

Morphologie und Sedimentologie

zu Endbericht

SuREmMa+

Entwicklung einer Methode zur ökologischen und energiewirtschaftlichen Bewertung von Maßnahmen zur Minderung von negativen ökologischen Auswirkungen durch Schwall und Sunk

Wien, Juni 2021

Text und Inhalt

Christoph Hauer (*Institut für Hydraulik, Wasserbau und Fließgewässerforschung BOKU*), Martin Fuhrmann (*Institut für Hydraulik, Wasserbau und Fließgewässerforschung BOKU*), Patrick Holzapfel (*Institut für Hydraulik, Wasserbau und Fließgewässerforschung BOKU*).

Zitiervorschlag

Hauer, C.; Fuhrmann, M.; Holzapfel, P. (2020): *Technischer Bericht II – Morphologie und Sedimentologie*. Ergänzung zu Endbericht: Suremma+ Entwicklung einer Methode zur ökologischen und energiewirtschaftlichen Bewertung von Maßnahmen zur Minderung von negativen schwall- und sunkbedingten ökologischen Auswirkungen, Forschungsbericht, Wien, 30 Seiten.

Präambel

Der gegenständlich vorliegende technische Bericht „Morphologie und Sedimentologie“ ist als detaillierte Beschreibung der in dem Projekt SuReMmA+ entwickelten Methodik zu verstehen. Er dient ausschließlich der Nachvollziehbarkeit der einzelnen projektrelevanten Arbeitsschritte und stellt eine Vertiefung der Methodikbeschreibung aus dem Forschungsbericht „SuREmMa+ Entwicklung einer Methode zur ökologischen und energiewirtschaftlichen Bewertung von Maßnahmen zur Minderung von negativen schwall- und sunkbedingten ökologischen Auswirkungen“ dar.

Die vorgestellte Methodik spiegelt den derzeitigen Stand der Forschung zur Evaluierung der Hydromorphologie als Grundlage für Maßnahmenplanungen in schwallbeeinflussten Fließgewässern im Kontext der EU-WRRL wider. Sie basiert auf den Projekten

- Grundlagen und Methodikentwicklung zur Bewertung des Schwalleinflusses bei unterschiedlichen Flusstypen (Schwall_2012)
- Schwall_2015 – Als Teil des Christian Doppler Labors „Im Fluss“
- SCHWALL SCHWEIZ – Alpenrhein
- Sustainable Rivermanagement Energiewirtschaftliche und umweltrelevante Bewertung möglicher schwalldämpfender Maßnahmen – SuREmMa (SuREmMa)
- Hydraulische Untersuchungen zur Driftungs sensitivität von Makroinvertebraten infolge von Schwall-Sunk (Schwall_MZB_HYDRAULIK)
- SuREmMa+ - Integrative Bewertung schwalldämpfender Maßnahmen und Variantenstudie als Grundlage zur Definition des Zielzustandes gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie - Hydraulisch / Morphologische Analysen (SuREmMa+_IWHW)

sowie den Publikationen:

Hauer, C., Holzapfel, P., Leitner, P., & Graf, W. (2017). *Longitudinal assessment of hydropeaking impacts on various scales for an improved process understanding and the design of mitigation measures. Science of the Total Environment, 575, 1503-1514.*

Hauer, C., Siviglia, A., & Zolezzi, G. (2017). *Hydropeaking in regulated rivers–From process understanding to design of mitigation measures. Sci. Total Environ, 579, 22-26.*

Hauer, C., Unfer, G., Holzapfel, P., Haimann, M., & Habersack, H. (2014). *Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. Earth Surface Processes and Landforms, 39(12), 1622-1641.*

Hauer, C., Schober, B., & Habersack, H. (2013). *Impact analysis of river morphology and roughness variability on hydropeaking based on numerical modelling. Hydrological Processes, 27(15), 2209-2224.*

Die vorliegende Methodik wurde im Zuge der Forschungsaktivitäten bisher jedoch nur an lediglich drei Fallbeispielen angewandt. Die bisherige Forschung zeigt signifikante Unterschiede innerhalb der Fallbeispiele hinsichtlich der Nutzung der Gewässer für Wasserkraft, dem Ausmaß der Verbauung aufgrund von Siedlungsdruck und

Hochwasserschutz und auch der Ausgangssituation des biologischen, sedimentologischen, hydrologischen sowie morphologischen Zustandes der einzelnen Abschnitte.

Somit ist es unumgänglich für alle Gewässer bzw. Gewässerabschnitte die bisherige Methodik zu überprüfen und ggf. anzupassen. Allgemein gültige Aussagen bedürfen damit einer exakten Überprüfung um einer allgemeinen Anwendung zugeführt werden zu können.

Aufgrund des noch ausstehenden letzten Schrittes gilt dieser Bericht als Veröffentlichung eines Methodikansatzes und ist somit ungeeignet als Richtlinie für eine allgemeine Planung von Umsetzungsmaßnahmen zur Zielerfüllung gemäß WRRL in schwallbeeinflussten Fließgewässern. An dieser Stelle sei auf das Projekt „ÖkoResch“ verwiesen, das noch ausstehende Grundlagen in „Referenzfließstrecken“ (schwall-unbeeinflusste Gewässerstrecken) liefern und mit einem abschließenden Leitfaden für die Umsetzung morphologischer Maßnahmen abgeschlossen werden soll.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	2
2	Integratives Monitoringkonzept.....	2
2.1	Sedimentologisches Monitoringkonzept.....	3
2.2	Morphologische Zustandsbeschreibung	5
2.2.1	Numerische Modelle	5
2.2.2	HEM – Habitat Evaluation Model	11
2.3	Morphologische Strukturbewertung.....	13
3	Schlussfolgerungen und Ausblick	23
4	Literatur	25

1 Einleitung und Zielsetzung

Im vorliegenden technischen Bericht wird ein morphologisch und sedimentologisches Monitoringkonzept (ergänzend zu Technischer Bericht IV – Entwicklung Anwendung der Methodik zur Durchführung des ökologischen Prä- und Post-Monitorings in Schwallstrecken (Zeiringer et al. (2020)) vorgeschlagen, welches eine repräsentative Abbildung des untersuchten Schwallabschnittes ermöglichen soll. Unter Berücksichtigung einer integrativen sowie interdisziplinären Herangehensweise werden die auftretenden IST-Zustände mit Hilfe von abiotischen und biotischen Parametern beschrieben, Defizite evaluiert und daraus Vorschläge für potenzielle Verbesserungsmöglichkeiten eruiert.

Ergänzend zum vorliegenden Forschungsbericht (Greimel et al. (2020)) wird die Methodik zur Strukturbewertung an anonymisierten Gewässerabschnitten vorgestellt und in weiterer Folge in den Beilagen zum vorliegenden Bericht an Gewässerabschnitten von Bregenzerach, Ill und Salzach angewandt.

Um der notwendigen Einzelfallbetrachtung in der Fließgewässerforschung und im speziellen in der strukturbasierten Morphologie Rechnung zu tragen, wird die Bewertungsmethodik mit „echten“ 2D-HN-Modelldaten erläutert und nicht anhand des fiktiven Fallbeispiels abgearbeitet.

2 Integratives Monitoringkonzept

Bei der Auswahl der Monitoringstellen, unter Berücksichtigung der interdisziplinären Forschungsfrage, ist eine, aus Sicht der flusstypspezifischen und sedimentologischen Rahmenbedingungen, repräsentative Auswahl im Längsverlauf des schwallbelasteten Gewässers vorzunehmen.

Aus morphologischer Sicht sollten für jeden Abschnitt mit signifikant veränderten morphologischen Randbedingungen (Gefälle, Sedimente [alluvial/kolluvial], laterale Raumverfügbarkeit, Flussgröße) vorhandene Strukturen der Klasse 1-3 (vgl. Greimel et al. (2020)) in ausreichender Dimension und im gesamten Spektrum möglicher Schwallintensitäten der untersuchten Strecke (vgl. Greimel et al. (2020)) abgebildet werden.

Für die sedimentologischen Monitoringstellen sollten Bereiche innerhalb der Modellstrecken, in Abstimmung mit den biologischen Monitoringstellen, den Längsverlauf abbilden.

Zusammengefasst bilden folgende Kriterien die Grundlage für die Auswahl der Monitoringstellen:

- Flusstypspezifische Randbedingungen
- Sedimentologische Randbedingungen
- Ausmaß der Schwallbelastung
- Grad der anthropogenen Überprägung
- Dem Flusstyp entsprechende Strukturen
- Lage in der Längszonierung

2.1 Sedimentologisches Monitoringkonzept

Im Folgenden wird die im gegenständlichen Projekt angewandte Methodik zur Erhebung des sedimentologischen Zustandes, mit besonderem Fokus auf die abiotische Beschreibung der biologischen Monitoringstellen (vgl. Zeiringer et al. (2020)), erläutert. An jeder biologischen Monitoringstelle sowie an Stellen von besonderem sedimentologischem Interesse wurde im dauerbenutzten Abflussbereich eine volumetrische Probe, getrennt in Ober- und Unterschicht genommen und analysiert.

Die Korngrößenanalysen werden an den zu untersuchenden (Monitoring-)stellen mittels volumetrischer Beprobung von Deck- und Unterschicht durchgeführt. Die Sedimentproben werden mit Hilfe eines standardisierten USGS (United States Geological Survey) – Verfahren mit einem 60 cm x 60 cm Rahmen gewonnen. Zur Verhinderung des Ausschwemmens von Feianteilen wird der Rahmen bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten an der Sohle verankert. Bei starker Versandung wurde von einer Trennung von Deck- und Unterschicht abgesehen, da diese eine einheitliche und nicht geschichtete Fraktionsverteilung besitzen. Sämtliche volumetrisch gewonnene Proben wurden getrocknet und gesiebt. Die Siebung dient als Grundlage für die Erstellung von Kornverteilungskurven und die Ermittlung charakteristischer Korngrößen. Als Ergebnis erhält man die Korngrößenverteilung tabellarisch sowie das grafische Derivat.

Folgende Parameter werden an allen Stellen getrennt für Deckschicht (DS) und Unterschicht (US) ermittelt:

d_m (mm), U (Ungleichförmigkeitszahl), C_c (Krümmungszahl), d_{10} (mm), d_{20} (mm), d_{30} (mm), d_{40} (mm), d_{50} (mm), d_{60} (mm), d_{70} (mm), d_{80} (mm), d_{90} (mm), d_{16} (mm), d_{84} (mm)

$\%finer < 2mm$ $\%finer < 0.5mm$ $\%finer < 0.125$ (separate Betrachtung der Fraktionen $< 2mm$)



Abbildung 1: Probenahme mit Rahmen und GPS (li.), Probe DS (2.v.li.), abgefüllte Proben im Trockenraum (3.v.li.), Siebturm (4.v.li.), grafische Ergebnisdarstellung der Siebung (re.).

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Proben nicht das klassische Sohlmaterial der beprobten Strecken abbilden, da einerseits die Probenahme in (mittel-)großen Fließgewässern aufgrund der Gewässertiefe und Fließgeschwindigkeiten und andererseits wegen der hohen Verfestigung nicht möglich ist (im gegenständlichen Projekt ist die aufwändige Gewinnung von Sohlbohrkernen nicht vorgesehen). Die Proben repräsentieren den sedimentologischen Zustand, im Sinne der abiotischen Beschreibung (neben Hydrologie, Morphologie und Hydraulik), der biologischen Monitoringstellen (vgl. Zeiringer et al. (2020)) (vgl. Abbildung 2). Neben den biologischen Monitoringstellen wurden auch Stellen von besonderem sedimentologischem Interesse wie z.B. Zubringereinstöße, bei denen im ungestörten Zustand mit einer signifikanten Veränderung der Korngrößen zu rechnen ist, beprobt.

Eine wiederholte Probenahme empfiehlt sich gerade in dynamischen Fließgewässerzuständen, wenn davon auszugehen ist, dass sich der sedimentologische Zustand über die Zeit ändert. Gerade außergewöhnliche hydrologische

Ereignisse können bei ungestörtem oder teilweise gestörtem Feststoffhaushalt im Einzugsgebiet zu signifikanten Änderungen der sedimentologischen Situation führen und somit die Grundlage für (potenzielle) Lebensräume stark verändern.

