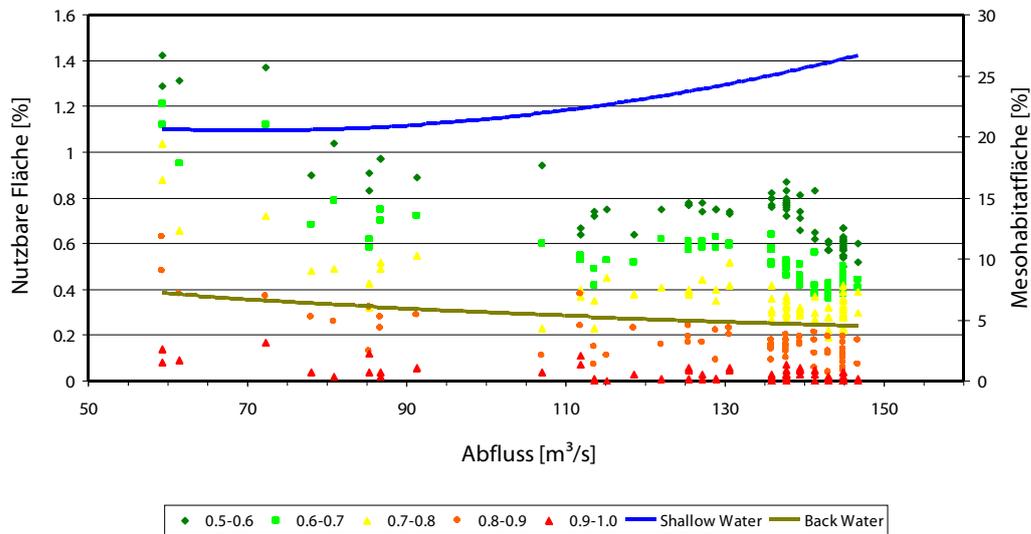


Abbildung 64: Vergleich Suitability Index zu Mesohabitate Shallow Water und Backwater - *Salmo Trutta 0+* - Pointbar Untersuchungsstrecke Spittal - Frühling Mittelwert

Die flache Wasserwechselzone im Bereich der Pointbar in der Untersuchungsstrecke Spittal vergrößert bei steigendem Wasserspiegel die Flachwasserbereiche. Feststellbar sind rd. 7 % Zunahme bei einer Abflusserhöhung von 60 m³/s auf 145 m³/s. Gleichzeitig ist ein Rückgang an Kehrwasserbereichen von rd. 3 % gegeben.

Bei steigendem Abfluss werden aufgrund von Fließgeschwindigkeitserhöhungen die nutzbaren Lebensräume für die Jungfische leicht dezimiert. Trotzdem bietet die Pointbar auch bei höheren Abflüssen von rd. 150 m³/s noch sehr gut nutzbare Habitate. Abbildung 65 dokumentiert die beim Übergang von Sunk zu Schwall auftretende Habitatänderung für juvenile Bachforellen.

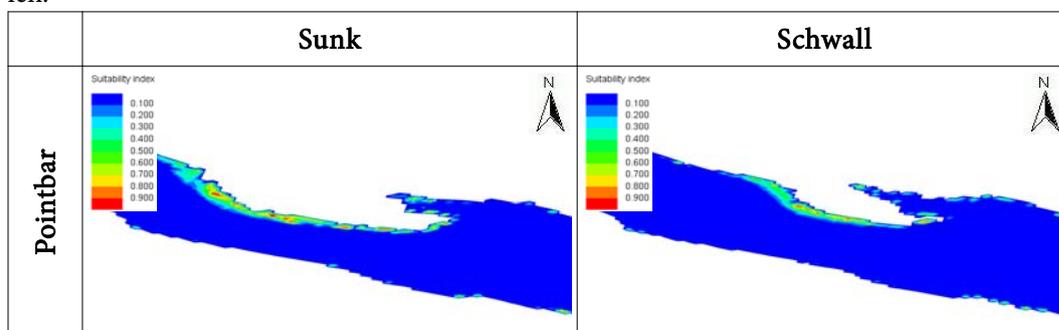


Abbildung 65: Änderung des Suitability Index für *Salmo Trutta 0+* an der Pointbar in Spittal

durch Schwall-Sunkprozesse

Der Grund für den Rückgang der nutzbaren Habitate trotz Zunahme von Flachwasserbereichen liegt in der Größe des Gewässers. Die Mesohabitate beschreiben, im Gegensatz zu mittleren bis kleinen Flüssen, bei größeren Gewässern die funktionalen Habitate für juvenile Fische unzureichend. Das Ergebnis unterstreicht daher, dass für die Abschätzung der Habitatänderungen für Fische bei größeren Flüssen die Durchführung einer Mikrohabitatmodellierung notwendig ist.

5.3.5.3 Aufweitung Rosenheim

Abbildung 66 beschreibt mit Hilfe des SI (Erläuterung siehe Abschnitt 5.3.5.2) die Habitateignung für die juvenile Bachforelle (*Salmo Trutta 0+*) im Flussaufweitungsbereich von Rosenheim. Dabei ist die Änderung der Habitateignung, sowie die Änderung der für die juvenile Bachforelle relevanten Mesohabitate Flachwasser und Kehrwasser mit Anstieg des Durchflusses abgebildet.

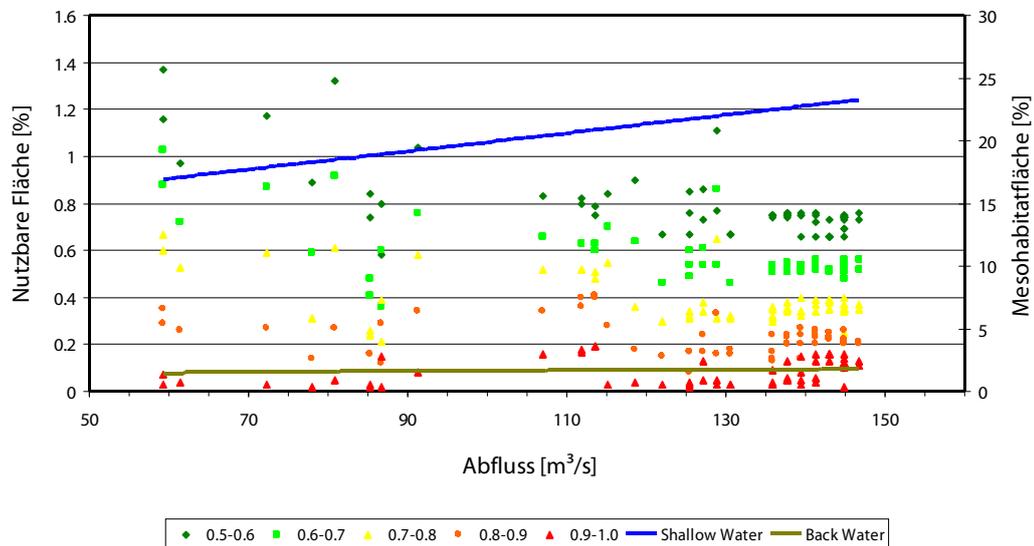


Abbildung 66: Vergleich Suitability Index zu Mesohabitate Shallow Water und Backwater - *Salmo Trutta 0+* - Aufweitung Untersuchungsstrecke Rosenheim - Frühling Mittelwert

Eine ähnliche Situation wie an der Pointbar konnte für die Aufweitung in Rosenheim ausgewertet werden. Bei steigendem Durchfluss wird die flache Wasserwechselzone der Aufweitung benetzt und es entstehen zusätzliche Flachwasserbereiche. Die Kehrwasserbereiche bleiben dagegen konstant.

Auffallend ist, dass die nutzbare Fläche bei hohen Abflüssen insgesamt etwas zurückgeht, aber Bereiche mit einem SI von 0,8 – 0,9 bzw. 0,9 – 1,0 sich kaum verändern bzw. leicht ansteigen. Verantwortlich dafür ist der bei steigendem Wasserspiegel uferparallele Shift der Flachwasserbereiche. Abbildung 67 zeigt, dass dieser laterale Shift in den nutzbaren Habitaten eine Abnahme der Fließgeschwindigkeit bewirkt und es können sich trotz des hohen Abflusses noch strömungsberuhigte Bereiche ausbilden.

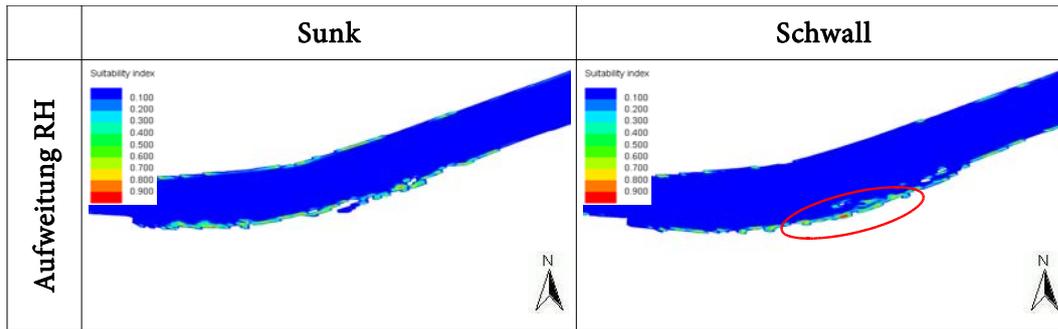


Abbildung 67: Änderung des Suitability Index für *Salmo Trutta 0+* an der Aufweitung in Rosenheim durch Schwall-Sunkprozesse

5.3.5.4 Aufweitung Kleblach

Abbildung 68 zeigt wie schon in den vorangegangenen Kapiteln den SI für die juvenile Bachforelle (*Salmo Trutta 0+*) im Bereich der Aufweitung in der Untersuchungsstrecke Kleblach. Gegenübergestellt ist die Änderung der für die juvenile Bachforelle relevanten Mesohabitate Flachwasser und Kehrwasser bei steigendem Abfluss.

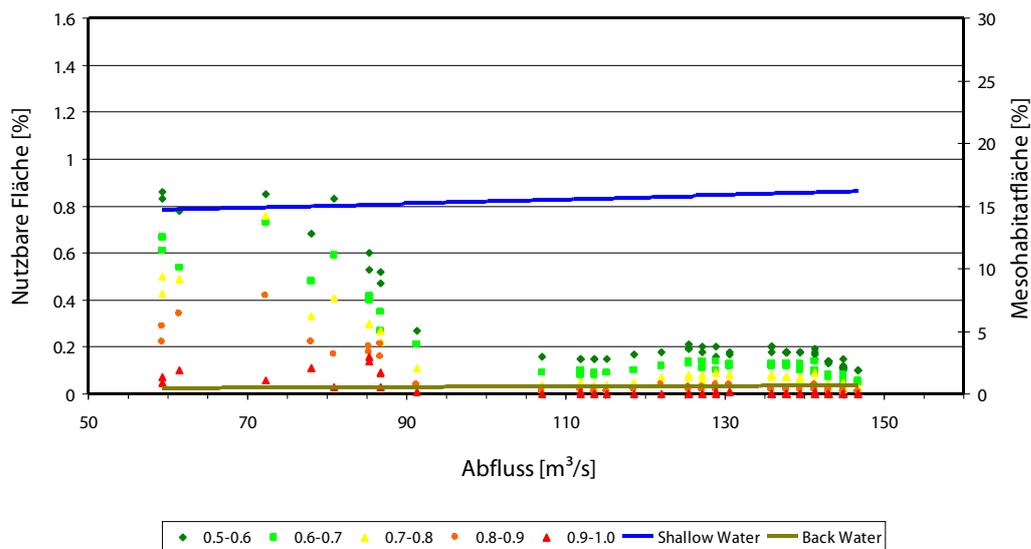


Abbildung 68: Vergleich Suitability Index zu Mesohabitate Shallow Water und Backwater - *Salmo Trutta 0+* - Aufweitung Untersuchungsstrecke Kleblach - Frühling Mittelwert

Sehr unterschiedlich zur Aufweitung in Rosenheim reagieren die nutzbaren Habitate der Restrukturierung in Kleblach auf die Abflusserhöhung. Bei steigendem Durchfluss bleiben die Flächenanteile der Mesohabitate Flachwasser und Kehrwasser relativ konstant.

Steigt bei zunehmendem Durchfluss die Fließgeschwindigkeit in den bei Sunk genutzten Habitaten, kommt es dadurch zu einem massiven Verlust an nutzbaren Flächen. Sehr gut geeignete Habitate (SI 0,9 – 1,0) gehen gänzlich verloren (siehe Abbildung 69).

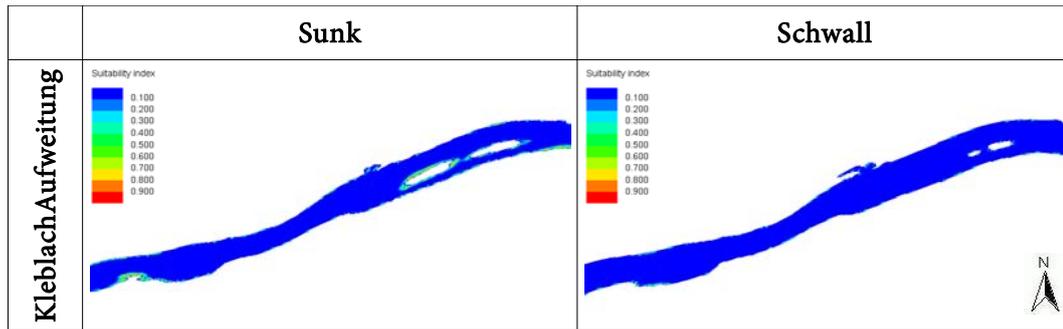


Abbildung 69: Änderung des Suitability Index für *Salmo Trutta 0+* an der Aufweitung in Kleblach durch Schwall-Sunkprozesse

5.3.5.5 Seitenarm Kleblach

Abbildung 70 zeigt wie schon in den vorangegangenen Kapiteln den SI für die juvenile Bachforelle (*Salmo Trutta 0+*) im Bereich des Seitenarmes von Kleblach. Gegenübergestellt ist die Änderung der für die juvenile Bachforelle relevanten Mesohabitate Flachwasser und Kehrwasser bei steigendem Abfluss.

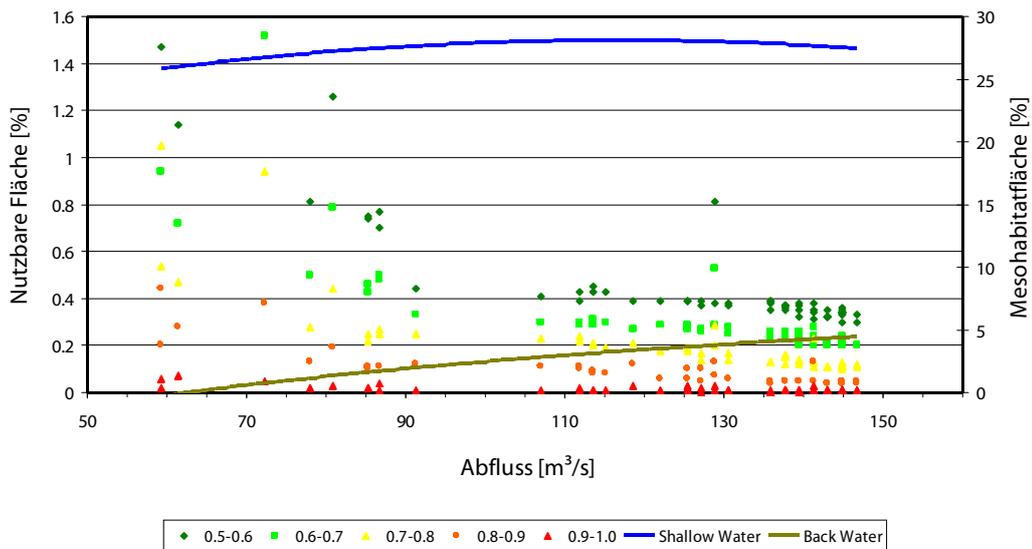


Abbildung 70: Vergleich Suitability Index zu Mesohabitate Shallow Water und Backwater - *Salmo Trutta 0+* - Seitenarm Untersuchungsstrecke Kleblach - Frühling Mittelwert

Im Seitenarm der Untersuchungsstrecke Kleblach entstehen ab einer Dotation von rd. 60 m³/s Kehrwasserbereiche und nehmen bei einer Durchflusserhöhung auf 150 m³/s rd. 5 % der Mesohabitatfläche ein. Flachwasserbereiche bleiben in diesem Abflussbereich relativ konstant bei 26 – 28 % der gesamten benetzten Fläche.

Bei Sunk bietet der Seitenarm großflächig nutzbare Lebensräume für juvenile Bachforellen. Ohne diese morphologisch wichtige Struktur würden sich die nutzbaren Habitate lediglich an

Randbereichen des eigentlichen Hauptgewässers ausbilden. Bei steigendem Abfluss bis rd. 100 m³/s nimmt die Dotation des Seitenarmes zu und es kommt aufgrund erhöhter Fließgeschwindigkeit zum Verlust an nutzbaren Habitaten. Bei weiter steigendem Abfluss bis ca. 150 m³/s bleiben die nutzbaren Habitate erhalten, reduzieren sich jedoch bei Schwellbetrieb auf Randbereiche oder noch nicht überströmte Inselfelder (siehe Abbildung 71).

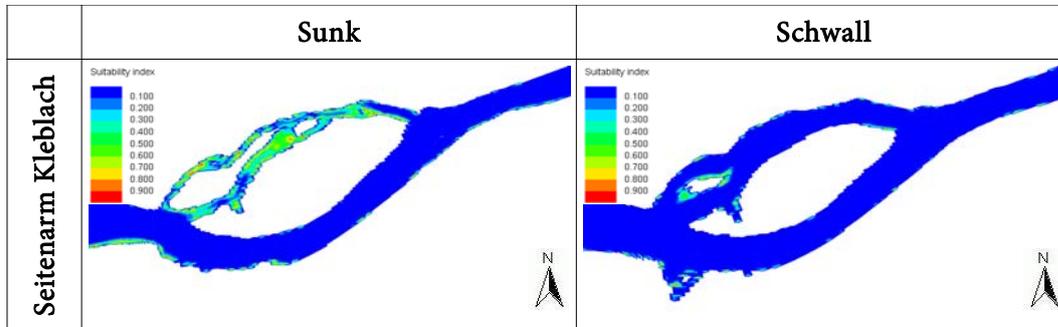


Abbildung 71: Änderung des Suitability Index für *Salmo Trutta 0+* für den Seitenarm in Kleblach durch Schwall-Sunkprozesse

5.4 Schwallwellenverformung

Die Ermittlung der Schwallwellenverformung erfolgt mit Hilfe von zweidimensionaler tiefengemittelter Abflussmodellierung. Grundlage für die Modellierung sind das Geländemodell von Sachsenburg bis Spittal mit einer Gesamtlänge von rd. 12,2 km und einer Fläche von rd. 1,5 km² (siehe Kapitel 4.3) und die Abflussganglinien der Mittelwertszenarien der jeweiligen Jahreszeiten (siehe Kapitel 4.1).

5.4.1 Fließzeiten

Abbildung 72 und 73 zeigen die Abflussganglinien der Szenarien Sommer Mittelwert und Winter Mittelwert. Dabei stellt die blaue Ganglinie den Abfluss am oberen Modellrand bei Fluss-km 571,46 und die grüne Ganglinie den Abfluss am Auslaufprofil bei Fluss-km 559,20 dar. Die gewählten Szenarien decken jeweils den Basisabfluss mit dem geringsten ($Q = 30,75\text{m}^3/\text{s}$) und jenen mit dem höchsten ($Q = 136,93\text{m}^3/\text{s}$) Wert ab.

