

Feststoffmanagement im Mühlviertel und im Bayerischen Wald

Synthesebericht

Studie im Auftrag

Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Wasserwirtschaftsamt
Deggendorf



mit finanzieller Unterstützung



gefördert durch



Projektleitung

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Christoph Hauer

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

Projektkoordination

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Christoph Hauer

Wien, Juli 2015

Bearbeitung durch:

*Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau,
Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt, Universität für Bodenkultur
Wien, Muthgasse 107, 1190 Wien, Österreich*



*Blattfisch - Technisches Büro für Gewässerökologie, DI Clemens Gumpinger,
Gabelsbergerstraße 7, 4600 Wels*



*Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Department Wasser –
Atmosphäre - Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien, Max-Emanuelstrasse
17, 1180 Wien, Österreich*



Zitiervorschlag:

Hauer, C., Höfler, S., Dossi, F., Flödl, P., Graf, G., Graf, W., Gstöttenmayr, D., Gumpinger, C., Holzinger, J., Huber, T., Janecek, B., Kloibmüller, A., Leitner, P., Lichtneger, P., Mayer, T., Ottner, F., Riechl, D., Sporcka, F., Wagner, B., Habersack, H. (2015): Feststoffmanagement im Mühlviertel und im Bayerischen Wald. Synthesebericht. Studie im Auftrag des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung, gefördert durch das BMLFUW und das Interreg Programm Bayern – Österreich 2007 - 2013. Wien, 87 S.

Bearbeitung IWHW:

Bsc. Peter Flödl

Dipl.-Ing. Tobias Mayer

Bsc. Alexander Kloibmüller

Dipl.-Ingⁱⁿ. Beatrice Wagner

Bsc. Daniela Riechl

Bsc. Jacob Holzinger

Dr. Petr Lichtneger

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Christoph Hauer

Bearbeitung Blattfisch:

Dipl.-Ingⁱⁿ. Sarah Höfler (Projektleitung Blattfisch)

MSc Daniela Gstöttenmayr

Dipl.-Ing. Clemens Gumpinger

Bearbeitung IHG:

Dipl.-Ing. Dr. Patrick Leitner

Ass. Prof. Dr. Wolfram Graf (Projektleitung IHG)

Dipl.-Ing. Thomas Huber

Dr. Berthold Janecek

Dr. Ferdinand Sporka

Dipl.-Ing. Florian Dossi

Gerald Graf

Bearbeitung IAG:

Ao. Univ.-Prof. Dr. Franz Ottner

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Problemstellung	1
3. Zielsetzung	4
4. Methodik	4
5. Ergebnisse	5
5.1. Freilanderhebungen	5
5.1.1. Korngrößenanalysen	5
5.1.2. Kartierung des Ist-Zustands / Naturräumliche Erhebung	8
5.2. Ergebnisse der Kartierung	10
5.3. Schutzwasserbauliche Aspekte	21
5.4. Mineralogische Analysen	23
5.5. Feststofftransportmodell Aist	25
5.5.1. Ausweisung des Risikos für erhöhten Feststoffeintrag	25
5.5.2. Ausweisung der Risikobereich für potentielle Versandung	28
5.6. Gewässerökologische Untersuchungen	31
5.6.1. Makrozoobenthos	31
5.6.2. Flussperlmuschel	37
6. Vorschläge für Grundsätze des Feststoffmanagement	41
6.1. Zusammenfassung der Ursachen	41
6.1.1. Auswirkungen der Globalen Erwärmung	41
6.1.2. Geologie und Bodenaufbau	43
6.1.3. Forstwirtschaftliche Nutzung	44
6.1.4. Siedlungsentwicklung / Straßenbau	46
6.1.5. Landwirtschaftliche Nutzung	47
6.1.6. Sedimenttransportverhalten	49
6.1.7. Defizite im Gewässer-Umland Gefüge	50
6.1.8. Hydromorphologische Überprägung	50
6.1.9. Zeitliche Zuordnungen der Ursachen	54
6.2. Konzipierung von Maßnahmen zur Reduktion der Versandung	55
7. Literatur	85

1. Einleitung

Das nördlich der Donau gelegene Mühlviertel bzw. auch weite Teile des Bayerischen Waldes zeigen auf Grund der geomorphologischen Rahmenbedingungen (Kristallin der Böhmisches Masse) einige flussmorphologische Besonderheiten bzw. spezielle Probleme im Vergleich zu alpinen Fließgewässern. Weite Strecken der Flüsse entsprechen dem sogenannten „Flachbettflusstyp“ ohne nennenswerte Strukturierung im Längsverlauf (z.B. Furt-Kolk Sequenzen) bzw. besitzen keine Kiesbankstrukturen entlang der Ufer. Der typische Aufbau der Deckschicht der Flusssohle erfolgt durch Kornverteilungen des Meso- ($d_m = 6 \text{ cm} - 20 \text{ cm}$) aber auch des Makrolithals ($d_m = 20 \text{ cm} - 40 \text{ cm}$) und Megalithals in den Steilstufen mit nur geringem Rundungsgrad der Sedimente. Die tlw. geringe bordvolle Abflusskapazität ermöglicht selbst bei außergewöhnlichen Hochwasserereignissen (z.B. HQ_{100}) in vielen Bereichen kaum ein Aufreißen der Deckschicht durch zu geringe Sohlschubspannungen auf Grund von Austauschprozessen (Energieverlusten) mit dem überfluteten Vorland. Weiters ist geeigneter Laichkies ($d_m = 2 \text{ cm} - 5 \text{ cm}$) limitiert und großteils in der Unterschicht nicht für die Reproduktion von Salmoniden (*Salmo trutta*, *Thymallus thymallus*) verfügbar.

2. Problemstellung

Spezifische Probleme in Zusammenhang mit dem Feststoffhaushalt entstehen in der Region Mühlviertel / Bayerischer Wald vor allem durch den zunehmenden Eintrag von „Granitgrus“ (Korngrößen 1 mm – 10 mm) aus den Zubringerbächen in die Fließgewässersysteme von z.B. Großer Mühl, Aist und Naarn. Durch Verringerung der notwendigen Abfuhrkapazität des Fließgewässers durch Anlandungen (reduzierte Transportkapazitäten durch geringes Gefälle) besteht in diesen Bereichen ein zusätzliches Gefährdungs- und Schadenspotenzial im Falle durch Hochwasserereignisse. Vor allem in den Übergangsbereichen (vom Hochland hin zu den Überflutungsflächen der Donau) kommt es zu starken Verlandungstendenzen. Durch die infolge von Anlandungen bedingte Verringerung der Abfuhrkapazität / Gerinnequerschnitt besteht an manchen Standorten eine unmittelbare Gefährdung des Hochwasserschutzziels (HQ_{100}). Weiters sind die dadurch notwendigen Materialräumungen in sehr kurzen Zeitabständen in einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung als nicht nachhaltig für das gesamte Untersuchungsgebiet anzusehen. In weiten Teilen des Mühlviertels muss eben dieses abgelagerte Material (Sand- und Feinkiesfraktionen) geräumt werden, um den entsprechenden Abflussquerschnitt freizuhalten, womit sich auch aus diesem Aspekt die Notwendigkeit ableitet den Materialeintrag flussauf nachhaltig zu reduzieren bzw. Möglichkeiten zu diskutieren sind das Geschiebe mitunter gezielt zu entnehmen.



Abbildung 1: Versandeter Bereich an der Großen Mühl im Gewässerabschnitt zwischen Aigen i.M. und Ulrichsberg; deutlich ist der Verschluss des Lückenraums durch die Sandfraktionen zu erkennen bzw. der geringe Rundungsgrad des Deckschichtmaterials in der Mesolithal-Kornfraktion.



(a)



(b)

Abbildung 2: Vergleich zweier unterschiedlicher Probestellen zur Erhebung der MZB-Biomasse bzw. Abundanz an der Aist (a) morphologische Referenz, (b) versandeter Abschnitt (Fotos zur Verfügung gestellt von Dr. Graf).

Neben den morphologischen Veränderungen in schutzwassertechnisch-relevanten Strecken (z.B. Anlandungen im Bereich von Aufweitungen) kommt es auch zur Veränderung der Geometrie durch den verstärkten Grobsand / Feinkieseintrag (Korngrößen = 1 mm – 10 mm) in naturnahen Fließgewässerstrecken (Abbildung 3). Im Wesentlichen sind in den Fließgewässern des Mühlviertel und des Bayerischen Waldes drei flussmorphologische Typen dominierend. Großteils sind die Flüsse dem sogenannten Flachbetttyp zuzuordnen (Hauer et al., 2013). Weiters finden sich in den Verebnungsflächen Flussabschnitte mit mäandrierendem Verlauf und einer Furt-Kolk Abfolge (Längenschnitt) und in den Steilstufen zwischen den Verebnungsflächen Abschnitte des sogenannten Kaskaden-typs (Hauer, 2015). Mitunter kommt es durch die „Versandung“ zu einer deutlichen Veränderung der Gewässermorphologie, wodurch letztendlich eine Klassifikation der „Versandungsgrade“ für das Projekt „Feststoffmanagement im Mühlviertel und im Bayerischen Wald“ entwickelt wurde (Details siehe Endbericht). In Abbildung 3 ist beispielhaft die Klassifizierung der Versandungsgrade an Hand eine Furt-Kolk Abschnittes beschrieben.

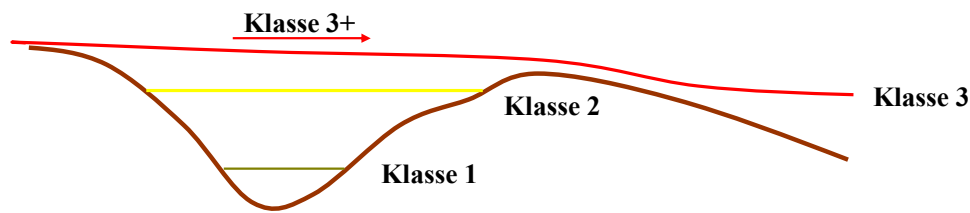


Abbildung 3: Ausweisung der unterschiedlichen Versandungsklassen und ihre Auswirkung in Bezug auf die lokale Flussmorphologie (Furt-Kolk Typ) (Hauer, 2015).

Bei einer vollständigen Bedeckung der Gewässersohle mit den Verwitterungsprodukten von Granit und Gneis (Versandung Klasse 3 und Klasse 3 +) kommt es mitunter zu einer wesentlichen Veränderung in Bezug auf die Klassifizierung des flussmorphologischen Grundtyps. Fließgewässer die ursprünglich als Flachbett- oder dem Furt-Kolk Gewässerstrecken zugewiesen wurden, zeigen nun geometrische und vor allem sedimentologische Eigenschaften des Düentyps (Einteilung nach Montgomery & Buffington, 1997). Eine falsche hydro-morphologische Grundeinstufung von Fließgewässern ist dadurch möglich.

Weiters kommt es aus ökologischer Sicht neben dem Verlust bestimmter Habitattypen (z.B. Kolke, Abbildung 3) auch zu einem Verschließen des Schotterlückenraums (Kolmation) als eine Form der kontinuierlichen und nachhaltigen Degradation der Gewässersohle (in jenen Bereichen die stabil bleiben bei außergewöhnlichen HW-Ereignissen) und damit zu einer deutlichen Verschlechterung der damit verbundenen Lebensraumeigenschaften. Beispielsweise konnte an der Aist in vergleichenden Untersuchungen festgehalten werden, dass in versandeten Bereichen (vollständig von Granitgrus bedeckt) eine Reduktion der Benthos-Biomasse von > 80 % im Vergleich zu morphologischen Referenzstellen nachzuweisen war (Leitner et al., 2015).

Für mögliche Lösungen hinsichtlich dieser vielfältigen Belastungen des Fließgewässers (technisch und ökologisch) war bis zum Beginn des Projekts jedoch noch zu wenig Wissen über die potentiellen Geschiebequellen und die anthropogenen / naturräumlichen Ursachen für die zunehmende Versandung der Fließgewässer vorhanden und Grundlagenforschungen für ein zukünftiges Management wurden als notwendig erachtet. Vor allem auch in einer überregionalen und grenzüberschreitenden Betrachtung.

Auf Grund dieser schutzwasserwirtschaftlichen, morphologischen und gewässerökologischen Probleme wurde von Seiten des Landes Oberösterreich in Zusammenarbeit mit dem Lebensministerium, dem Wasserwirtschaftsamt Deggendorf und dem Bayerischen Landesamt für Umwelt mit finanzieller Unterstützung durch das Interegge-Programm „Bayern – Österreich“ die Studie „Feststoffmanagement im Mühlviertel und im Bayerischen Wald“ zur wissenschaftlichen Bearbeitung ausgeschrieben. Den Zuschlag erhielt bei dieser europaweiten Ausschreibung das Konsortium Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (Projektleitung, BOKU Wien), das gewässerökologische Büro Blattfisch und das Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (BOKU Wien).

3. Zielsetzung

Ziel des Forschungsprojektes „Feststoffmanagement im Mühlviertel und im Bayerischen Wald“ war es, in insgesamt 11 Arbeitspaketen diese überregionale Betrachtung hinsichtlich Geschiebemanagement durchzuführen. 9 der 11 Arbeitspakete besitzen einen Schwerpunkt in Bezug auf Grundlagenenerhebungen und Prozessanalysen im Bereich schutzwasserwirtschaftlichen und ökologischen Fragestellungen. Aus diesen umfangreichen Untersuchungen sollten in der Folge zielgerichtete Maßnahmen abgeleitet werden, welche ein nachhaltiges Management des Versandungsproblems der Fließgewässer im Mühlviertel und im Bayerischen Wald ermöglichen soll. Ziel war es vor allem die Thematik interdisziplinär zu bearbeiten um Synergieeffekte in der Grundlagenenerhebung zu erreichen (z.B. Sedimentprobennahme und Makrozoobenthos-Untersuchungen) bzw. auch die Managementmaßnahmen interdisziplinär abzustimmen (z.B. Hochwasserschutz und Ökologie). Dies wird beispielsweise auch explizit in der europäischen Hochwasserrichtlinie gefordert (keine Verschlechterung bei HW-Maßnahmen im Sinne der WRRL). Weiters war es das Ziel in einem Arbeitspaket der Öffentlichkeitsbeteiligung in 3 eintägigen Workshops und 3 zweitägigen Tagungen den Auftraggebern und interessierten Fachleuten die gewonnenen Erkenntnisse vorzustellen bzw. gemeinsam zu diskutieren.

4. Methodik

In Summe wurden wie bereits eingangs beschrieben 11 Arbeitspakete (APs) im Projekt konzipiert und ausgearbeitet. Im Synthesebericht sind die Arbeitspakete nur gemäß ihrem Titel gelistet. Details zum Hintergrund, der Umsetzung und methodische Aspekte sind dem Endbericht (Hauptbericht) zu entnehmen.

- **Sichtung und Aufbereitung bestehender Daten (AP1)**
- **Identifikation und Kartierung der Erosions-, - Akkumulations- und Transportbereiche (AP2)**
- **Korngrößenanalysen (AP3)**
- **Lebensraumqualität Sohle (AP4)**
- **Vorschläge für Grundsätze des Feststoffmanagements (AP5)**
- **Überprüfungen der Übertragbarkeit der Aussagen des Geschiebemanagements im Aist-Einzugsgebiet auf sämtliche Projektgewässer (AP7)**
- **Aufstellen eines Feststofftransportmodells für die Aist (AP8)**
- **Auswirkungen der Versandung auf die Flussperlmuschel-Lebensräume (AP11)**

Weiters wurde die Erstellung des Endberichts (AP9) und die Öffentlichkeitsarbeit im Zuge von Informations- und Diskussionsveranstaltungen (AP10) als eigene Arbeitspakete definiert.

5. Ergebnisse

5.1. Freilandhebungen

Ein wesentlicher Teil der Arbeiten im Forschungsprojekt war die Ist-Bestandsanalyse des hydromorphologischen Grundzustands bzw. die Erfassung der Belastungen durch den Feststoffeintrag in den einzelnen Flussgebieten. Die dafür notwendigen Untersuchungen im Freiland erfolgten im Wesentlichen in zwei Teilarbeitsschritten. Zum einen wurde eine umfangreiche Beprobung der Gewässersohle in allen acht untersuchten Fließgewässern durchgeführt. Zum anderen wurden alle Fließgewässer mittels eines eigens für das Projekt entworfenen Bewertungsbogens kartiert. Beide Untersuchungen bildeten eine wichtige Grundlage für weiterführende Analysen bzw. die Erstellung des Managementplans.

5.1.1. Korngrößenanalysen

Im Zeitraum Jänner 2014 bis August 2014 wurden in den acht untersuchten Fließgewässern in Summe 459 volumetrische Proben (Abbildung 4) aus der Gewässersohle entnommen. Hochgerechnet entspricht dies einer Entnahme von Feststoffen in der Größenordnung von 9.2 Tonnen. Das Probenmaterial wurde aus allen Teilregionen (Flusseinzugsgebiete) in ein eigens für das Projekt angemietete Labor transportiert um dort in getrocknetem Zustand gesiebt zu werden.