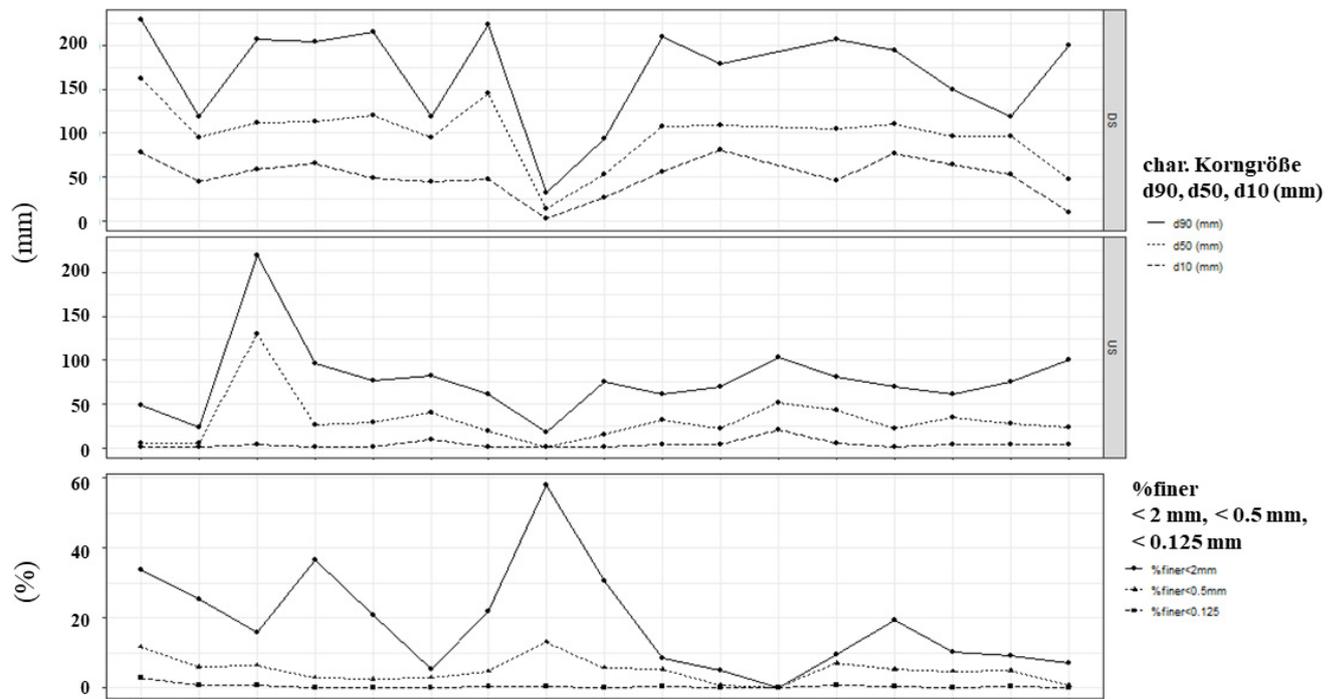


Abbildung 2: Exemplarischer Längsverlauf der KGV – jeder Punkt in der Grafik für eine Probestelle. Deckschicht (oben), Unterschicht (mittig), %finer (unten).

2.2 Morphologische Zustandsbeschreibung

Bei der gegenständlichen morphologischen Zustandsbeschreibung wird auf Basis von 2D-HN-Modellen (2-dimensionale hydrodynamisch-numerische Modellierung) die Situation vorhandener Strukturen hinsichtlich ihres potenziellen Habitatdargebots bei repräsentativen Abflusssituation in den anfangs definierten Abschnitten (vgl. Kapitel 2) untersucht. Mit Hilfe einer multi-parametrischen Herangehensweise wird die hydraulische Situation sowie als Folge davon das Habitatpotenzial für ausgewählte Zeigerarten ermittelt und dargestellt (vgl. Abbildung 3).

2.2.1 Numerische Modelle

Einleitung (nach Bollrich, 2000)

Voraussetzung für die Abflussmodellierung sind die Erhaltungsgleichungen der Physik, und zwar die für Masse, Impuls und Energie. Bei der Betrachtung eines Kontrollvolumens kann gesagt werden, dass die zeitliche Änderung einer Größe der Summe aller Zu- bzw. Abflüsse über den Rand entspricht, zusätzlich zur Bilanz aus Quellen und Senken innerhalb des betrachteten Volumens (HABERSACK et al., 2007).

Massenerhaltung (Kontinuität)

- Für inkompressible Flüssigkeiten ($\rho = \text{const}$) ergibt sich die zeitliche Änderung des Volumenstroms (dV/dt) am differentialen Raumelement (Flüssigkeitsvolumen dV) wegen der zugrundeliegenden Erhaltung der Masse zu Null. Die Kontinuitätsgleichung beschreibt die partiellen Ableitungen der räumlichen Geschwindigkeitskomponenten (v_i):

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) dV dt = 0 \quad [-] \quad (\text{Formel 1})$$

Bei eindimensionaler Betrachtungsweise bewegt sich die Flüssigkeit mit über die Fließfläche konstanter Geschwindigkeit. bei inkompressibler Flüssigkeit ($\rho = \text{const}$) bewirkt die Änderung des Volumenstroms (Q) in Fließrichtung eine Änderung des Rauminhaltes (Fließfläche A mal Fließweg ∂s):

$$\frac{\partial Q}{\partial s} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad [-] \quad (\text{Formel 2})$$

- Für den eindimensionalen, allmählich veränderlichen instationären Abfluss wird die Änderung der Fließfläche (∂A), bedingt durch die Änderung der Wasserspiegelhöhe (∂z), definiert ($\partial A = b \partial z$). Unter Berücksichtigung des Quotienten aus Fließfläche (A) und Wasserspiegelbreite (b), als mittlere Wassertiefe (h_m), ergibt sich die Kontinuitätsgleichung nach Saint Venant:

$$h_m \frac{\partial v}{\partial s} + v \frac{\partial z}{\partial s} + \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{v}{b} \left(\frac{\partial A}{\partial s} \right)_{z=const} = 0 \quad [-] \quad (\text{Formel 3})$$

Energieerhaltung

- Bei eindimensionaler Betrachtung der Strömung in Längsrichtung ist unter der Voraussetzung der Reibungsfreiheit die gesamte hydraulische Energie der Masse konstant. Als Energiehöhen ausgedrückt (auf Gewichtseinheit bezogene Energie mit der Dimension einer Länge) setzt sich die hydraulische Energie aus geodätischer Höhe (z), Druckhöhe (p) und Geschwindigkeitshöhe ($v^2/2g$) zusammen. Das ergibt die Bernoulli-Gleichung. Unter Berücksichtigung der Reibung erfolgt die Erweiterung der Gleichung um einen Energiebeitrag, die Verlusthöhe (h_v):

$$h_E = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + h_v = const \quad [-] \quad (\text{Formel 4})$$

Impulserhaltung

- Um die bei der Strömung auftretenden Verluste an hydraulischer Energie zu erfassen, kann mithilfe des Impulssatzes der dynamische Fließzustand auf einen statischen zurückgeführt werden. Ein Masseteilchen ändert seine Geschwindigkeit nur durch die Massekraft (Gewicht) und die Druck- und Reibungskräfte, die von Nachbarpartikeln ausgeübt werden. Die geometrische Summe aller eine Flüssigkeitsmasse angreifenden Kräfte (F) entspricht der Änderung des Impulsstromes der Masse ($\rho Q v$).

$$F = d(\rho Q v) \quad [-] \quad (\text{Formel 5})$$

- In der Hydromechanik wird der Impulssatz in Form des Stützkraftsatzes verwendet. Dieser besagt, dass die vom Stromröhrenmantel auf die Flüssigkeit wirkenden Kräfte und die Massekraft (Gewicht) (F_K) mit den Stützkraften (F_{S1} und F_{S2}), die an den geschnittenen Fließflächen der Stromröhre angreifen, im Gleichgewicht stehen:

$$F_S = F + \rho Q v \quad [-] \quad (\text{Formel 6})$$

$$F_K + F_{S1} + (-F_{S2}) = 0 \quad [-] \quad (\text{Formel 7})$$

Navier-Stokes-Gleichung

- An der Oberfläche eines strömenden Flüssigkeitsteilchens wirken Druckkräfte und Schubkräfte. Letztere entstehen infolge Zähigkeit und Turbulenz und bewirken die hydraulischen Verluste. Unter Einführung des

Newtonschen Reibungsansatzes ($\tau = \eta(dv/dn)$) ergeben sich die Navier-Stokes-Gleichungen, hier ausgeschrieben für die x-Komponente. Die Terme beschreiben von links nach rechts: Beschleunigung gleichgesetzt Massenkraft, Druck, Reibung:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} = X - \left(\frac{1}{\rho}\right) \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) + \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2}\right) \quad [-] \quad (\text{Formel 8})$$

- Um einen praktikablen Rechenaufwand durch die Numerik zu ermöglichen, muss die Navier-Stokes-Gleichung vereinfacht werden. Dies geschieht z.B.: durch Reduktion der Dimensionalität bzw. durch die Vernachlässigung von Termen der Ausgangsgleichung (Habersack et al., 2007).

Hydro_AS-2D

Das Programm Hydro_AS-2D dient zur Modellierung von zweidimensionalen tiefengemittelten Strömungen. Es basiert auf der numerischen Lösung der 2d- tiefengemittelten Strömungsgleichungen mit der Finite-Volumen Diskretisierung (NUJIC, 1999). Als Ergebnis stehen für jedes berechnete Element die Wasserspiegellage, die tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung zur Verfügung. Als Randbedingungen für die Modelle wurden Durchfluss und Energieliniengefälle definiert. Die Ergebnisse der Abflussmodellierung mittels Hydro_AS-2D dienen als Eingangsgröße für die Habitatmodellierung.

Als Datengrundlage für die 2D-HN-Modellierung dienen einerseits die konventionell, terrestrisch (Tachymeter oder RTK-GNSS-GPS) vermessenen Geländepunkte innerhalb des benetzten Bereiches sowie andererseits die als Ergänzung der Geländeinformation zugezogenen ALS Daten (1x1m DGM des BMNT bzw. LFRZ). Für die Habitatmodellierung werden geprüfte Nutzungskurven (Quelle: IHG) herangezogen.

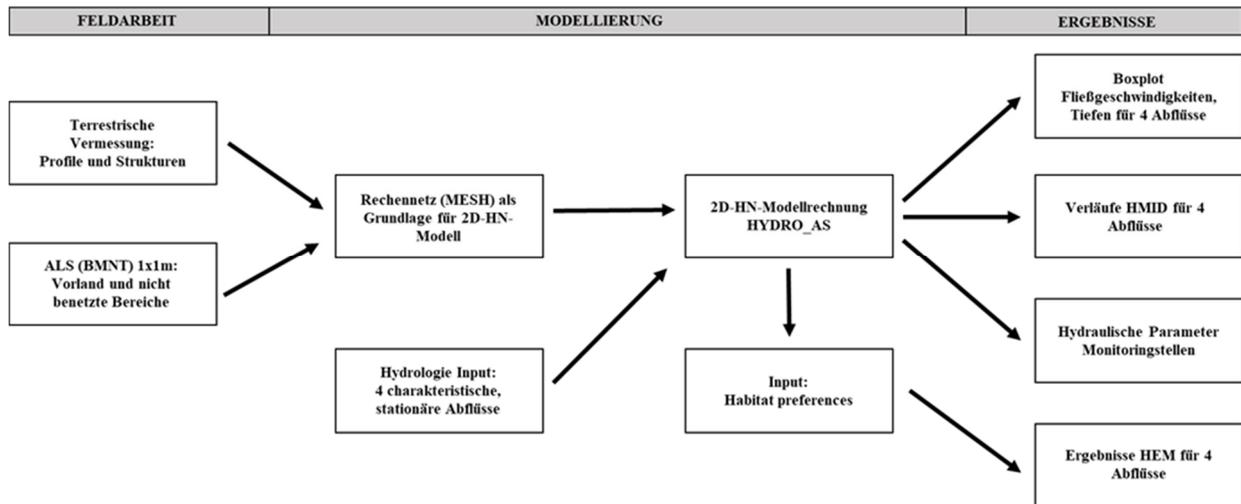


Abbildung 3: Ablaufschema der Arbeitsschritte von der Erhebung bis Darstellung der Parameter für die morphologische Zustandsbeschreibung.