Wie aus den Abbildungen festzustellen ist, sind die Fließzeiten der Schwallwellen vom Basisabfluss abhängig. Im Sommerszenario beträgt die Fließzeit vom Spitzenabfluss der Ganglinie beim KW Möllbrücke bis zum Spitzenabfluss der Ganglinie am Modellende rd. 1,30 Stunden, im Winterszenario rd. 1,45 Stunden. Der höhere Basisabfluss im Sommer bewirkt aufgrund größerer Wassertiefen eine geringere relative Rauigkeit und somit eine Fließgeschwindigkeitserhöhung. Zusätzlich sinkt das Schwall-Sunkverhältnis im Sommer (1:1,82) im Vergleich zum Winter (1:4,59) deutlich. Man kann daraus schließen, dass die Veränderungen bezüglich Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe oder Sohlschubspannung aufgrund des Schwall im Sommer deutlich geringer ausfallen als im Winter.

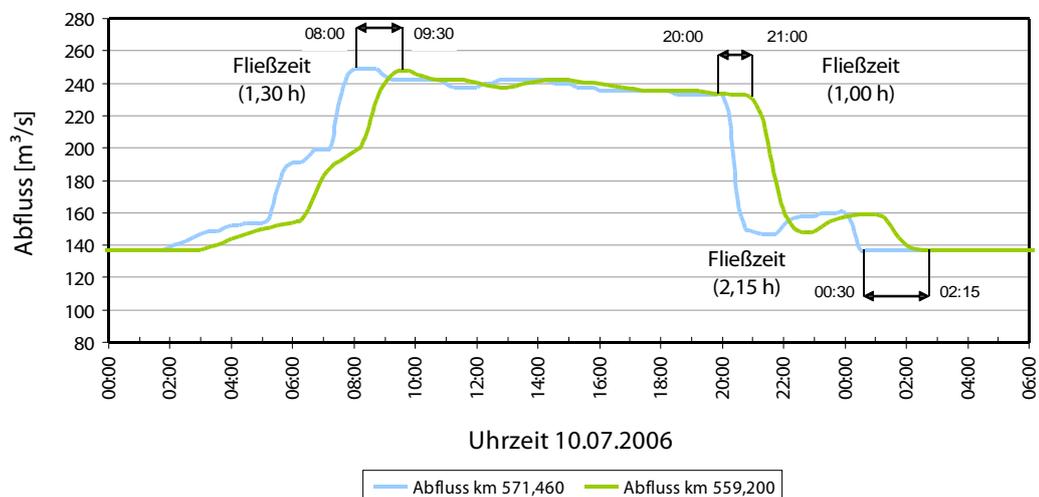


Abbildung 72: Abflussganglinie Schwallwellenverformung Sommer Mittelwert (Basisabfluss $136,93\text{m}^3/\text{s}$), Pfeile = Zeitunterschied zwischen Spitzenabflüssen oder Zeitunterschied zwischen Basisabflüssen

Vergleicht man die Fließzeit der Schwallwelle am Spitzenwert kurz bevor wieder Sunk eintritt, verkürzt sich diese in beiden Schwallwellenszenarien auf ca. eine Stunde. Misst man wiederum die

Fließzeiten an jenem Zeitpunkt bei dem der Basisabfluss wieder erreicht wird, erkennt man beim Winterszenario eine deutlich längere Laufzeit der Welle.

Bezüglich der Schwalldauer kann sowohl im Winter- als auch im Sommerszenario eine Reduktion festgestellt werden. Dauert der Schwall bei Fluss-km 571,46 noch 12,15 bzw. 12,00 Stunden, gemessen an den jeweils ersten und letzten Peaks, an, so verkürzt sich diese Dauer bei Fluss-km 559,20 beim Winter- und Sommerszenario nach rd. 12 km Lauflänge auf 11,30 Stunden.

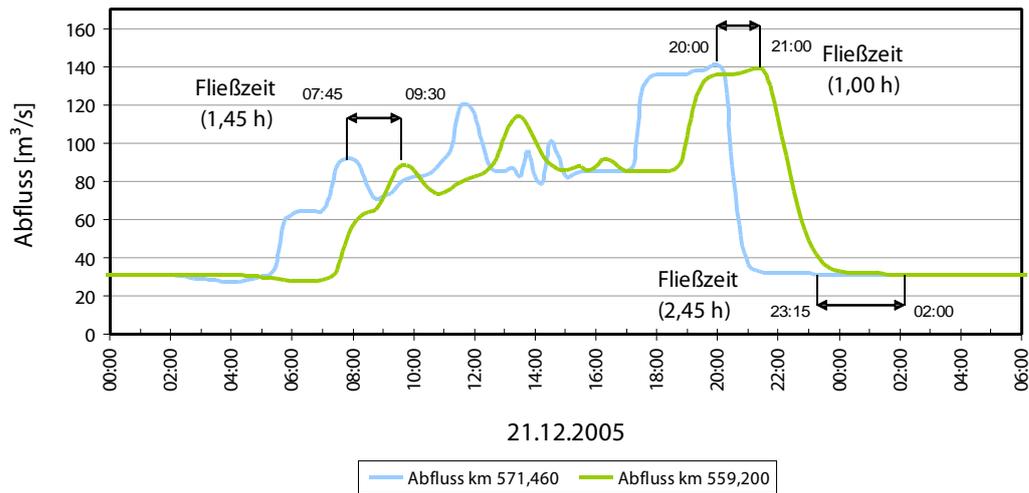


Abbildung 73: Abflussganglinie Schwall Szenario Winter Mittelwert (Basisabfluss $30,75 \text{ m}^3/\text{s}$), Pfeile = Zeitunterschied zwischen Spitzenabflüssen oder Zeitunterschied zwischen Basisabflüssen

5.4.2 Schwallanstiegsraten und -rückgangsraten

Tabelle 15 zeigt die maximalen Anstiegs- bzw. Rückgangsraten der untersuchten Schwallwellen im Untersuchungsgebiet. Die maximalen Anstiegsraten variieren unmittelbar nach dem Kraftwert Möllbrücke bei Fluss-km 571,46 zwischen 1,83 und 3,20 m³/s.min. Am Ende des Untersuchungsabschnitts Spittal bei Fluss-km 559,20 sind diese Raten um bis zu 52,78 % abgemindert und erreichen Werte von 1,05 bis 2,02 m³/s.min, wobei Zusammenhänge mit dem Basisabfluss nur schwer feststellbar sind. Es können zwar beim Winterereignis mit dem geringsten Basisabfluss die höchsten Reduktionen erkannt werden, jedoch ist im Sommer mit dem höchsten Basisabfluss die Reduktion mit 42,78 % nicht am geringsten.

Die maximalen Rückgangsraten der Schwallwelle unmittelbar nach dem Kraftwerk bei Fluss-km 571,46 variieren zwischen 1,10 m³/s im Frühlingsszenario und 3,57 m³/s im Winterszenario. Mit Werten zwischen 0,47 und 1,48 m³/s können hohe Reduktionen der Rückgangsraten von teilweise über 60 % (Winterszenario) am Ende des Untersuchungsabschnitts bei Fluss-km 559,20 festgestellt werden. In diesem Fall ist auch eine Korrelation mit dem Basisabfluss insofern gegeben, dass der höchste Basisabfluss die geringste Reduktion der Rückgangsraten aufweist und umgekehrt.

Tabelle 15: Schwallanstiegs- und Schwallrückgangsraten der ungedämpften und gedämpften Schwallwelle

		Winter		Frühling	
		km 571.46	km 559.20	km 571.46	km 559.20
max Anstiegsrate	[m³/s.min]	2.49	1.18	3.20	2.02
max Rückgangsraten	[m³/s.min]	-3.57	-1.34	-1.10	-0.47
Red. Anstieg	[%]	52.78		36.82	
Red. Rückgang	[%]	62.48		57.44	
		Sommer		Herbst	
		km 571.46	km 559.20	km 571.46	km 559.20
max Anstiegsrate	[m³/s.min]	1.83	1.05	2.12	1.16
max Rückgangsraten	[m³/s.min]	-3.11	-1.48	-1.25	-0.57
Red. Anstieg	[%]	42.78		45.43	
Red. Rückgang	[%]	52.41		54.25	

Abbildung 74 zeigt für den Pegel Drauhofen die Wasserspiegeländerung vom 21.01.2006 bis 27.01.2006. Die Pegelmessstelle befindet sich rd. 2,5 km flussab des Rückgabekanal vom Kraftwerk Malta Unterstufe. Dennoch deutlich zu erkennen ist, dass am Wochenende des 21.01. das Kraftwerk nicht in Betrieb ist. Danach ist eine Pegelschwankung von über 70 cm an

den Wochentagen messbar. Den Pegelschwankungen wurden für diese Schwallereignisse die maximalen Pegelanstiegs- und Pegelrückgangsraten gegenübergestellt. Vergleicht man die kritischen Sunkraten für juvenile Fische von 0,003 m/min (Halleraker et al., 2002) bzw. 0,002 m/min (Saltveit et al., 2001, Meile et al., 2005), so werden diese bei jedem Schwallereignis doch deutlich überschritten.

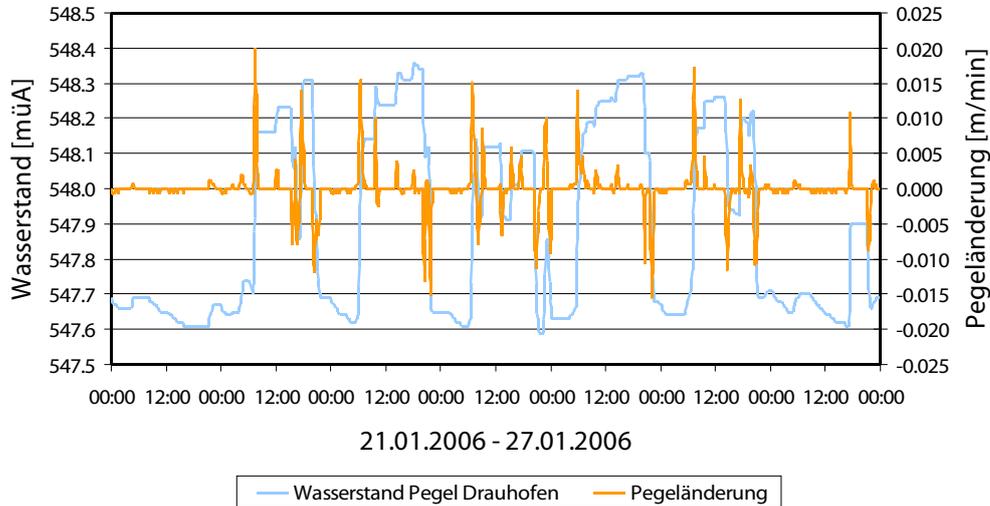


Abbildung 74: Pegeländerung in Meter pro Minute für den Pegel Drauhofen vom 21.01.2006 bis 27.01.2006

Im Zuge dieser Arbeit wurden die Pegeländerungen für die Jahre 2001 bis 2009 ausgewertet. Der Datensatz umfasste rd. 350.000 Werte (15 Minuten Intervalle). Abbildung 75 zeigt die Pegeländerungen in Meter pro Minute für ein typisches Betriebsjahr (2006). Die kritischen Sunkraten werden über das ganze Jahr hinweg überschritten, sind jedoch in der jungfischreichen Frühjahrszeit besonders hoch. In den Sommermonaten scheint der höhere Basisabfluss

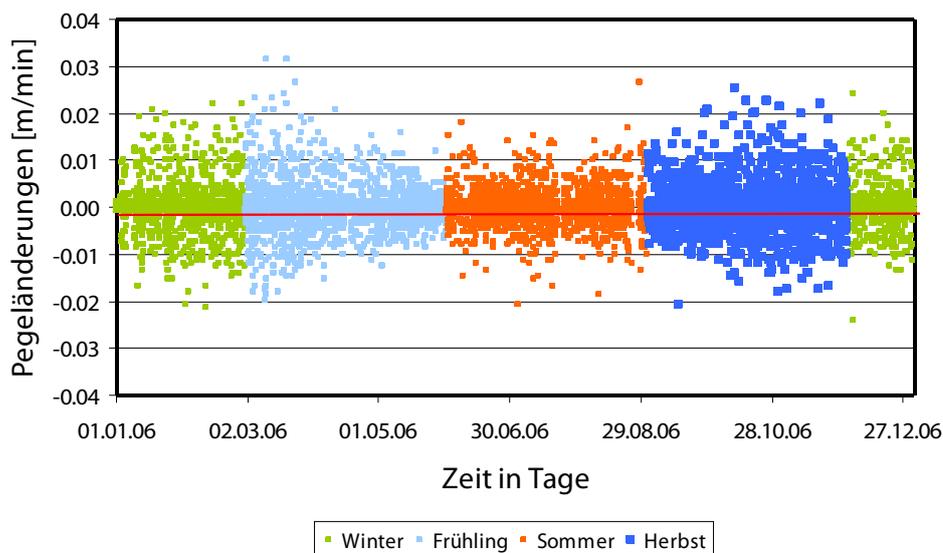


Abbildung 75: Pegeländerung in Meter pro Minute für den Pegel Drauhofen (Jahr 2006), rote Linie = kritische Sunkrate juvenile Fische

diesen hohen Sunkraten entgegenzuwirken. Vergleicht man diese Werte nun mit der Reduktion des Pegelrückgangs aus Tabelle 15, so ist klar zu erkennen, dass selbst nach einer durchschnittlichen Reduktion von 50 % nach 12 km Fließlänge die Sunkraten noch über den kritischen Bereichen liegen.

5.4.3 Schwallwellendämpfung

Die Schwallwelle erfährt mit fortlaufender Ausbreitung Richtung flussab eine gewisse Dämpfung durch fließende Retention im Gewässerbett. Diese Retention ist von den morphologischen Ausprägungen der Gewässersohle und der Form und Dauer der Ausgangswelle abhängig. Abbildung 76 zeigt die methodische Ermittlung der Dämpfung der Welle. Es wurde hierfür die Dauer und Amplitude der Schwallwelle bei Fluss-km 571,46 ermittelt und dem maximalen Abfluss der Welle bei Fluss-km 559,20 gegenübergestellt.

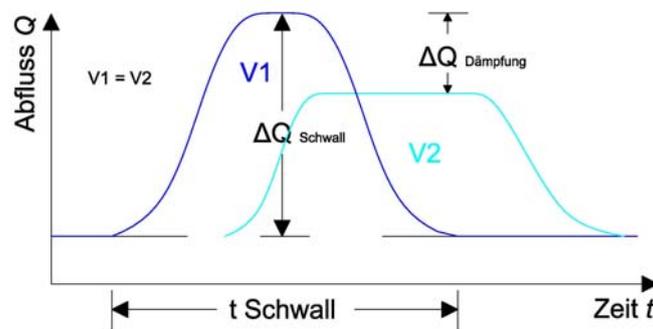


Abbildung 76: Schematische Darstellung zur Erhebung der Parameter

Abbildung 77 zeigt einen linearen Zusammenhang zwischen diesen Parametern. Auf der Abszisse wird das Verhältnis von Schwallamplitude zur Dauer des Schwalls bei Fluss-km 571,46 dargestellt. Auf der Ordinate wird die Differenz des maximalen Abflusses bei Fluss-km 571,46 zum maximalen Abfluss bei Fluss-km 559,20 dargestellt. Als Eingangsdaten dienen die Wellen aus Kapitel 4.1. Die maßgebende Größe ist die Dauer der Welle. Zeitlich kurze Wellen, deren Maximalabfluss wenige Minuten bis max. Stunden andauert werden stärker gedämpft. Umgekehrt, je länger die Maximalabflüsse andauern, desto weniger wird die Schwallwelle gedämpft.

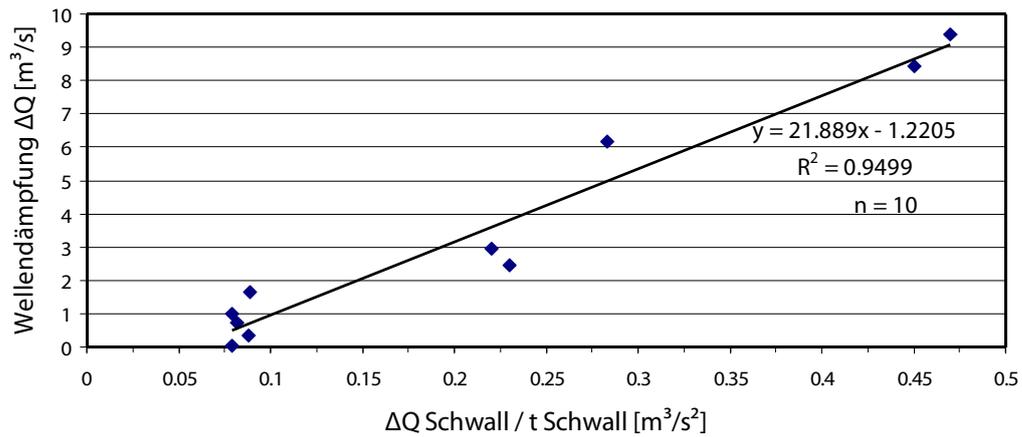


Abbildung 77: Schwallwellendämpfung abhängig von Schwallamplitude und -dauer

Der Grund dafür liegt in der Benetzung der morphologischen Strukturen. Sind diese nach einer gewissen Zeit überströmt, wird die Retentionswirkung durch die Abnahme der Rauigkeit gemindert und die Dämpfung ist kaum noch feststellbar.

5.5 Temperatur

Im Zuge der Feldarbeiten für die vorliegende Diplomarbeit wurden im Projektgebiet insgesamt 11 Temperatursonden installiert (siehe Kapitel 3.2.2). Die Messungen erfolgten vom 05.11.2009 bis zum 13.11.2010 im 15 bzw. 30 Minuten Intervall, wobei aufgrund von Aufzeichnungsfehlern (Trockenfallen der Sonden) und Verlust einiger Sonden nicht alle Zeitreihen vollständig sind.

Beispielhaft zeigt Abbildung 78 den Temperaturverlauf der Drau an zwei aufeinander folgenden Schwallereignissen am 03.12.2009 und 04.12.2009. Zusätzlich werden die Abflüsse der Pegelmessstellen Sachsenburg (ohne Schwall) und Drauhofen (mit Schwall) und der Durchfluss der Turbinen gezeigt.

Sonde 5 wurde in der Referenzstrecke Kleblach-Lind installiert und liefert die Temperaturwerte für den unbeeinflussten Zustand. Sonde 1 misst direkt das turbinierte Wasser aus dem Speicher Rottau. Sonde 3 und Sonde 4 messen die Wassertemperatur rd. 90 m flussab des Zulaufs des Triebwasserkanals an der linken bzw. rechten Uferseite. Dabei zeigt sich, dass Sonde 3 direkt von der Temperatur des turbinierten Wasser abhängt, jedoch bei Sonde 4 die Durchmischung noch nicht vollständig stattgefunden hat und daher noch weitgehend die unbeeinflusste Temperatur der Drau misst. Sonde 10 misst die Wassertemperatur rd. 10 km flussab des Triebwasserzulaufs in der Untersuchungsstrecke Spittal.

Sonde 1 misst zu Beginn des Schwallereignisses am 03.12.2009 rd. 4,6 Grad und schwankt im weiteren Tagesverlauf zwischen 3,5 und 4,3 Grad. Am 04.12.2009 sind zu Schwallbeginn rd. 3,2 Grad Wassertemperatur im Turbinenauslauf messbar, pendelt sich aber im Verlauf des Tages ebenfalls zwischen 3,5 und 4,5 Grad ein. Betrachtet man in Abbildung 78 die Ganglinie von Sonde 10, erkennt man, dass die Temperatur zwischen der unbeeinflussten Sonde 5 und der Sonde 1 liegt. Erklärbar ist dieser Umstand durch das vorliegende Mischungsverhältnis von rd. 50 m³/s der Drau und rd. 50 m³/s turbiniertes Wasser. Somit verursacht die verzögerte Abkühlung des Speicherwassers an diesen Tagen ein rd. 1,5 Grad wärmeres Wasser als dies natürlich in der Drau in dieser Jahreszeit zu erwarten wäre.