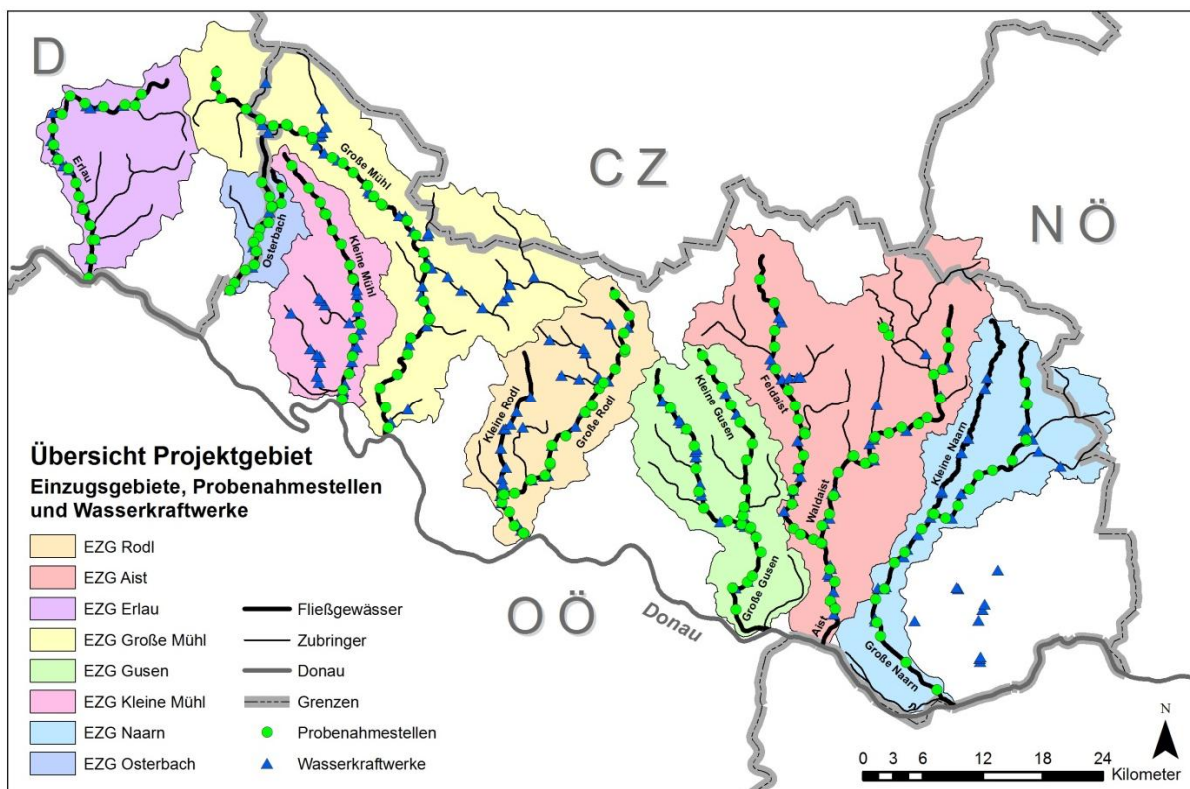


Abbildung 4: Übersicht über die untersuchten Fließgewässer.

Die volumetrische Entnahme von Deckschicht und Unterschicht (Abbildung 4) erfolgte in den sogenannten Flachbett und Furt-Kolk-Abschnitten mit einem durchschnittlichen Gefälle von 3 bis 5 Promille (Flachbett) bzw. < 1.5 Promille (Furt-Kolk). In den Steilstufen zwischen den Verebnungsflächen bzw. im Bereichen flussauf der großen Donaubecken (Gefälle > 1 Prozent) wurde

die Korngrößenverteilung semi-quantitativ mittels Kluppenmaße und Abschätzung der Feianteile durchgeführt. Die Kluppenproben fanden jedoch keinen Eingang in die statistischen Analysen der Korngrößen.

Die volumetrische Probennahme erfolgte in Form eines standardisierten Verfahrens (USGS) in dem ein 60 cm x 60 cm großer Rahmen (Höhe 20 cm) am jeweiligen Probennahmepunkt auf die Gewässersohle aufgesetzt (und mitunter fixiert) wurde. Innerhalb des strömungsberuhigten Bereichs wurden die Sedimente der Deck- und Unterschicht mechanisch getrennt entnommen, wobei auch Feianteile < 1 mm quantitativ erfasst wurden. Um auch einer möglichen Variabilität der Korngrößenzusammensetzung im Gewässerquerschnitt Rechnung zu tragen wurden an einer Untersuchungsstelle Proben sowohl rechts als auch links der Flussachse genommen (Abbildung 5). Somit konnten vor allem in das Fließgewässer einmündende Zubringer (und ihr Feststoffinput) berücksichtigt werden.

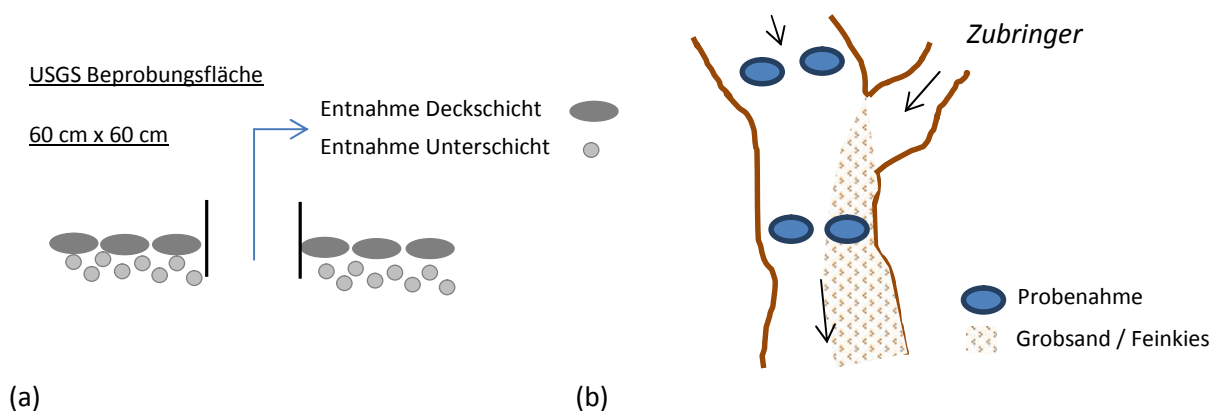


Abbildung 5: Schematische Darstellung der volumetrischen Probennahme in den Fließgewässern des Untersuchungsgebiets; (a) Deckschicht / Unterschichtanalyse; (b) Situierung der Probennahmepunkte im Fließgewässerquerschnitt unter Berücksichtigung der Einmündung eines Zubringers.

Die Sedimentproben wurden nach Trocknung und Siebung in Form von Kornverteilungskurven für weitere statistische Analysen aufbereitet. Ausgewertet wurden charakteristische Korngrößen wie der d_{50} (50 % feiner), der d_m (geometrisches Mittel) und der d_{90} . Weiters wurde hinsichtlich der gezielten Auswertung bzw. Bewertung der Feinsedimente (Korngrößen < 1 mm) ein wesentlicher Teil der Sedimentproben ($n = 459$) an der Kornfraktion von 2 cm geteilt und getrennt hinsichtlich der Ton-/ Schlufffraktionen bewertet (< 0.125 mm). Diese Aufteilung der Korngrößenfraktionen war notwendig um eine mögliche prozentuelle Verschiebung der Feinstanteile durch anteilmäßig hohe Grobkornfraktionen auszuschließen. Durch die Aufteilung konnte somit ein objektiv vergleichbarer Datensatz generiert werden.

Die Ergebnisse der Bestimmung der lokalen charakteristischen Korndurchmesser (z.B. d_{50}) aus Einzelproben wurden mit abschnittsbezogenen bzw. einzugsgebietsbezogenen Größen verschnitten. Als abschnittsbezogene Größe wurde das lokale Sohlgefälle (-) im Abschnitt der Probennahme herangezogen. Das Sohlgefälle wurde durch die Auswertungen des Längenschnitts (Grundlage Laserscan / DORIS Auflösung 1 m x 1 m) bestimmt. Für die Berechnung des lokalen Gefälles wurde ein Abschnitt 100 m flussauf und 100 m flussab des Probennahmepunktes bewertet. Da Proben nur in freien Fließstrecken und nicht in Rückstaubereichen von Querbauwerken entnommen wurden, ist von einem minimalen Fehler der Laserscandaten in Bezug auf das Sohlgefälle auszugehen. In Summe

wurden für sieben der acht untersuchten Flüsse detaillierte Längenschnitte erstellt (Abbildung 6). Für die Erlau (Bayern) konnten keine vergleichbaren Datengrundlagen im Projekt verwendet werden.

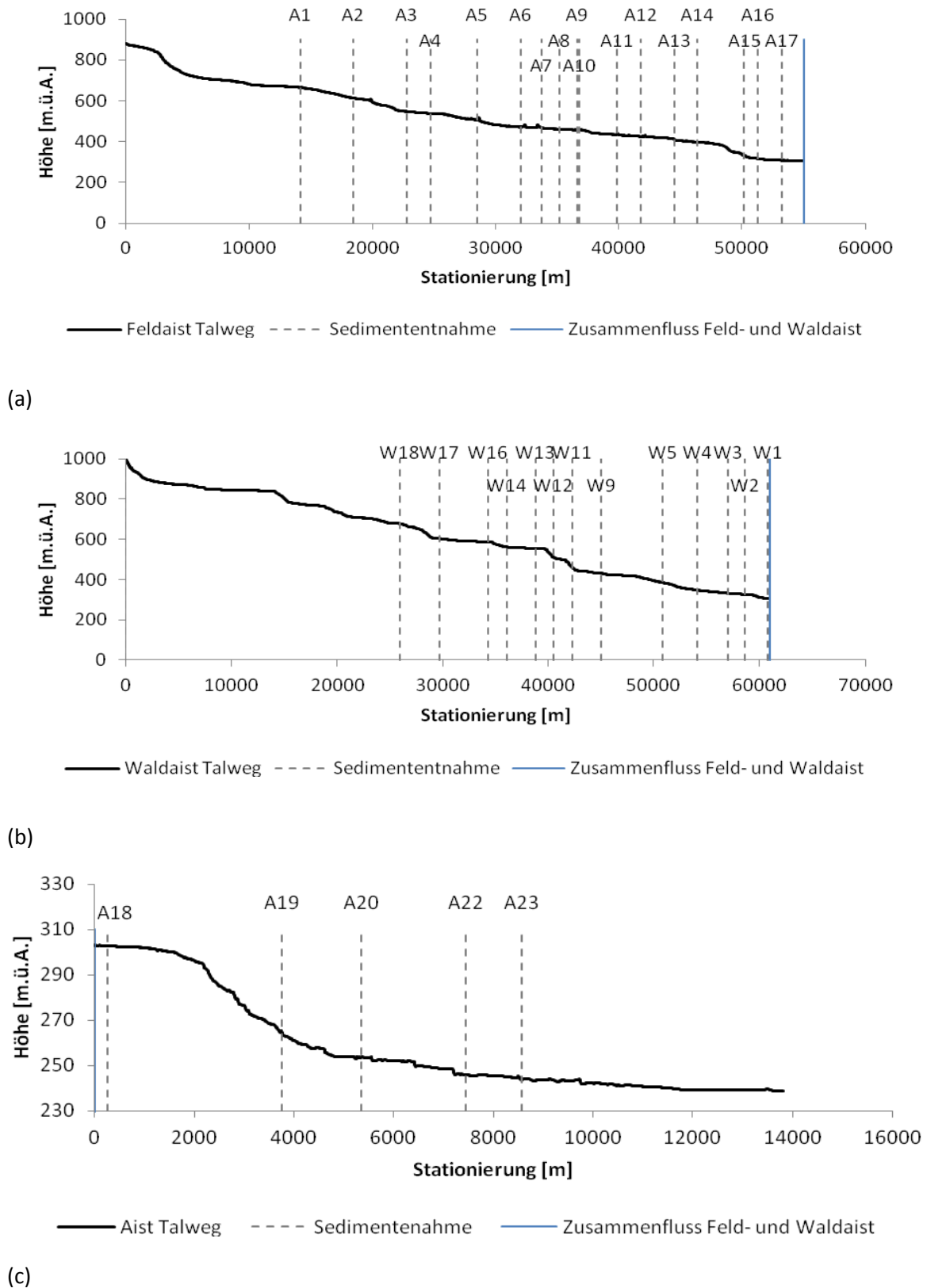


Abbildung 6: Längenschnitte im Einzugsgebiet der Aist, (a) Feldaist, (b) Waldaist und (c) Aist.

Als einzugsgebietsbezogene Größe wurde die Fläche der Entwässerung flussauf des Probenahmepunktes angegeben. Diese Teileinzugsgebietsflächen wurden mittels GIS-Analysen (ArcGIS Watershed) basierend auf dem 10 m x 10 m Höhenmodell des Untersuchungsgebietes berechnet.

In einem weiteren Bearbeitungsschritt wurden die charakteristischen Korndurchmesser den abschnitts- bzw. einzugsgebietsbezogenen Größen gegenübergestellt. Grundannahme war dabei, dass das Gefälle in einer Gewässerstrecke bzw. die Größe des Einzugsgebiets eine Einflussgröße in Bezug auf die punktuell erhobene Versandung bilden.

Die Ergebnisse zeigten jedoch in den meisten Analysen keinen Zusammenhang zwischen Sohlgefälle (-) bzw. EZG-Größe (km²) und der Variabilität charakteristischer Korngrößen (z.B. d_m) bzw. den Grad der Versandung (Abbildung 7, Abbildung 8). Grundlage für die Ermittlung eines möglichen Zusammenhangs bildete ein lineares Regressionsmodell. Ausnahmen die einen (nicht signifikanten) Zusammenhang zeigten, waren die Auswertungen der Proben der Kl. Mühl (R² = 0.80) mit aber einer sehr geringen Stichprobenanzahl (n = 7).

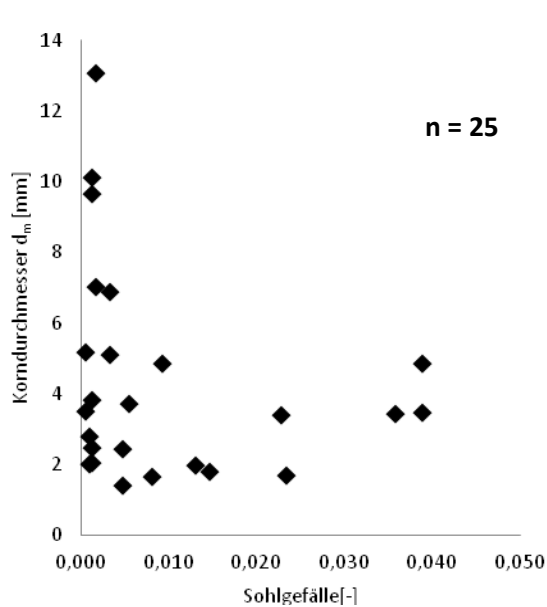


Abbildung 7: Auswertung Siebanalyse (Gusen, Mischprobe): Gegenüberstellung maßgebender Korndurchmesser d_m in mm und Sohlgefälle (dimensionslos).

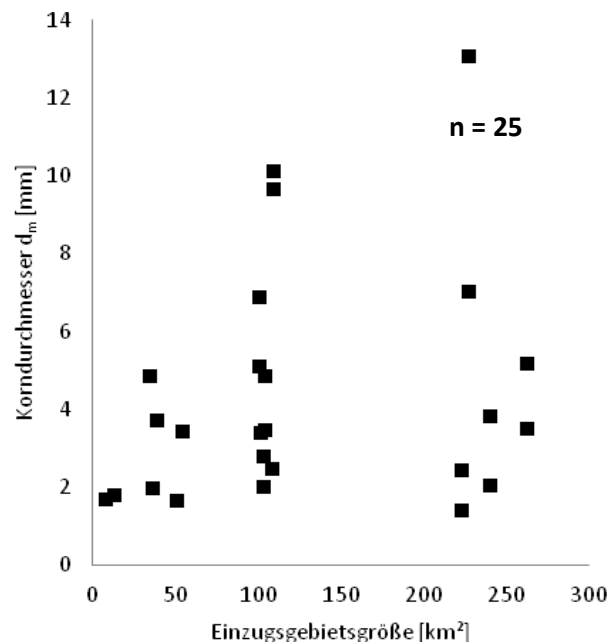


Abbildung 8: Auswertung Siebanalyse (Gusen, Mischprobe): Gegenüberstellung maßgebender Korndurchmesser d_m in mm und Einzugsgebietsgröße in km².

5.1.2. Kartierung des Ist-Zustands / Naturräumliche Erhebung

Die Definition des Erhebungsstandards wurde im Zeitraum Dezember 2013 – Juli 2014 umgesetzt. Aus den umfangreichen Erfahrungen aus anderen Projekten und vorhandenen nationalen und internationalen Erhebungsstandards (vgl. z.B. BMLFUW, 2010; LAWA, 2000) wurden die möglichen Parameter für eine Vor-Ort-Erhebung zusammengetragen. Deren Anwendbarkeit sowie Aussagekraft wurde bei gemeinsamen Probekartierungen überprüft. Danach wurde der Kartierumfang finalisiert.

Der Kartierbogen (siehe Endbericht Anhang) umfasst neben hydromorphologischen Grundparametern, Angaben bezüglich der Choriotopverteilung, hochwasserschutzrelevante Angaben wie beispielsweise die Möglichkeit von Materialmobilisierungen in den Uferbereichen,


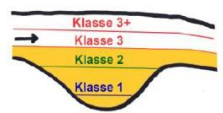

gewässerökologische Einstufungen und als wichtigsten Punkt die Versandungs-Klassifizierung. Diese wurde für die Kartierung im Freiland für die unterschiedlichen Flusstypen abgegrenzt. Darüber hinaus ergibt sich eine flächenmäßige Abschätzung des Versandungsgrades durch die Aufnahme der Choriotoptypen. Hinsichtlich der Auswirkungen auf die aquatische Fauna und Flora, und im Speziellen auf die Flussperlmuschel, wurde bei den Freilandarbeiten auf die Unterscheidung zwischen Versandung und Feinsediment-Problematik Wert gelegt. Der Grad an Feinsedimentbelastung wurde angelehnt an die Erkenntnisse aus einer Studie zu diesem Thema (vgl. Höfler & Gumpinger, 2014) abgegrenzt.

Die Aufnahmen im Freiland erfolgten im Winter 2014/15. Die Gewässer wurden jeweils von der Mündung flussauf kartiert. Die Abschnittsgrenzen sowie punktuelle Informationen wurden mittels GPS-Geräten aufgenommen. Des Weiteren sammelten die Kartierteams umfangreiches Fotomaterial um Situationen und Prozesse zu dokumentieren. Insgesamt umfasst die Kartierung über 450 Flusskilometer.

Die Einteilung in hydromorphologisch homogene Abschnitte erfolgte vor Ort, da damit das realitätsnächste Bild entsteht. Die Erhebung der Querbauwerke, Zuflüsse und künstlichen Einleitungen ergänzt die Gewässerstrukturkartierung und ermöglicht eine Komplementierung des Gesamtbildes.

Der Kartierbogen umfasst neben hydromorphologischen Grundparameter, Angaben bezüglich der Choriotopverteilung, hochwasserschutzrelevante Angaben wie beispielsweise die Möglichkeit von Materialmobilisierungen in den Uferbereichen, gewässerökologische Einstufungen und als wichtigsten Punkt die Versandungs-Klassifizierung (siehe Tabelle 1). Darüber hinaus ergibt sich eine flächenmäßige Abschätzung des Versandungsgrades durch die Aufnahme der Choriotoptypen.