Für die Erstellung der Verteilungen von Fließgeschwindigkeiten (v) und Wassertiefen (d) und die Errechnung des HMIID werden die Ergebnisse der 2D-HN-Modellierung jeweils für die vier (in Einzelfällen fünf) charakteristischen Abflüsse ($[Q_1(\text{TS}_1 \text{ bzw. timestep } 1) = 0.5 \times Q_{95\text{PCT}}, Q_2(\text{TS}_2 \text{ bzw. timestep } 2) = Q_{95\text{PCT}}, Q_3(\text{TS}_3 \text{ bzw. timestep } 3) = 3 \times Q_{95\text{PCT}}, Q_4(\text{TS}_4 \text{ bzw. timestep } 4) = 2 \times MQ; Q_5(\text{TS}_5 \text{ bzw. timestep } 5) = 5 \times MQ]$) in die Software QGIS (Plugin crayfish ©Lutra Consulting) importiert, die Ergebnisse auf ein $0.5 \times 0.5 \text{ m}$ Raster diskretisiert (bilineares Interpolationsverfahren) und entlang der Fließgewässerachse ausgewertet (vgl. Abbildung 4). Als Randbedingung wurde eine Toleranz der Werte von $0,01 \text{ m bzw. m}\cdot\text{s}^{-1}$ gewählt. Das bedeutet alle Rasterwerte kleiner als $0,01$ wurden auf 0 gesetzt.

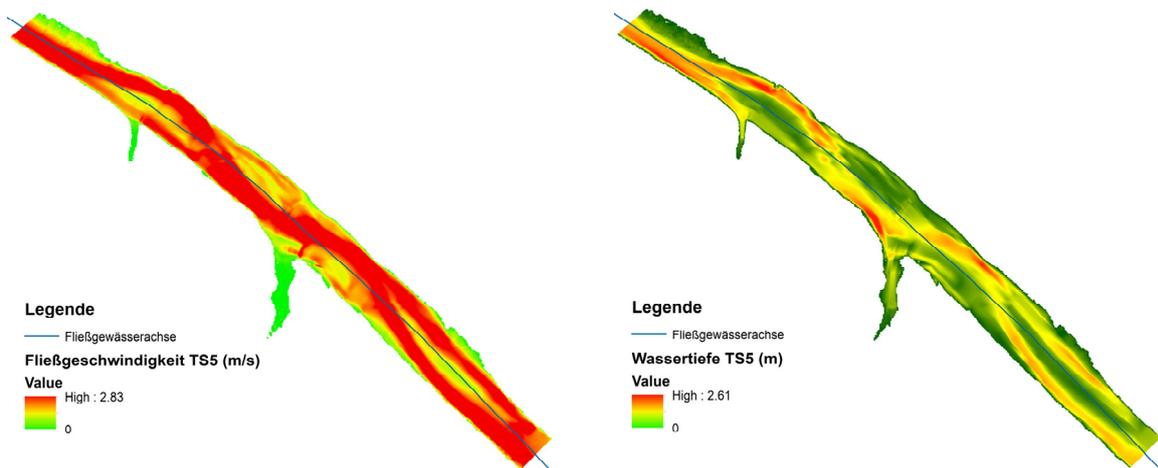


Abbildung 4: Exemplarische Darstellung der modellierten Fließgeschwindigkeiten (li.) und Wassertiefen (re.) als Rasterdatensatz (TS5)

Aus den so erstellten Fließgeschwindigkeits- und Wassertiefenraster werden im nächsten Schritt die Verteilungen für die jeweiligen Zeitschritte (Q bzw. TS [timestep]) der Modellierung (TS_1-5 [timestep 1-5]) dargestellt (vgl. Abbildung 5 und Abbildung 6).

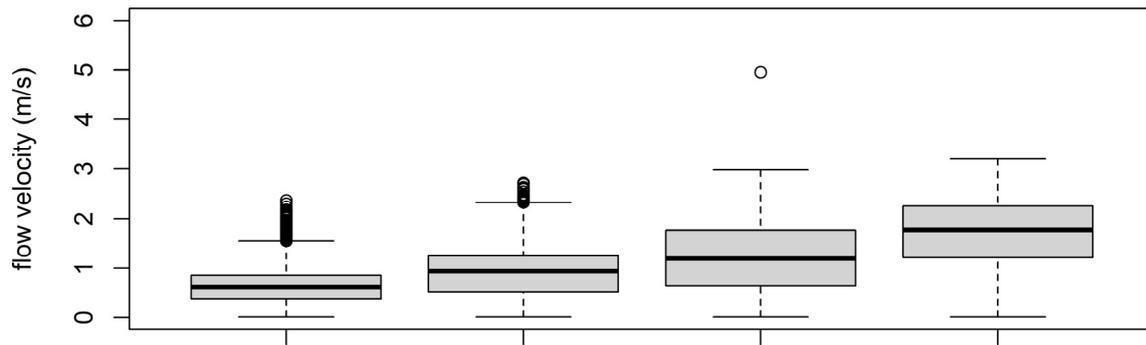


Abbildung 5: Verteilung der Fließgeschwindigkeiten für TS 2-5 (Q_{95PCT}, 3 x Q_{95PCT}, 2 x MQ, 5 x MQ)

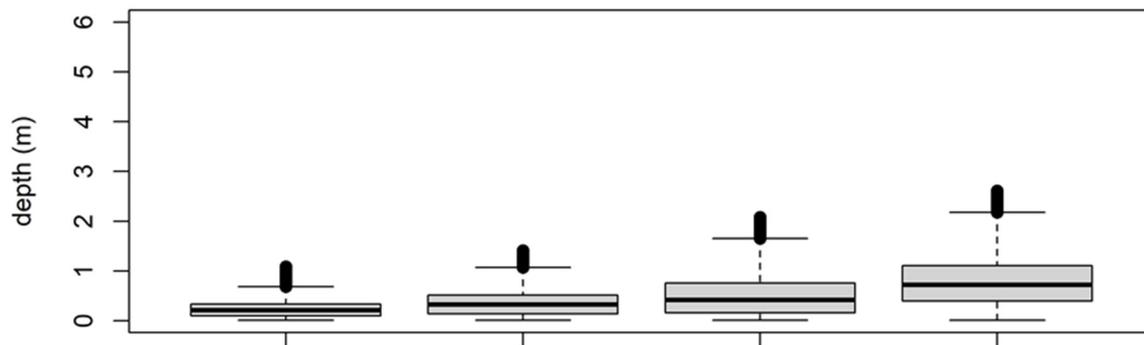


Abbildung 6: Verteilung der Wassertiefen für TS 2-5 (Q_{95PCT}, 3 x Q_{95PCT}, 2 x MQ, 5 x MQ)

Die gesonderte Auswertung der Fließgeschwindigkeits- und Wassertiefen ermöglicht in weiterer Folge eine exakte Interpretation des HMID der aus den Variationen der oben genannten Parameter errechnet wird (vgl. Greimel et al. (2020)):

$$\text{HMID} = \left(1 + \frac{\sigma_v}{\mu_v}\right)^2 \times \left(1 + \frac{\sigma_d}{\mu_d}\right)^2$$

Formel 9

σ_v	Standardabweichung der Fließgeschwindigkeit (m/s)
μ_v	Arithmetischer Mittelwert der Fließgeschwindigkeit (m/s)
σ_d	Standardabweichung der Wassertiefe (m)
μ_d	Arithmetischer Mittelwert der Wassertiefe (m)

Für die Interpretation des HMID als Maß für die Diversität eines Fließgewässerabschnittes ist es unumgänglich die flusstypspezifischen und lokalen Randbedingungen (z.B. können Einbauten wie Brückenpfeiler zu lokalen HMID Spitzen führen) zu berücksichtigen. Z.B. zeigen Fließgewässer vom Typus Flachbettfluss in der Regel geringere Diversitäten hinsichtlich v und d als ein furkierende Flussabschnitt. Somit sollten keine Absolutwerte aus der HMID Auswertung als Vergleichswerte unterschiedlicher Flusstypen und Ausprägungen herangezogen werden, sondern ein besonderes Augenmerk auf die Diversität über das (modellerte) Abflussspektrum innerhalb eines

Abschnittes gelegt werden. Ein hoher HMID Wert kennzeichnet eine hohe hydraulische Diversität aber nicht zwingend eine hohe Habitatverfügbarkeit für eine bestimmte Zeigerart.

Für die Erstellung der HMID Tabellen und Grafiken werden die Fließgeschwindigkeits- und Wassertiefenraster auf die entsprechende Fließgewässerachse projiziert und in einer gewählten Betrachtungslänge ausgewertet (z.B. 10m). Das bedeutet, dass alle Werte (v bzw. d) in einem 10m langen Abschnitt orthogonal auf die Längsachse des Fließgewässers projiziert werden (ESRI ArcGIS „locate features along routes“) und im Anschluss daraus der HMID nach Formel 9 berechnet wird. Als Randbedingungen werden eine maximale laterale Entfernung zur Fließgewässerachse von 100m gewählt.

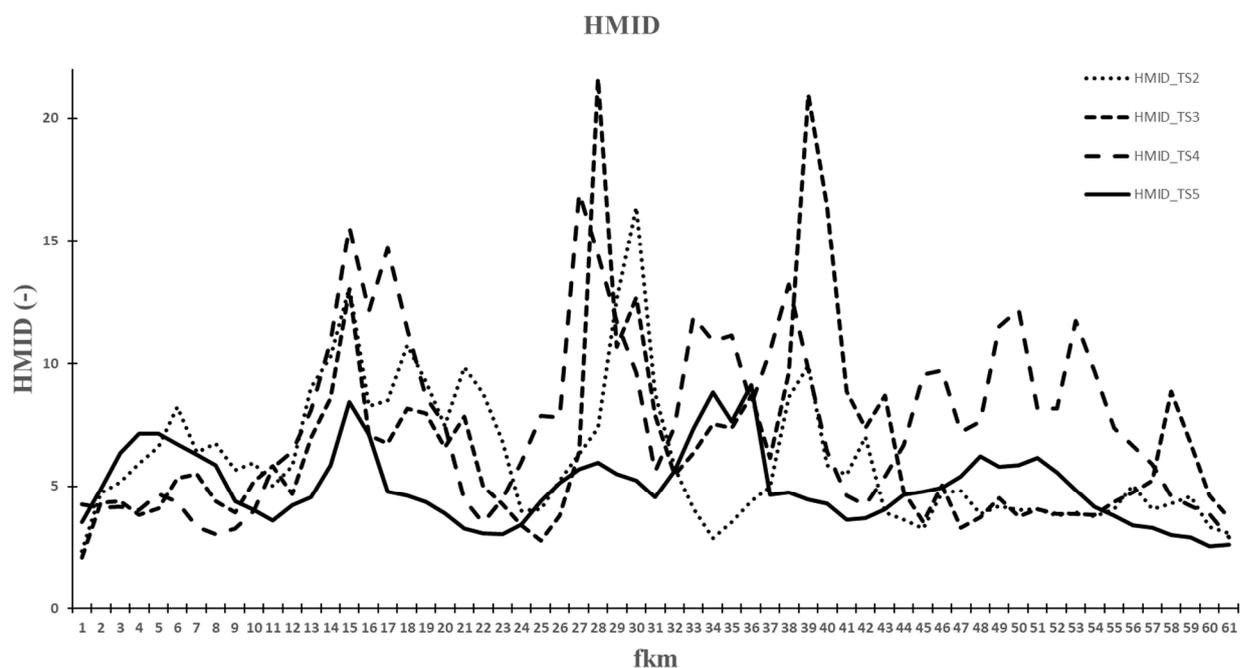


Abbildung 7: Exemplarische Darstellung des HMID Verlaufs

Für die Beschreibung der lokalen hydraulischen Verhältnisse an den biologischen Monitoringstellen werden die Parameter v, d, Tau an den mittels GPS festgehaltenen Bereichen ausgelesen und der interdisziplinären Parameterliste zugeführt (vgl. Zeiringer et al. (2020)).