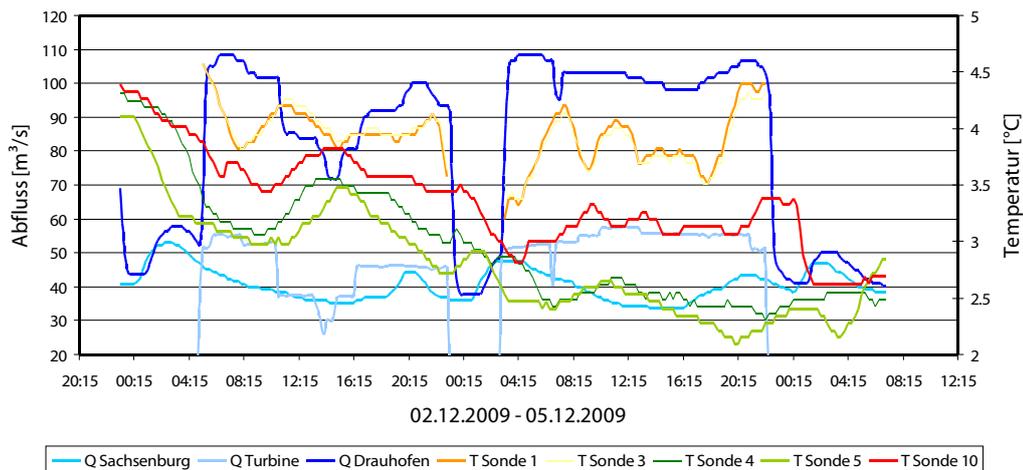


Abbildung 78: Temperaturganglinien der Drau bei einem Schwallereignis im Winter

Abbildung 79 beschreibt den Temperaturverlauf der Drau vom 09.08.2010 bis 13.08.2010. Dabei zeigt sich, dass bei höheren Abflüssen im Sommer keine eindeutigen Aussagen betreffend der Temperaturänderung möglich sind. Der Verlauf vom 09.08.2010 bis 11.08.2010 schwankt generell mit der tageszeitlichen Erwärmung. Am 09.08.2010 ist jedoch trotz Schwall kein Temperaturanstieg bei Sonde 10 gegenüber Sonde 5 feststellbar. Am 10. und 11.08.2010 steigt die Temperatur der Sonde 10 gegenüber Sonde 5, ist jedoch nicht eindeutig auf den Schwall zurückzuführen, sondern hängt möglicherweise mit der Sonneneinstrahlung zusammen. Die Temperaturzunahme von Sonde 10 am 12.08.2010 ist vom Schwall verursacht.

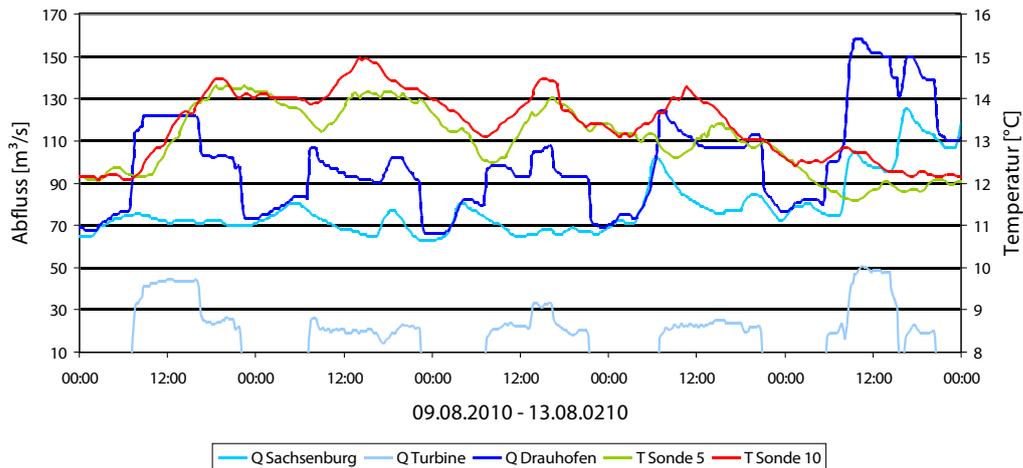


Abbildung 79: Temperaturganglinien der Drau bei einem Schwallereignis im Sommer

Betrachtet man Abbildung 80 und 81, so sind in beiden Diagrammen Temperaturänderungen feststellbar. In Abbildung 80 scheint die Temperaturänderung auf den ersten Blick jedoch nicht nur vom Schwall abzuhängen, sondern auch von anderen Faktoren, wie z.B. Lufttemperatur beeinflusst zu sein.

Abbildung 81 dagegen lässt annehmen, dass die Temperaturerhöhungen vom Schwall verursacht wurden. Bei näherer Betrachtung stellt sich indessen heraus, dass die Temperaturerhöhungen am 03.12.2009 und 04.12.2009 durch das turbinierete Wasser aus dem Speicher Rottau verursacht wurden.

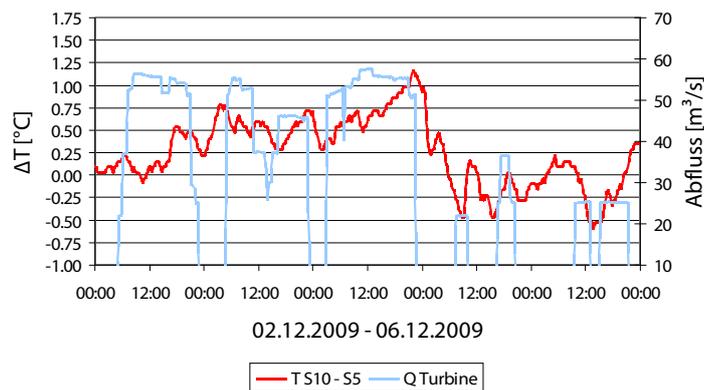


Abbildung 80: Temperaturänderung bei Schwalleinfluss im Winter

Wie schon oben erwähnt, ist die Temperaturänderung vom 09.08.2010 bis 13.08.2010 nicht eindeutig dem Schwall zuzuordnen, sondern hängt viel mehr mit anderen Faktoren zusammen.

men. Die Temperaturerhöhungen sind teils auf die Sonneneinstrahlung und teils auf den Schwall zurückzuführen.

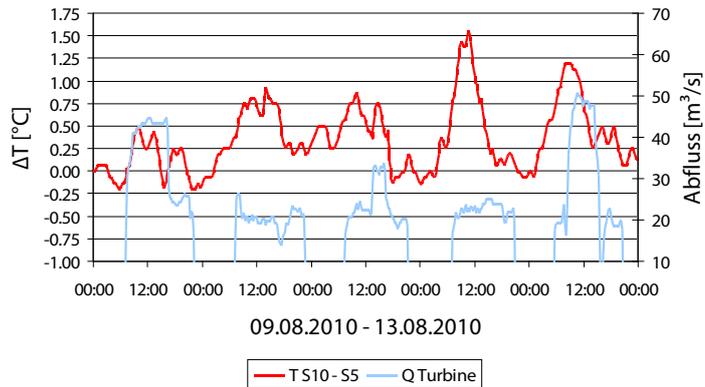


Abbildung 81: Temperaturänderung bei Schwalleinfluss im Sommer

Die Diagramme verdeutlichen, dass mehrere Faktoren für den Temperaturverlauf verantwortlich sind und für gesicherte Aussagen diesbezüglich umfassende Messungen der Temperatur im Speicher Rottau, Messungen der Lufttemperatur, der Sonneneinstrahlung und der Wassertemperatur der Drau notwendig wären.

6. Diskussion

6.1 Mesohabitatverteilung

Die durch Schwall verursachte Änderung der Mesohabitate (Riffle, Fast Run, Run, Pool, Backwater, Shallow Water) konnte mit Hilfe der Ergebnisse der numerischen Modellierung und des Programmes Habitat Evaluation Model (HEM) abgeschätzt werden. Dabei zeigt sich, dass in Summe der gemeinsame Anteil an Fast Runs und Runs bei 10 von 12 berechneten Szenarien über 80 % liegt. Lediglich in den Winterszenarien Mittelwert der Untersuchungsstrecken Spittal und Kleblach liegt deren Gesamtanteil bei über 70 %. Während der Sunkphase dominieren aufgrund der gleichförmigen Strömung und moderater Fließgeschwindigkeiten die Runs. Steigt bei Schwall die Fließgeschwindigkeit, werden diese Bereiche größtenteils zu Fast Runs.

Die Flächenanteile der Mesohabitate Riffle, Pool und Backwater spielen in allen Untersuchungsabschnitten eine untergeordnete Rolle und kommen während der Sunk- und Schwallphase zusammen nicht über wenige Prozent hinaus. Den höchsten Anteil hat hier die Strecke Spittal. Im Gegensatz zu den gestreckten Flusstypen bei Kleblach und Rosenheim weist dieser Abschnitt zwei Bögen mit Kolk-Furt Übergängen auf. Bei geringen Basisabflüssen erreichen die genannten Mesohabitate rd. 10 % Flächenanteil, werden aber mit steigendem Basisabfluss in den Sommermonaten auf rd. 3 % reduziert.

Höhere Flächenanteile sind bei den Flachwasserhabitaten zu verzeichnen. Die Entfernung der Ufersicherung und die damit verbundene Abflachung der Böschung bewirken je nach Jahreszeit und Basisabfluss Flachwasseranteile zwischen 6,0 und 17,3 %. Interessanterweise nehmen die Flachwasserbereiche bei allen Szenarien mit Auftreten der Schwallwelle zu. Das ist auf die Überströmung der Schotterbänke und Inselfelder in den revitalisierten Bereichen zurückzuführen. Aus diesem Grund ist bei steigendem Abfluss ein nichtlinearer Zuwachs der benetzten Fläche erkennbar und fällt z.B. bei einer Abflusserhöhung von 30 auf 90 m³/s höher aus als darüber. Für aquatische Organismen bedeutet dies eine erhöhte Veränderung der besiedelbaren Wasserwechselzone und kann zu beträchtlichen Distanzen beim Habitatwechsel innerhalb kurzer Zeit führen (Schneider & Noack, 2009).

In weiterer Folge konnte nach dem Schwallereignis bei Sunk ein Anstieg der Flachwasserbereiche festgestellt werden. Das deutet auf Bereiche hin, die vom Hauptgewässer abgetrennt sind und können somit eine weitere Erhöhung des Strandungsrisikos darstellen. Solche Flächen (Pocket Pools) entstehen an Nebengerinnen und Senken auf Kiesbänken, die bei erhöhter Wasserführung benetzt sind, aber bei zurückgehendem Wasserspiegel die Anbindung zum Hauptgewässer verlieren. Verbleiben aquatische Organismen in diesen Bereichen, wird ihnen die Rückzugsmöglichkeit zum Hauptgewässer genommen. Fallen diese Bereiche nach gewisser Zeit trocken, kann dies letal auf die gestrandeten Organismen wirken (Schneider & Noack, 2009). Hunter (1992) unterscheidet bezüglich des Strandens zwischen „Beaching“ bei zu hohen Sunkraten (vergleiche Kapitel 6.3) und „Trapping“ bei Isolation von Fischen in „Pocket Pools“. Zusätzlich konnte die Annahme verfestigt werden, dass bei hoher benetzter Breiten- und Wassertiefenänderung der Flächenanteil an Pocket Pools steigt.

Zusammenhänge zwischen dem Schwall-Sunkverhältnis und dem Zuwachs an Flachwasserhabitaten konnten nur ungenügend beschrieben werden. Die Flächenänderung ist unter anderem abhängig vom Basisabfluss und je nach morphologischer Gegebenheit unterschiedlich. So

konnten in der Untersuchungsstrecke Rosenheim, bei sehr flachen Ufergradienten (aufgrund von erst kürzlich abgeschlossener Aufweitung) die höchste Flächenausdehnung der Flachwasserhabitate bei Schwall beobachtet werden. Die in Kleblach schon länger bestehenden Aufweitungen reagierten dagegen nicht in diesem Ausmaß, stellen aber hingegen bei Sunk höhere Anteile an Shallow Water Habitaten bereit.

6.2 Mikrohabitatverteilung

Die durchgeführte Mikrohabitatmodellierung mit dem Programm Habitat Evaluation Model (HEM) konnte deutliche Auswirkungen des Schwall auf geeignete Lebensräume der Bachforelle in den Altersstadien 0+, 1+ und Adult feststellen.

In jedem untersuchten Abschnitt und bei allen Altersstadien korreliert die Größe der gewichteten nutzbaren Fläche (weighted usable area WUA) mit dem Basisabfluss dahingehend, dass bei geringer Wasserführung (Winterszenario) die meisten nutzbaren Lebensräume zur Verfügung stehen und umgekehrt.

Für die juvenile Bachforelle (0+) konnten bei Sunk in allen Untersuchungsstrecken maximal 5,0 % WUA der gesamten benetzten Fläche festgestellt werden. Diese Lebensräume beschränken sich auf die Randbereiche von Kiesbänken oder solitären Inselfeldern. Bei Schwall verlagern sie sich deutlich und können wie schon in früheren Kapiteln erwähnt zu beträchtlichen lateralen Distanzen bei einem Habitatwechsel führen (Saltveit et al., 2001; Schneider & Noack, 2009). Des Weiteren verringern sich trotz Zunahme von Flachwasserbereichen die WUA's und erreichen nur noch maximal 1,8 %. Die Fließgeschwindigkeit ist bei Schwall auch in den seicht überströmten Bereichen für die juvenile Bachforelle außerhalb ihres Toleranzbereiches. Die ermittelte Zunahme an WUA bei Sunk gegenüber vor dem Schwallereignis beruht auf den in Kapitel 6.1 beschriebenen Pocket Pools. Diese Bereiche stellen zwar aufgrund von Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit geeignete Habitate dar, können aber angesichts der fehlenden Verbindung zum Hauptgewässer nicht zu diesen dazu gezählt werden. Sie stellen vielmehr ein zusätzliches Gefährdungspotential infolge von Austrocknung dar.

Die gewichteten nutzbaren Flächen fallen für 1+ Bachforellen bei Sunk im Vergleich etwas höher aus und erreichen maximal 17,1 %. Relativ große Unterschiede können zwischen den Jahreszeiten festgestellt werden. In der Detailstrecke Rosenheim beträgt z.B. die WUA im Sommerszenario nur rd. 5,3 %, im Winterszenario dagegen 16,9 %. Tritt Schwall auf, so kann wie schon bei den juvenilen Bachforellen ein Rückgang der gewichteten nutzbaren Habitate festgestellt werden. Die WUA für einjährige Bachforellen beschränkt sich bei Schwall auf maximal 5,5 %.

Den höchsten Anteil an WUA's hat die adulte Bachforelle. Auch bei diesem Altersstadium können beträchtliche Unterschiede in den Jahreszeiten festgestellt werden. So beträgt z.B. in der Detailstrecke Spittal bei Sunk der Flächenanteil im Winterszenario 50,3 %, jedoch im Sommerszenario nur mehr 14,0 %. Limitierend wirken die hohen Fließgeschwindigkeiten bei gleichzeitig hohem Basisabfluss. Bei Schwall ist ein genereller Rückgang der WUA gegeben und es sind je nach Jahreszeit teilweise hohe Einbußen von bis zu 36,6 % (US Spittal Winter Mittelwertszenario) festzustellen.

Ein Anstieg der WUA bei Schwall, wie in anderen Arbeiten beschrieben (z.B. Valentin et al., 1996), konnte an der Drau an keiner Untersuchungsstrecke festgestellt werden. Bei gesteiger-

tem Abfluss werden in den revitalisierten Bereichen der Drau die nutzbaren Lebensräume für alle Altersstadien der Bachforelle dezimiert, sind aber nach wie vor vorhanden. Anthropogen erheblich veränderte Wasserkörper wie z.B. an der Ill oder dem Inn weisen dagegen bei Schwall oftmals wenig bis keine brauchbaren Habitate mehr auf (Fellner, 2010; Köfmüller, 2010). **Es ist naheliegend, dass strukturierte, naturnahe Flussabschnitte den Gewässerorganismen bei Schwall bessere Rückzugsmöglichkeiten bieten als dies bei künstlichen Gewässerabschnitten der Fall ist.**

6.2.1 Morphologisch unterschiedliche Strukturen

Die schwallbedingte Habitatänderung für die juvenile Bachforelle wurde an morphologisch unterschiedlichen Strukturen (Pointbar, 2xAufweitung, Seitenarm) mit Hilfe des HEM untersucht. Generell kann ein Rückgang des verfügbaren Lebensraumes mit steigendem Abfluss erkannt werden. Dieser ist aber von der morphologischen Einheit abhängig. Die größte Rückzugsmöglichkeit bei hohen Abflüssen (bis 250 m³/s) bietet lt. Modell die Pointbar. Hier können am Innenbogen noch Bereiche mit für Jungfische günstigen Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen festgestellt werden. Die ausgeprägten Schotterflächen in der strukturreichen Aufweitung in Kleblach reagieren dagegen sehr sensibel auf Abflusserhöhungen und die Jungfische finden ab rd. 150 m³/s Durchfluss kaum noch geeignete Lebensräume vor. Vergleichbar mit natürlichen Hochwässern, müssen die Fische in Zubringersysteme oder in andere, für sie geeignete Lebensräume, flüchten.

6.3 Schwallwellenverformung

Mit Hilfe des numerischen Modells konnte die zeitliche Verzögerung und Abschwächung einer Schwallwelle mit zunehmender Fließdistanz behandelt werden. Trotz des nur rd. 12 km langen Modells wurden die Trends eindeutig erkannt. Wie Hunter (1992) bereits am Skagit River in den USA feststellte, erfährt die fortschreitende Welle eine Abflachung. In weiterer Folge konnte eine Reduktion der maximalen Raten des Pegelanstiegs und Pegelrückgangs festgestellt werden. Die hervorgerufenen Verzögerungen haben aber andererseits zur Folge, dass die Dauer der Welle vom Anstieg der Welle bis zur Wiedererreichung des Basisabflusses zunimmt (= Abstiegsgeschwindigkeit wird reduziert).

Wichtige Rahmenbedingungen für die Verformung der Schwallwelle stellen der Basisabfluss und die Gerinnemorphologie dar (Hunter, 1992). Sind bei hohem Basisabfluss flussmorphologische Strukturen wie etwa Nebenarme, Eintiefungen, Aufweitungen oder andere Rückhaltebereiche bereits geflutet (fließende Retention), bewegt sich die Schwallwelle darüber hinweg und wird nicht weiter verformt bzw. verzögert (Baumann & Klaus, 2003). Die maßgebende Größe für die Dämpfung der Welle stellt neben der Morphologie, die Dauer des Schwall dar. Es konnte ein linearer Zusammenhang zwischen den Parametern ΔQ Schwall/t Schwall und der Wellendämpfung ΔQ nachgewiesen werden. Im Fall von langandauernden Wellen tritt das selbe Phänomen wie bereits bei der oben beschriebenen fließenden Retention auf und es kommt flussab zu keiner weiteren Dämpfung. Diese schwallbeeinflussenden Faktoren sind für natürliche und/oder revitalisierte Flüsse individuell zu ermitteln und lassen sich nur bedingt auf andere Gewässer übertragen. Es sollte daher vermieden werden, Interpolationen und Extrapolationen von Daten anderer, bereits untersuchter Gewässer vorzunehmen (Hunter, 1992).

Die Translation der Schwallwelle betrug im Modell zwischen 5 und 9 Minuten/km. Das entspricht einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von 2 – 3 m/s. Vergleicht man diese Werte mit der Literatur (Hunter, 1992; Bauman & Klaus, 2003) liefert das Modell brauchbare und reale Werte und kann somit für eine Bewertung herangezogen werden.