Tabelle 1: Einteilung der Versandungsklassen je nach hydromorphologischem Flusstyp.

Flachbett-Typ	<input type="checkbox"/> Klasse 0	natürliche Substratzusammensetzung	
	<input type="checkbox"/> Klasse 1	Grobsediment ersichtlich, dazwischen kleinflächigere Sandablagerungen	
	<input type="checkbox"/> Klasse 2	tlw. flächige Überdeckung natürlichen Substrats mit Sand	
	<input type="checkbox"/> Klasse 3	gänzliche Überdeckung der Sohlsubstrates	
	<input type="checkbox"/> Klasse 3+	beinahe flächendeckende Sandablagerung, die auch bei NQ in Bewegung sind	
Furt-Kolk-Typ	<input type="checkbox"/> Klasse 0	natürliche Substratverteilung / kleinere Sandablagerungen in den Kolken	
	<input type="checkbox"/> Klasse 1	Kolke schon weiter aufgefüllt, kleinflächiger unnatürliche Sandablagerungen	
	<input type="checkbox"/> Klasse 2	Kolke sind mit Sand aufgefüllt	
	<input type="checkbox"/> Klasse 3	gänzliche Überdeckung der Kolk-Furt Struktur	
	<input type="checkbox"/> Klasse 3+	beinahe flächendeckende Sandablagerung, die auch bei NQ in Bewegung sind	
Kaskaden in Steilstufen	<input type="checkbox"/> Klasse 0	natürliche Substratzusammensetzung	
	<input type="checkbox"/> Klasse 1	Geringfügig unnatürliche Sandablagerungen	
	<input type="checkbox"/> Klasse 2	Sandablagerungen in den ruhigeren Bereichen in steilen Gewässerabschnitten	
	<input type="checkbox"/> Klasse 3	Massive Sandablagerungen zwischen dem groben Geschiebe	

Die erhobenen Daten wurden in eine dafür angelegte Access-Datenbank aufgenommen, aus der nach entsprechender Sichtung und Prüfung der Daten, Shapefiles in ArcGIS exportiert wurden.

5.2. Ergebnisse der Kartierung

Im vorliegenden Synthesebericht werden lediglich die kartierten Gewässer kartografisch im Überblick dargestellt und im Anschluss ein kurzer Vergleich angestellt. Hinsichtlich der Detailergebnisse darf auf den Gesamtbericht verwiesen werden. Die Darstellung der Gewässer erfolgt von Ost nach West.

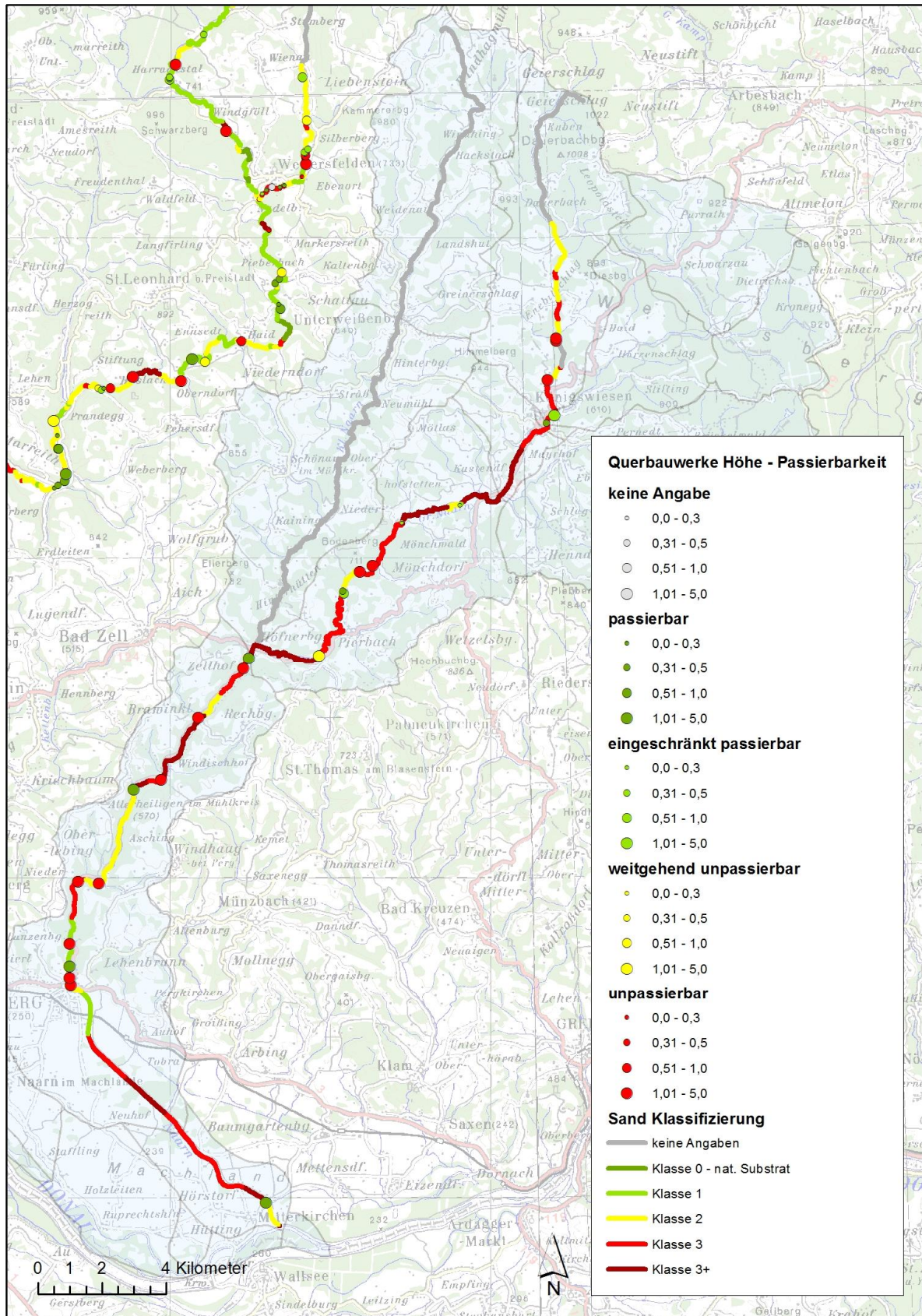


Abbildung 9: Übersicht über die Kartier-Ergebnisse für das Naarn-System hinsichtlich Versandung und Querbauwerke.

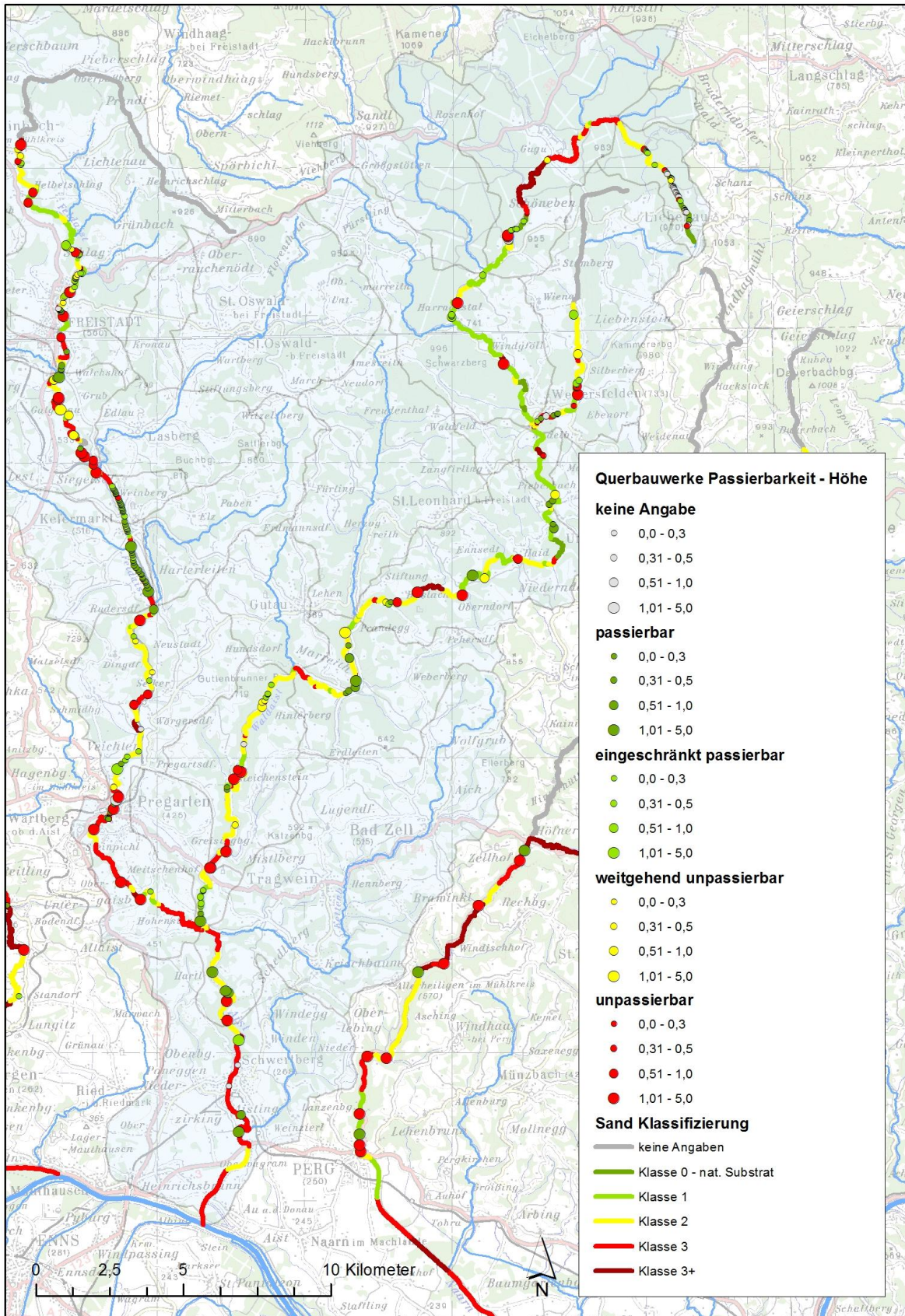


Abbildung 10: Übersicht über die Kartier-Ergebnisse für das Aist-System hinsichtlich Versandung und Querbauwerke.

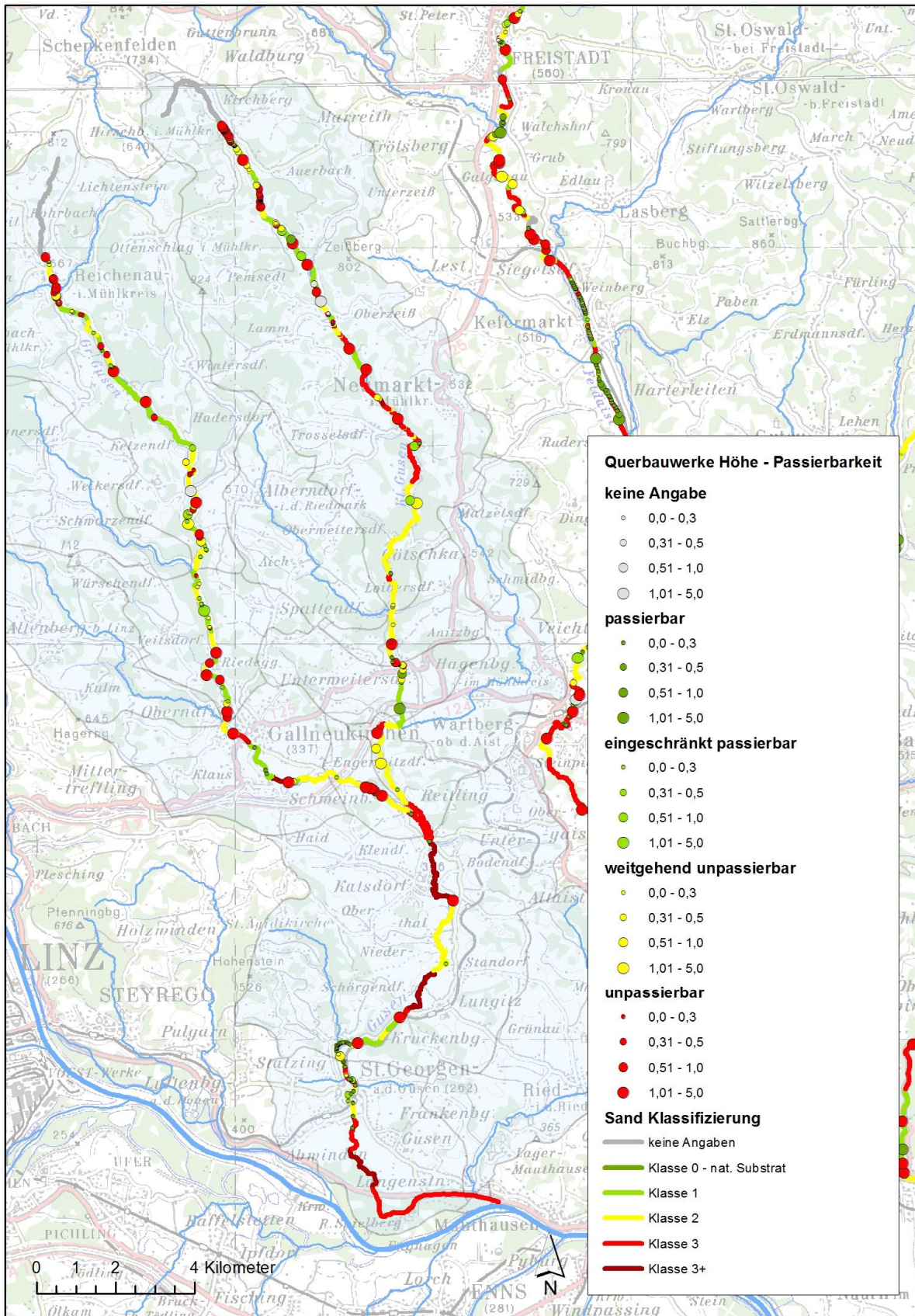


Abbildung 11: Übersicht über die Kartier-Ergebnisse für das Gusen-System hinsichtlich Versandung und Querbauwerke.

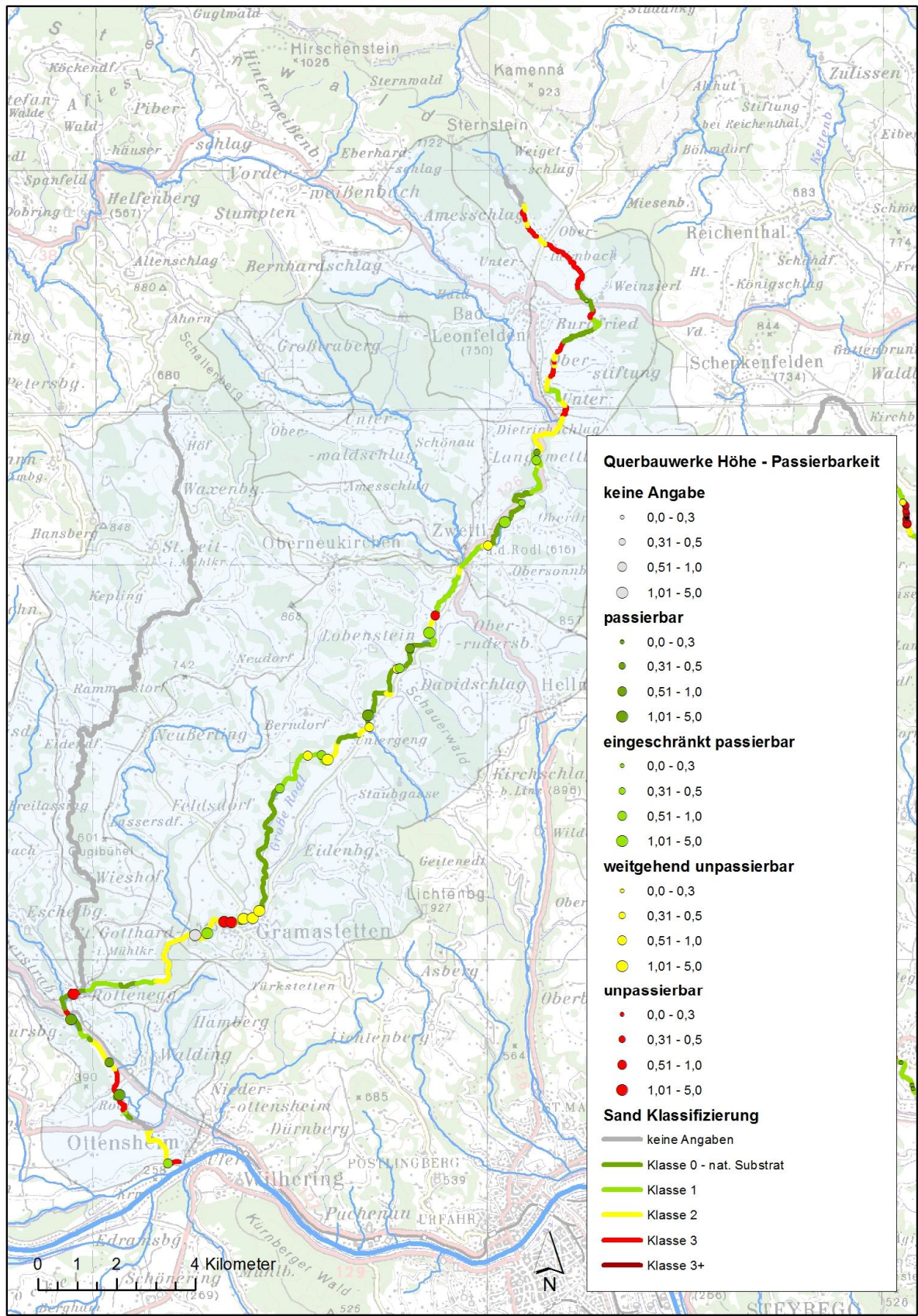


Abbildung 12: Übersicht über die Kartier-Ergebnisse für das Rodl-System hinsichtlich Versandung und Querbauwerke.