Als letzter Parameter für die morphologische Zustandsbeschreibung wird mit der Software HEM (Habitat Evaluation Model) eine Habitatmodellierung für die Zeigerarten *Allogamus auricollis* sowie *Rhithrogena sp.* auf Mikrohabitatebene durchgeführt (vgl. Abbildung 8). Die Nutzungskurven wurden vom Institut für Hydrobiologie, Arbeitsgruppe MZB zur Verfügung gestellt.

Allogamus auricollis gehört zur Ordnung der Köcherfliegen und ist Teil der Familie der *Limnephilidae* (SCHMIDT-KLOIBER und HERING, 2012). Sie besiedelt vor allem das Rhithral und stellt aufgrund der Individuendichte und Biomasse eine dominierende Art innerhalb der Köcherfliegen- und der gesamten MZB-zönose dar

(GRAF und LEITNER, 2012). Wie alle Köcherfliegen durchlaufen sie als holometaboles Insekt ein Ei, mehrere Larven-, ein Puppen-, und ein Imaginalstadium. Die Anzahl der Larvenstadien bei *A. auricollis* beträgt 5. Der Lebenszyklus dieser Art ist univoltin. Die von einer dicken Gallertschicht geschützten Eier werden von August bis November abgelegt. Bereits drei bis vier Wochen nach der Eiablage schlüpfen die ersten Larven. Nach dem Durchlaufen aller Larvenstadien beginnen sich die Larven im Juli/August des Folgejahres zu verpuppen. Etwa vier Wochen nach Beginn der Verpuppung verlässt die Puppe den Köcher und begibt sich an Land, um dort die Häutung zum Imago durchzuführen (WARINGER und GRAF, 2011). Mitte August bis Ende Oktober schlüpfen die Imagines wobei sich die Flugzeit noch bis in den November hinein erstrecken kann (WARINGER, 1986).

Die Gattung *Rhithrogena* (*Heptageniidae*) gehört der Ordnung der Eintagsfliegen (*Ephemeroptera*) an und ist in Österreich mit 26 verschiedenen Arten vertreten (SCHMIDT-KLOIBER und HERING, 2012). Die Arten dieser Gattung sind hauptsächlich im Rhithral angesiedelt und nur einige wenige Arten sind im Epipotamal vorzufinden. Stehende Gewässer dienen dieser Gattung nicht als Lebensraum (TOMKA und RASCH, 1993). Um der starken Strömung standzuhalten verwendet *Rhithrogena sp.* ihre Kiemen als Saugnapf. Durch diese spezielle Anpassung an den Lebensraum kann ein Unterspülen bzw. Ausheben durch die Strömung verhindert werden (JUNGWIRTH et al., 2003). Die dorsoventral (vom Rücken zum Bauch) abgeplattete Morphologie aller Larven ist einheitlich. Morphologisch-ökologisch betrachtet, zählt der Larventyp dieser Gattung zum Klammertyp (ELLIOT et al., 1988). Wie auch alle anderen *Heptageniiden* wird diese Gattung den Weidegängern zugeordnet, sie ernähren sich somit durch Abschaben von Aufwuchs auf festem Substrat (STRENGER, 1953).

Der Lebenszyklus zeichnet sich durch das Hervorbringen von einer Generation pro Jahr aus. Es kann zwischen Winter- und Sommerzyklus unterschieden werden. Im Winter überdauern die Larven und im Sommer die Eier. Arten welche einen Winterzyklus aufweisen emergieren im Frühjahr (spätestens Juni/Juli) und Arten mit Sommerzyklus in der zweiten Jahreshälfte ab Juni/Juli (TOMKA und RASCH, 1993).

2.2.2 HEM – Habitat Evaluation Model

Zur Modellierung der Mikrohabitate in den einzelnen Detailstrecken wurde das am Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA) entwickelte Programm namens „Habitat Evaluation Model“ (HEM) herangezogen. HEM verwendet für die Mikrohabitatmodellierung den sogenannten PHABSIM Ansatz (BOVEE, 1986). Dabei wird die von abiotischen Parametern abhängige Habitateignung für eine bestimmte Art, in einem bestimmten Altersstadium, durch den „Suitability Index“ ausgedrückt. Suitability Indices für einzelne Parameter wie z.B.: Wassertiefe (SI_d) oder Fließgeschwindigkeit (SI_v) werden durch Multiplikation zu einer „Gesamt-Suitability“ (SI_{total}) kombiniert (siehe Formel 10).

$$SI_{total} = SI_v * SI_d \quad [-] \quad \text{(Formel 10)}$$

Mithilfe der Formel 11 konnten im HEM die *Weighted Usable Areas* an den verschiedenen Detailstrecken bei unterschiedlichen Schwallszenarien ermittelt werden. Dabei wird für jede Rasterzelle die Fläche der Zelle (A_i) mit deren Nutzungsindex (SI_{total}) gewichtet. Bildet man die Summe aller Einzelergebnisse des gesamten Gewässernetzes (mesh), so erhält man die *Weighted Usable Area* (WUA) für den betrachteten Flussabschnitt.

$$WUA = \sum_{i=1}^n SI_{total_i} * A_i \quad [m^2] \quad (\text{Formel 11})$$

Um unabhängig von der Größe des modellierten Flussabschnittes eine Aussage über die verfügbaren Habitatflächen treffen zu können, wird die WUA in Relation zur benetzten Fläche (A_w) gestellt (siehe Formel 12). Dieser Wert wird als *Hydraulic Habitat Suitability* (HHS) bezeichnet.

$$HHS = \frac{WUA}{A_w} \quad [-] \quad (\text{Formel 12})$$

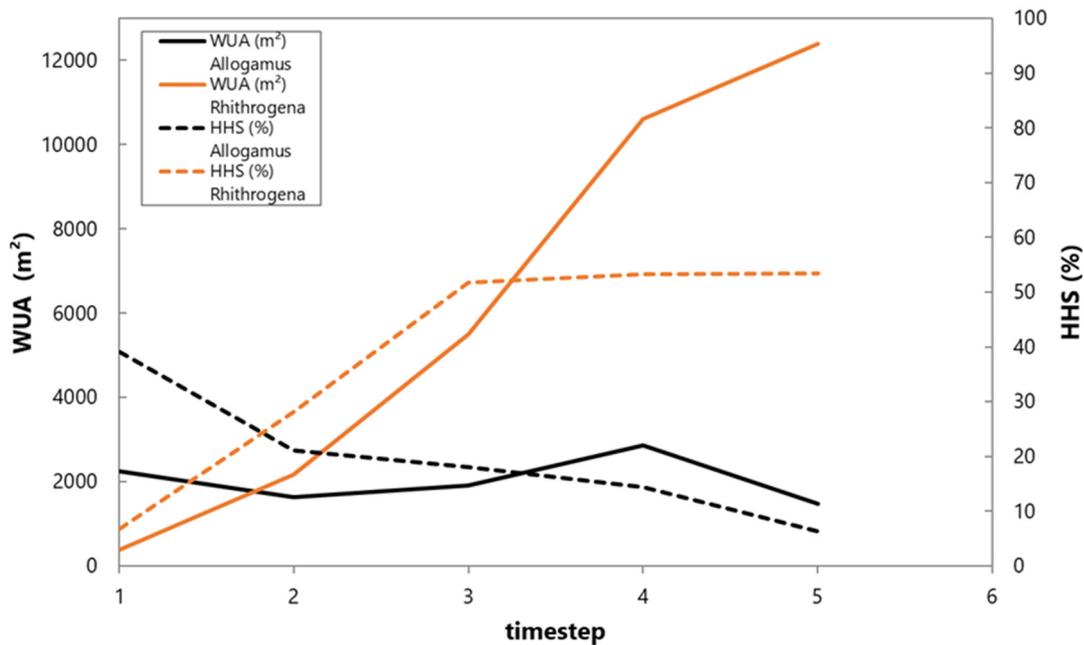


Abbildung 8: Exemplarisches Ergebnis aus der Habitatmodellierung für 5 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

Entscheidend für die Bewertung der Abschnitte mithilfe Habitatmodellierung ist das Vorhandensein potenzieller Habitate auch bei höheren Durchflüssen. Die Zeigerart *Allogamus auricollis* präferiert Habitate mit niedrigen Fließgeschwindigkeiten, *Rhithrogena sp.* bevorzugt im Gegensatz dazu höhere Strömungsgeschwindigkeiten.

Mit der Zusammenschau der in diesem Kapitel erläuterten Ergebnisdarstellungen soll ein möglichst gesamtheitliches Bild der hydromorphologischen Zustände bei unterschiedlichen Abflüssen geschaffen werden. Es ist jedoch essenziell die großräumigen Rahmenbedingungen im Einzugsgebiet zu berücksichtigen. Ein Vergleich oder Ranking von Absolutwerten des HMID oder der Habitatmodellierung ist unzulässig und führt zu falschen Ergebnissen, sofern sich die Rahmenbedingungen signifikant ändern. Zu solch einer Änderung der Rahmenbedingungen kann es auch innerhalb eines Fließgewässers(abschnittes) kommen.

2.3 Morphologische Strukturbewertung

Um eine möglichst hohe morphologische und hydraulische Diversität und somit in weiterer Folge ein hohes Habitatpotenzial zu ermöglichen, sind für ein integratives Sunk-/Schwallmanagement morphologische Strukturen, die über das gesamte Abflussspektrum wirksam sind, von großer Bedeutung.

Die Detailuntersuchung einzelner morphologischer Strukturen und Flussabschnitte erfolgte im Rahmen von SuREmMa+ mittels zweidimensionaler, tiefengemittelter hydrodynamischer (2D-HN) Modellierung. Hier wurden für alle Flussabschnitte vier [fünf] charakteristische Durchflüsse ($[Q1(\text{TS1 bzw. timestep 1}) = 0.5 \times Q_{95\text{PCT}}]$, $Q2(\text{TS2 bzw. timestep 2}) = Q_{95\text{PCT}}$, $Q3(\text{TS3 bzw. timestep 3}) = 3 \times Q_{95\text{PCT}}$, $Q4(\text{TS4 bzw. timestep 4}) = 2 \times MQ$; $Q5(\text{TS5 bzw. timestep 5}) = 5 \times MQ$) stationär modelliert und die hydromorphologische Diversität der Strukturen hinsichtlich des potenziellen Habitatdargebots bei unterschiedlichen Abflüssen anhand des sogenannten Index der hydro-morphologischen Diversität (HMID) (vgl. Formel 9; Gostner et al., 2013), den Verteilungen von v und d sowie einer Habitatmodellierung ermittelt.

Um das Ziel einer gesamtheitlichen strukturellen Bewertung zu erreichen, wird die Bewertung der Güte der morphologischen Strukturen im Rahmen von SuREmMa+ in Abhängigkeit zu deren Wirksamkeit über das gesamte Abflussspektrum vorgenommen. Die Klassifizierung erfolgt in die vier untenstehenden Kategorien:

- **Anthropogen überprägt - M0:** Abschnitte in denen der Raumbedarf des Fließgewässers längs und quer der Fließachse (begradigt sowie im Querschnitt eingeengt) durch Siedlungsgebiet oder intensiver anthropogener Nutzung stark eingeschränkt ist und zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine Änderung der Raumnutzung nicht möglich erscheint.
- **Strukturiert NW - M1:** Die hydraulische Wirksamkeit von morphologischen Strukturen im Sinne des potenziellen Habitatdargebots für verschiedenste Nutzungsansprüche (Bereiche mit hoher und niedriger Fließgeschwindigkeit und Tiefe) zeigt sich nur im niedrigen Abflussbereich (NW). Darüber hinaus (im Sinne des Abflusses) ist der Abschnitt von geringen Varianzen bzgl. Fließgeschwindigkeit und Tiefe geprägt.
- **Strukturiert MW - M2:** Die hydraulische Wirksamkeit von morphologischen Strukturen geht über den Mittelwasserbereich (MW) hinaus und reicht in etwa bis HQ1. Lediglich bei Hochwasserabflüssen mit mittlerer und geringer Auftrittswahrscheinlichkeit sinkt die Varianz an Fließgeschwindigkeit und Tiefe wieder.

- **Strukturiert HW - M3:** Bei sämtlichen im Jahr vorkommenden Abflüssen (Ausnahme Extremereignisse) weist der Abschnitt eine ausreichende Varianz hinsichtlich Fließgeschwindigkeiten und Tiefen auf. Unterschiedliche Nutzungsansprüche der Biota können in allen Abflussbereichen aus Sicht der morphologischen Diversität für alle funktionalen Habitate erfüllt werden.