Bezogen auf die schwallbedingten Kennwerte Pegelanstiegs- und Pegelrückgangsraten wurden Erkenntnisse über das Ausmaß der Veränderung mit Hilfe des hydrodynamischen Modells beschrieben. In einem ersten Schritt wurden die Pegeländerungen in m/min für die Jahre 2001 – 2009 der hydrografischen Messstelle Drauhofen ermittelt. Die Betriebswoche vom 21.01.2006 bis 27.01.2006 wurde näher betrachtet und es konnten bei jedem vorkommenden Schwallereignis dieser Woche Rückgangsraten über 0,01 m/min festgestellt werden. Das Risiko des Strandens für juvenile Fische bei zu schnellem Wasserspiegelrückgang schließen Saltveit et al. (2001) und Halleraker et al. (2002) bei einem maximalen Pegelrückgang von 0,002 bzw. 0,003 m/min aus. Bei einem Versuch am Fluss Nidelva in Norwegen strandeten ca. 60 % der 0+ Atlantischen Lachse (Größe 52 mm +/- 5,09) bei einem Pegelrückgang von 0,015 m/min (Saltveit et al., 2001). Unter dieser Annahme stellen die Pegelschwankungen an der Drau ein erhöhtes Risiko für Jungfische dar. Allerdings weist Saltveit et al. (2001) auch darauf hin, dass durchschnittliche Rückgangsraten nicht einfach auf das Strandungsrisiko zurückzuführen sind, sondern Faktoren wie etwa Temperatur, Jahreszeit, Tageszeit (Tag/Nacht) oder Lichtbedingung entscheidenden Einfluss haben.

Beachtliche Reduktionen der Rückgangsraten von über 50 % in allen berechneten Szenarien am Ende des 12 km langen Abschnittes der Drau und den darin enthaltenen revitalisierten Strecken können festgestellt werden. Bezogen auf die oben erwähnten Kriterien wäre dies allerdings nach 12 km immer noch deutlich über den kritischen Sunkraten.

6.4 Temperatur

Um die durch Schwall hervorgerufene Wassertemperaturänderung zu messen, wurden im Projektgebiet insgesamt 11 Temperatursonden für ca. 1 Jahr installiert.

Der Unterschied zwischen der hydrologisch unbeeinflussten Wassertemperatur der Drau und dem turbinieren Wasser betrug im Winter teilweise bis zu 2 °C und bewirkte flussab der Einleitung eine Erhöhung der Wassertemperatur um bis zu 1,5 °C. Kurze Schwallereignisse verursachten teilweise einen Temperaturabfall über 0,5 °C. Nach Beitinger et al. (2000) haben rasche Temperaturschwankungen negative Auswirkungen auf den Metabolismus von Fischen und kann nach ihren Untersuchungen bei zu schnellem Temperaturabfall zu Lethargie führen und einen erschwerten Ortswechsel herbeiführen. Bachforellen sind im Winter bei Temperaturen <4,5 °C im Vergleich zu höheren Temperaturen im Sommer besonders betroffen (Saltveit et al., 2001). Bei den Messungen im Sommer konnten keine eindeutig auf den Schwall zurückzuführenden Temperaturänderungen festgestellt werden.

Für ein umfassendes und vollständiges Temperaturmonitoring sind zusätzliche Faktoren zu berücksichtigen. Baumann und Klaus (2003) weisen bei den temperaturverändernden Faktoren auf die Ausgestaltung der Kraftwerksanlage (Zusammensetzung des Abflusses vor der Wasserrückgabe, Art der Speicherung, Tiefe der Wasserentnahme) und die Jahreszeit hin. Dieser Aspekt ließ sich auch an der Drau beobachten. Die Verweildauer des Wassers im Zwischenspeicher Rottau (im Vergleich zu alpinen Speicherseen ein Speicher mit geringen Was-

sertiefen) hat offensichtlich hohen Einfluss auf die Temperatur des turbinierten Wassers und in weiterer Folge auf die Temperaturänderung im Gewässer selbst. An der Drau zeigte sich im Winter zusätzlich ein Zusammenhang mit der Lufttemperatur und im Sommer mit der Sonneneinstrahlung. **Wichtigstes Kriterium diesbezüglich dürfte das Verhältnis Schwall zu Sunk sein.** Hohe Basisabflüsse lassen geringe Temperaturänderungen vermuten. Problematisch können Vergleiche der Temperatur zwischen Schwall- und Sunkphase werden, wenn bereits das bei Sunk abfließende Restwasser in vielen Fällen gegenüber dem natürlichen Zustand schon thermisch beeinflusst ist (Baumann & Klaus, 2003).

7. Zusammenfassung

Im Hinblick auf die Erstellung von nationalen Flussgebietsbewirtschaftungsplänen liefert diese Arbeit Grundlagen für die Bewertung des Schwallenflusses an Fließgewässern. Bisherige internationale und nationale Arbeiten rund um das Thema Schwall erfassen den Einfluss variabler Flussmorphologie und Gewässerhydraulik oder den Einfluss von Revitalisierungsstrecken (Aufweitungen) auf künstlich hervorgerufene Abflussschwankungen nur ungenügend. Der Hauptaspekt dieser Arbeit liegt in der Beurteilung der Schwallauswirkungen mit Hilfe von Modellansätzen. Hydraulische Parameter wurden mit dem Modell hydro_as-2d und fischökologische Auswirkungen mit dem Habitat Evaluation Model ermittelt.

Erkenntnisse über die Dämpfung der Schwallspitze und der Pegelanstiegs- und Pegelrückgangsraten mit fortlaufender Distanz zur Kraftwerkseinleitung konnten gewonnen werden. Die Dämpfung der Welle hat zur Folge, dass flussab der Kraftwerkszuleitung die Gesamtdauer der Welle verlängert wird. Die Dauer der Wellenspitze wird durch natürlichen Rückhalt im Gewässerbett als Folge jedoch verringert. Weiters kann die Abflussspitze der Schwallwelle reduziert werden. Bezüglich der Pegeländerungen konnten beträchtliche Reduktionen der Raten festgestellt werden, waren aber nach rd. 12 km immer noch über den kritischen Sunkraten für juvenile Fische. Der Basisabfluss scheint die bedeutendste Rolle in Bezug auf die Wellenverformung zu spielen. Es konnten bei niedrigem Basisabfluss die höchsten Wellenverformungen und Reduktionen festgestellt werden und umgekehrt. Jedoch treten bei niedrigen Basisabflüssen hohe Wasserspiegelschwankungen auf.

Des Weiteren konnten mit Hilfe der Habitatmodellierung die Auswirkungen des Schwalls auf die Mesohabitatverteilung ermittelt werden. Trotz strukturreicher Revitalisierungsabschnitte der Drau beschränkt sich aufgrund der gestreckten bis pendelnden Flussmorphologie der Großteil der benetzten Fläche auf die Mesohabitate Rinner und Schneller Rinner. Wobei bei Sunk der Anteil von Rinner überwiegt und bei Schwall infolge der höheren Fließgeschwindigkeiten eine Verschiebung hin zu den Schnellen Rinnern festzustellen war. Andere Mesohabitate wie Kolke oder Furten sind nur minimal vertreten. Flachwasserhabitate sind vorwiegend an Uferbereichen zu finden. Flach überströmte Schotterbänke und -inseln lassen bei gesteigertem Abfluss in allen Untersuchungsstrecken einen Anstieg der Flachwasserhabitate erkennen. Trotz des gesteigerten nutzbaren Lebensraumes für juvenile Fische und Anstieg der Rückzugsmöglichkeiten stellen diese Flächen angesichts der schnellen Abflussschwankungen ein zusätzliches Risiko für das Stranden der Fische dar. Eine weitere Erhöhung dieses Risikos stellt die Abtrennung benetzter Flächen vom Hauptgewässer dar (Pocket Pools). Bei detaillierter Erfassung der Gerinnemorphologie ist die hydraulische Modellierung ein geeignetes Instrument für eine erste Abschätzung dieser Bereiche. Des Weiteren konnte mit Hilfe der Mikrohabitatmodellierung für alle Altersstadien der Bachforelle (*Salmo Trutta*) ein Rückgang der nutzbaren Lebensräume bei Schwall beobachtet werden. Neben dem Lebensraumverlust sind vor allem Jungfische infolge der Wasserspiegelschwankungen mit beträchtlichen Habitatshifts betroffen. Positiv

zu vermerken ist, dass die revitalisierten Bereiche trotz des gesteigerten Abflusses bei Schwall noch geeignete Habitate bieten. Unterschiedliche Strukturen reagieren jedoch auch unterschiedlich auf Abflussschwankungen. So bietet z.B. ein gut strukturierter Innenbogen (Pointbar) bei hohen Abflüssen noch Rückzugsmöglichkeiten für Jungfische. Im Gegensatz kann bei einem strukturreichen Seitenarm, der bei hohen Abflüssen zu hohe Fließgeschwindigkeiten aufweist, das Jungfischhabitat verloren gehen.

Das Ausmaß der Kanalisierung (Verbauung) eines Fließgewässers ist entscheidend dafür, wie stark sich Schwälle auf seine ökologische Struktur und Funktion auswirken. Bei natürlichen oder naturnahen flussmorphologischen Strukturen wie Kiesbänken, Schnellenbereichen oder Totholz können sich bei Schwellbetrieb innerhalb einigermaßen „verträglicher“ Grenzen auch anspruchsvolle und teilweise selten gewordene Organismen behaupten.

Gemäß den Erkenntnissen des vorliegenden Projekts, ist zu Empfehlen, die Bewertungen des Schwalleinflusses flusstypspezifisch bzw. durch aus auch streckenspezifisch (mehrere Bewertungen in einem Fließgewässer notwendig) durchzuführen. Basierend auf diesen Analysen können hydromorphologische Defizite aufgezeigt werden und als Grundlage für eine mögliche standortgerechte, ebenfalls flusstypspezifische Maßnahmenplanung gelten.

8. Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

- Arthington, A.H. & Welcomme, R.L. (1995): The Condition of Large River Systems of the World. In Armtrout, N.B. & R.J. Wolotira Jr (eds), Condition of the World's Aquatic Habitats. World Fisheries Congress. Science Publishers, Lebanon, NH, USA: 44-75.
- Baumann, P. & Klaus, I. (2003): Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes. Ergebnisse einer Literaturstudie. Mitteilungen zur Fischerei. Nr. 75. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Beitinger, T.L., Bennett, W.A. & McCauley, R.W. (2000): Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environmental Biology of Fishes* 58: 237-275.
- Bundeswasserbauverwaltung, (2003): LIFE Projekt Auenverbund Obere Drau – Endbericht, 12/2003, Bundeswasserbauverwaltung vertreten durch Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt.
- Fellner, Th. (2010): Grundlagenuntersuchung und Methodikentwicklung zur Bewertung des Schwallenflusses bei unterschiedlichen Flusstypen - Fallbeispiel Inn. Diplomarbeit IWHW, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Fink, M.H., Moog, O. & Wimmer, R. (2000): Fließgewässer Naturräume Österreichs. - Umweltbundesamt, Monographien Band 128, 110 pp., Wien.
- Formann, E., Habersack, H. & Schober, S. (2007): Morphodynamic river processes and techniques for assessment of channel evolution in Alpine gravel bed rivers. *Geomorphology*. 2007; 90(3-4): 340-355.
- Fritsch, A.J. (1872): Die Wirbeltiere Böhmens: Ein Verzeichnis aller bisher in Böhmen beobachteten Säugetiere, Vögel, Amphibien und Fische. *Archiv für die naturwissenschaftliche Landesdurchforschung von Böhmen*: 1-152.
- Habersack, H., Klösch, M., Blamauer, B., Seitz, H. & Kreisler, A. (2010): Flussmorphologisches Monitoring an der Oberen Drau: Kleblach-Lind und Spittal. Ergebnisse des Monitorings 2001 bis 2009. Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 18 - Wasserwirtschaft., 357.
- Habersack, H., Klösch, M., Blamauer, B., Seitz, H., Kreisler, A. & Holzapfel, P. (2011): Flussmorphologisches Monitoring. LIFE - Lebensader Obere Drau. Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 18 - Wasserwirtschaft, 501.
- Habersack, H., Seitz, H., Kreisler, A. (2008) Geschiebemessung an Drau - Zwischenbericht 2007 und 2008. Amt der Kärntner Landesregierung, 89.

- Halleraker, J.H., Saltveit, S.J., Harbey, A., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.-P., Kohler, B. (2002): 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.
- Hauer, C., Mandlbürger, G. & Habersack, H. (2009): Hydraulically related hydromorphological units: descriptions based on a new conceptual mesohabitat evaluation model (MEM) using LiDAR data as geometric input. *River Research and Applications* 25(1): 29-47.
- Horton, R.F. (1945): Erosional Development of Streams and their Drainage Basin. In: *Bull. Geol. Soc. Am.* 56.
- Hunter, M.A. (1992): Hydropower flow fluctuations and salmonids: a review of the biological effects, mechanical causes and options for mitigation. Technical Report No. 119. State of Washington. Department of Fisheries.
- Hydrographisches Jahrbuch, 2007: Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2007, 115. Band, BMLFUW, Abteilung VII 3 – Wasserhaushalt, Wien.
- Illies, J. & Botosaneanu, L. (1963): Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, Stuttgart: 1-57 pp.
- Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S. & Schmutz, S. (2003): *Angewandte Fischökologie in Fließgewässern*. Facultas Universitätsverlag, Wien.
- Karr, J.R. (1993): Protecting ecological integrity: an urgent societal goal. *Yale Journal of International Law*: 297-306.
- Kilian, W., Müller, F., Starlinger, F. (1993) *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- Köfmmüller, St. (2010): Grundlagenuntersuchung und Methodikentwicklung zur Bewertung des Schwalleinflusses bei unterschiedlichen Flusstypen - Fallbeispiel Ill. Diplomarbeit IWHW, Universität für Bodenkultur, Wien.
- LIMNEX, (2004): Auswirkungen des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fließgewässer: Grundlagen zur Beurteilung. WWF, Zürich.
- Ludescher, H. (1992): Energiequelle Drau: ein Streifzug durch die bewegte Geschichte der Wasserkraftnutzung der Drau in Kärnten; *Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft* 45 (9): 335-348.
- Mader, H., Steidl, T. & Wimmer, R. (1996): Abflussregime Österreichischer Fließgewässer. Beitrag zu einer Bundesweiten Fließgewässertypologie. Umweltbundesamt. Monographien, Bd. 82, Wien.

- Meile, T., Fette, M., Baumann, P. (2005): Synthesebericht Schwall/Sunk, Publikation des Rhone-Thur Projekts.
- Moog, O., Schmidt-Kloiber, A., Ofenböck, T. & Gerritsen, L. (2001): Aquatische Ökoregionen und Bioregionen Österreichs – eine Gliederung nach geoökologischen Millieufaktoren und Makrozoobenthos-Zönosen. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 106 pp., Wien.
- Nujić, M. (2003): Vorstellung und Diskussion des zweidimensionalen Strömungsmodells HYDRO_AS-2D, Fließgewässermodellierung – von der Ein- zur Mehrdimensionalität, ÖWAV-Seminar, BOKU Wien.
- Omernik, J.M. (1995): Ecoregions: A Spatial Framework for Environmental Management. In Wayne D. S. & Simon, T.B. Biological Assessment and Criteria; Tools for Water Resource Planning and Decision Making. Lewis Publishers, Boca Raton [u.a.]: 49-62.
- Petutschnig, W., Petutschnig, J. & Egger, G. (1991): Gefährdete Augewässer im Oberen Drautal. Carinthia II, 181./101.Jg.: 79-87, Klagenfurt.
- Pironneau, O. (1989): Finite Element Methods for Fluids, Masson, Paris, 1989.
- Rieger, R. (in Bearbeitung): Grundlagenuntersuchung und Methodikentwicklung zur Bewertung des Schwalleinflusses bei unterschiedlichen Flusstypen - Fallbeispiel Drau. (Arbeitstitel) Diplomarbeit IWHW, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Saltveit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V., Harbey, A. (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 and Management 17: 609-622.
- Schneider, M. & Noack, M. (2009): Untersuchung der Gefährdung von Jungfischen durch Sunkereignisse mit Hilfe eines Habitatsimulationsmodells. Wasser Energie Luft 2-2009, S. 115-120
- Schober, S. (1999) Messung des Feststofftransportes an der Oberen Drau und Unteren Isel. Diplomarbeit IWHW, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Schuster, R., Pestal, G., Reitner, J.M. (2006) Erläuterungen zu Blatt 182 Spittal an der Drau / von Ralf Schuster, Gerhard Pestal & Jürgen M. Reitner; mit Beitr. v. Andreas Ahl u.a., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Stigler, H., Huber, C., Wulz, C., Todem, C. (2005): Energiewirtschaftliche und ökonomische Bewertung potenzieller Auswirkungen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie auf die Wasserkraft, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Strahler, A.N. (1957): Quantitative Analysis of Watershed in Geomorphology. In: Am. Geophys. Union Trans. 38.

- Thienemann, a. (ed.) (1925): Die Binnengewässer Mitteleuropas. Vol. 1, Aus der Serie: Die Binnengewässer1. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Valentin, S., Lauters, F., Sabaton, C., Breil, P., & Souchon, Y. (1996): Modelling temporal variations of physical habitat for brown trout (*Salmo trutta*) in hydropeaking conditions. *Regulated Rivers: Research and Management* 12: 317–330.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. (1980): The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Verbund, (2007): Die Speicherkraftwerke der AHP in Kärnten (2007). VERBUND-Austrian Hydro Power AG (Verleger).
- WRRL, (2000): Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zu Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft*.
- ZAMG, (2010): http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm, abgerufen am 6. November 2010, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Charakteristische Abflusswerte Drau, Pegel Sachsenburg.....	9
Tabelle 2: Charakteristische Abflusswerte Drau, Pegel Drauhofen.....	9
Tabelle 3: charakteristische Eigenschaften der Detailstrecken.....	19
Tabelle 4: Erhobene Zeitreihen.....	20
Tabelle 5: Langjähriger Durchschnitt 1977 bis 2008 Pegel Sachsenburg.....	24
Tabelle 6: k_s Werte des Geländemodell.....	31
Tabelle 7: Grenzwerte Mesohabitate.....	33
Tabelle 8: Übersicht Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal.....	43
Tabelle 9: Übersicht Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim.....	45
Tabelle 10: Übersicht Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Kleblach.....	47
Tabelle 11: Gegenüberstellung Flachwasserbereich und Pocket Pools zu schwallspezifische Parameter.....	50
Tabelle 12: Übersicht Mikrohabitatverteilung für Salmo Trutta in Untersuchungsstrecke Spittal.....	55
Tabelle 13: Übersicht Mikrohabitatverteilung für Salmo Trutta in Untersuchungsstrecke Rosenheim.....	57
Tabelle 14: Übersicht Mikrohabitatverteilung für Salmo Trutta in Untersuchungsstrecke Kleblach.....	58
Tabelle 15: Schwallanstiegs- und Schwallrückgangsraten der ungedämpften und gedämpften Schwallwelle.....	70

8.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht Projektgebiet (Kartenquelle BEV, verändert).....	4
Abbildung 2: Klimadiagramm Sachsenburg nach Walther&Lieth, 1960 (Quelle: Schober, 1999).....	5
Abbildung 3: Niederschlag Station Spittal a.d. Drau (Quelle: ZAMG).....	6
Abbildung 4: Lufttemperatur Station Spittal a.d. Drau (Quelle: ZAMG).....	6
Abbildung 5: Jahresgang der Wassertemperaturen an der Messstelle Sachsenburg für das Berichtsjahr 2007 (Quelle: Hydrographisches Jahrbuch 2007, modifiziert).....	7
Abbildung 6: Geologische Übersichtskarte (Schuster et al., 2006).....	7
Abbildung 7: Geologischer Schnitt D (Schuster et al., 2006).....	8
Abbildung 8: Geologischer Schnitt E (Schuster et al., 2006).....	8
Abbildung 9: Ökoregionen Österreich (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, 2003; aus Moog et al., 2001).....	10
Abbildung 10: Fließgewässer – Naturräume Österreichs (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, 2003; aus Moog et al., 2001)	11
Abbildung 11: Kraftwerk Malta-Unterstufe (Quelle: Verbund AG).....	13
Abbildung 12: Systemskizze Kraftwerksgruppe Malta (Quelle: Verbund AG).....	14
Abbildung 13: Maßnahmen Kleblach (Quelle: Bundeswasserbauverwaltung, 2003).....	16
Abbildung 14: Maßnahmen Rosenheim (Quelle: Bundeswasserbauverwaltung, 2003).....	17
Abbildung 15: Maßnahmen Spittal West (Quelle: Bundeswasserbauverwaltung 2003).....	18
Abbildung 16: Maßnahmen Spittal Süd (Quelle: Bundeswasserbauverwaltung, 2003).....	18