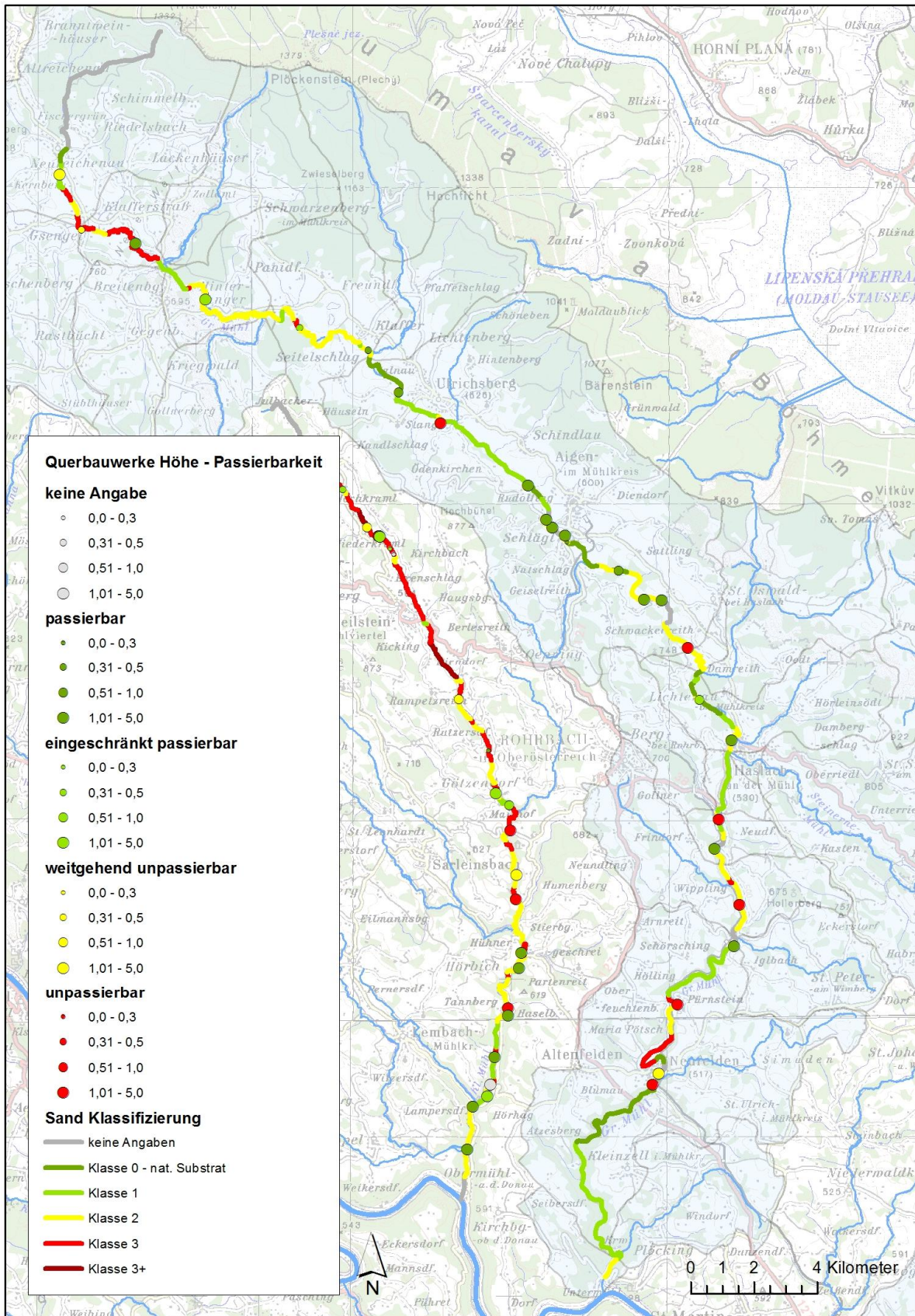


Abbildung 13: Übersicht über die Kartier-Ergebnisse für die Gr. Mühl hinsichtlich Versandung und Querbauwerke.

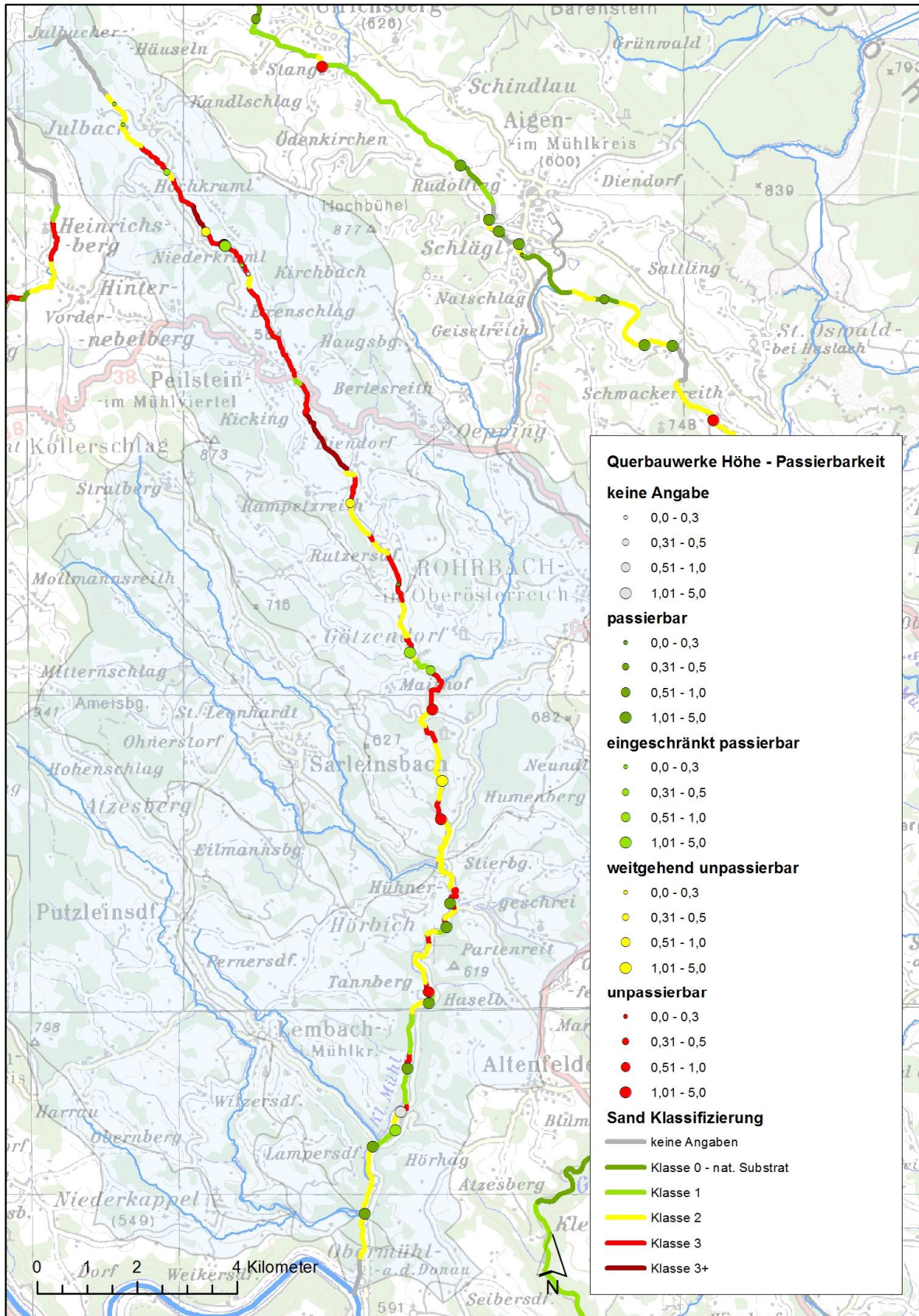


Abbildung 14: Übersicht über die Kartier-Ergebnisse für die Kl. Mühl hinsichtlich Versandung und Querbauwerke.

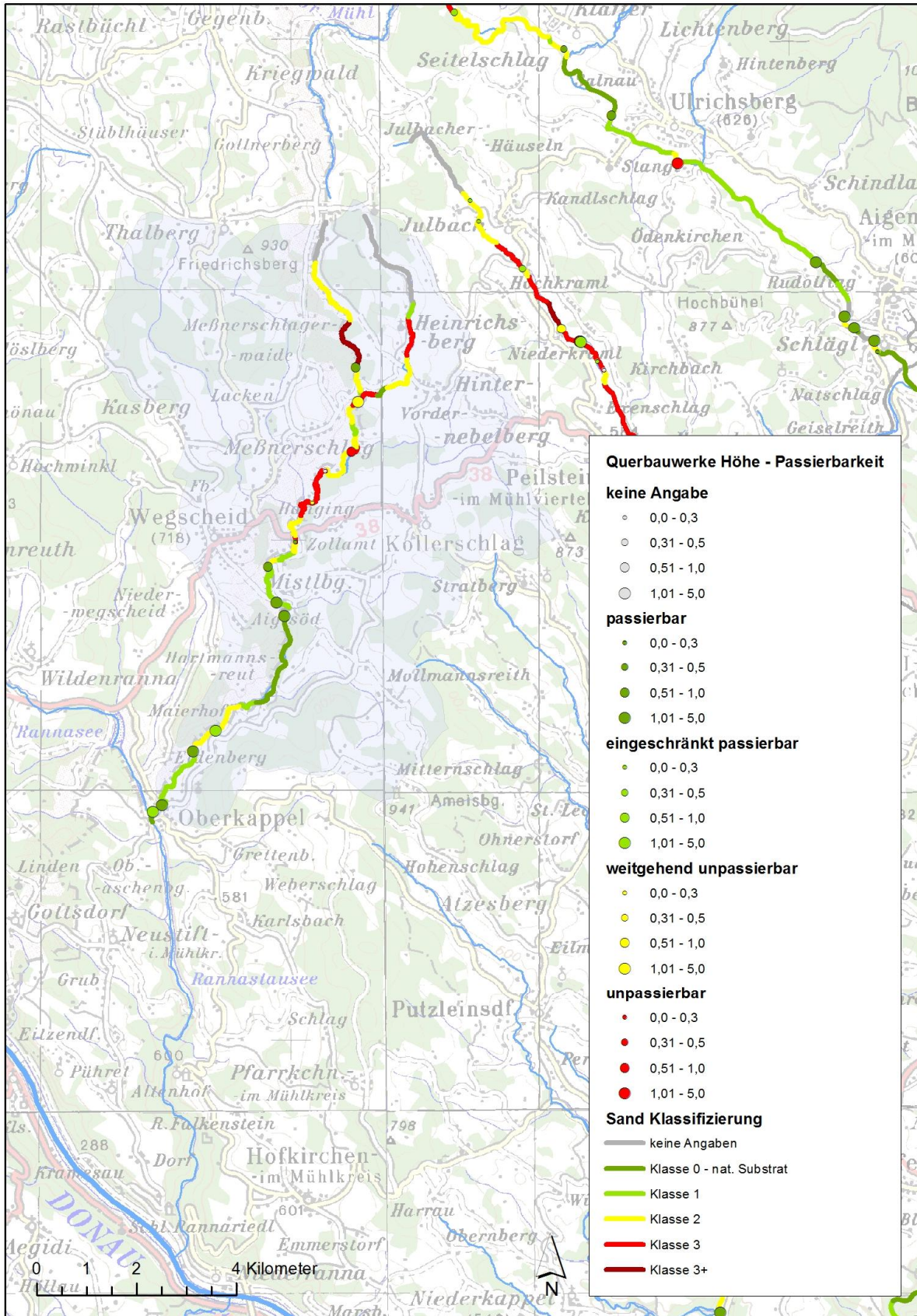


Abbildung 15: Übersicht über die Kartier-Ergebnisse für den Osterbach hinsichtlich Versandung und Querbauwerke.

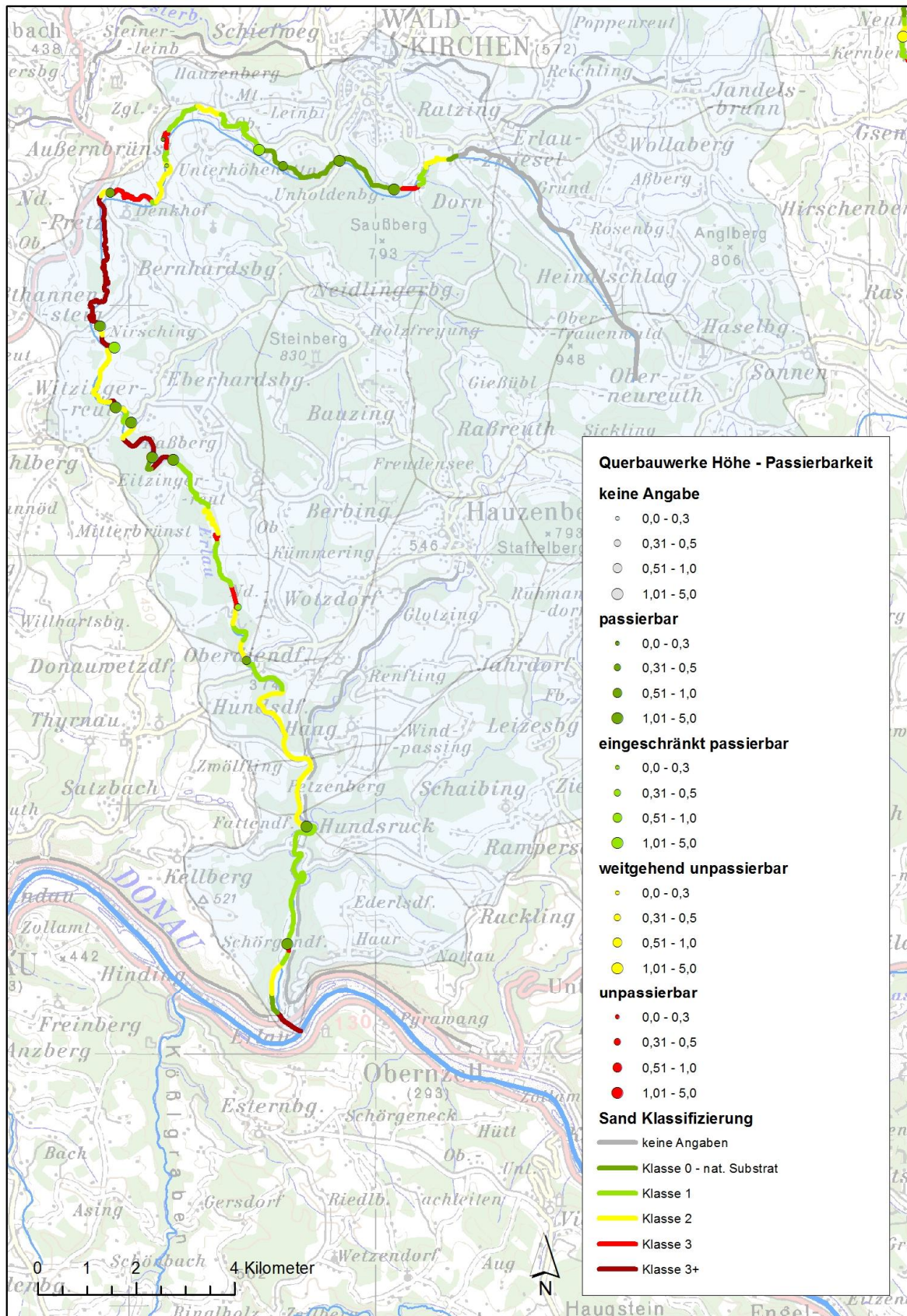


Abbildung 16: Übersicht über die Kartier-Ergebnisse für die Erlau hinsichtlich Versandung und Querbauwerke.

Auf Einzugsgebietebebene betrachtet, können auf Grund der Kartierungsergebnisse deutlich zwei Gruppen unterschieden werden: Die wenig belasteten Systeme der Erlau, der Großen Mühl und der Rodl. Und die eher stark belasteten anderen Systeme. Doch auch bei diesen Systemen gibt es große lokale Unterschiede. Am auffälligsten versandet sind:

- gesamtes Naarn-System
- Feldaist
- Aist-Unterlauf
- Kleine Gusen
- Gusen-Unterlauf
- Kleine Mühl

In Abbildung 17 und Abbildung 18 sind die Ergebnisse der Kartierung hinsichtlich Versandungsklassen bzw. auch hinsichtlich der Feinsedimentbelastung (Ton, Schluff bis Feinsandfraktionen) je nach untersuchtem (Teil-)Flussgebiet gegenübergestellt.

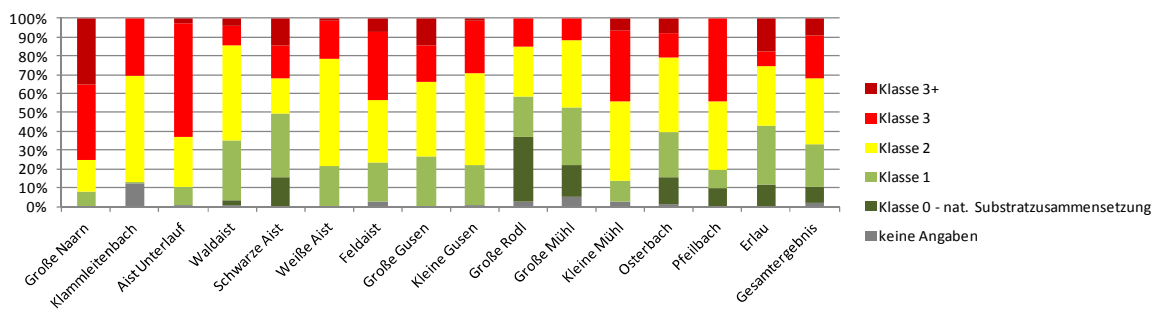


Abbildung 17: Darstellung der Versandungsklassen in den untersuchten Fließgewässern.

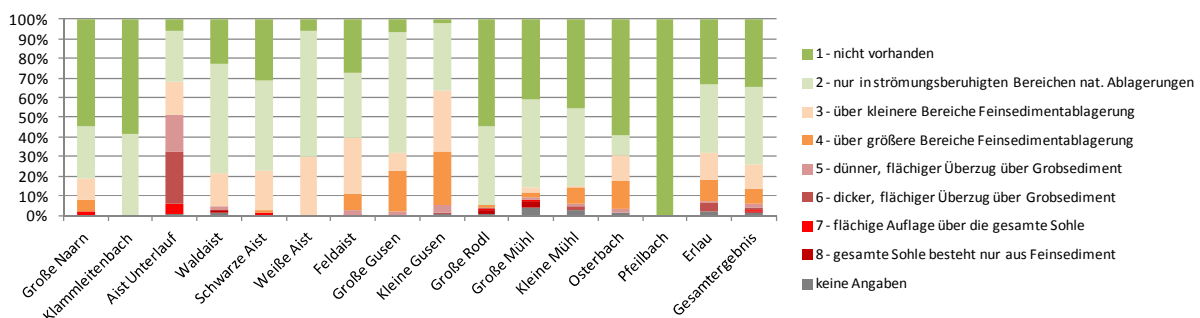


Abbildung 18: Darstellung der Feinsedimentausdehnung in den untersuchten Fließgewässern.