Für die endgültige Bewertung der morphologischen Strukturgüte wird neben der flächigen Ausweisung des HMID (Streckenebene) auch eine Bewertung kleinräumiger Abschnitte auf Basis der 2D-HN-Modellierung durchgeführt. Dabei wird die hydraulische Situation anhand von definierten (hydromorphologischen) Nutzungsansprüchen über das gesamte Abflussspektrum bewertet. Für die Klasse M3 müssen, dem natürlichen Flusstyp entsprechend, morphologische Strukturen in ausreichender Größe und Anzahl vorhanden sein, die über das gesamte Abflussspektrum ihre Wirkung entfalten können. Analog dazu erfolgt die Bewertung auf Basis der HMID Auswertung (Streckenebene) sowie der 2D-HN-Modellergebnisse für andere Klassen. Im folgenden Teil werden exemplarisch für die Klassen M1, M2, M3 Bewertungsbeispiele vorgestellt und interpretiert.

2.3.1 Kategorie M1 – Wirksamkeit im niedrigen Abflussbereich

Die hydraulische Wirksamkeit von morphologischen Strukturen im Sinne des potenziellen Habitatdargebots für verschiedenste Nutzungsansprüche (Bereiche mit hoher und niedriger Fließgeschwindigkeit und Tiefe) zeigt sich nur im niedrigen Abflussbereich (NW). Darüber hinaus (im Sinne des Abflusses) ist der Abschnitt von geringen Varianzen bzgl. Fließgeschwindigkeit und Tiefe geprägt (vgl. Abbildung 9, Abbildung 10, Abbildung 11).

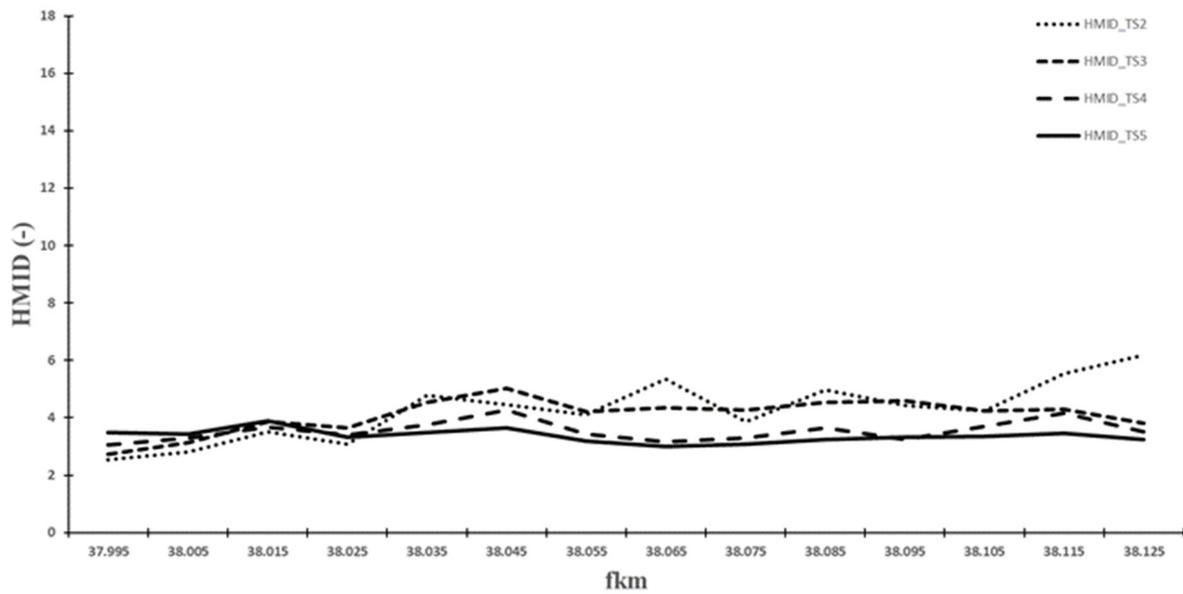


Abbildung 9: Exemplarischer HMD Verlauf M1 für 4 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

Der HMD Verlauf zeigt sich auf konstantem Niveau und hat lediglich im niedrigen Abflussbereich (HMD_TS2) vereinzelte Spitzen auf niedrigem Level (z.B. fkm 38.065). Das Gefälle beträgt 0.009 m/m, es besteht keine natürliche laterale Beschränkung im alluvial sedimentierten Talboden womit an dieser Stelle unter diesen Randbedingungen im ungestörten Bereich eine höhere Diversität zu erwarten wäre. Die Verteilungen der Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen weisen in den hohen Abflussbereichen hohe Werte mit wenig Streuung auf.

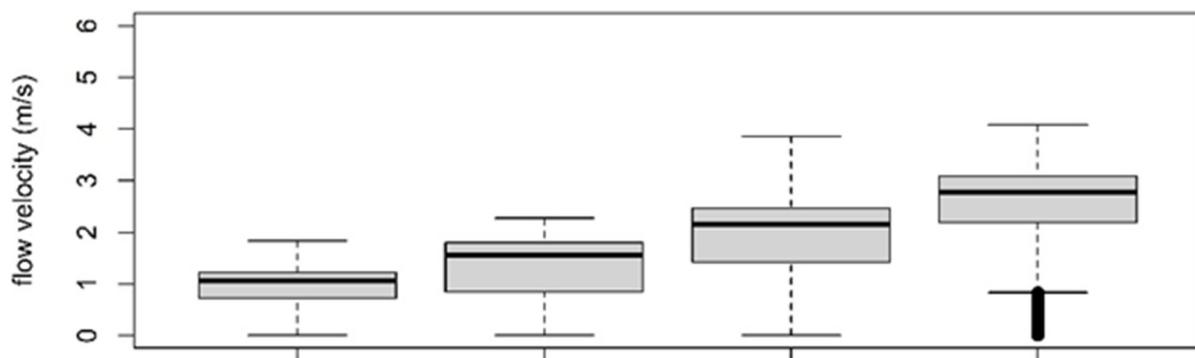


Abbildung 10: Exemplarische Verteilung der Fließgeschwindigkeiten - M1 für 4 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

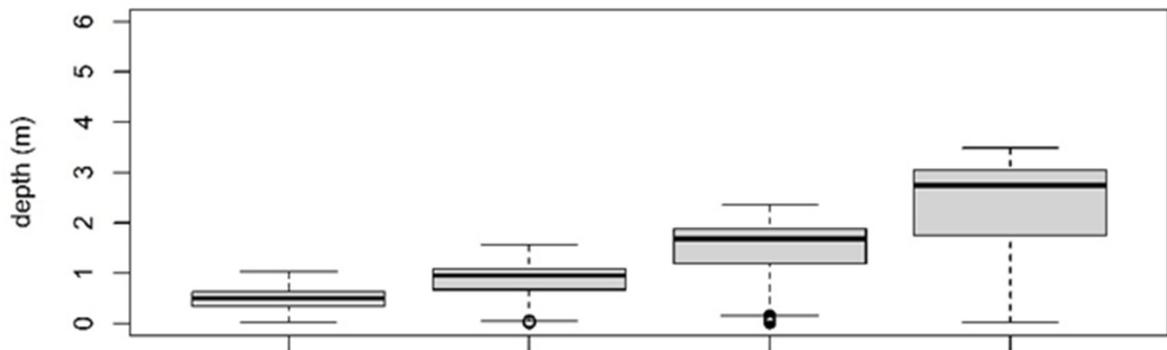


Abbildung 11: Exemplarische Verteilung der Wassertiefen - M1 für 4 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

Die Habitatmodellierung (vgl. Abbildung 12) zeigt ein Habitatpotenzial im Bereich TS1-3, wobei die Zeigerart *Allogamus auricollis* bei TS1 (0.5 x Q95PCT) bereits ihr Maximum aufweist. Ab TS3 (3 x Q95PCT) gehen die Habitatpotenziale auch für *Rhithrogena sp.* zurück was mit der hohen Fließgeschwindigkeit ab TS4 zu erklären ist

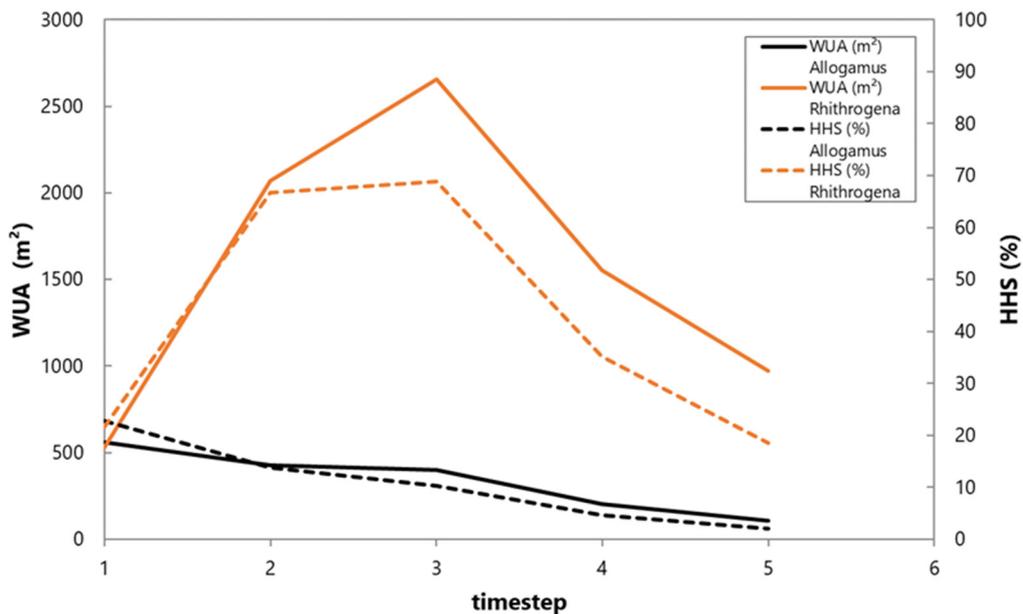


Abbildung 12: Exemplarische Habitatmodellierung - M1 für 5 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

Zu einer Verbesserung der morphologischen Güte und in weiterer Folge einer Erhöhung des Habitatpotenzials in diesem Abschnitt würde als Ableitung aus den oben dargestellten Modellierungsergebnissen eine Erhöhung der Diversität in allen Abflussbereichen führen. Als spezielles Defizit hinsichtlich des Habitatpotenzials ist noch die sehr hohe Fließgeschwindigkeit zu nennen. Jegliche Maßnahme zur signifikanten Reduktion könnte zusätzlichen Lebensraum in diesen Abflussbereichen schaffen.

Neben den hydraulischen und habitatspezifischen Auswertungen zeigt auch die Korngrößenverteilung (vgl. Abbildung 13) ein augenscheinliches Defizit: Durch die erhöhten Fließgeschwindigkeiten und die somit hohe Transportkapazität kommt es zum „auswaschen“ der feinen Fraktionen aus der Deckschicht. Gerade diese Fraktionen stellen aber die Grundlage für das Habitat zahlreicher (semi-)aquatischer Lebensgemeinschaften dar.