Abbildung 17: Abschnitt Rosenheim - Vermessung der Aufweitungsstrecke.....	21
Abbildung 18: Anschnitt Spittal - Aufnahme des Gleitufers und der Schotterbänke.....	21
Abbildung 19: Übersichtskarte Temperatursonden (Kartenquelle: BEV).....	22
Abbildung 20: Ausleseadapter (Quelle: Maxim Inc. Sunnyvale, CA).....	23
Abbildung 21: Einbaufertige Sonde mit Fitting und Gewindestange.....	23
Abbildung 22: Boxplot Abfluss mit geringer Schwallbeeinflussung durch Straßen-Amlach, n=31 Jahre, Pegel "Sachsenburg (Brücke)"	25
Abbildung 23: Ganglinie Winter (Perzentile 25%).....	26
Abbildung 24: Ganglinie Winter (Mittelwert).....	26
Abbildung 25: Ganglinie Winter (Perzentile 75%).....	26
Abbildung 26: Ganglinie Frühling (Perzentile 25%).....	27
Abbildung 27: Ganglinie Frühling (Mittelwert).....	27
Abbildung 28: Ganglinie Frühling (Perzentile 75%).....	27
Abbildung 29: Ganglinie Sommer (Perzentile 25%).....	28
Abbildung 30: Ganglinie Sommer (Mittelwert).....	28
Abbildung 31: Ganglinie Sommer (Perzentile 75%).....	28
Abbildung 32: Ganglinie Herbst (Perzentile 25%).....	29
Abbildung 33: Ganglinie Herbst (Mittelwert).....	29
Abbildung 34: Ganglinie Herbst (Perzentile 75%).....	29
Abbildung 35: Modellausschnitt von Detailstrecke Spittal.....	31
Abbildung 36: Modellierungsschema des Habitat Evaluation Models zur Berechnung der Mesohabitate (Hauer et al., 2009).....	33
Abbildung 37: Präferenzkurven Salmo Trutta 0+.....	35
Abbildung 38: Präferenzkurven Salmo Trutta 1+.....	35
Abbildung 39: Präferenzkurven Salmo Trutta Adult.....	35
Abbildung 40: 2,5 D-Geländemodell von Sachsenburg bis Spittal mit den Untersuchungsstrecken Rosenheim und Spittal.....	36
Abbildung 41: Grafische Darstellung der Wassertiefenverteilung in allen Untersuchungsstrecken bei Sunk und Schwall.....	37
Abbildung 42: Grafische Darstellung der Fließgeschwindigkeitsverteilung in allen Untersuchungsstrecken bei Sunk und Schwall.....	39
Abbildung 43: Grafische Darstellung der Sohlschubspannung in allen Untersuchungsstrecken bei Sunk und Schwall.....	40
Abbildung 44: Benetzte Fläche in Abhängigkeit vom Abfluss.....	41
Abbildung 45: Mesohabitatverteilung bei Sunk und Schwall, Frühling Mittelwert.....	42
Abbildung 46: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Winter Mittelwert.....	44
Abbildung 47: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Frühling Mittelwert.....	45
Abbildung 48: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Winter Mittelwert..	46
Abbildung 49: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Frühling Mittelwert	47
Abbildung 50: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Kleblach Winter Mittelwert.....	48
Abbildung 51: Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Kleblach Frühling Mittelwert...	49
Abbildung 52: Prozentueller Zuwachs von Flachwasserhabitaten zwischen Sunk- und Schwallphase.....	51
Abbildung 53: Flachwasserhabitatuzuwachs bei Schwall von unterschiedlichen Flachwasseranteilen bei Sunk.....	51

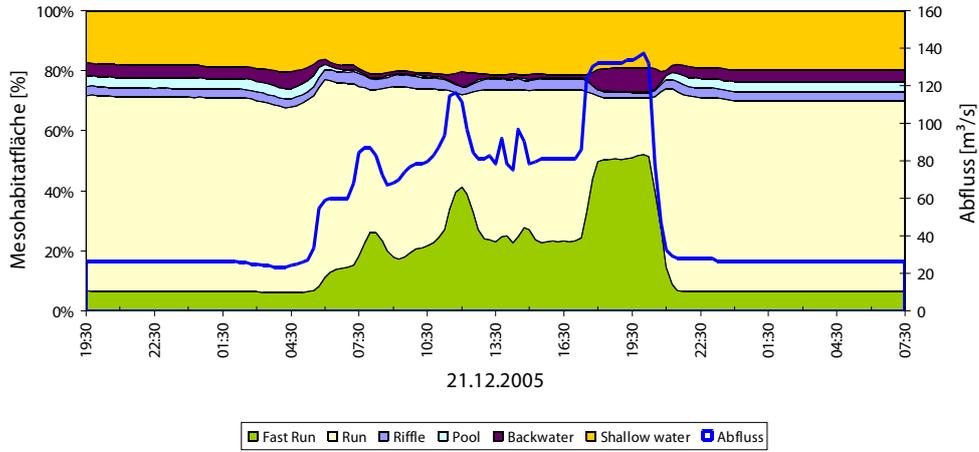
Abbildung 54: Gegenüberstellung von trocken fallenden Bereiche zur Breitenänderung der Wasseroberfläche.....	52
Abbildung 55: Gegenüberstellung von trocken fallenden Bereichen zur Wassertiefenänderung.....	53
Abbildung 56: Flächenanteile Pocket Pools	53
Abbildung 57: Habitatmodellierung Rosenheim vor bzw. nach dem Schwallereignis.....	54
Abbildung 58: Strukturen in Rosenheim (gegen die Fließrichtung fotografiert).....	54
Abbildung 59: Weighted Usable Area - Salmo Trutta - Untersuchungsstrecke Spittal Frühling Mittelwertszenario.....	56
Abbildung 60: Weighted Usable Area - Salmo Trutta - Untersuchungsstrecke Rosenheim Frühling Mittelwertszenario.....	58
Abbildung 61: Weighted Usable Area - Salmo Trutta - Untersuchungsstrecke Kleblach Frühling Mittelwertszenario.....	59
Abbildung 62: Bei Schwall auftretender Verlust des nutzbaren Lebensraumes für Salmo Trutta 0+ (a) und Salmo Trutta Adult (b).....	60
Abbildung 63: WUA - Vergleich heterogener Strukturen, Salmo Trutta 0+.....	61
Abbildung 64: Vergleich Suitability Index zu Mesohabitate Shallow Water und Backwater - Salmo Trutta 0+ - Pointbar Untersuchungsstrecke Spittal - Frühling Mittelwert.....	63
Abbildung 65: Änderung des Suitability Index für Salmo Trutta 0+ an der Pointbar in Spittal durch Schwall-Sunkprozesse.....	63
Abbildung 66: Vergleich Suitability Index zu Mesohabitate Shallow Water und Backwater - Salmo Trutta 0+ - Aufweitung Untersuchungsstrecke Rosenheim - Frühling Mittelwert.....	64
Abbildung 67: Änderung des Suitability Index für Salmo Trutta 0+ an der Aufweitung in Rosenheim durch Schwall-Sunkprozesse.....	65
Abbildung 68: Vergleich Suitability Index zu Mesohabitate Shallow Water und Backwater - Salmo Trutta 0+ - Aufweitung Untersuchungsstrecke Kleblach - Frühling Mittelwert.....	65
Abbildung 69: Änderung des Suitability Index für Salmo Trutta 0+ an der Aufweitung in Kleblach durch Schwall-Sunkprozesse.....	66
Abbildung 70: Vergleich Suitability Index zu Mesohabitate Shallow Water und Backwater - Salmo Trutta 0+ - Seitenarm Untersuchungsstrecke Kleblach - Frühling Mittelwert.....	66
Abbildung 71: Änderung des Suitability Index für Salmo Trutta 0+ für den Seitenarm in Kleblach durch Schwall-Sunkprozesse.....	67
Abbildung 72: Abflussganglinie Schwallszenario Sommer Mittelwert (Basisabfluss 136,93 m ³ /s).....	68
Abbildung 73: Abflussganglinie Schwallszenario Winter Mittelwert (Basisabfluss 30,75 m ³ /s).....	69
Abbildung 74: Pegeländerung in Meter pro Minute für den Pegel Drauhofen vom 21.01.2006 bis 27.01.2006.....	71
Abbildung 75: Pegeländerung in Meter pro Minute für den Pegel Drauhofen (Jahr 2006).....	71
Abbildung 76: Schematische Darstellung zur Erhebung der Parameter.....	72
Abbildung 77: Schwallwellendämpfung abhängig von Schwallamplitude und -dauer.....	73
Abbildung 78: Temperaturganglinien der Drau bei einem Schwallereignis im Winter.....	74

Abbildung 79: Temperaturganglinien der Drau bei einem Schwallereignis im Sommer.....75
Abbildung 80: Temperaturänderung bei Schwalleinfluss im Winter.....75
Abbildung 81: Temperaturänderung bei Schwalleinfluss im Sommer.....76

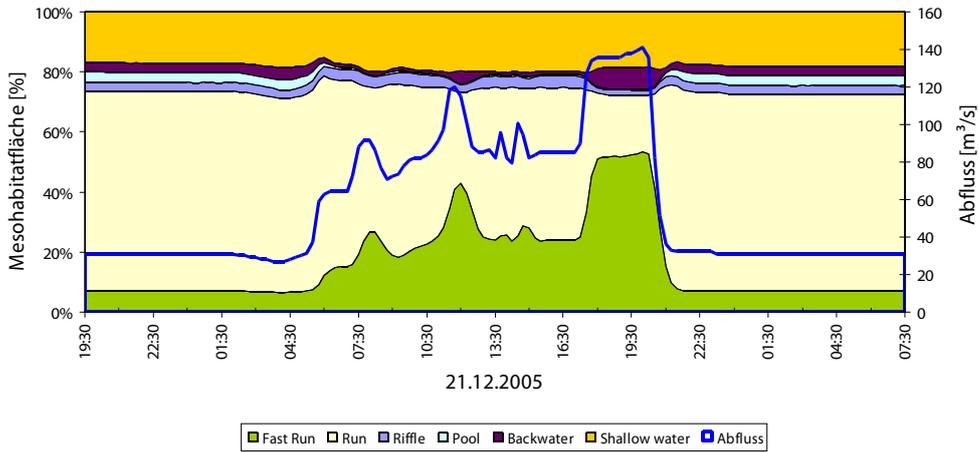
8.4 Formelverzeichnis

Gleichung 1: gewichtete nutzbare Flächen WUA.....34

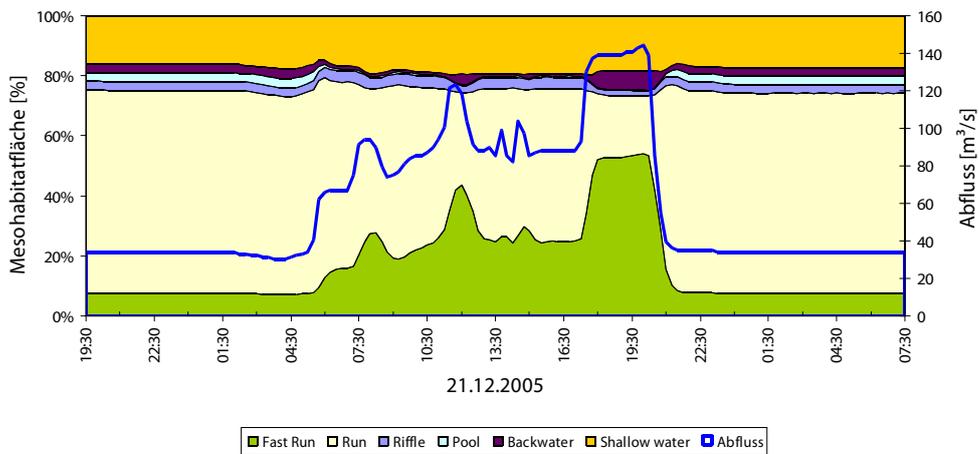
A 1.1 Ergebnisse Mesohabitatmodellierung



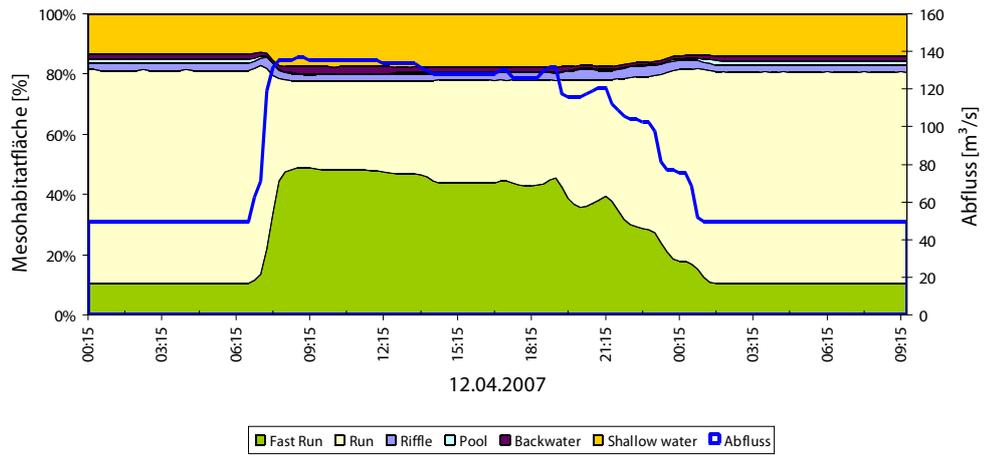
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Winter Perzentile 25 %



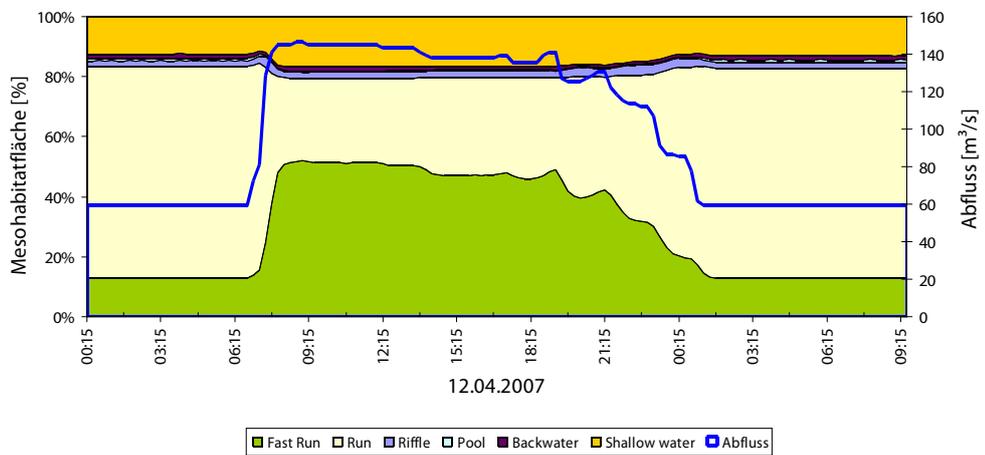
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Winter Mittelwert



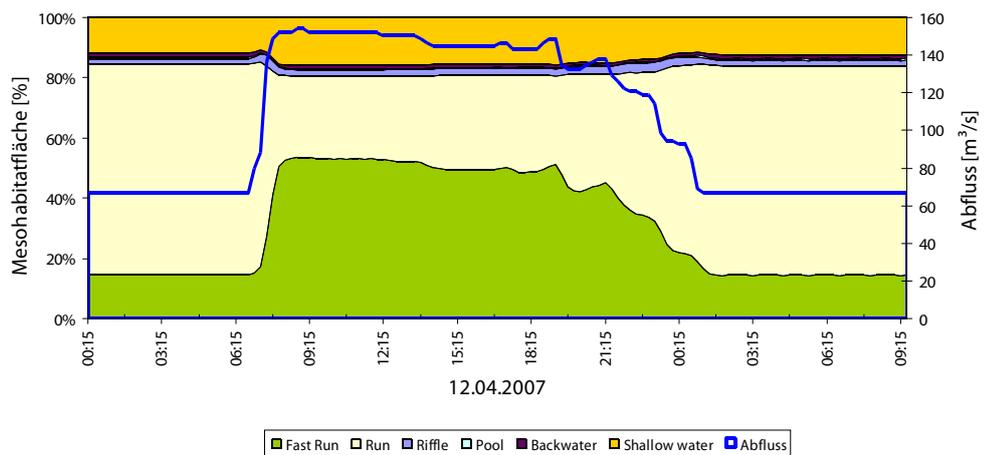
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Winter Perzentile 75 %



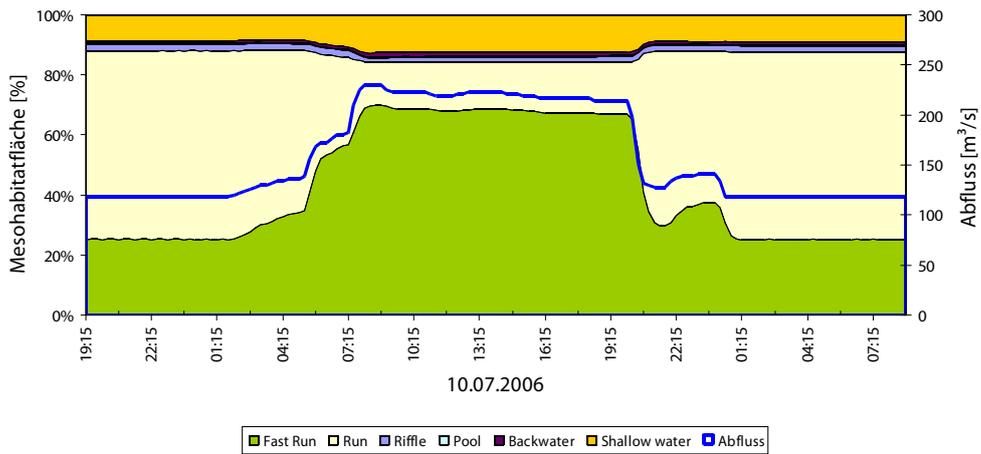
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Frühjahr Perzentile 25 %



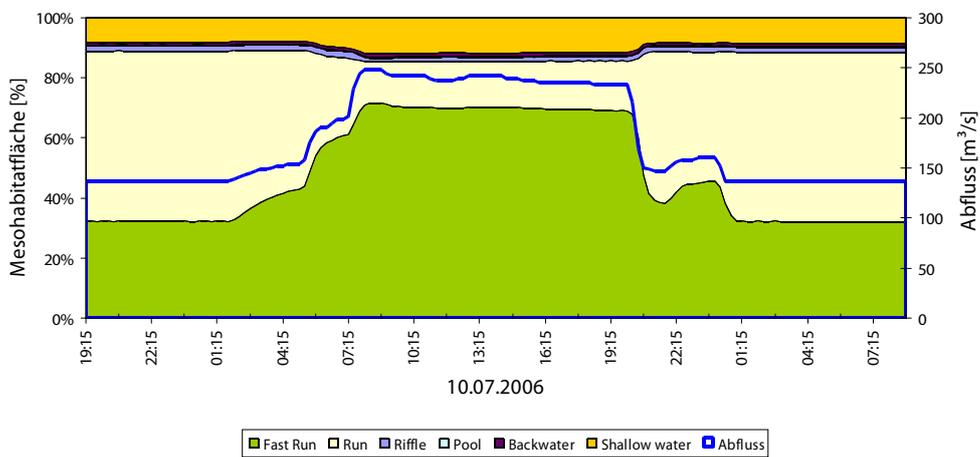
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Frühjahr Mittelwert