Als ein Beispiel zur Illustration der oftmals lokal sehr unterschiedlichen Bedingungen kann das Aist-System herangezogen werden (Abbildung 19). Je nach Geologie und anthropogener Überprägung im Einzugsgebiet ergeben sich sehr unterschiedliche Sedimentbedingungen in den Gewässern.

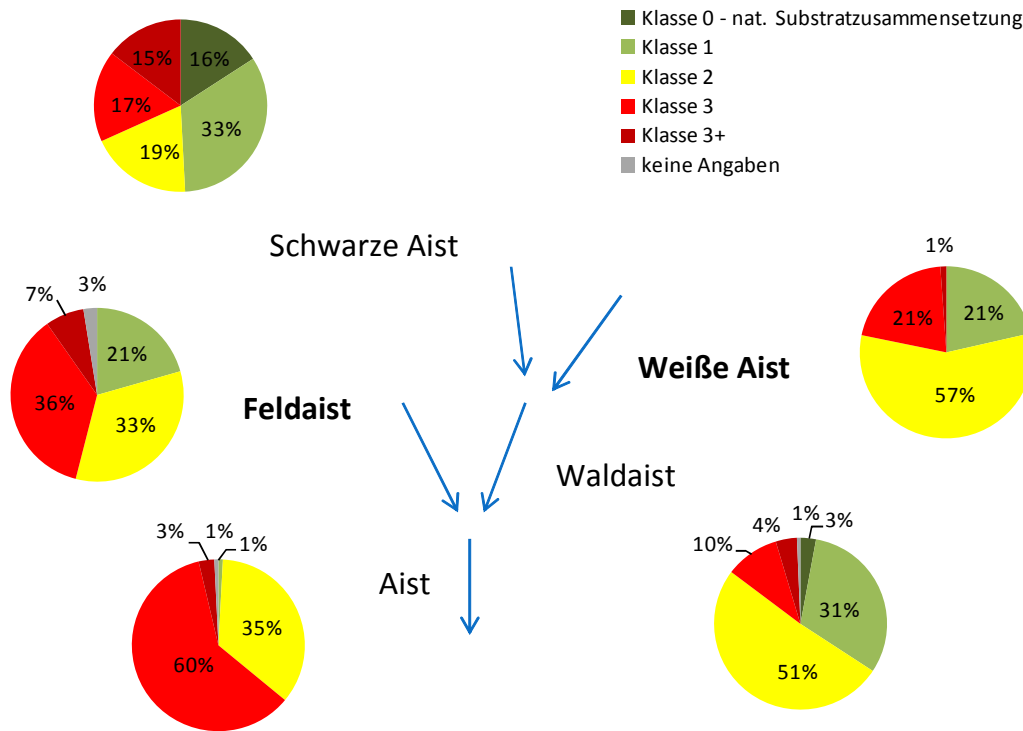


Abbildung 19: Versandungssituation in den einzelnen Teilabschnitten des Aist-Systems.

Weiters konnte der zu erwartende negative Zusammenhang zwischen der Einschätzung der Eignung einer Strecke für die kieslaichende Fischfauna und dem Versandungsgrad in den Daten belegt werden. Vor allem in der Äschenregion (Hyporhithral) bestehen umfangreiche menschliche Überprägungen, die zu einer stark beeinträchtigten Sedimentsituation führen (Abbildung 20). Auch der positive Einfluss von strukturgebendem Grobgeschiebe konnte eindeutig in den Daten nachgewiesen werden.

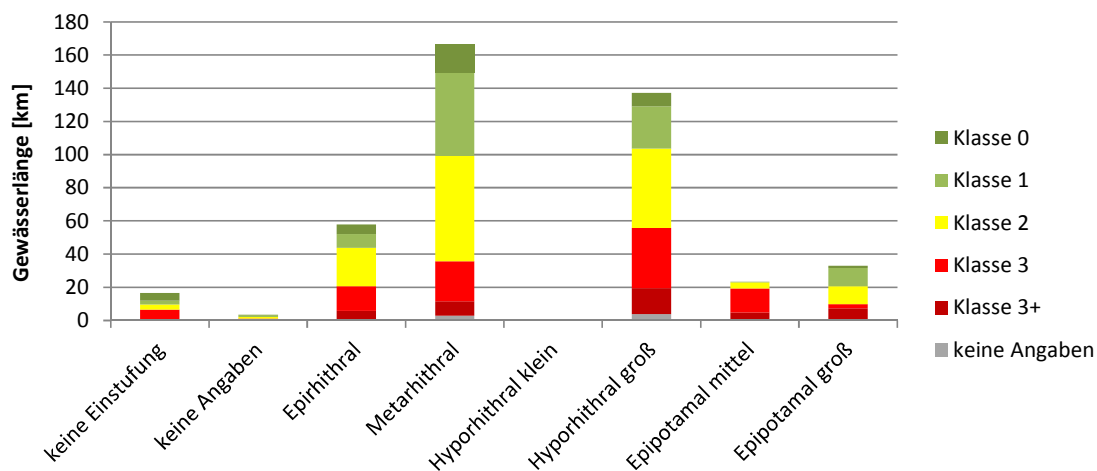


Abbildung 20: Anteil der Versandung an den Fischregionen an den untersuchten Gewässern (Epirhithral = Obere Forellenregion, Metarhithral = Untere Forellenregion, Hyporhithral = Äschenregion, Epipotamal = Barbenregion).

5.3. Schutzwasserbauliche Aspekte

In der Einleitung für den Synthesebericht wurde bereits die schutzwasserwirtschaftliche Problematik der Versandung der Fließgewässer der Böhmisches Masse angesprochen. Neben der bereits angeführten Veränderung der Gewässergeometrie (Reduktion des Abflussquerschnitts) an Gefällsknicken (z.B. Übergang Mühlviertler Hochland in die Donauebene) besitzt auch die dynamische Komponente des Feststofftransports einen schutzwasserwirtschaftlichen Aspekt. Durch die Umwandlung der Bewegungsenergie des Wassers in Transportenergie des Sohlmaterials (Geschiebe) kommt es zu einer Reduktion der Fließgeschwindigkeit und - auf Grund der Kontinuitätsgleichung - mitunter zu Aufspiegelung, verglichen mit einem Abschnitt ohne dynamischer Sohlkomponente. Die Auswirkungen des Geschiebetriebs bei Hochwasser wurden im Projekt „Feststoffmanagement“ quantitativ nicht im Detail untersucht, es gibt jedoch diesbzgl. Veröffentlichungen von Fließgewässern aus dem alpinen Raum (Neuhold, 2009). Im Projekt Feststoffmanagement Mühlviertel und im Bayerischen Wald wurde vor allem auf die querschnittsverändernden Komponenten der Feststoffdynamik eingegangen.

Nach Hjulström (1935) bilden die Kornfraktionen des verwitternden Grundgesteins der Böhmisches Masse (1 mm – 10 mm) jenen Bereich der als hochmobil einzustufen ist (Bewegungsbeginn bei tlw. sehr geringen Fließgeschwindigkeiten). Die Mobilität der abgelagerten Sande z.B. in Bereichen lokaler Aufweitungen wird jedoch mitunter durch aufkommende Vegetation (deutlich) eingeschränkt. Beides zusammen, Ablagerungen bzw. böschungsstabilisierende Vegetation führen dazu, dass auch Fließgewässer der Böhmisches Masse eine sogenannte Regimebreite in Bezug auf den Abflussquerschnitt entwickeln. Als Regimebreite wird die Entwicklung eines bestimmten Gewässerquerschnitts in Abhängigkeit unterschiedlicher physikalischer Einflussgrößen verstanden, ohne signifikante Störungen durch außergewöhnliche Hochwasserereignisse (disturbances). Leopold et al. (1964) definierten in Summe acht Einflussgrößen die letztendlich die Ausbildung einer bestimmten Gewässergeometrie bzw. eines bestimmten Fließgewässertyps bedingen. Neben den geometrischen Eigenschaften (1) bordvolle Breite, (2) bordvolle Tiefe und (3) Sohlgefälle werden auch sedimentologische Eigenschaften wie (4) der maßgebliche Korndurchmesser d_m (= geometrisches Mittel der Kornverteilungskurve) in ihrer Bedeutung hervorgehoben bzw. wird (5) der quantitative Sedimenteintrag aus den flussauf gelegenen Einzugsystemen als beeinflussender Faktor genannt. Hinzu kommen hydrologisch/hydraulische Komponenten wie (6) die Abflussgröße (z.B. durchschnittlicher jährlicher Hochwasserabfluss) und die daraus resultierenden (7) Fließgeschwindigkeiten. Die einzelnen Größen sind teils wechselseitig beeinflusst. Somit resultiert auch die (8) Rauigkeit eines Fließgewässers aus der Kombination von Sedimentgröße / - sortierung (Kornrauigkeit) und der Gewässergeometrie (Formrauigkeit) in Abhängigkeit vom Durchfluss (Veränderung der relativen Rauigkeit).

In Bezug auf die Entwicklung von Regimebreiten gibt es eine Vielzahl veröffentlichter internationaler Studien (Leopold & Maddock, 1953; Nixon et.al., 1959; Kellerhals, 1967), welche basierend auf Freilandhebungen, die Entwicklung bzw. Berechnungen von querschnittsbezogenen Größen wie bordvolle Breite (Q_{bf}) oder bordvolle Tiefe (T_{bf}) beinhalten. Bezugsgröße in diesen empirisch abgeleiteten Formeln ist meist der ein- bis zweijährliche Hochwasserabflusswert (HQ_1 oder HQ_2) einer längeren hydrologischen Zeitreihe.

Einige der angeführten funktionalen Beziehungen wurden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die Entwicklung von Gewässerbreiten in den untersuchten Fließgewässern der Böhmisches Masse

bewertet. Als Grundlage dienten tachymetrische Aufnahmen (Leica TC805) von Fließgewässerquerschnitten in lokalen (Hochwasserschutz-) Aufweitungsbereichen der Gewässerbezirke Linz und Grieskirchen, welche bereits deutliche Verlandungen und tlw. stabilisierte Verhältnisse durch aufkommende Vegetation zeigten. Die Ergebnisse der Anwendung der unterschiedlichen Regimeformeln zeigte jedoch keine Übereinstimmung mit den sich entwickelnden Gewässerbreiten. Durch die Verwendung der ein- bis zweijährlichen Hochwasserabflussgrößen kam es zu einer Überschätzung der Breitenentwicklung von 5 % (Gusen, St. Georgen) bis 37 % (Feldaist, Pregarten).

Aufgrund der umfangreichen Freilandhebung konnten aber auch im Projekt selbst Analysen hinsichtlich der eigendynamischen quasi-stabilen Entwicklung von Gewässerbreiten durchgeführt werden. Es wurden diesbezüglich die aufgenommenen Gewässerbreiten dem lokalen Sohlgefälle und dem Mittelwasserabfluss (MQ) in den untersuchten Gewässerabschnitten (n = 5) gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigten sehr deutlich, dass die Mittelwasser-Abflussgröße mit der Entwicklung einer bestimmten Gewässerbreite korrespondiert.

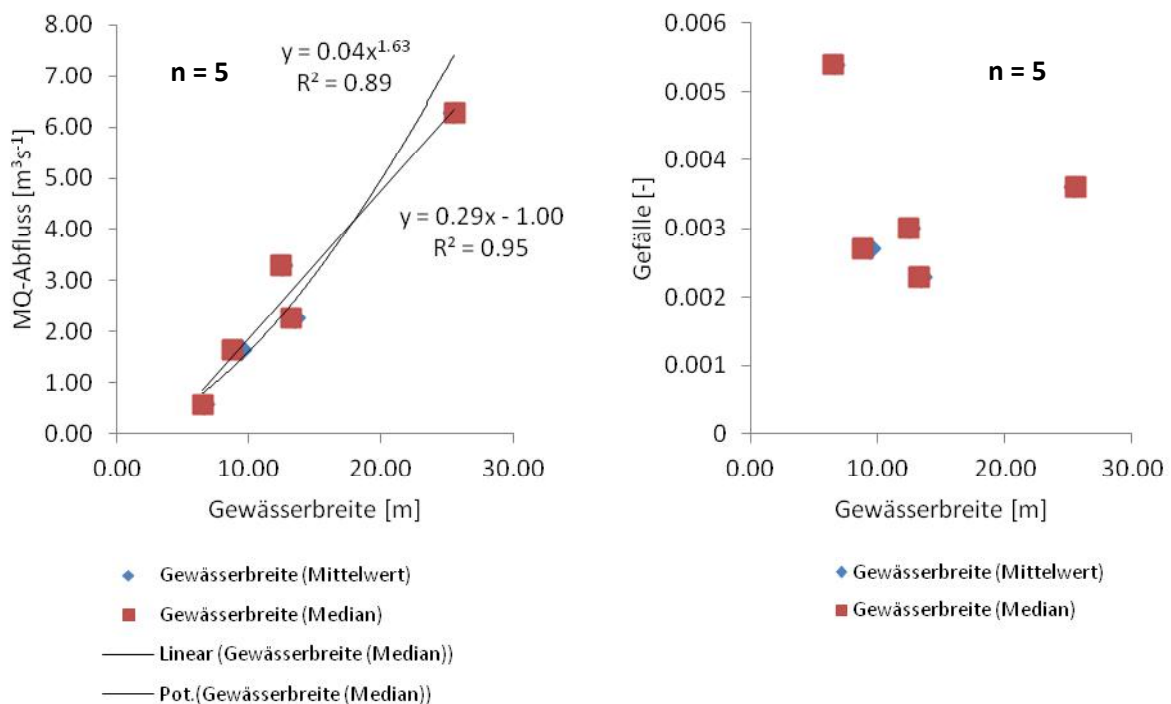


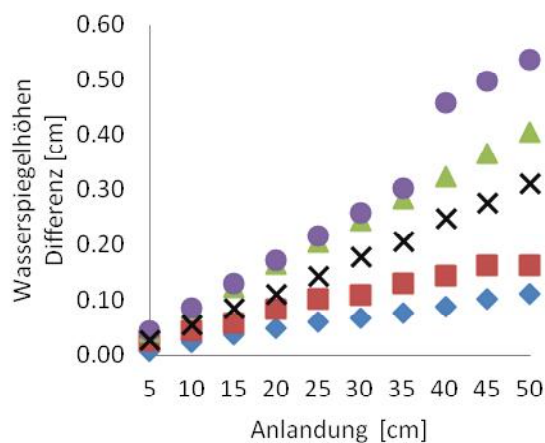
Abbildung 21: Untersuchung einer möglichen Korrelation zwischen Mittelwasserabfluss und Gewässerbreite. Dargestellt ist auf der X-Achse die hydrodynamisch-numerisch modellierte Gewässerbreite (Median) der Untersuchungsgebiete sowie der Mittelwasserabfluss (Y-Achse). Des Weiteren ist ein möglicher linearer bzw. exponentieller Zusammenhang eingetragen.

Abbildung 22: Untersuchung einer möglichen Korrelation zwischen Sohlgefälle und Gewässerbreite. Dargestellt ist auf der X-Achse die hydrodynamisch-numerisch modellierte Gewässerbreite (Median) der Untersuchungsgebiete sowie das Sohlgefälle in jenen Bereichen (Y-Achse).

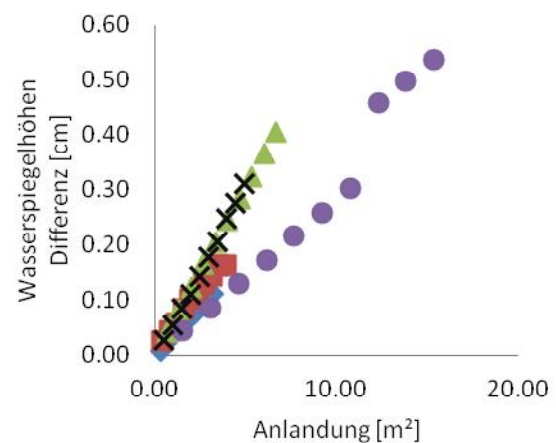
Diese Abweichung, verglichen mit den bisher bekannten und verwendeten Regimeformeln, ist zu einem wesentlichen Teil dadurch begründet, dass die Grobsand- und Feinkiesfraktionen (1 mm – 10

mm) bereits bei deutlich geringeren Abflussgrößen als das einjährige Hochwasser (HQ_1) mobil sind. Aus diesem Grund wird die Geometrie des Gewässerquerschnitts in Bereichen einer lokalen Überbreite bereits bei Abflüssen um Mittelwasser morphologisch verändert. Diese Erkenntnis abgeleitet von Freilanddaten, hat mitunter eine wesentliche Bedeutung für Planung und Umsetzung zukünftiger Hochwasserschutzmaßnahmen in der Region Mühlviertel. Durch die gezielte Konzipierung und Ausführung einer Mittelwasser-Rinne in Bereichen kann der (Durch-)transport von einem Großteil des Grobsand- und Feinkiesfraktionen gewährleistet werden.

Weitere im Projekt „Feststoffmanagement im Mühlviertel und im Bayerischen Wald“ untersuchte schutzwassertechnische Aspekte waren die Quantifizierung der Auswirkungen eines veränderten Gewässerquerschnitts in Bezug auf Veränderungen des Wasserspiegels bei mittleren und hohen Abflüssen. Die Analysen wurden in sechs schutzwassertechnisch relevanten Detailstrecken der Gewässerbezirke Linz und Grieskirchen durchgeführt. Für die Analysen wurden kalibrierte eindimensionale hydrodynamisch-numerische Modelle (HEC-RAS) verwendet. Einige ausgewählte Ergebnisse für einen 10-jährlichen Hochwasserabfluss sind in den Abbildungen Abbildung 23 und Abbildung 24 dargestellt. Weitere Detailergebnisse finden sich im Hauptteil des Endberichts „Feststoffmanagement im Mühlviertel und im Bayerischen Wald“.