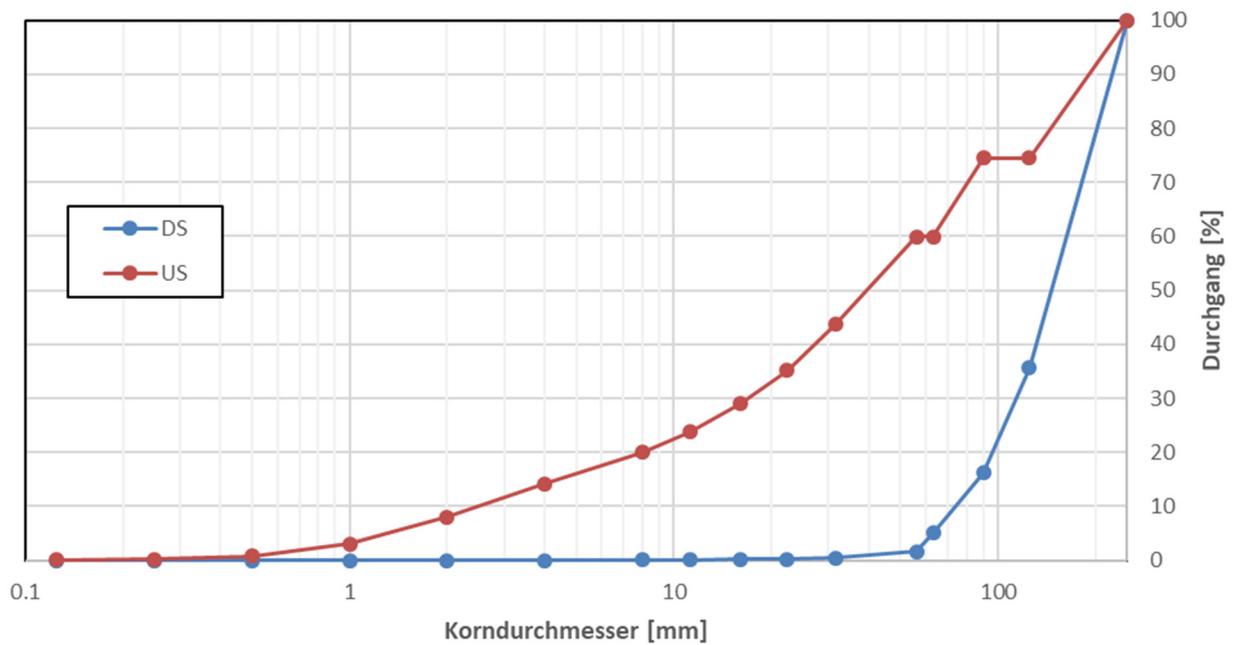


Abbildung 13: Exemplarische Darstellung KGV - M1; DS=Deckschicht; US=Unterschicht.

2.3.2 Kategorie M2 - Wirksamkeit im mittleren Abflussbereich

Die hydraulische Wirksamkeit von morphologischen Strukturen geht über den Mittelwasserbereich (MW) hinaus und reicht in etwa bis HQ1. Lediglich bei Hochwasserabflüssen mit mittlerer und geringer Auftretswahrscheinlichkeit sinkt die Varianz an Fließgeschwindigkeit und Tiefe wieder. Der HMD im Abschnitt (vgl. Abbildung 14) weist bei allen Durchflüssen lokale Spitzen an vereinzelt Strukturen auf. Während die modellierten HMD-Werte bei TS2-4 über die Strecke verteilt variabel sind, weist der HMD bei TS5 lediglich eine Spitze im Bereich einer Zubringermündung auf (vgl. Kapitel Methodik – laterale Toleranz von 100m orthogonal zur Fließgewässerachse).

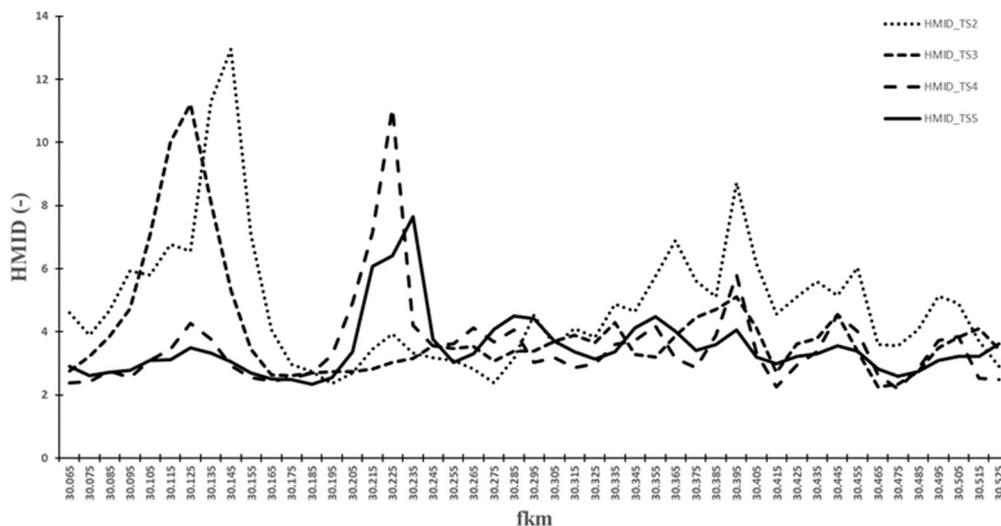


Abbildung 14: Exemplarische Darstellung HMD Verlauf - M2 für 4 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

Die Verteilung der Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen (vgl. Abbildung 15 und Abbildung 16) zeigt eine moderate Verteilung mit mehreren Ausreißern nach oben in den niederen Abflussbereichen (TS2 und TS3).

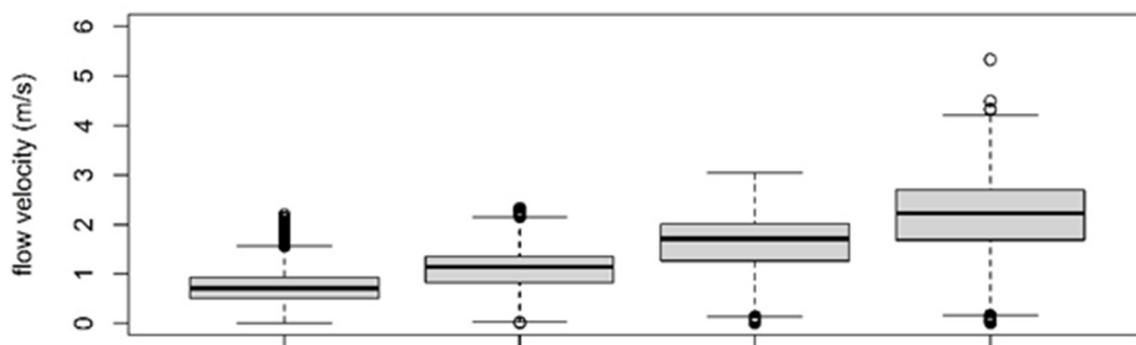


Abbildung 15: Exemplarische Verteilung der Fließgeschwindigkeiten - M2 für 4 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

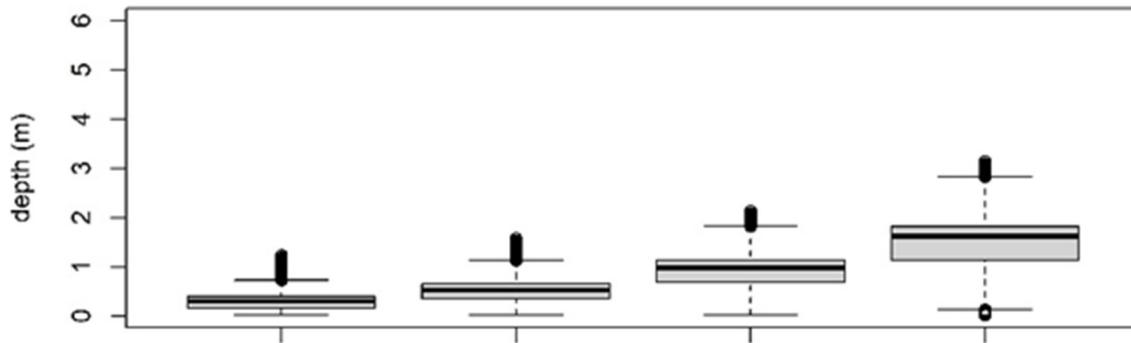


Abbildung 16: Exemplarische Verteilung der Wassertiefen - M2 für 4 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

Die Habitatmodellierung zeigt das maximale Habitatpotenzial für *Rhithrogena sp.* bei TS4 und bricht danach aufgrund der zu hohen Fließgeschwindigkeiten ein. *Allogamus auricollis* hat seinen höchsten Wert bei TS2 jedoch mit einer HHS von ca. 20 % einen hohen Wert aufgrund der verhältnismäßig niedrigen Fließgeschwindigkeiten (vgl. Abb. 17).

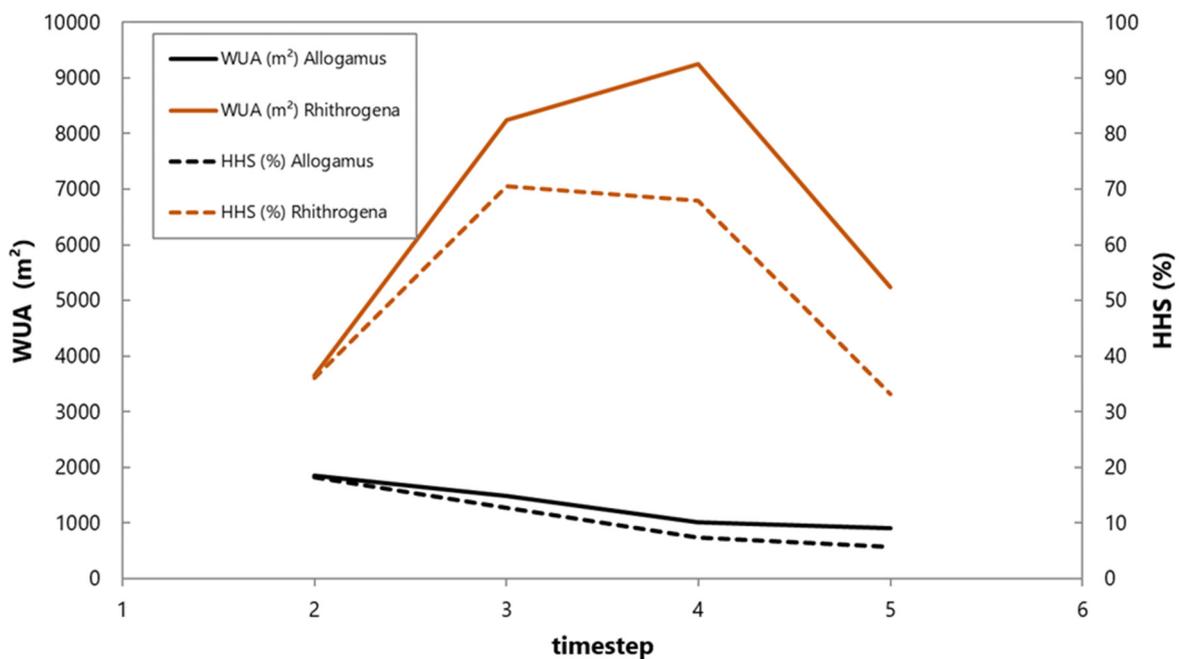


Abbildung 17: Exemplarische Habitatmodellierung - M2 für 4 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

Das Gefälle beträgt im Mittel im vorliegenden Abschnitt 0.007 m/m, es besteht keine natürliche laterale Beschränkung im alluvial sedimentierten Talboden womit an dieser Stelle unter diesen Randbedingungen im ungestörten Bereich eine höhere Diversität zu erwarten wäre. Gerade ab fkm 30.25 könnten strukturbildende Maßnahmen mit dem Ziel einer Erhöhung der Diversität das Habitatpotenzial in der Gesamtbetrachtung der Strecke heben. Um die hohen Fließgeschwindigkeiten ab TS4 zu senken wäre eine Aufweitung, die ihre Wirksamkeit erst bei höheren Abflüssen entfaltet zielführend (gegliedertes Querprofil).

In der Abbildung 18 ist ein Vergleich der Korngrößenverteilung zwischen Deck- und Unterschicht dargestellt. Auch in dieser Analyse ist die durch den selektiven Transport deutliche Vergröberung an der Sohloberfläche ersichtlich.