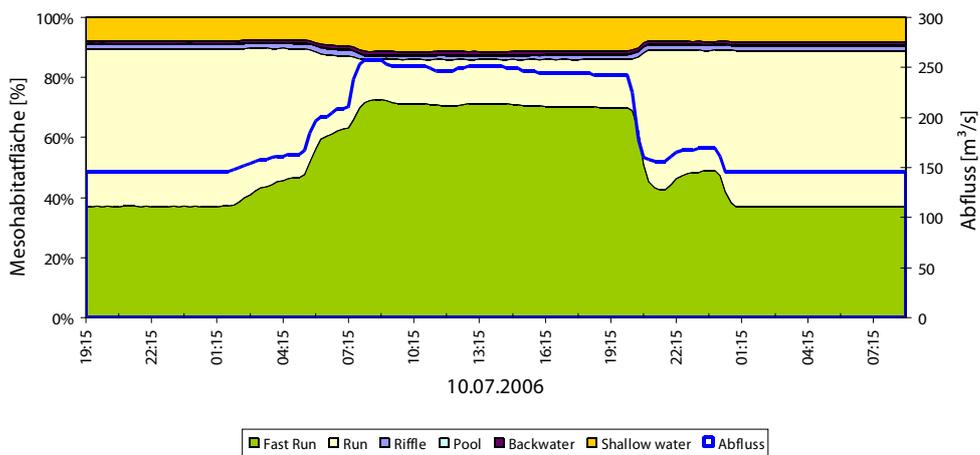
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Frühjahr Perzentile 75 %



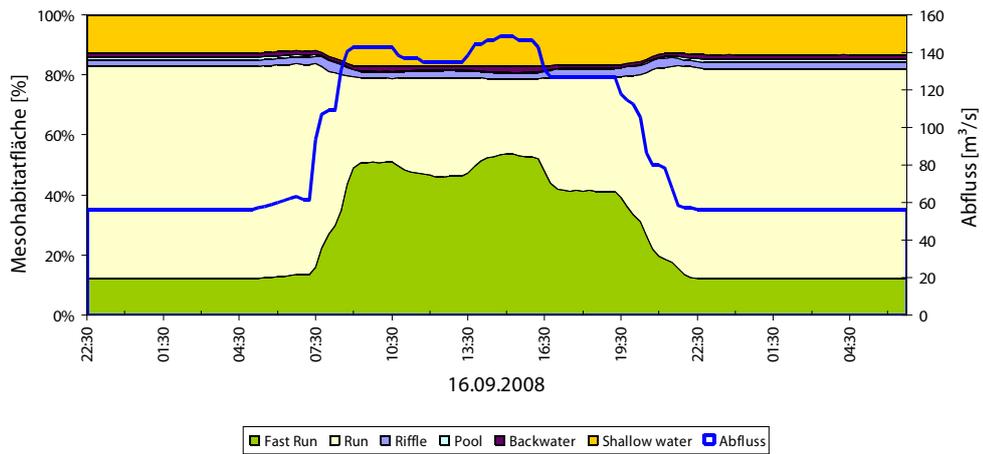
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Sommer Perzentile 25 %



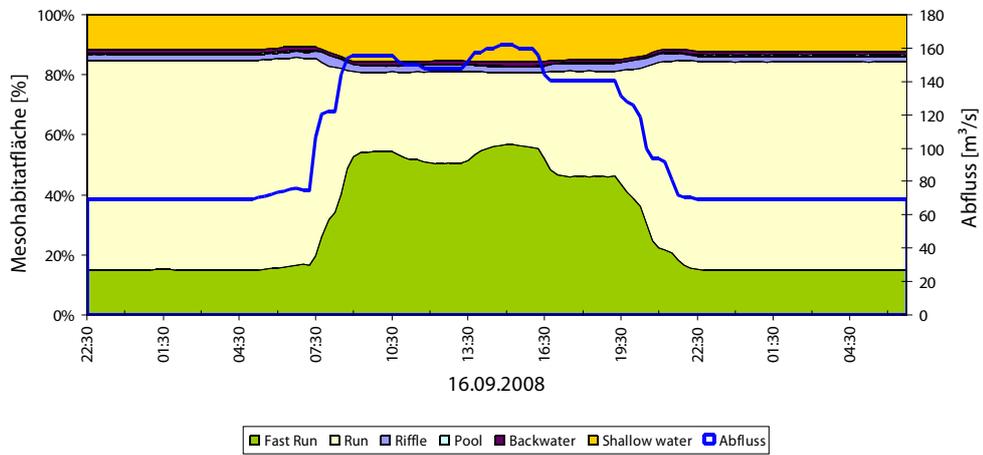
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Sommer Mittelwert



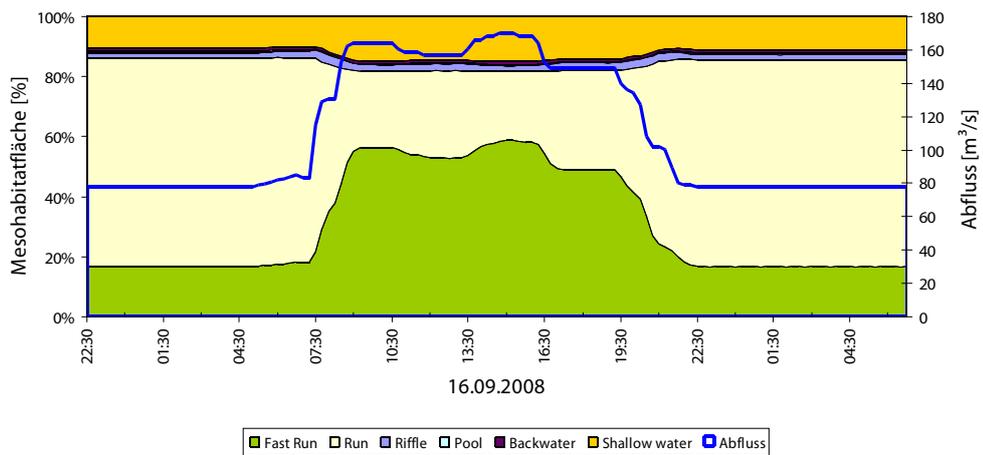
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Sommer Perzentile 75 %



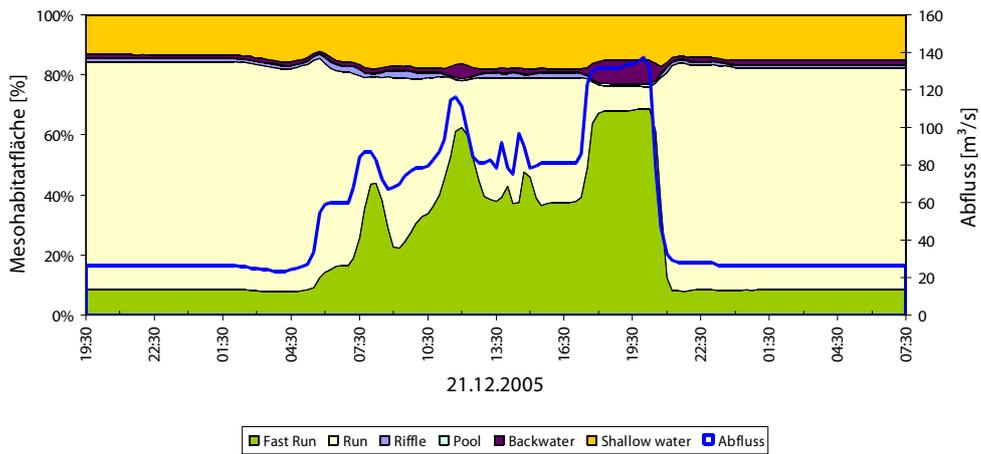
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Herbst Perzentile 25 %



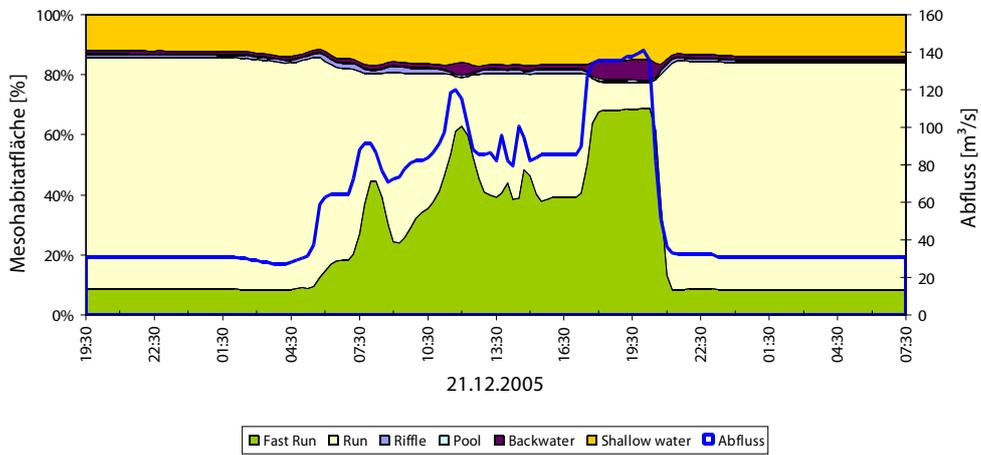
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Herbst Mittelwert



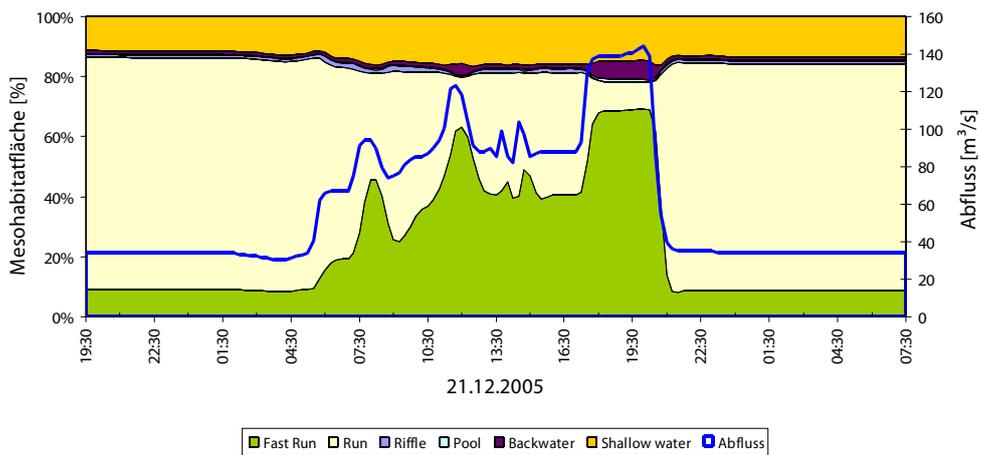
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Spittal Herbst Perzentile 75 %



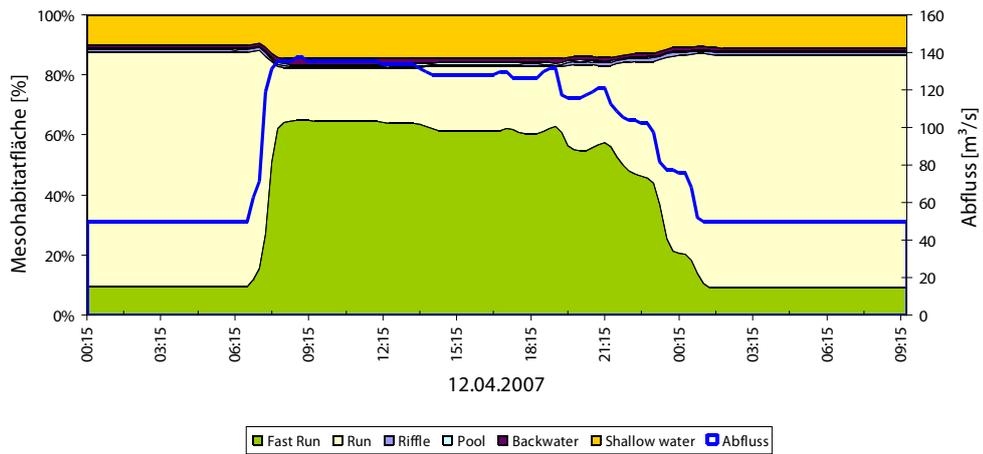
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Winter Perzentile 25 %



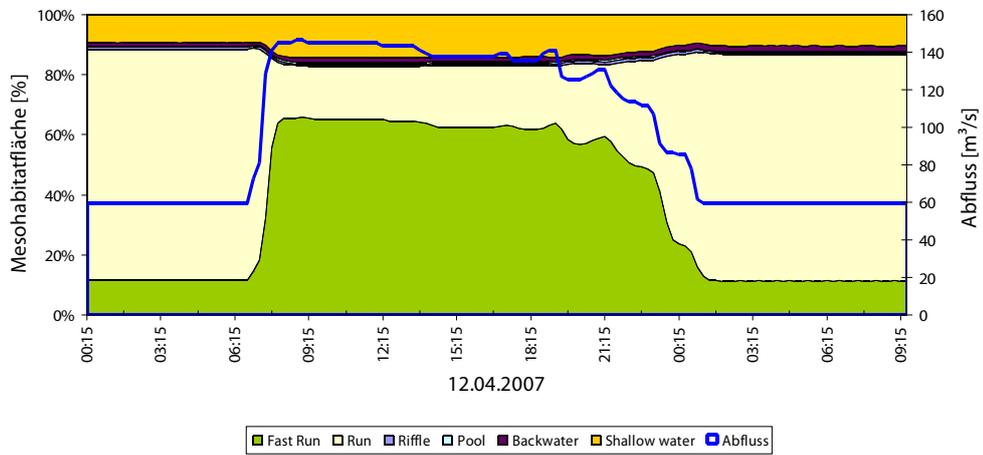
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Winter Mittelwert



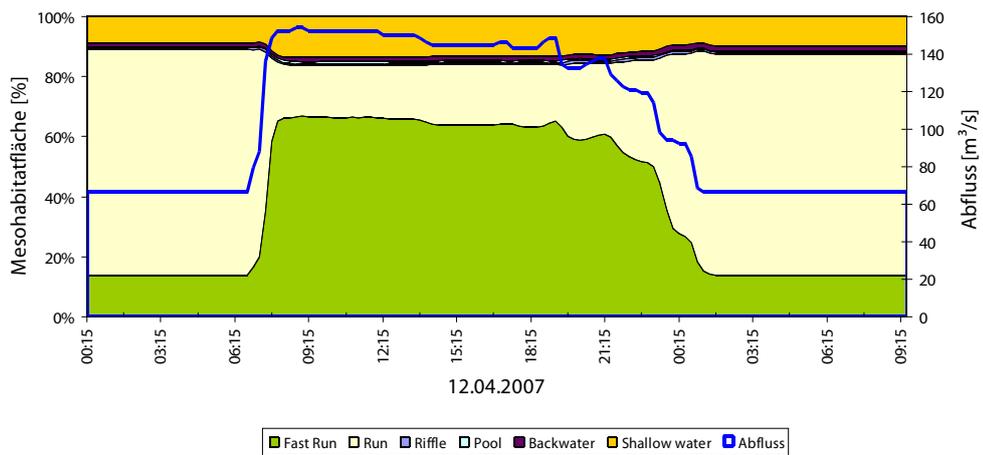
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Winter Perzentile 75 %



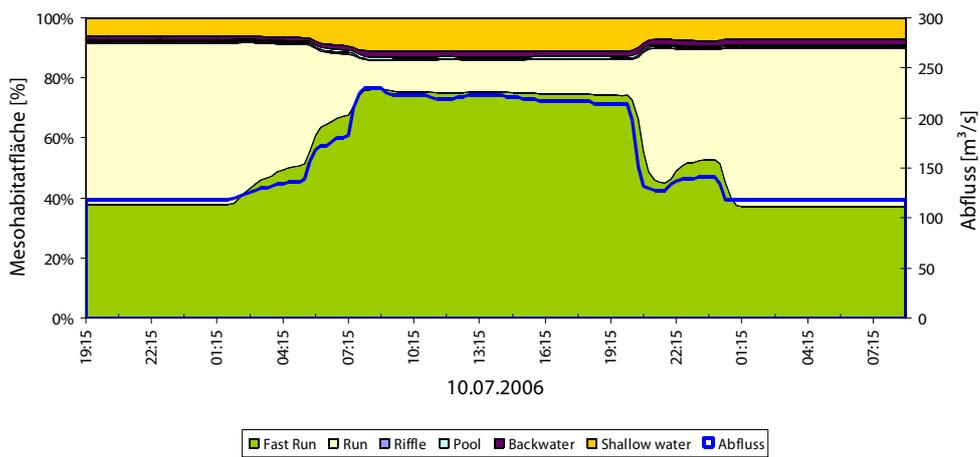
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Frühling Perzentile 25 %



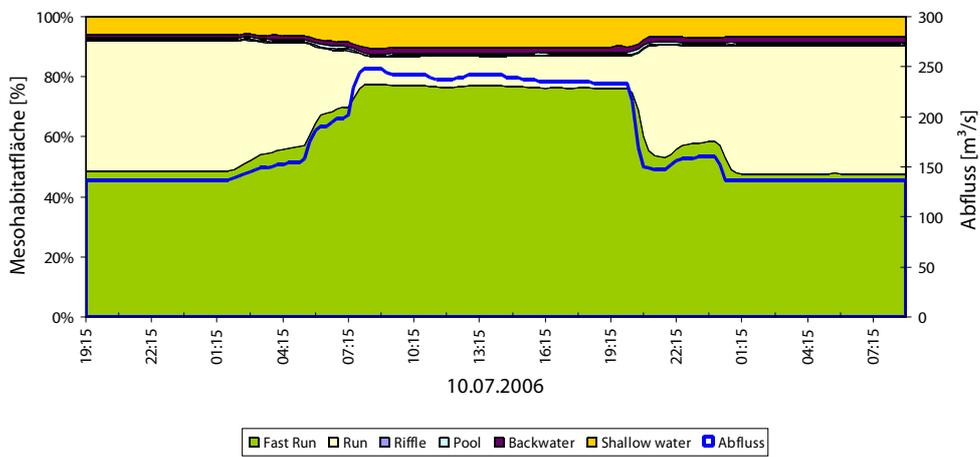
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Frühling Mittelwert



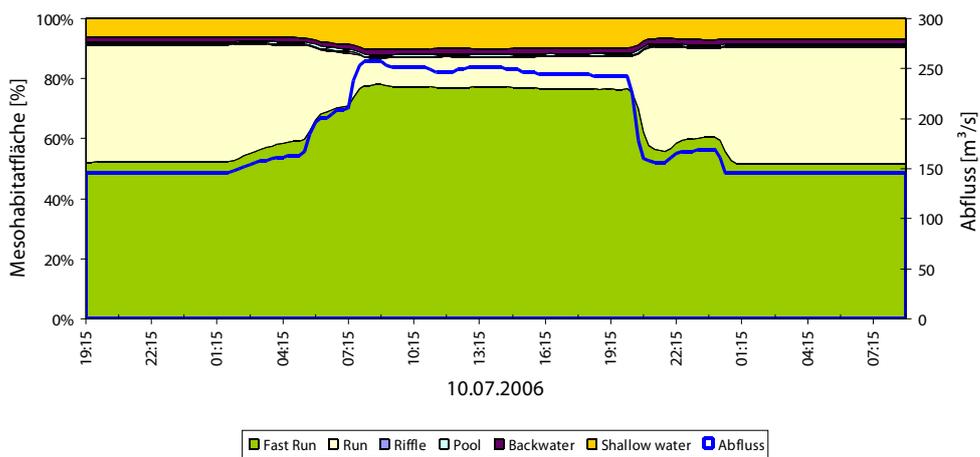
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Frühling Perzentile 75 %