◆ Freistadt ■ Pregarten ▲ Rottenegg ● Schwertberg ✕ St. Georgen



◆ Freistadt ■ Pregarten ▲ Rottenegg ● Schwertberg ✕ St. Georgen

Abbildung 23: Vergleich der Anlandungsszenarien. Analyse bei jeweiligen HQ_{10} Abfluss. Dargestellt ist die Änderung der Wasserspiegellage in cm (Y-Achse) abhängig von der Anlandungshöhe in cm (X-Achse). Legende: Freistadt (blau), Pregarten (rot), Rottenegg (grün), Schwertberg (violett) und St. Georgen (schwarz).

Abbildung 24: Vergleich der Anlandungsszenarien. Analyse bei jeweiligen HQ_{10} Abfluss. Dargestellt ist die Änderung der Wasserspiegellage in cm (Y-Achse) abhängig von der Anlandungsfläche in m^2 (X-Achse). Legende: Freistadt (blau), Pregarten (rot), Rottenegg (grün), Schwertberg (violett) und St. Georgen (schwarz).

5.4. Mineralogische Analysen

In Ergänzungen zu den volumetrischen Probenahmen, den Siebungen und der Erstellung einer Datenbank wurden für die untersuchten Fließgewässer mineralogische Untersuchungen am Institut

für Angewandte Geologie (Prof. Ottner) durchgeführt. Es wurde diesbzgl. aus jedem Flusssystem eine Versandungsprobe (Mischprobe) zu weiteren Untersuchungen im Labor herangezogen.

Die Korngrößenverteilung wurde durch Kombination von Trocken- und Nasssiebung ermittelt. Die feuchten Proben wurden bei 70°C getrocknet, gewogen und mit einem Siebsatz von 20 mm, 6.3 mm und 2 mm zur Ermittlung der Kiesanteile trocken gesiebt. Vom Durchgang < 2 mm wurde eine repräsentative Teilprobe von 200 g entnommen und nach einer Ultraschallbehandlung mit einem Siebsatz von 630 µm, 200 µm und 63 µm zur Bestimmung der Sandanteile nass gesiebt. Die einzelnen Fraktionen wurden bei 105°C getrocknet und in Massenprozent der Einwaage angegeben. Daraus wurde die Korngrößenverteilung der Gesamtprobe ermittelt. Die einzelnen Proben wurden nach dem Trocknen in einer Scheibenschwingmühle zu Analysenfeinheit vermahlen. Die Messung für die mineralogischen Analysen erfolgte in einem Panalytical XPert Pro MPD Diffraktometer mit automatischem Divergenzschlitz, Cu LFF Röhre 45 kV, 40 mA, und einem X'Celerator Detektor. Die Messzeit war 25s, mit einer Schrittweite von 0,017 von 3* bis 70* 2* (weitere Details zur Auswertemethodik finden sich im Endbericht-Hauptteil). Beispielhaft für die Analysen sind die Ergebnisse für die Rodl in der Abbildung 25 dargestellt.

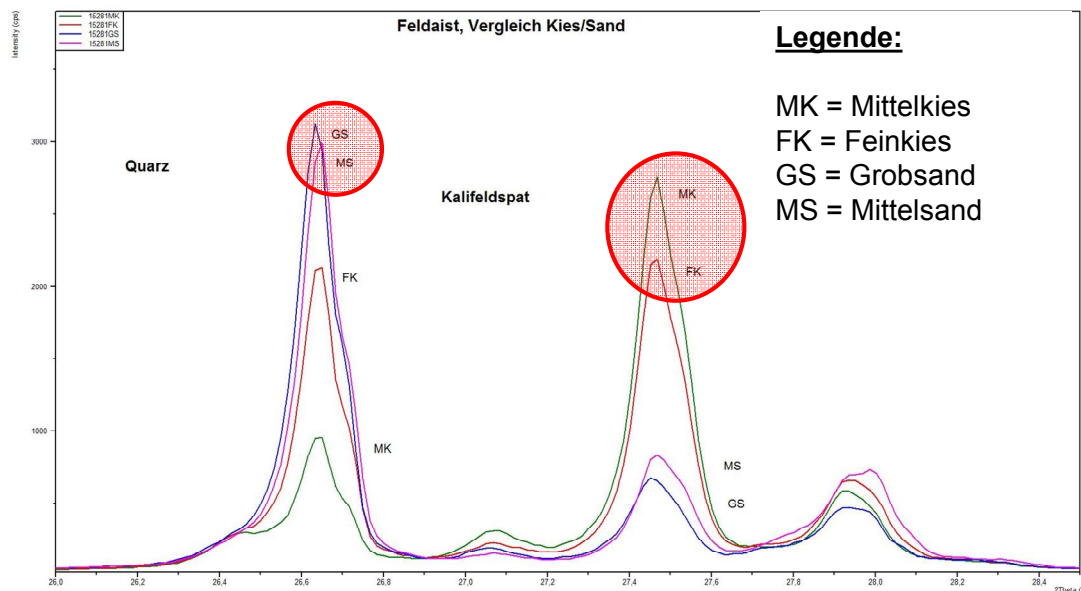


Abbildung 25: Ergebnisse der Röntgendiffraktometeranalyse am Beispiel der Rodl.

Die Ergebnisse der Abbildung 25 sind insofern interessant als das sie zeigen, dass in den Mittel- und Feinkiesfraktionen anteilmäßig der Kalifeldspat eindeutig dominiert und in den Mittel- und Grobsand Fraktionen der Quarz. Diese klare Trennung der beiden Kompartimente des Versandungsmaterials bzw. der Verwitterungsprodukte des Granit- / Gneishochlandes konnte in allen untersuchten Fließgewässern nachgewiesen werden (n = 8). Somit zeigen die Analysen im Labor, dass diese mineralogischen Eigenschaften des Versandungsmaterials als unabhängig vom Einzugsgebiet zu betrachten sind.

5.5. Feststofftransportmodell Aist

Im Einzugsgebiet der Aist wurden umfangreiche Analysen hinsichtlich des Feststoffpotenzials bzw. auch hinsichtlich des theoretischen Transports durchgeführt, um detaillierte Grundlagen für zukünftige Maßnahmenplanungen im Bereich Hochwasserschutz und Ökologie zu schaffen. Die Arbeiten wurden in zwei Teilarbeitspaketen umgesetzt. Einerseits wurden GIS basierte Analysen in Bezug auf das Risiko für einen erhöhten Feststoffeintrag im Projektsgebiet durchgeführt. Andererseits wurde ein eindimensionales hydrodynamisch-numerisches Feststofftransportmodell für die Hauptflüsse der Aist (Feldaist, Waldaist und Aist) mit allen relevanten Zubringern (Einzugsgebietsgröße > 10 km²) aufgebaut. Als Grundlage für die Bearbeitung im Aist Einzugsgebiet wurden verschiedenste Informationen in Bezug auf Topographie (z.B. Laserscan) oder Landnutzung (z.B. Geologie, Waldanteil) herangezogen, welche im Endbericht im Detail beschrieben sind. Im vorliegenden Synthesebericht findet sich ausschließlich eine Kurzbeschreibung der wesentlichen Ergebnisse.

5.5.1. Ausweisung des Risikos für erhöhten Feststoffeintrag

Grobkorn Granit und Gneise haben gemäß ihrer geologischen Einstufung (Prof. Ottner, Institut für Angewandte Geologie BOKU Wien) eine hohe Versandungsneigung bzw. Verwitterungsanfälligkeit. Ein steiles Gefälle der Wasserläufe stellt das notwendige Sedimenttransportpotential dar. Durch einen höheren Materialeintrag eines Einzugsgebietes steigt auch das Risiko einer möglichen Versandung der Zubringer und Hauptgewässer. Eine zusätzliche Erhöhung des Sedimenttransportpotentials erfolgt, wenn die zuvor genannten Flächen auch noch mit Fichtenwäldern bedeckt sind, da Fichtenwälder die Gesteinsverwitterung begünstigen.

Ziel ist es mit den EZG-Analysen eine relative Beurteilung des potentiellen Materialeintrages von Granitgrus (1 mm – 10 mm) je Einzugsgebiet zu ermöglichen. Dazu wurden die einzelnen Einzugsgebiete je Haupteinzugsgebiet (Feldaist, Waldaist, Aist) relativ zueinander nach absteigendem Sedimenteintragspotenzial gereiht. Es wurden die Ergebnisse der geologischen Klassifizierung und der Klassifizierung nach Nadelwald (Fichtenwald) für jedes Einzugsgebiet in Bezug zur Gesamtlänge aller Gefällsklassen (Klasse 1 bis 5) zum jeweiligen Haupteinzugsgebiet gestellt um eine relative prozentuale Bewertung zu erhalten. Die Gesamtlänge aller Gefällsklassen entspricht der Länge der bearbeiteten möglichen Wasserwege abzüglich der Fließwege die in Sedimentrückhaltebereiche münden (Details finden sich diesbzgl. im Hauptteil des Endberichts).

Ein entsprechendes Ranking wurde für folgende drei Auswertungen durchgeführt:

- 1) Gesamtlänge Gefällsklasse 4+5 auf Geologiekategorie Grobkorn Granit und Gneis je Einzugsgebiet in Bezug zur Gesamtlänge aller Gefällsklassen des jeweiligen Haupteinzugsgebiet
- 2) Gesamtlänge Gefällsklasse 4+5 auf oberflächlich zum Teil vergrusteten Flächen des jeweiligen Einzugsgebiet in Bezug zur Gesamtlänge aller Gefällsklassen je Haupteinzugsgebiet
- 3) Gesamtlänge Gefällsklasse 4+5 auf Geologiekategorie Grobkorn Granit und Gneis und zusätzlich noch auf Nadelwaldflächen je Einzugsgebiet in Bezug zur Gesamtlänge aller Gefällsklassen je Haupteinzugsgebiet

Die Auswertungen 1 und 2 sind nahezu ident, da die beiden geologischen Flächen Geologiekategorie 2 und zum Teil oberflächlich vergrusten Fläche sehr ähnlich sind. Deshalb sind für das Ranking der Einzugsgebiete nur die Auswertung 1 und 3 von Interesse.

Jenes Einzugsgebiet das im jeweiligen Haupteinzugsgebiet den Rang 1 aufweist, hat auch das höchste Materialeintragspotential im Haupteinzugsgebiet. Da die prozentualen Anteile auf die Gesamtlängen des gesamten Bearbeitungsgebietes bezogen wurden, können die einzelnen Einzugsgebiete auch unabhängig des Haupteinzugsgebietes miteinander in Bezug gesetzt werden.

Laut Auswertungen der Einzugsgebietsanalysen gibt es im Haupteinzugsgebiet der Waldaist ein weitaus höheres Potential zum Eintrag von Granitgrus (Abbildung 26) als im Haupteinzugsgebiet der Feldaist (Abbildung 27). Der höhere Anteil an Gefällsklassen mit > 5 % Gefälle im Gebiet der Waldaist ist geologisch bedingt. Wie bereits eingangs erwähnt besitzen Grobkorngranite eine höhere Reliefenergie als Feinkorngranite, der Anteil an Feinkorngraniten ist im Haupteinzugsgebiet der Feldaist wesentlich größer und Grobkorngranite sind im Waldaistgebiet vorherrschend. Durch Miteinbeziehung der Nadelwald- bzw. Fichtenwaldflächen kommt es teilweise zu geringen Änderungen im Ranking. Im Haupteinzugsgebiet der Aist treten die Auswertungen der Nadelwaldflächen in den Hintergrund, da diese Flächen nur im geringen Ausmaß im EZG vorhanden sind.

Weiters gilt es darauf zu verweisen, dass die Ergebnisse der Klassifizierungen nach Gefälle, Geologie und Nadelwald (Fichtenwald) je Einzugsgebiet tabellarisch und grafisch aufbereitet wurden.

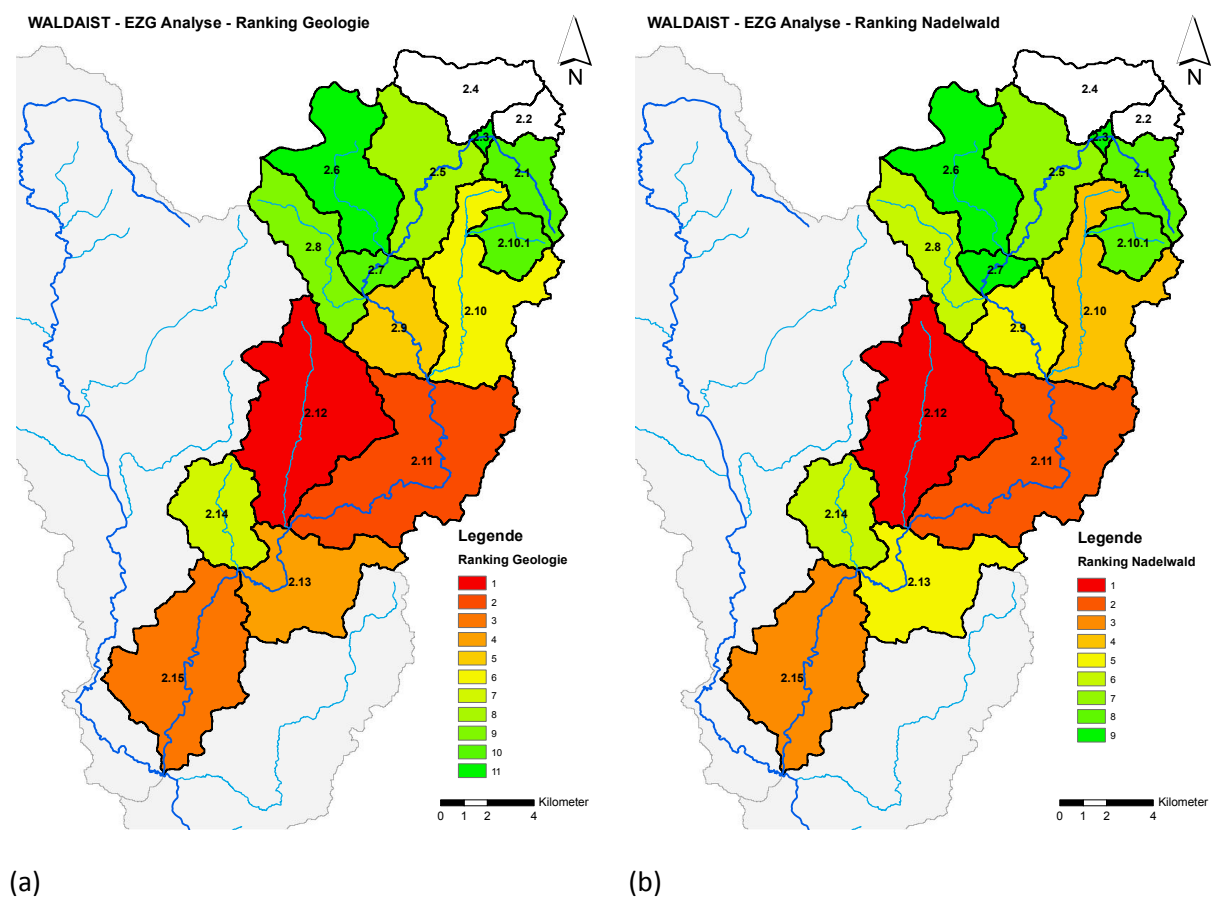
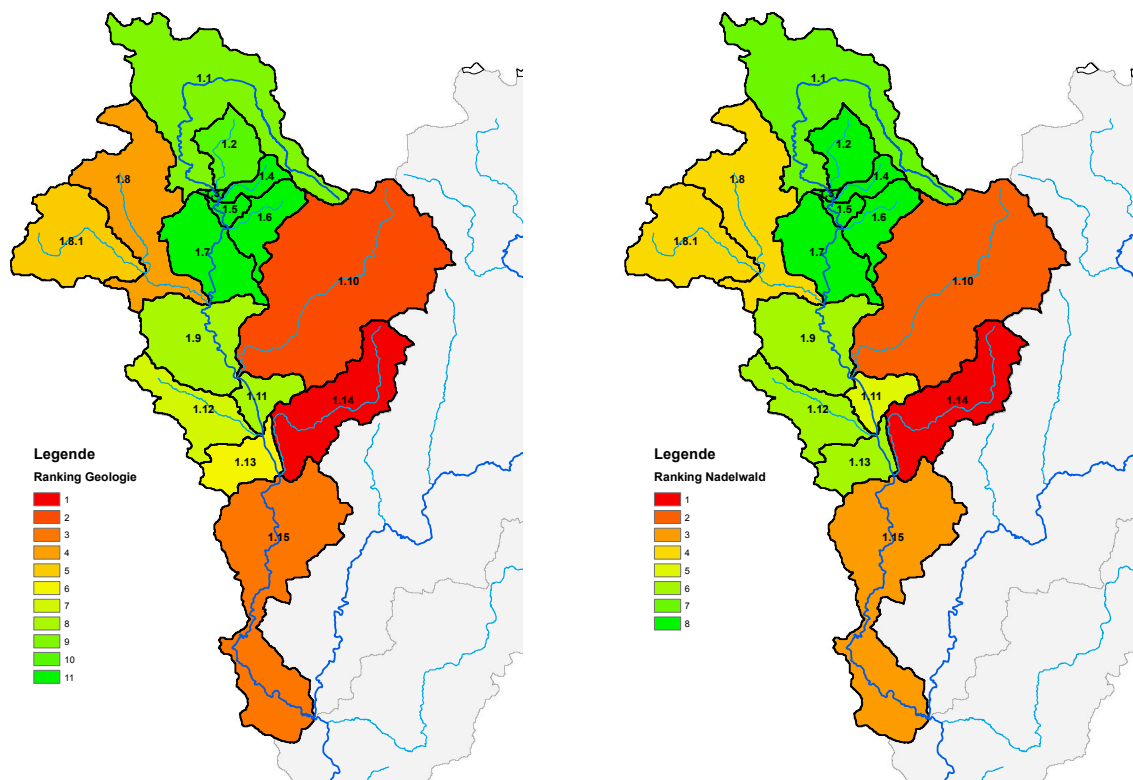
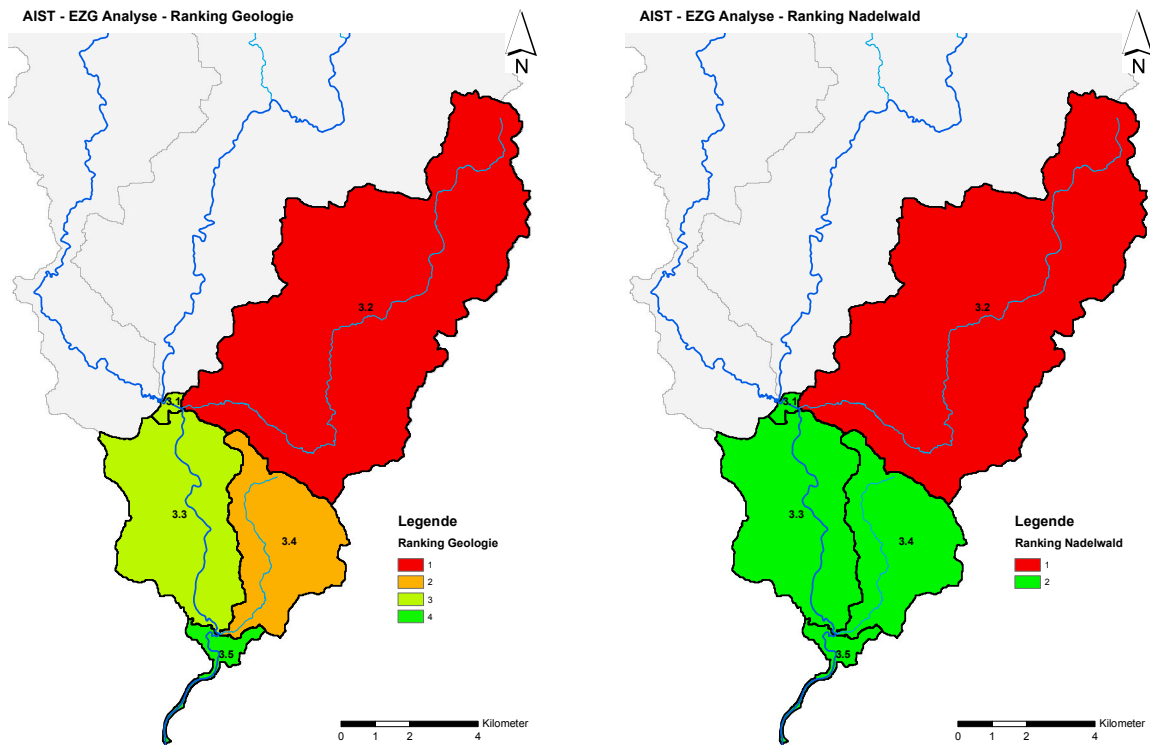


Abbildung 26: Einzugsgebietsanalyse Waldaist : (a) Ranking Geologie, (b) Ranking Nadelwald.