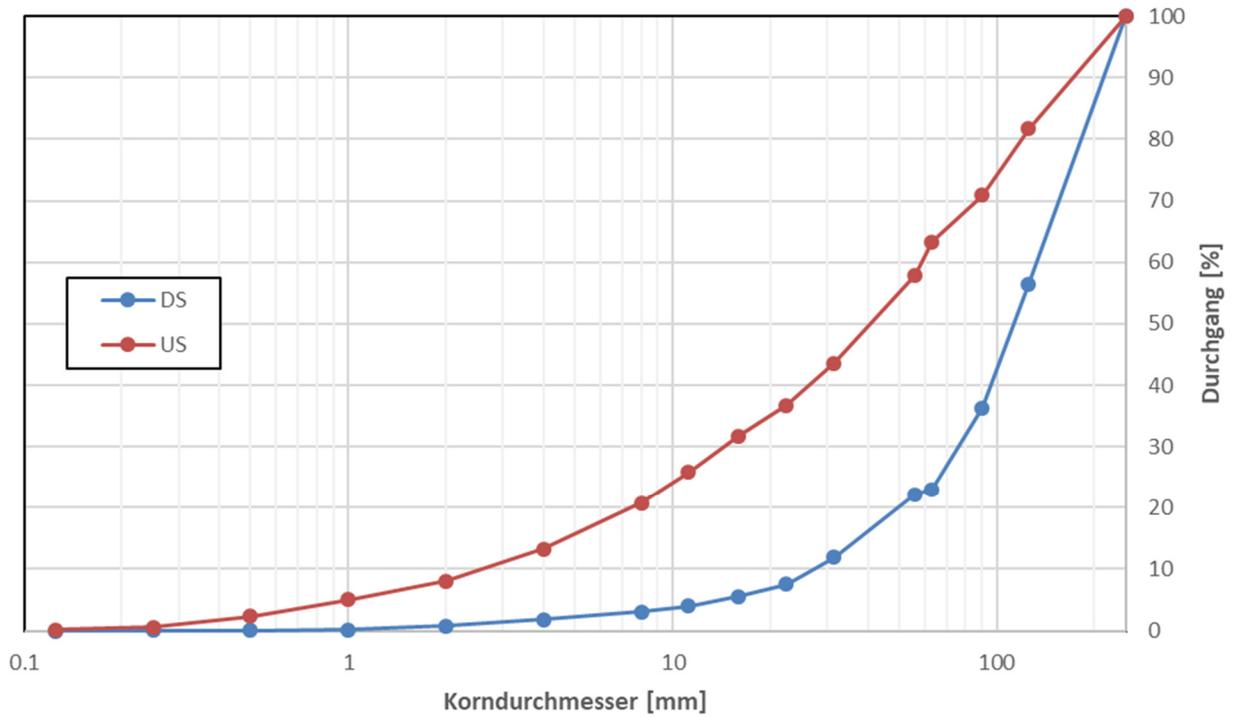


Abbildung 18: Exemplarische KGV - M2; DS=Deckschicht; US=Unterschicht.

2.3.3 Kategorie M3 – Wirksamkeit im hohen Abflussbereich

Bei sämtlichen im Jahr vorkommenden Abflüssen (Ausnahme Extremereignisse) weist der Abschnitt eine ausreichende Varianz hinsichtlich Fließgeschwindigkeiten und Tiefen auf. Unterschiedliche Nutzungsansprüche der Biota können in allen Abflussbereichen aus Sicht der morphologischen Diversität für alle funktionalen Habitate erfüllt werden. Der Verlauf des HMID (vgl. Abbildung 19) zeigt lokale, hohe Diversitäten innerhalb des Abschnittes für alle Durchflüsse. Einzelne Strukturen im Abschnitt wirken auch bei hohen Abflüssen und sorgen für ein potenzielles Habitatdargebot für die (semi-)aquatischen Lebensgemeinschaften.

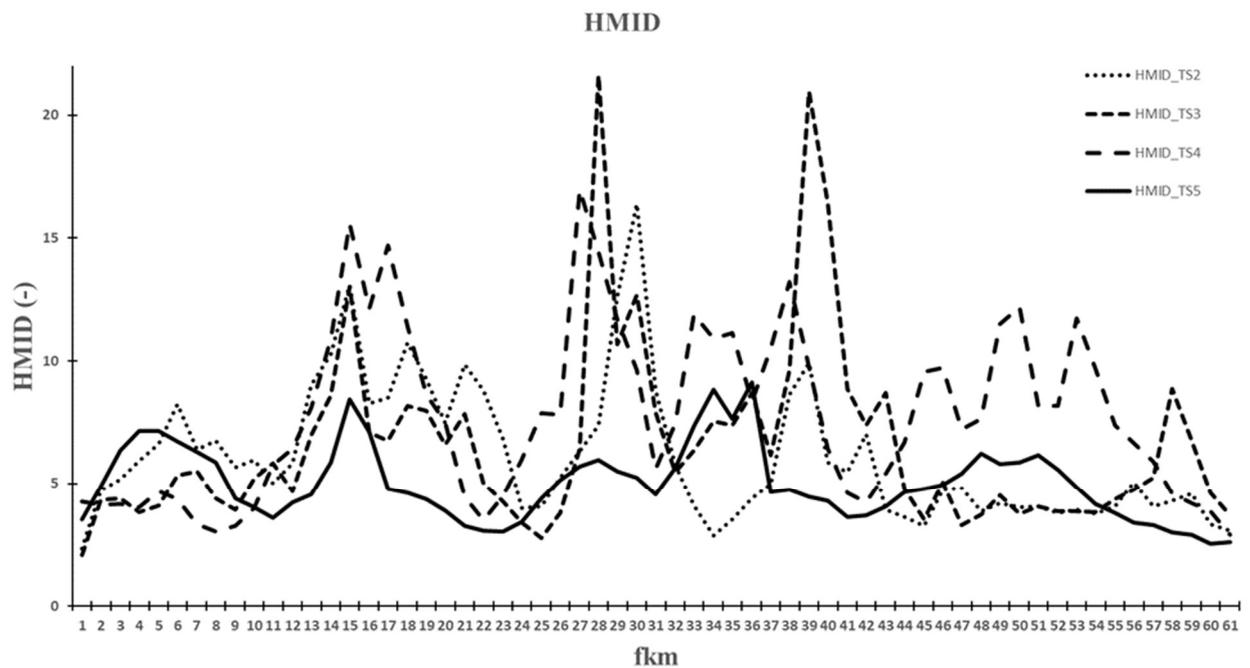


Abbildung 19: Exemplarischer HMID Verlauf - M3 für 4 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

Die Verteilung der Fließgeschwindigkeiten (vgl. Abbildung 20) zeigt aufgrund der hohen Diversität ein breites Spektrum mit einem moderaten Maximum bei hohem Abfluss (TS5). Auch die Wassertiefen (vgl. Abbildung 21) bieten bei allen Abflüssen Bereiche für unterschiedliche Nutzungsansprüche auf.

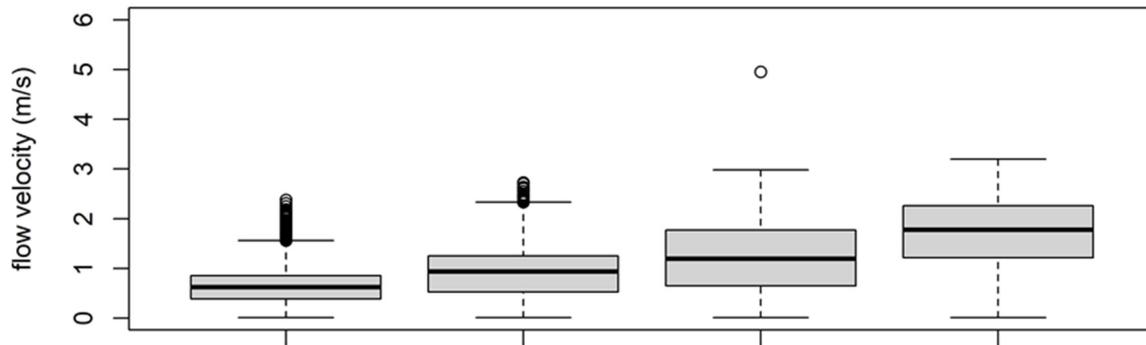


Abbildung 20: Exemplarische Verteilung der Fließgeschwindigkeiten - M3 für 4 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

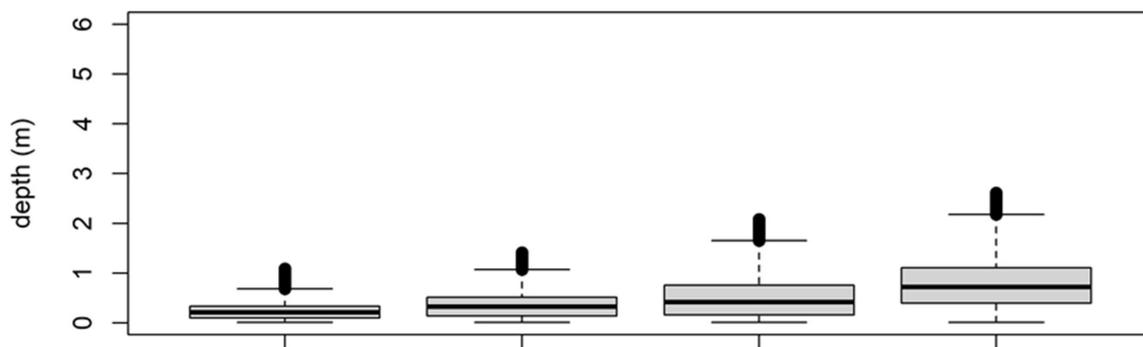


Abbildung 21: Exemplarische Verteilung der Wassertiefen - M3 für 4 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

Die Habitatmodellierung (vgl. Abbildung 22) zeigt für beide Zeigerarten potenziellen Lebensraum bis zu den hohen Abflüssen.

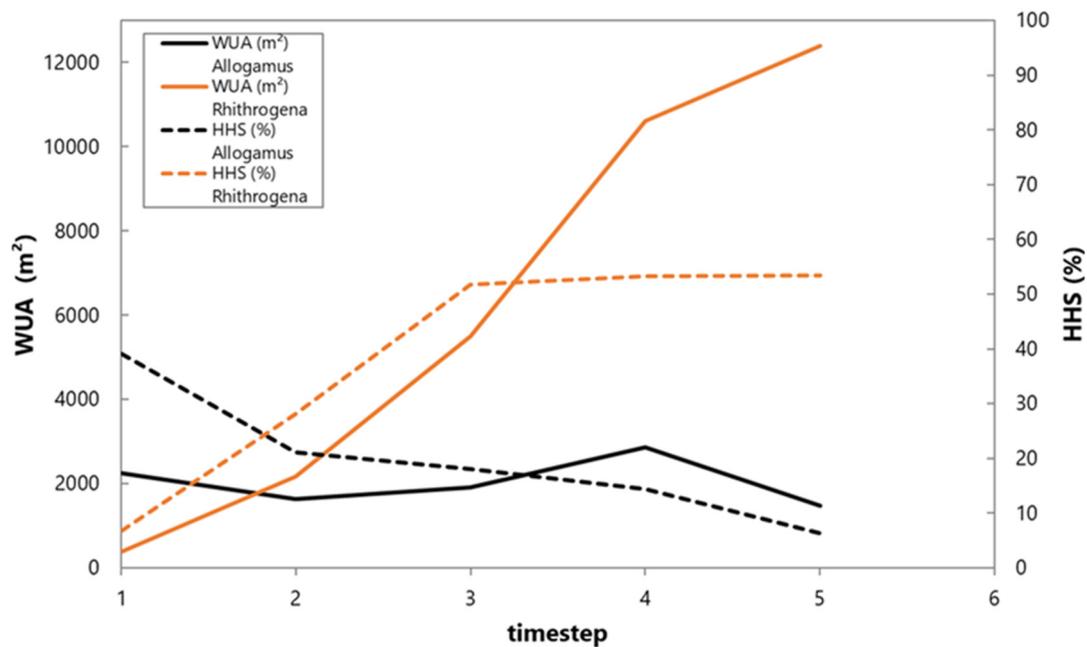


Abbildung 22: Exemplarische Habitatmodellierung - M3 für 5 modellierte Durchflüsse bzw. Zeitschritte (timestep)

An diesem Abschnitt ist aus morphologischer Sicht kein grobes Defizit ersichtlich. Eine Verlängerung des morphologischen Zustands des Abschnittes wäre aus Sicht der gesamten Schwallstrecke erstrebenswert.

In der Abbildung 23 ist exemplarisch die Korngrößenverteilung von M3 für Deck- und Unterschicht abgebildet und zeigt wiederum die zu erwartenden Unterschiede auf Grund der Auswaschung von Feinteile im Bereich der beprobten Sohloberfläche.