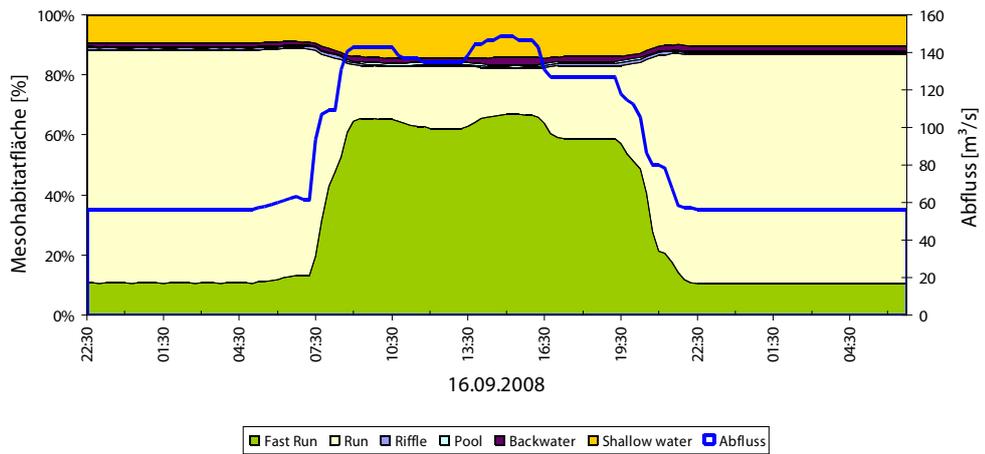
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Sommer Perzentile 25 %



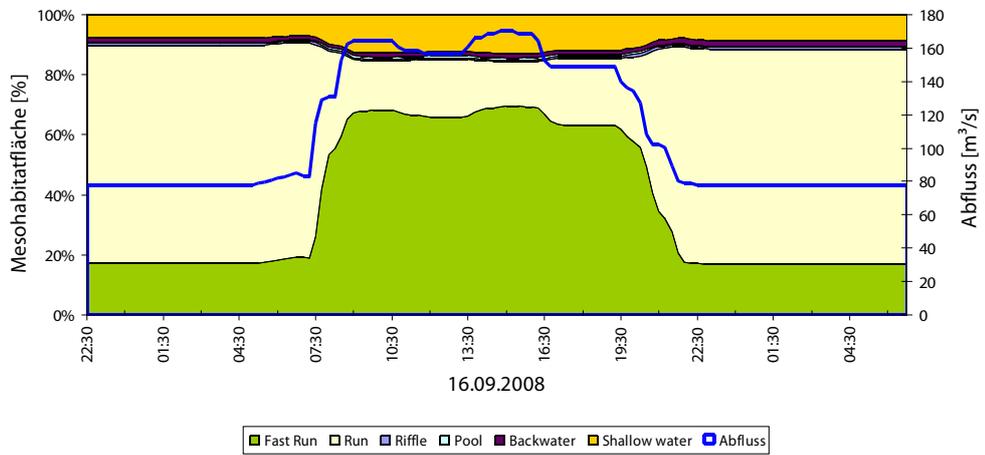
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Sommer Mittelwert



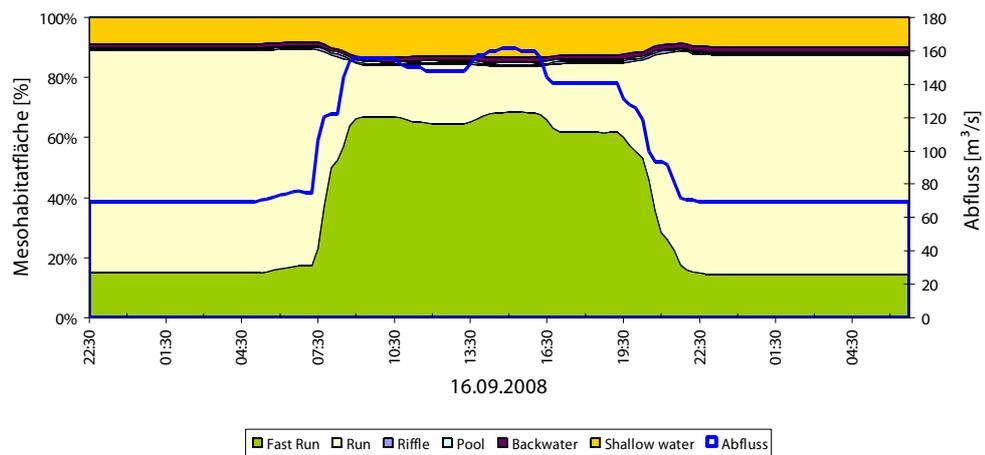
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Sommer Perzentile 75 %



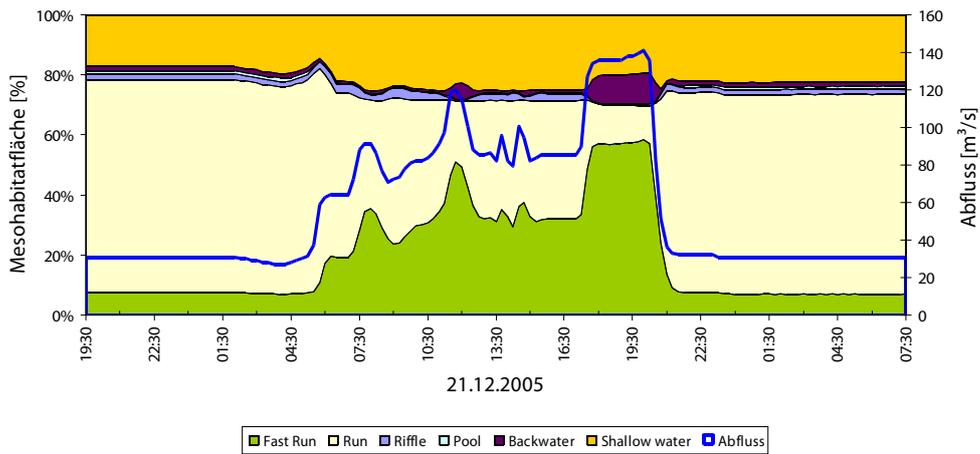
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Herbst Perzentile 25 %



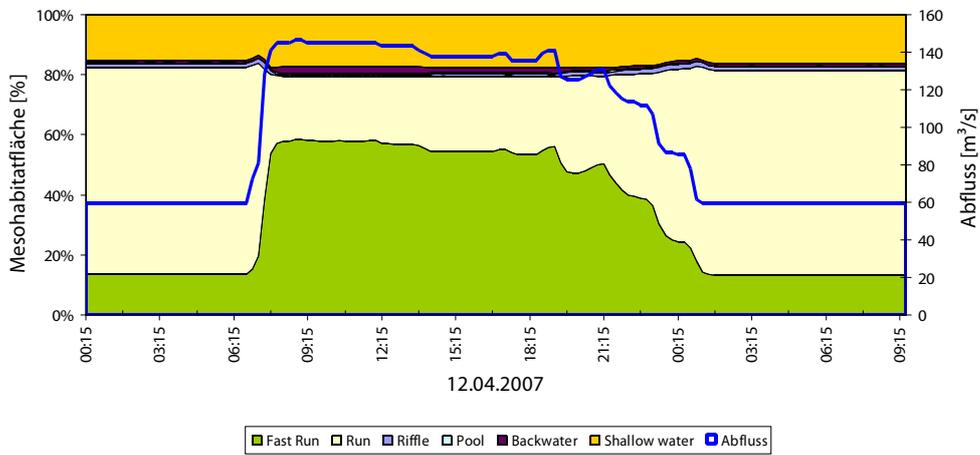
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Herbst Perzentile 75 %



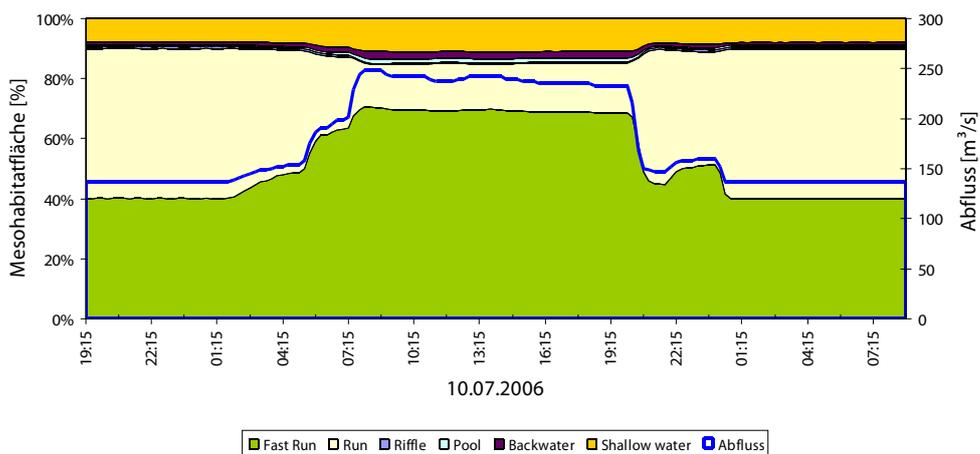
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Rosenheim Herbst Mittelwert



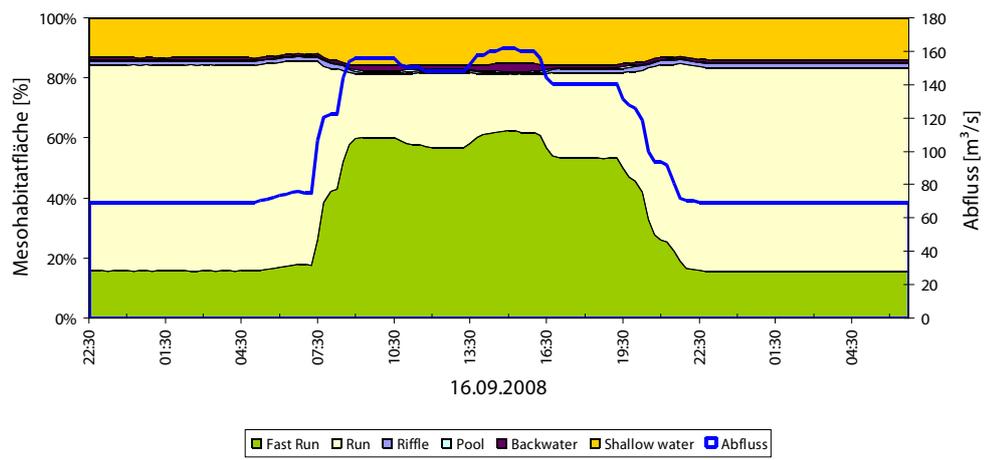
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Kleblach Winter Mittelwert



Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Kleblach Frühling Mittelwert

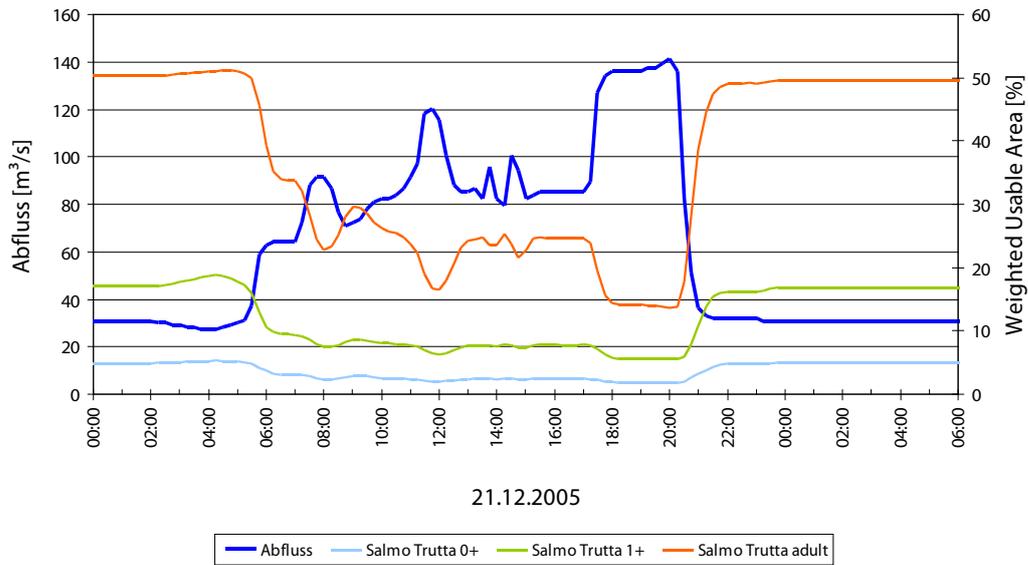
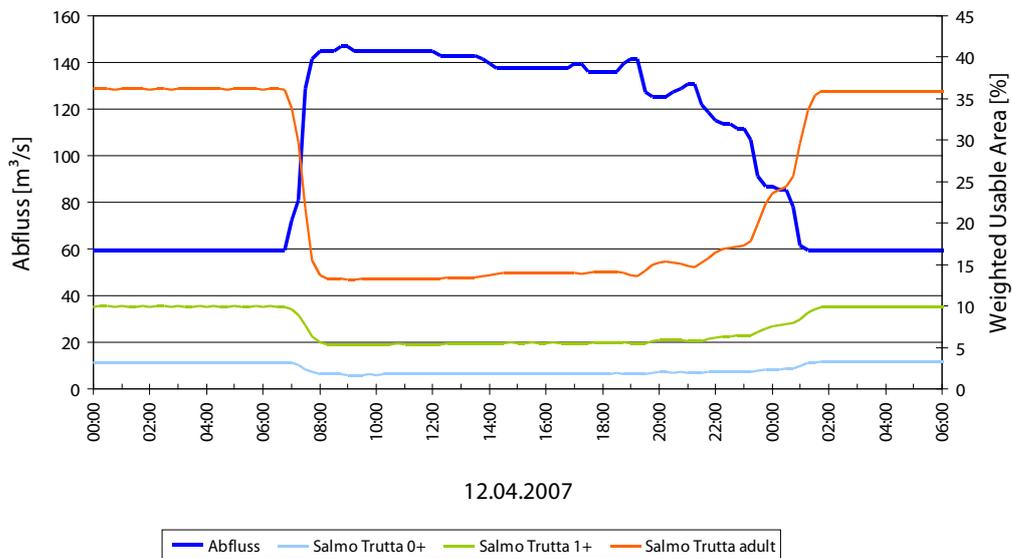


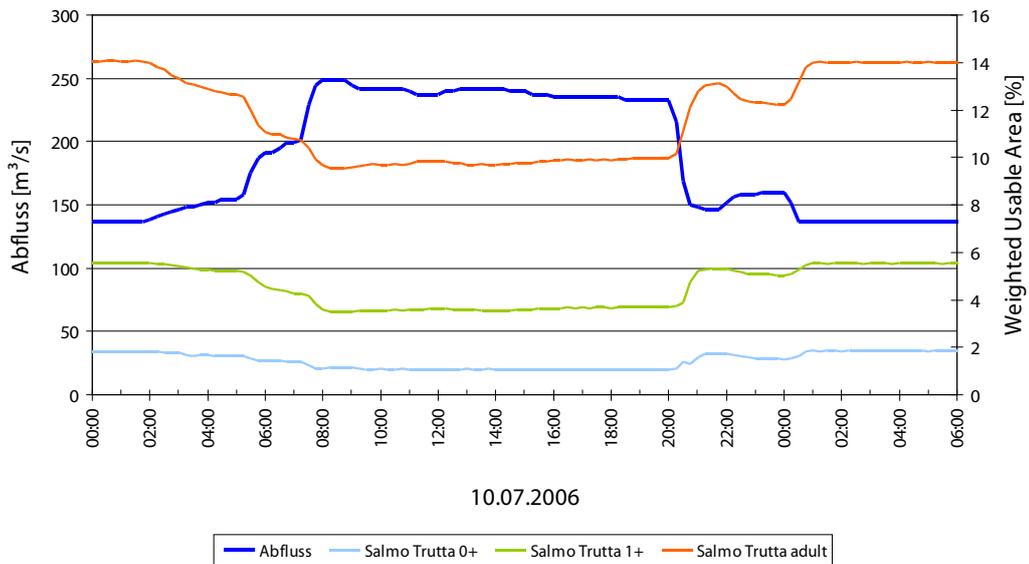
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Kleblach Sommer Mittelwert



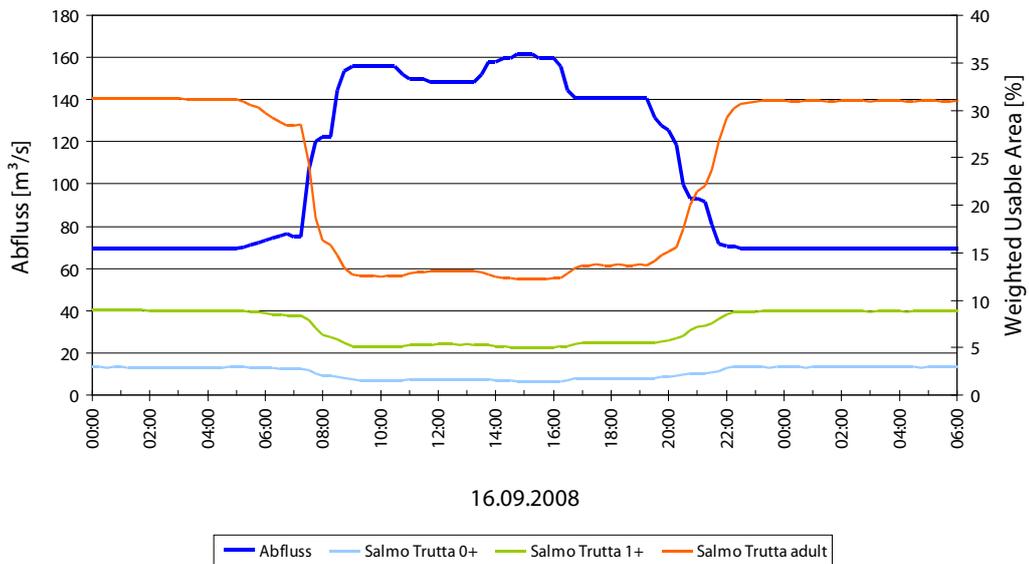
Mesohabitatverteilung Untersuchungsstrecke Kleblach Herbst Mittelwert

A 1.2 Ergebnisse Mikrohabitatmodellierung

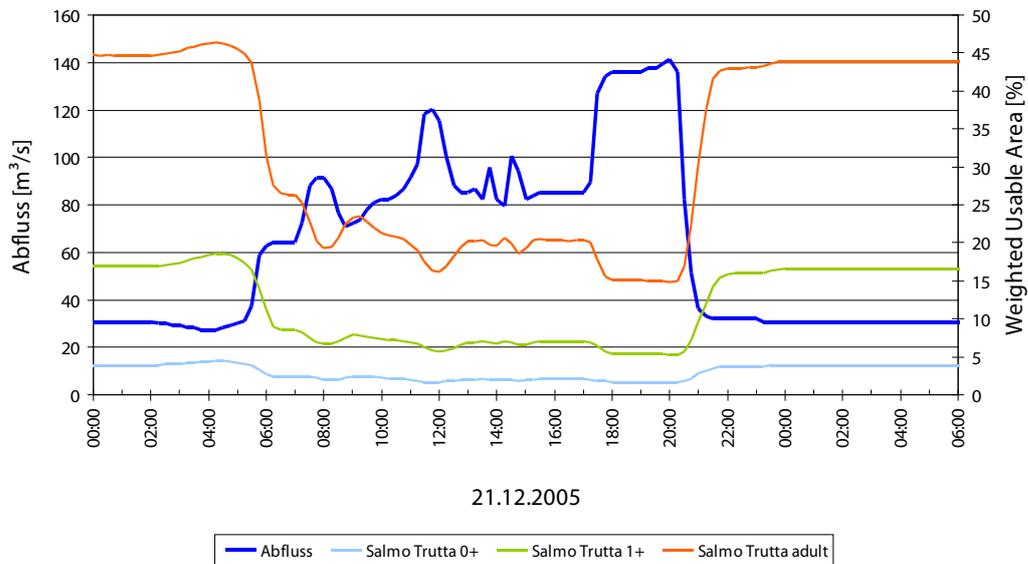
Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Spittal Winter MittelwertWeighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Spittal Frühling Mittelwert