(a)

Abbildung 27: Einzugsgebietsanalyse Feldaist : (a) Ranking Geologie, (b) Ranking Nadelwald.



(a)

Abbildung 28: Einzugsgebietsanalyse Aist : (a) Ranking Geologie, (b) Ranking Nadelwald.

5.5.2. Ausweisung der Risikobereich für potentielle Versandung

Dies Ausweisung der Risikobereiche für eine mögliche Versandung wurde für alle Fließgewässer mit einer Einzugsgebietsgröße $> 10 \text{ km}^2$ im Einzugsgebiet der Aist mittels eines eindimensionalen hydrodynamisch-numerischen (HN) Feststofftransportmodells durchgeführt (Details zur Methodik siehe Endbericht). Die Ergebnisse der ermittelten Risikobereiche, basierend auf den Ergebnissen der von mehr als 11.000 Gewässerquerschnitten (mittlerer Profilabstand 25 m), für eine potentielle Versandung durch Granitgrus (Korndurchmesser = 1 mm – 10 mm), sind in Abbildung 29 dargestellt. Laut Auswertung der Risikobereiche weist die Aist und auch die Feldaist gegenüber der Waldaist ein viel höheres Potential hinsichtlich einer Versandung der Gewässersohle auf. Diese Bewertung / Aussage ist jedoch gegenteilig zu den (GIS) Analysen, in Bezug auf das Eintragspotenzial von Granitgrus in die Waldaist, welche mit einem deutlich höheren Potential bewertet wurde als die Feldaist. Diese Unterschiede sind vor allem hydraulisch begründet, da durch ein geringeres Gefälle und der sehr hohen menschlichen Überprägung der Flussmorphologie entlang der Feldaist (z.B. Regulierungen und Gewässeraufweitungen in Bezug auf den HW-Schutz) die Transportkapazitäten im Fluss reduziert sind / wurden. Die Anteile an (berechneten) Risikobereichen an der Feldaist sind somit etwas höher als bei der Waldaist (Abbildung 29). Besonders in flacheren Abschnitten treten verstärkt Risikobereiche auf (vergleiche Längenschnitte im Anhang des Endberichts). Dies ist auch am Jaunitzbach deutlich sichtbar. Der Jaunitzbach weist durchgehend ein eher flaches einheitliches Gefälle (0.67 %) auf, weshalb auch über 70 % der Fließgewässerslänge als Risikobereich ausgewiesen wurden.

Auf Grund der umfangreichen Kartierungen in allen untersuchten Fließgewässern im Projektgebiet ($n = 8$) konnte an der Aist eine Verifizierung der Modellierungsergebnisse durchgeführt werden. Die

Verifizierung erfolgte auf Grund einer Überlagerung der Risikobereiche für eine Versandung mit jenen Abschnitten, die Akkumulationen von Grobsand und Feinkies in unterschiedlichen Kategorien (Klasse 2 – 3+) zeigten. In Bezug auf die sehr hohen Belastungen (Klasse 3 und 3+) zeigten die Modellierungsergebnisse für alle drei untersuchten Einzugsgebiete zusammengefasst eine Übereinstimmung > 60 %. Wurden die Ergebnisse der Versandungsklasse 2 (signifikante flächenmäßige Ablagerungen bzw. bedeutende Veränderungen der Flussmorphologie ersichtlich) hinzugenommen, konnte eine Übereinstimmung zwischen Kartierung und Modellierung > 80 % ausgewiesen werden. Im detaillierten Vergleich zeigten die Ergebnisse im Bereich der Feldaist und Aist eine größere Übereinstimmung als in den untersuchten Fließgewässerabschnitten der Waldaist.

Die deutlich größeren Unterschiede in der Übereinstimmung (Kartierung / Modellierung) im Bereich der Waldaist sind mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die Verwendung des Laserscans in der Erstellung der Flussgeometrie (Detailaufnahmen nur bis zur Wasseroberfläche) begründet. Aufgrund dieses Sohlfehlers (Details siehe Endbericht) kann es mitunter zu einer Überschätzung der Risikobereiche kommen. Dies gilt jedoch nicht für die Flüsse Aist bzw. Feldaist bis etwa Kefermarkt, da die Geländedaten aus dem erhaltenen SMS-Geländemodells der 2D Abflussuntersuchungen entnommen wurden (terrestrisch vermessene Gewässerquerschnitte inkludiert) und nicht aus dem DHM der Laserscandaten.

Im Anhang zum Endbericht sind in den CAD Plänen der Hauptgewässer (Feldaist, Waldaist, Aist) sowie in den Datenblättern der Zubringer die Risikobereiche in den Längenschnitten im Detail dargestellt.

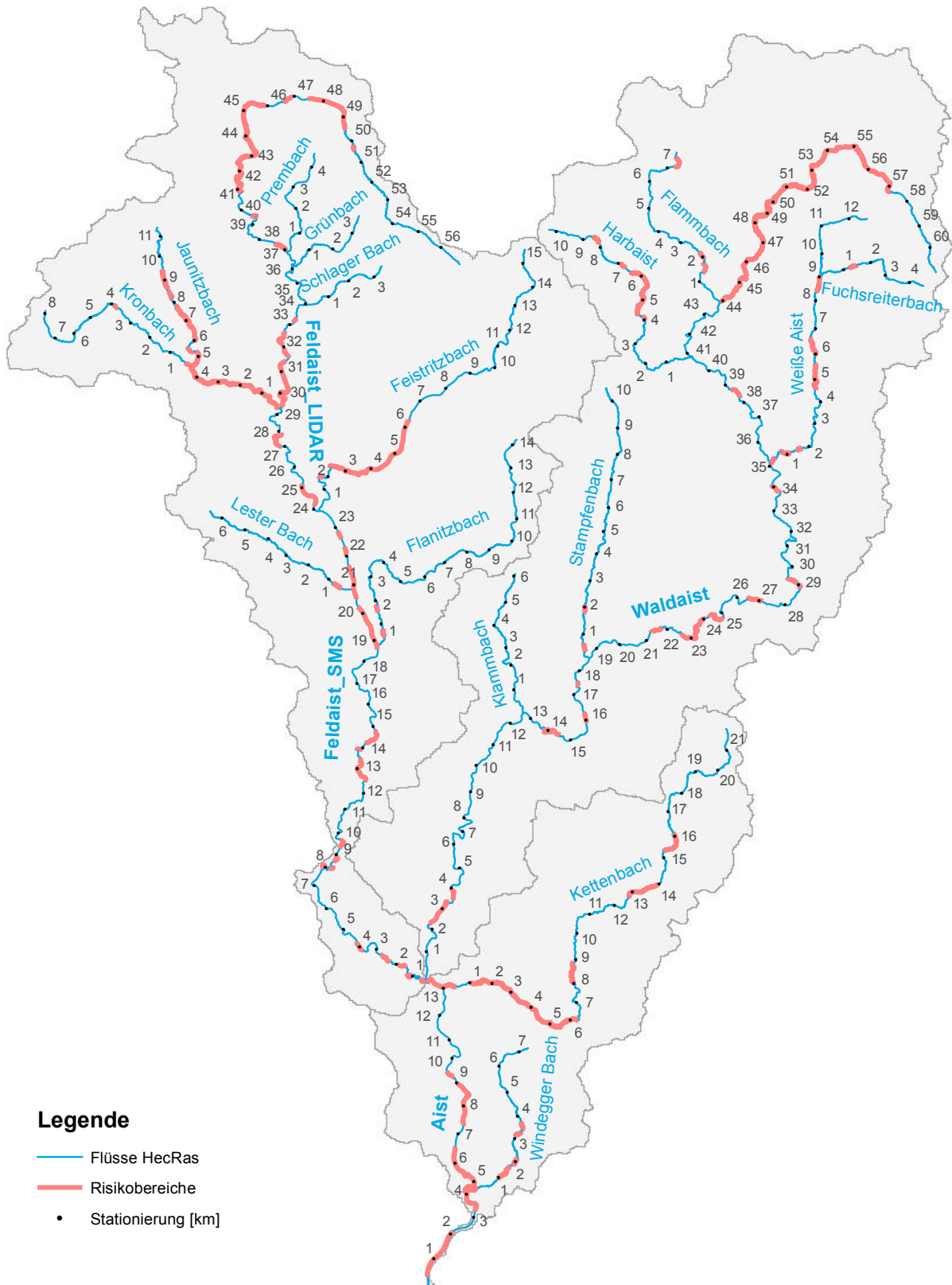


Abbildung 29: Darstellung der Risikobereiche für eine potentielle Versandungsgefahr von Granitgrus basierend auf den Auswertungen des eindimensionalen Feststofftransportmodells im Einzugsgebiet der Aist.

5.6. Gewässerökologische Untersuchungen

Aus gewässerökologischer Sicht wurden im vorliegenden Forschungsprojekt drei Themen inhaltlich behandelt bzw. abgearbeitet. Untersucht wurden im Detail die Auswirkungen der Versandung bzw. unterschiedlicher Versandungsklassen in Bezug auf die Quantität und Qualität des Makrozoobenthos. Weiters wurde in Verschneidung mit den erhobenen Daten der Freilandaufnahmen (volumetrische Sedimentproben, Kartierung des Ist-Zustands) Analysen hinsichtlich der Qualität und Belastung des Flussperlmuschellebensraums durchgeführt. Bei diesen Analysen wurde neben einer Bewertung der negativen Auswirkung eines übermäßigen Eintrags von Granitgrus auch die mögliche Einflussnahme von Feinstsedimenten (< 0.125 mm) untersucht. Aus fischökologischer Sicht wurden aus laufenden und bereits abgeschlossenen Projekten bedeutende Aspekte der Laichplatzqualität gemeinsam mit den Ergebnissen des Projekts diskutiert, welche in der Entwicklung bestimmter Maßnahmentypen berücksichtigt wurden.

5.6.1. Makrozoobenthos

Die Überlagerung der Fließgewässersohle mit Feinsedimenten allochthonen Ursprungs führt zu Reduktionen der Abundanz und Biomasse von benthischen Organismen v.a. durch eine Homogenisierung der Habitatstrukturen sowie durch Kolmationseffekte im hyporheischen Interstitial wobei Sauerstoffmangel im Lückensystem der Bachsohle eine weitere Folge sein kann (z.B. Eriksen, 1966; Rosenberg & Wiens, 1978; Cline et al., 1982; Culp et al., 1985; Erman & Ligon, 1988; Wood & Armitage, 1997; Ofenböck et al., 2008). Vor allem filtrierende Organismen, Arten der stabilen Hartsubstrate wie z.B. Weidegänger und Arten des Interstitials sind davon betroffen. Die ökologischen Folgen dieses schleichenden Prozesses werden meist erst spät erkannt.

Im Rahmen des Projektes wurde ein wesentlicher Schwerpunkt auf den Vergleich der benthischen Besiedlung zwischen Referenzstellen und von Versandung betroffenen Stellen gelegt, wobei zusätzlich detaillierte Untersuchungen von Habitat-Präferenzen unterschiedlicher Makrozoobenthos (MZB)-Elemente sowie auf Biomasseerhebung und -bilanzierung durchgeführt wurden, welche mit der Wasserrahmenrichtlinien-konformen nationalen Bewertungsmethode aufgrund der starken saisonalen Variabilität meist nicht exakt erfasst werden, wie im Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente, Teil A2 – Makrozoobenthos (Ofenböck et al. 2010) klargestellt wird.

Die Auswirkungen hoher Feinsediment-Anteile im Gewässer auf das Makrozoobenthos hinsichtlich Diversität, Biomasse und Abundanz sowie die Definition Feinsediment-spezifischer Indikatoren bzw. die Auswirkung des Versandungsgrades auf die Benthoszönose und deren Einfluss auf die nationale Methode zur Bewertung der ökologischen Zustandsklasse umfassen die grundlegenden Fragestellungen, wonach sich auch das Probenahme-Design richtet.

Aus diesem Grund wurden einerseits (Mikro-)Habitat-spezifische, quantitative Einzelproben entnommen und die hydraulischen Milieufaktoren des beprobten Habitat-Typs dokumentiert und andererseits pro Fließgewässer Multi-Habitat-Proben (MHS) entnommen und gemäß dem Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente, Teil A2 – Makrozoobenthos (Ofenböck et al. 2010) bearbeitet und ausgewertet, um die Ergebnisse dieser Habitat-bezogenen Einzelproben mit dem ökologischen Zustand nach Wasserrahmenrichtlinien (WRRL) konformer Methode auf Basis des Qualitätselementes Makrozoobenthos (MZB) im jeweiligen untersuchten Gewässerabschnitt zu analysieren und zu vergleichen.

Im Zeitraum von 14. bis 16. April 2014 wurden an den Gewässern Große Mühl (bzw. Michelbach im Bayerischen Abschnitt), Große Rodl, Gusen, Kleine Mühl und Osterbach Referenzabschnitte und von Feinsediment beeinflusste Abschnitte unterschiedlicher Intensität (Versandungsklassen) MZB-Proben entnommen; lediglich an der Kleinen Mühl wurde kein Referenzabschnitt beprobt. Insgesamt wurden demnach 12 Untersuchungsstellen beprobt, davon 5 in Referenz- und 7 in, durch Feinsedimenteintrag beeinflussten, Abschnitten. An jeder Untersuchungsstelle wurden je eine Multi-Habitat-Sampling (MHS) -Probe und in unterschiedlicher Anzahl Habitat-spezifische Einzelproben entnommen.

In Übereinstimmung mit internationaler Literatur kann im Untersuchungsgebiet unter Versandungsstress ein genereller Rückgang der Biodiversität, der Individuendichte (Abundanz) und auch der Biomasse beobachtet werden, jedoch muss aufgrund der beiden unterschiedlichen Probennahme-Methoden und der folglich unterschiedlichen Bestimmungsniveaus des MZB die differenzierte Zielsetzung berücksichtigt werden. So zielt die MHS-Methode, auf die Bewertung der Untersuchungsabschnitte hinsichtlich ökologischem Zustand bzw. auf die Reaktion der berechneten biologischen Kenngrößen (Metrics) ab, andererseits stehen anhand der Einzelproben generell der quantitative Aspekt (Biomasse) je Habitat-Typ und die Habitat-Präferenzen unterschiedlicher Taxa im Vordergrund.

Anhand der Freilandschätzung der prozentuellen Substratverteilung im Rahmen der **MHS-Methode** lassen sich sedimentologische Unterschiede zwischen Referenz- und versandeten Stellen darstellen. An den Referenzstellen dominiert der Choriotoptyp Mesolithal, gefolgt von Makro- bzw. Mikrolithal. In den versandeten Abschnitten ist eine Dominanz von feineren Korngrößen (\leq Akal) in Abhängigkeit von der Versandungsklasse gegeben. In der Versandungsklasse 2 sind Grob- und Feinsubstrate in ausgeglichenen Proportionen vorzufinden.

Die Untersuchungsstellen der Referenzabschnitte zeigen deutlich höhere Gesamttaxazahlen als jene der versandeten Abschnitte (siehe Abbildung 30, links). Noch deutlicher zeigt sich der Diversitätsrückgang mit steigender Versandungsklasse (Abbildung 30, rechts). Die Verteilung der Taxa pro Großgruppe zeigt aber generell sehr ähnliche Ergebnisse zwischen den Abschnitten. Eine Dominanz an Diptera-Taxa (Zweiflügler) vor Trichoptera- bzw. Ephemeroptera-Taxa (Köcherfliegen bzw. Eintagsfliegen) ist demnach an allen Untersuchungsstellen gegeben.