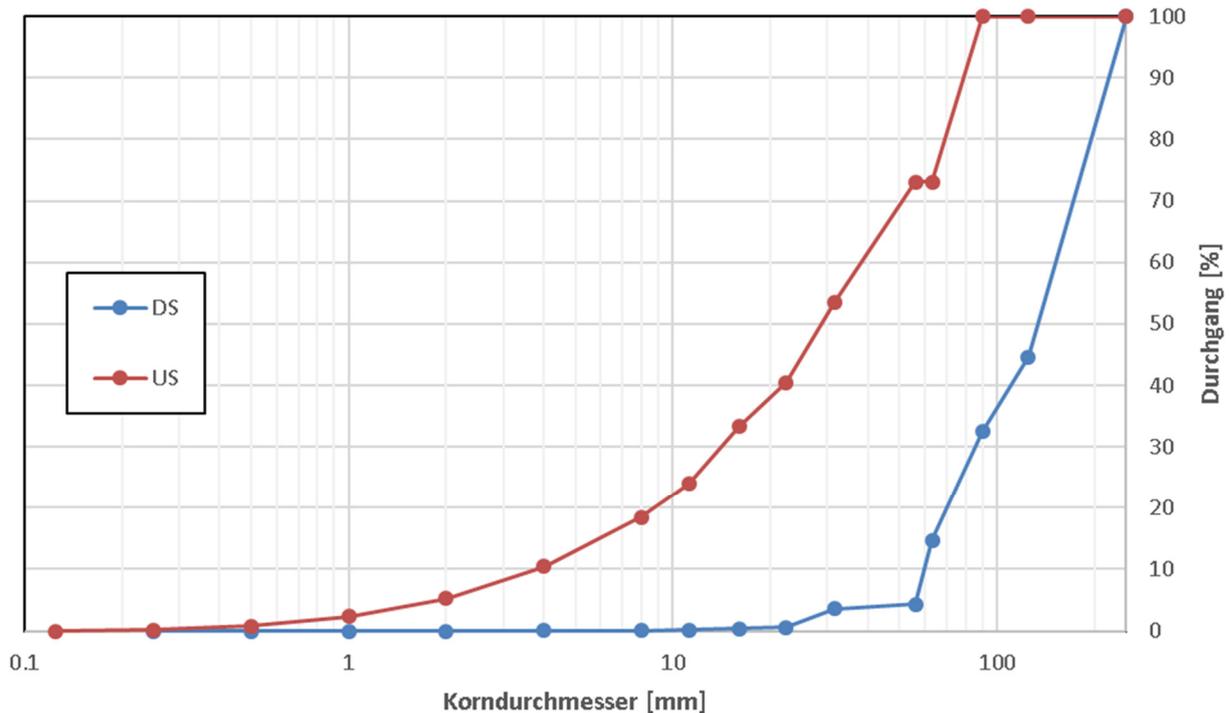


Abbildung 23: Exemplarische KGV - M3; DS=Deckschicht; US=Unterschicht.

3 Schlussfolgerungen und Ausblick

In dem vorliegenden Bericht wurde die morphologischen Zustandsbeschreibung auf Basis von 2D-HN-Modellen (2-dimensionale hydrodynamisch-numerische Modellierung), welche die Situation vorhandener Strukturen hinsichtlich ihres potenziellen Habitatdargebots bei repräsentativen Abflusssituation in den anfangs definierten Abschnitten (vgl. Kapitel 2) untersucht. Mit Hilfe einer multi-parametrischen Herangehensweise wurde die hydraulische Situation sowie als Folge davon das Habitatpotenzial für ausgewählte Zeigerarten ermittelt und dargestellt. Die gewählte bzw. adaptierte und weiterentwickelte Form der HMID-Analyse zeigt eine sehr gute Eignung, die wesentlichen Fragen zur morphologischen Wirksamkeit bzw. mögliche Sanierung der Morphologie (als indirekte Maßnahme) zu bewerten.

Die in diesen technischen Erläuterungen zum Hauptbericht präsentierten Ergebnisse sollen die Möglichkeiten einer zukünftigen Bewertung von Schwallstrecken aufzeigen.

4 Literatur

BOLLRICH G. (2000): Technische Hydrodynamik 1. Berlin: Verlag Bauwesen.

BOVEE K.D. (1986): Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in instream flow incremental methodology. US Fish Wildlife Ser. Biol. Rep. 86(7), US Fish and Wildlife Service, Washington, DC.

ELLIOT J.M., HUMPECH U.H., MACAN T.T. (1988): Larvae of the British Ephemeroptera: A key with ecological notes. Freshwater Biol.Ass. Scientific Publ. 49: 143pp.

GOSTNER, W., ALP, M., SCHLEISS, A. J., & ROBINSON, C. T. (2013). The hydro-morphological index of diversity: a tool for describing habitat heterogeneity in river engineering projects. *Hydrobiologia*, 712(1), 43-60.

GRAF W. & LEITNER P. (2012): Textbeitrag zum Projekt „Schwall 2012“

GREIMEL, F., NEUBARTH, J., FUHRMANN, M., ZOLTAN, L., ZEIRINGER, B., SCHÜLTING, L., FÜHRER, S., AUER, S., LEITNER, P., DOSSI, F., HOLZAPFEL, P., PFLEGER, M., LEOBNER, I., SUMPER, R., PAZMANDY, J., GRAF, W., HAUER, C. und SCHMUTZ, S.(2020): SuREmMa+: Entwicklung einer Methode zur ökologischen und energiewirtschaftlichen Bewertung von Maßnahmen zur Minderung von negativen schwall- und sunkbedingten ökologischen Auswirkungen. Forschungsbericht, Wien 166 Seiten.

HABERSACK H., HENGL M., KNOBLAUCH H., REICHEL G., RUTSCHMANN P., SACKL B., TRITTHART M. (2007): Fließgewässermodellierung – Arbeitsbehelf Hydrodynamik. Wien: Bundesministerium für Land-, Forst-, Umwelt und Wasserwirtschaft.

HAUER, C., SCHOBER, B., & HABERSACK, H. (2013). Impact analysis of river morphology and roughness variability on hydropeaking based on numerical modelling. *Hydrological Processes*, 27(15), 2209-2224.

HAUER, C., SIVIGLIA, A., & ZOLEZZI, G. (2017). Hydropeaking in regulated rivers–From process understanding to design of mitigation measures. *Sci. Total Environ*, 579, 22-26.

HAUER, C., UNFER, G., HOLZAPFEL, P., HAIMANN, M., & HABERSACK, H. (2014). Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(12), 1622-1641.

JUNGWIRTH M., HAIDVOGL G., MOOG O., MUHAR S., SCHMUTZ S. (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas Universitätsverlag, Wien.

SCHMIDT-KLOIBER A. & HERING D. (eds.) (2012): www.freshwaterecology.info - the taxa and autecology database for freshwater organisms, version 5.0 (accessed on [15.04.2012]).

STRENGER A. (1953): Zur Kopfmorphologie der Ephemerenlarven. *Ecdyonurus und Rhithrogena*. *Österr. Zool. Z.* 4: 1941-228.

TOMKA I. & RASCH P. (1993): Beitrag zur Kenntnis der europäischen Rhithrogena-Arten (Ephemeroptera, Heptageniidae): *R. intermedia* METZLER; TOMKA & ZURWERRA, 1987 eine Art der alpestris-Gruppe sowie ergänzende Beschreibungen zu fünf weiteren Rhithrogena-Arten. Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft 66,225-281,1993.

WARINGER J. & GRAF W. (2011): Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven – Atlas of Central European Trichoptera Larvae. - Erich Mauch Verlag 2011, S6.

WARINGER J. (1986): The abundance and distribution of caddisflies (Insecta: Trichoptera) caught by emergence traps in the „Ritrodat“ research area of the Lunzer Seebach (Lower Austria) from 1980 to 1982. - Freshwater Biology 16: 49-59, Oxford.

ZEIRINGER, B., Leitner, P., Schülting, L., Greimel, F., M., Zoltan, L., Führer, S., Auer, S., Dossi, F., Sumper, R., Pazmandy, J., Graf, W. und Schmutz, S. (2020): Technischer Bericht IV - Entwicklung Anwendung der Methodik zur Durchführung des ökologischen Prä- und Post-Monitorings in Schwallstrecken, Ergänzung zu Endbericht: SuREmMa+, Forschungsbericht, Wien, 31 Seiten.

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: PROBENAHME MIT RAHMEN UND GPS (LI), PROBE DS (2.V.LI.), ABGEFÜLLTE PROBEN IM TROCKENRAUM (3.V.LI.), SIEBTURM (4.V.LI.), GRAFISCHE ERGEBNISDARSTELLUNG DER SIEBUNG (RE.).	3
ABBILDUNG 2: EXEMPLARISCHER LÄNGSVERLAUF DER KGV – JEDER PUNKT IN DER GRAFIK FÜR EINE PROBESTELLE. DECKSCHICHT (OBEN), UNTERSCHICHT (MITTIG), %FINER (UNTEN).	4
ABBILDUNG 3: ABLAUSCHEMA DER ARBEITSSCHRITTE VON DER ERHEBUNG BIS DARSTELLUNG DER PARAMETER FÜR DIE MORPHOLOGISCHE ZUSTANDSBESCHREIBUNG.	8
ABBILDUNG 4: EXEMPLARISCHE DARSTELLUNG DER MODELLIERTEN FLIEßGESCHWINDIGKEITEN (LI.) UND WASSERTIEFEN (RE.) ALS RASTERDATENSATZ (TS5)	8
ABBILDUNG 5: VERTEILUNG DER FLIEßGESCHWINDIGKEITEN FÜR TS 2-5 (Q_{95PCT} , 3 X Q_{95PCT} , 2 X MQ, 5 X MQ)	9
ABBILDUNG 6: VERTEILUNG DER WASSERTIEFEN FÜR TS 2-5 (Q_{95PCT} , 3 X Q_{95PCT} , 2 X MQ, 5 X MQ)	9
ABBILDUNG 7: EXEMPLARISCHE DARSTELLUNG DES HMID VERLAUFS	10
ABBILDUNG 8: EXEMPLARISCHES ERGEBNIS AUS DER HABITATMODELLIERUNG FÜR 5 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	12
ABBILDUNG 9: EXEMPLARISCHER HMID VERLAUF M1 FÜR 4 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	15
ABBILDUNG 10: EXEMPLARISCHE VERTEILUNG DER FLIEßGESCHWINDIGKEITEN - M1 FÜR 4 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	15
ABBILDUNG 11: EXEMPLARISCHE VERTEILUNG DER WASSERTIEFEN - M1 FÜR 4 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	16
ABBILDUNG 12: EXEMPLARISCHE HABITATMODELLIERUNG - M1 FÜR 5 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	16
ABBILDUNG 13: EXEMPLARISCHE DARSTELLUNG KGV - M1; DS=DECKSCHICHT; US=UNTERSCHICHT.	17
ABBILDUNG 14: EXEMPLARISCHE DARSTELLUNG HMID VERLAUF - M2 FÜR 4 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	18
ABBILDUNG 15: EXEMPLARISCHE VERTEILUNG DER FLIEßGESCHWINDIGKEITEN - M2 FÜR 4 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	18
ABBILDUNG 16: EXEMPLARISCHE VERTEILUNG DER WASSERTIEFEN - M2 FÜR 4 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	19
ABBILDUNG 17: EXEMPLARISCHE HABITATMODELLIERUNG - M2 FÜR 4 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	19
ABBILDUNG 18: EXEMPLARISCHE KGV - M2; DS=DECKSCHICHT; US=UNTERSCHICHT.	20
ABBILDUNG 19: EXEMPLARISCHER HMID VERLAUF - M3 FÜR 4 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	21
ABBILDUNG 20: EXEMPLARISCHE VERTEILUNG DER FLIEßGESCHWINDIGKEITEN - M3 FÜR 4 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	22
ABBILDUNG 21: EXEMPLARISCHE VERTEILUNG DER WASSERTIEFEN - M3 FÜR 4 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	22
ABBILDUNG 22: EXEMPLARISCHE HABITATMODELLIERUNG - M3 FÜR 5 MODELLIERTE DURCHFLÜSSE BZW. ZEITSCHRITTE (TIMESTEP)	22
ABBILDUNG 23: EXEMPLARISCHE KGV - M3; DS=DECKSCHICHT; US=UNTERSCHICHT.	23