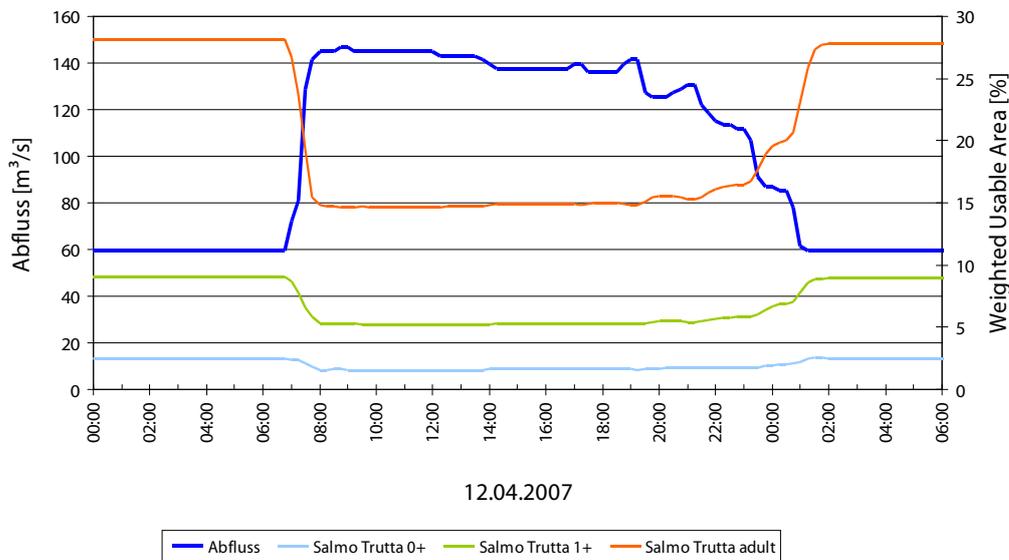
Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Spittal Sommer Mittelwert



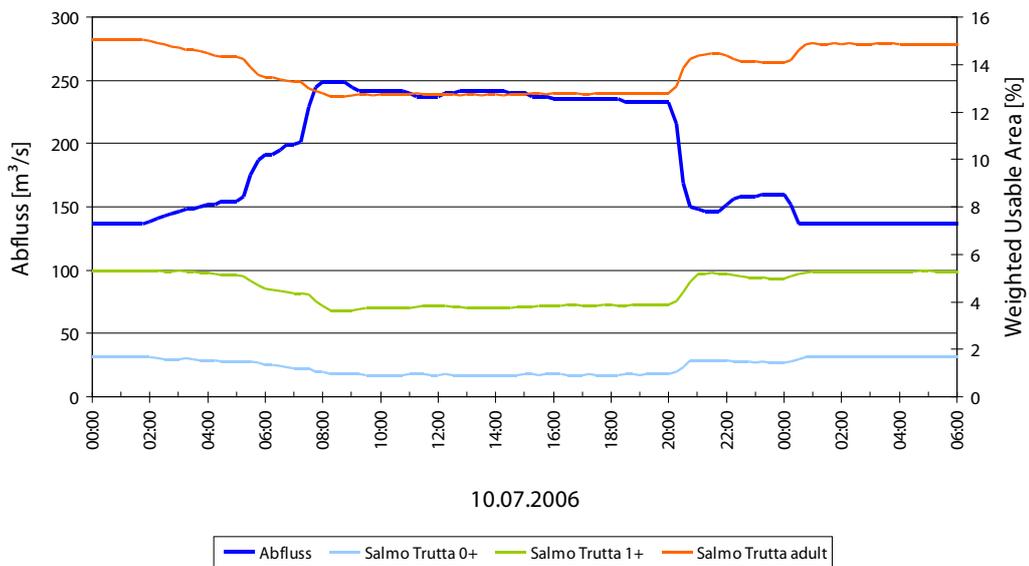
Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Spittal Herbst Mittelwert



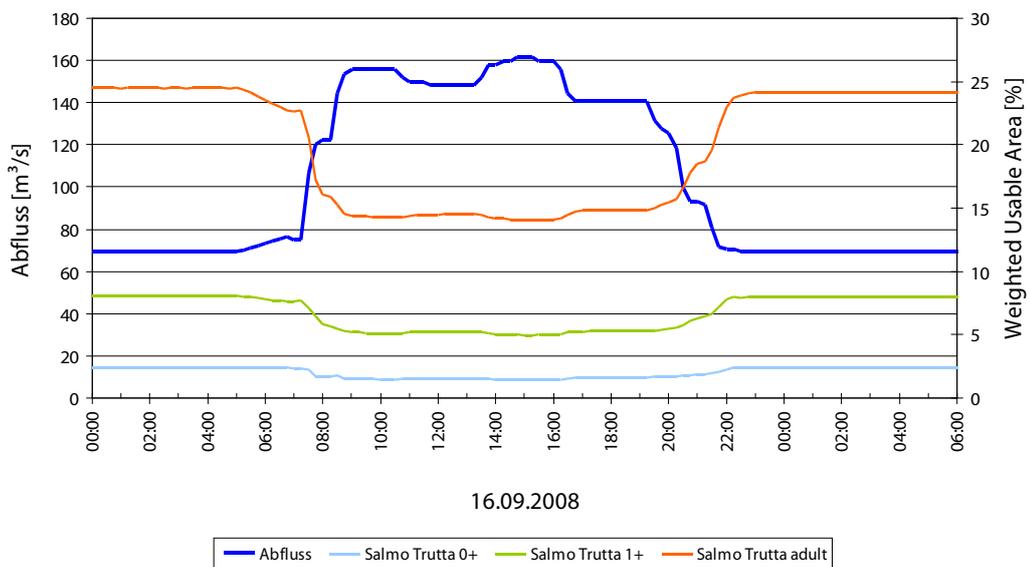
Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Rosenheim Winter Mittelwert



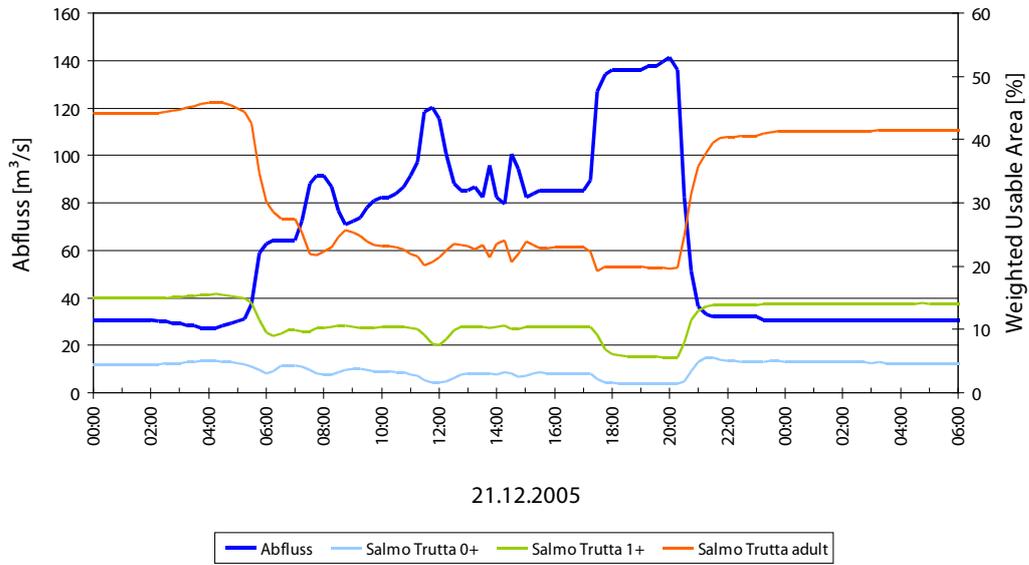
Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Rosenheim Frühling Mittelwert



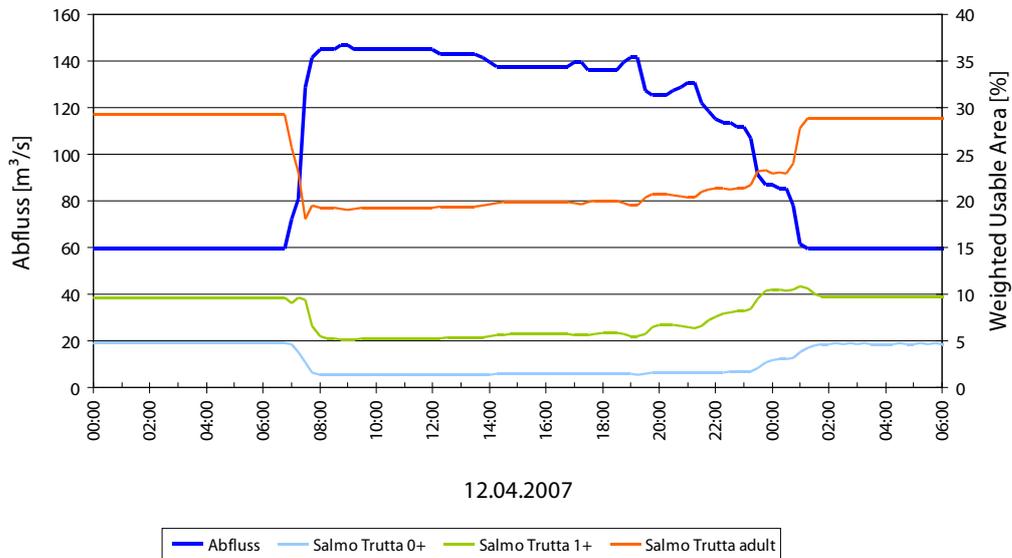
Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Rosenheim Sommer Mittelwert



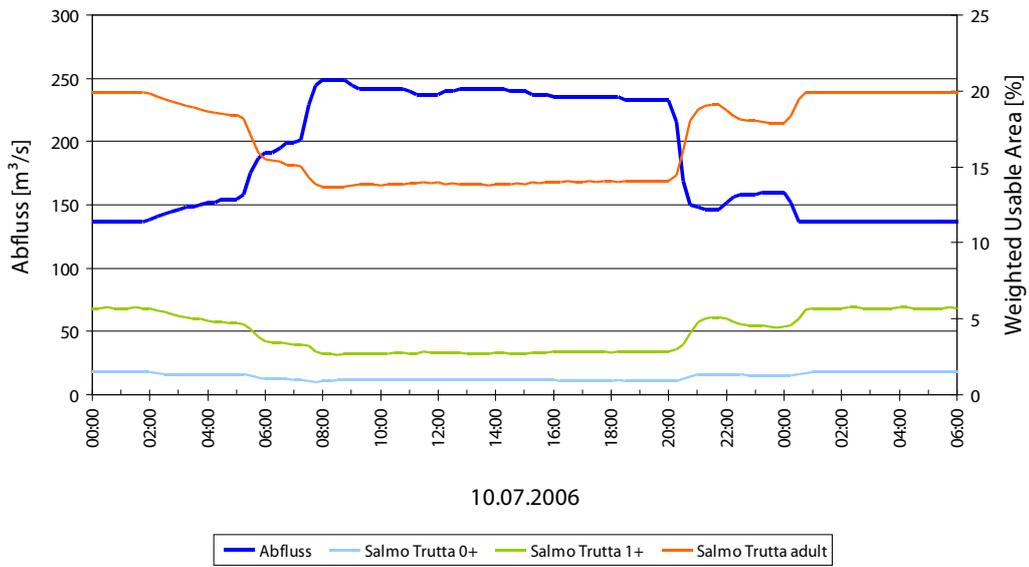
Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Rosenheim Herbst Mittelwert



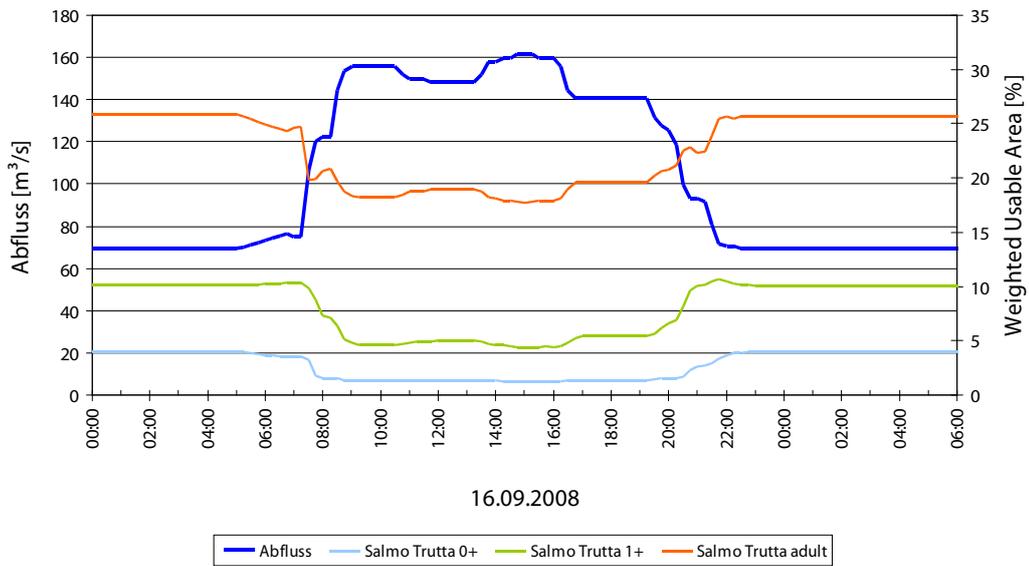
Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Kleblach Winter Mittelwert



Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Kleblach Frühling Mittelwert



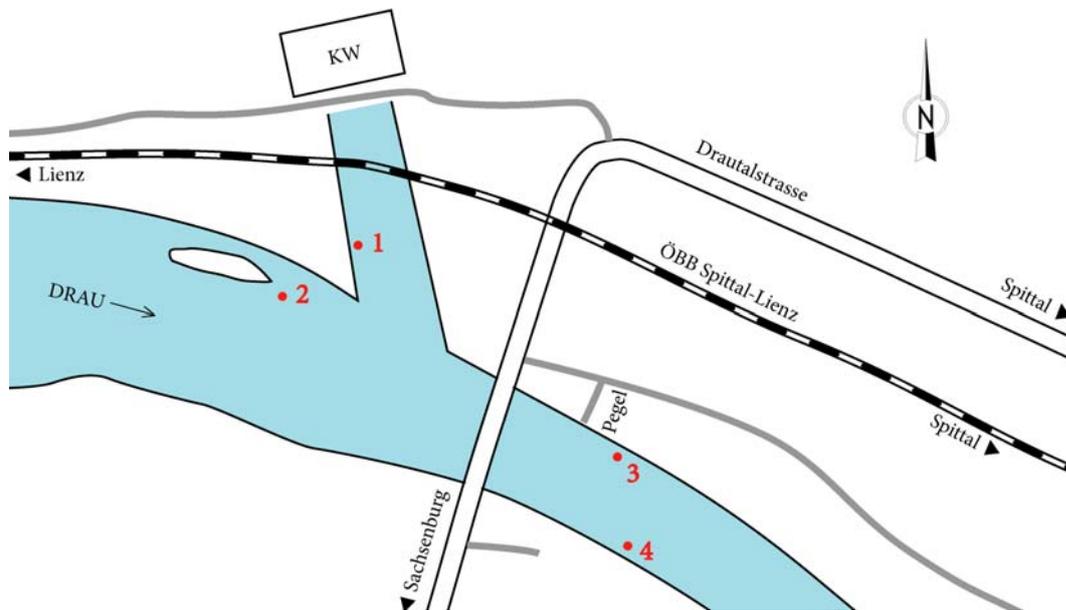
Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Kleblach Sommer Mittelwert



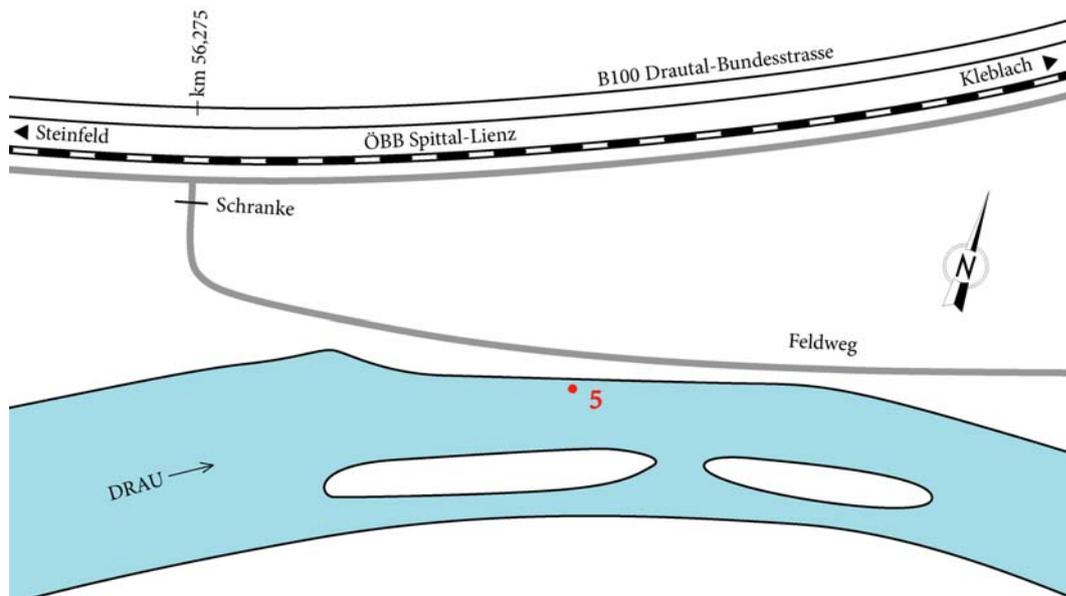
Weighted Usable Area - *Salmo Trutta* - Untersuchungsstrecke Kleblach Herbst Mittelwert

A 1.3 Übersichtskarten Temperatursonden (Grafiken zur Verfügung gestellt von Robert Rieger)

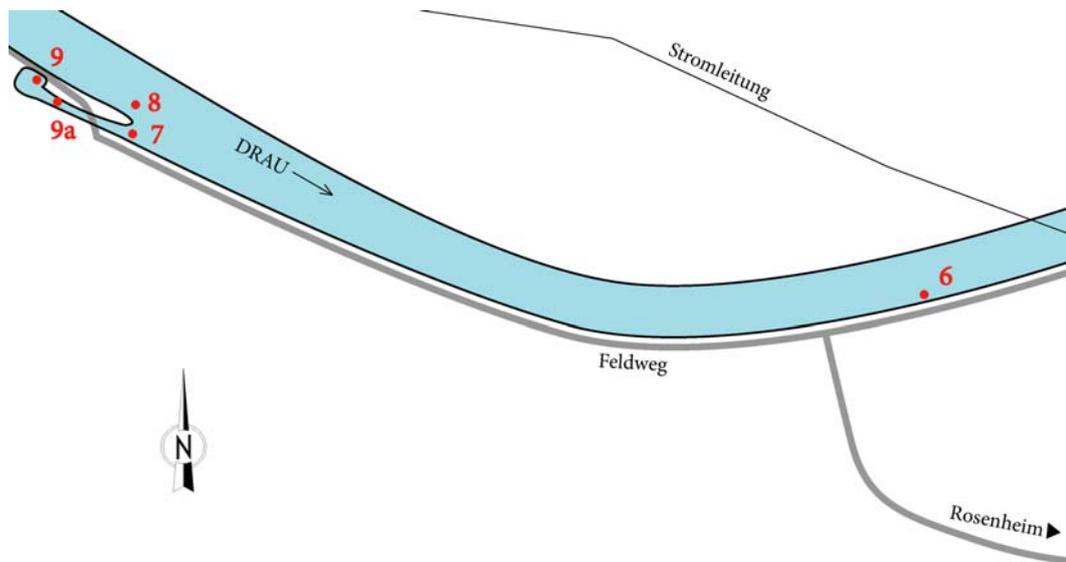
Sonden 1 - 4 (Sachsenburg)



Sonde 5 (Kleblach)



Sonden 6 - 9a (Rosenheim)



Sonde 10 (Spittal)