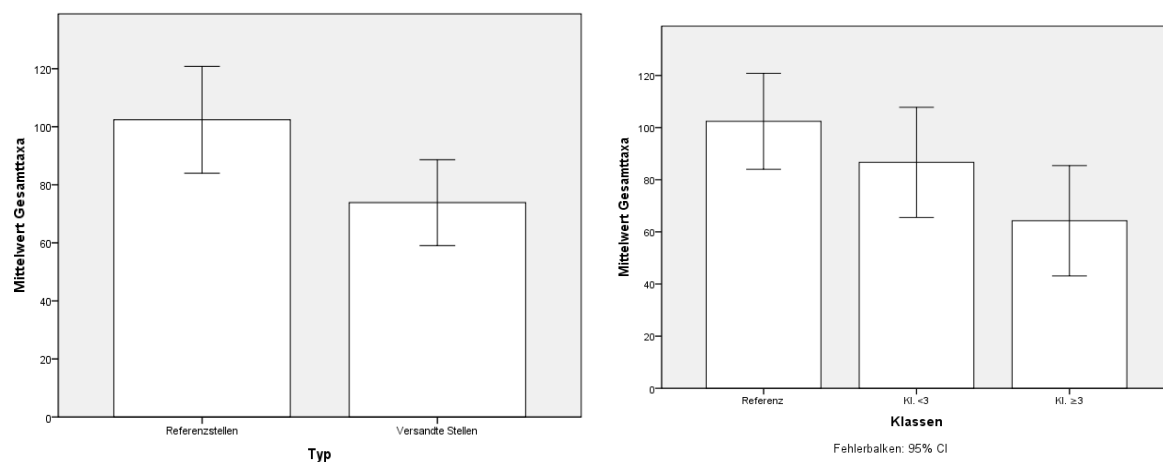


Abbildung 30: Mittlere Gesamttaxazahlen in Referenz- und versandeten Abschnitten (links); Mittlere Gesamttaxazahlen in Referenz- und versandeten Abschnitten unterschiedlicher Versandungsklassen, zusammengefasst in Klassen < 3 und ≥ 3 (rechts); Fehlerbalken (95 % Konfidenzintervall).

Ähnlich verhält es sich auch in Bezug auf Individuenzahlen der MHS-Proben, wobei eine deutliche Abnahme zwischen Referenz- und versandeten Stellen, vor allem bei zunehmender Versandungsintensität (Abbildung 31), festgestellt werden kann. Allerdings wurden aufgrund unterschiedlicher Flusstypen, in Abhängigkeit von Seehöhe und Einzugsgebiet sowie unterschiedlicher hydromorphologischer Ausprägung (Furt/Kolk oder Flachbett Typ), sehr starke Schwankungen, sowohl in den Referenz- als auch beeinträchtigten Stellen festgestellt.

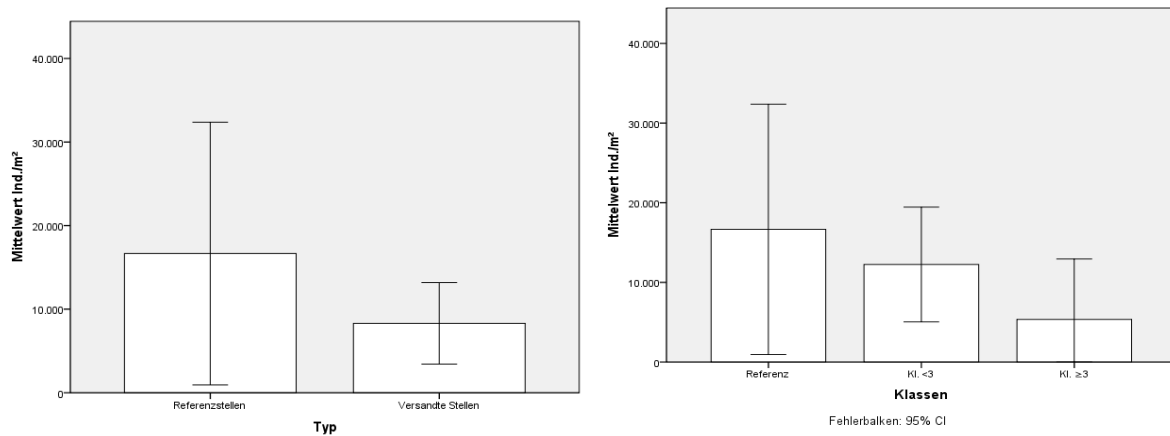


Abbildung 31: Mittlere Individuenzahlen in Referenz- und versandeten Abschnitten (links) sowie in Referenz- und versandeten Abschnitten unterschiedlicher Versandungsklassen, zusammengefasst in Klassengruppen < 3 und ≥ 3 (rechts); Fehlerbalken (95 % Konfidenzintervall).

Die Zönosen der von der Versandung betroffenen Stellen zeigen Veränderungen hinsichtlich allgemeiner biozönotischer Parameter wie längenzonale Verteilung (in Richtung Potamalisierung und Zunahme der Litoral-Zeiger) und der funktionellen Fresstypenzusammensetzung (in Richtung Detritusfresser bei einer deutlichen Abnahme an Weidegängern).

Aufgrund des detaillierten Bestimmungsniveaus der MHS-Proben lassen sich diverse biologische Kenngrößen (Metrics) berechnen und deren Reaktion unter Versandung bzw. nach unterschiedlichen Versandungsklassen darstellen. Von den 102 ausgewählten Standard-Metrics, zeigten 30 Metrics anhand von Pearson-Korrelationen signifikante ($p < 0,05$) Veränderungen unter Versandungs-Stress, wobei die höchsten Korrelationen in Bezug auf Versandung neben den Multimetricischen Indices (die sich je nach Gewässertyp aus verschiedenen Einzelmetrics zusammensetzen), Biotische Indices (Strukturindex und Degradationsindex), Fresstypen-Metrics (Weidegänger), Taxavielfalts-Metrics (z.B.: Anzahl MZB-Familien und EPT-Taxa) sowie Abundanz-Metrics (Ephemeroptera-Individuenzahl) darstellen. Diese Metrics zeigen bei zunehmender Versandungsklasse eine höchst signifikante ($p < 0,01$) Abnahme.

Die anhand der MHS-Proben berechnete detaillierten MZB-Methode für Österreich ergibt für die Untersuchungsstellen der Referenzabschnitte den guten Zustand (ökologische Zustandsklasse 2) für die Untersuchungsstellen der versandeten Abschnitte meist ebenfalls den guten Zustand (ökologische Zustandsklasse 2), ausgenommen die Untersuchungsstellen Kl. Mühl (Versandungsklasse 3) und Gr. Mühl (Versandungsklasse 3-3+), die den mäßigen Zustand (ökologische Zustandsklasse 3) indizieren. Demnach kann festgehalten werden, dass eine Verschlechterung der Ökologischen Zustandsklasse nach detaillierter MZB-Methode, wenn überhaupt, erst ab Versandungsklasse 3 eintritt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Ökologische Zustandsklassen nach det. MZB-Methode (Ofenböck et al. 2010) inkl. Saprobienindex (SI) und Multimetriche Indices (MMI 1 und MMI 2); Freilandsschätzung der prozentuellen Feinsedimentanteile im Rahmen der MHS-Methode; versandete Stellen nach Versandungskategorie sortiert; Ausprägungstyp: FK=Furt/Kolk, PB=Flachbett (Plane-Bed).

Typ	Gewässer	Versandungs- klasse	Ausprägung	SI	MMI 1	MMI 2	Ökologische Zustandsklasse	Feinsediment- anteil [%] in MHS (\leq Akal)
Referenz	Große Mühl	0	PB	1,88	0,87	0,95	gut (good)	
	Große Mühl	0	FK	1,69	0,87	0,86	gut (good)	
	Gr. Rodl	0	FK	1,83	0,96	0,99	gut (good)	
	Gusen	0	PB	1,93	0,86	0,94	gut (good)	
	Osterbach	0	FK	1,89	0,85	0,81	gut (good)	
Versandet	Gr. Rodl	2	PB	1,94	0,81	0,86	gut (good)	
	Kleine Mühl	2	FK	1,74	0,78	0,76	gut (good)	
	Große Mühl	2-3	PB	1,9	0,74	0,72	gut (good)	*
	Osterbach	3	FK	1,64	0,65	0,61	gut (good)	
	Kleine Mühl	3	PB	2,35	0,52	0,48	mäßig (moderate)	
	Große Mühl	3-3+	FK	1,59	0,48	0,42	mäßig (moderate)	
	Gusen	3+	PB	2,06	0,6	0,58	gut (good)	

* Feinsedimentanteil mit MHS-Methode prozentuell nicht erfassbar.

Anhand der **Habitat-spezifischen Einzelproben** zeigen die Taxazahlen eine klare Abhängigkeit von der Korngröße der Habitate. Die Diversität folgt dem Gradient der Korngrößen. Geringste Werte werden auf Feinsedimenten erreicht, auf Meso- und Makrolithal kommen die meisten Taxa vor. Ähnlich, allerdings mit hoher Variabilität, verhält sich die Individuendichte der Benthoszönose.

Anhand der Einzelproben kann daher eine klare Unterscheidung der Fauna von Feinsedimenten (Psammal/Akal) und gröberen Fraktionen vorgenommen werden. Während für Grobsubstrate etliche Indicator Species (v.a. EPT-Taxa) errechnet wurden, konnte keine typische sandbewohnende Fauna im Untersuchungsgebiet identifiziert werden. Dies deutet darauf hin, dass im Gegensatz zu natürlichen Sandflüssen keine Psammal-Elemente im Gebiet existieren und der Eintrag von Feinsedimenten unnatürlichen Ursprunges ist und folglich zu einer Verschlechterung der Lebensbedingungen der typischen Bachfauna führt (Reduktion der Steinf fauna).

Die Habitatpräferenzen ausgewählter Organismen zeigen deutliche Unterschiede zwischen Referenz und versandeten Stellen. Während an den Referenzstellen z.B. Weidegänger klare Schwerpunkte ihrer Verbreitung auf Grobsubstraten aufweisen (im Einklang mit der Literatur), besiedeln dieselben Arten an den versandeten Stellen kein spezifisches Substrat sondern kolonisieren ein weites Habitatspektrum in weitaus geringeren Individuenzahlen.

Die Ähnlichkeiten bzw. Unähnlichkeiten der Zönosen zwischen den Einzelproben (siehe Non-metric Multidimensional Scaling in Abbildung 32, links) indizieren ebenfalls eine deutliche Trennung der Habitat-spezifischen Fauna in drei Kompartimente: eine Feinsediment-Fauna (Psammal und Akal), typische Mikro- bis Makrolithalbewohner (Anstieg der Korngröße als Vektor dargestellt) sowie Bewohner der organischen Habitate (rot eingekreist).

Des Weiteren zeigt sich ein Trend in der Faunenzusammensetzung der Habitat-spezifischen Proben hinsichtlich Versandungskategorie (Abbildung 32, rechts), wobei der Grad der Versandung die Fauna

zusammen mit den Mikrohabitat-spezifischen Bedingungen prägt. In anderen Worten: Kleinräumig vorhandene Feinsedimentablagerungen (Referenzstellen) sind anders besiedelt als großflächige. Dies greift Inseltheorien auf und unterstreicht die Wichtigkeit kleinräumiger und mosaikartiger Verteilung von unterschiedlichen Korngrößen für die benthische Fauna.

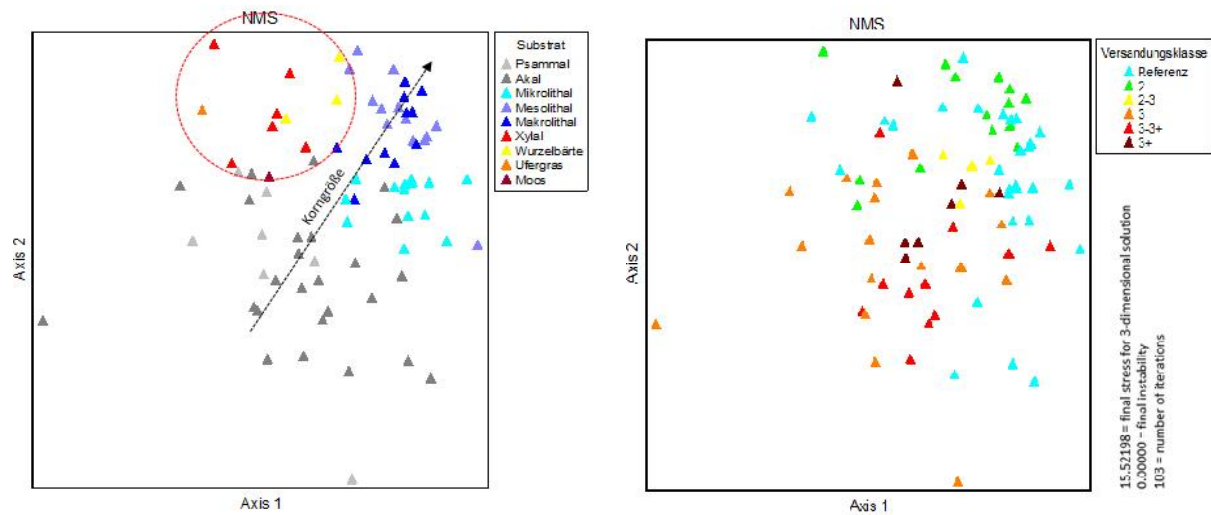


Abbildung 32: NMS-Scatterplot anhand der MZB-Zönosen der Einzelproben; Overlay: Substrattyp (links) und Versandungsklasse (rechts).

Am deutlichsten zeigt sich die Auswirkung von Versandungsstress anhand der Biomasse-Mittelwerte der Habitat-spezifischen Proben, hochgerechnet auf die geschätzte Substratverteilung in den unterschiedlichen Versandungsklassen. Demnach ergibt sich einen Zusammenbruch der errechneten Gesamt-Biomasse ab der Versandungsklasse 3 auf ca. 1/3 der Referenzsituation (Abbildung 33).

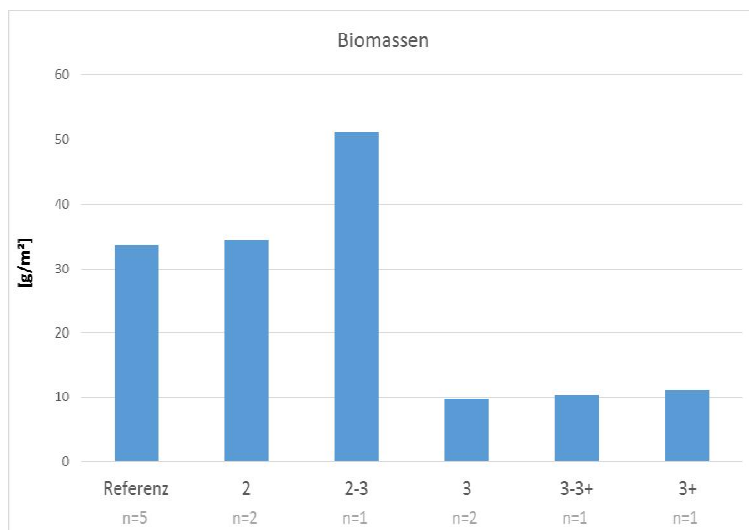


Abbildung 33: Mittlere Biomassen [g/m^2] in Referenz- und versandeten Abschnitten basierend auf einer hochgerechneten geschätzten Substratverteilung der unterschiedlichen Versandungsklassen.

Die Studie zeigt, dass erhöhter Feinsedimenteintrag nachhaltig negative Effekte auf aquatische Biozönosen hat, eine deutliche Reaktion der Benthoszönose auf den Versandungsgrad erst ab Versandungsklasse 3 festgestellt werden kann, da z.B. die Biomasse erst ab Zustandsklasse 3 auf ca. 1/3 der Referenzsituation einbricht. Auch die Verschlechterung der ökologischen Zustandsklasse nach Detaillierter MZB-Methode tritt erst ab Versandungsklasse 3 ein, wobei in zwei Fällen dieser

Versandungsklasse auch noch der gute ökologische Zustand indiziert wird. Dafür verantwortlich sind typologische Feinunterschiede (wie Furt-Kolk- bzw. Flachbett- Ausprägungen) sowie die Nichtbewertung von Individuendichten bzw. Biomassen anhand dieser Bewertungsmethode aufgrund zu hoher saisonaler Variabilität (Ofenböck et al. 2010).

Feinsedimenteintrag ist ein kontinuierlicher Prozess, der zu einer schleichenden und stetigen Verschlechterung der ökologischen Gesamtsituation führt und mit Routine-Monitoring (z.B. MHS) nicht leicht zu erfassen ist.

Schlussfolgerungen aus Sicht des Makrozoobenthos

- Erhöhter Feinsedimenteintrag zeigt nachhaltig negative Effekte auf aquatische Biozöosen (Diversität, Abundanz, Biomasse).
- Feinsedimenteintrag ist ein kontinuierlicher Prozess, der zu einer schleichenden und stetigen Verschlechterung der ökologischen Gesamtsituation führt und mittels Routine-Monitoring (z.B. MHS) erst ab starker Versandung (Versandungsklasse 3) zu erfassen ist.
- Das Beispiel der Gusen zeigt, wie kleinräumige Strukturen durch eine weitgehend intakte Ufervegetation (Totholzeintrag) trotz einer generellen Homogenisierung der Substratzusammensetzung in den versandeten Abschnitten dazu beitragen kann, eine hohe Biodiversität und ökologische Funktionsfähigkeit zu gewährleisten (siehe Vergleich in Abbildung 34).



Abbildung 34: Gewässertyp/Ufervegetation/Strukturen an Kl. Mühl (links) und Gusen (rechts).

- Da die Interaktion des Umlandes mit den aquatischen Lebensräumen ein ganz wesentlicher Faktor für die ökologische Funktionsfähigkeit ist, stellt sich für zukünftige Managementaufgaben folgende Prioritätensetzung:
 - Vermeidung von weiteren Sandeinträgen aus dem Umland sowie aus der unmittelbaren Uferregion
 - Schaffung von kleinräumigen Habitat-Strukturen im Gewässer, durch:
 - natürliche Totholzeinträge aus der Ufervegetation (Gewährleistung einer geschlossenen Ufervegetation bzw. Anpflanzungen von Uferstreifen) oder
 - anthropogen initiierte Strukturelemente wie z.B. Störsteine

5.6.2. Flussperlmuschel

Der Aspekt der Anforderungen der Flussperlmuschel an ihren Lebensraum erweitert das Projekt neben dem Makrozoobenthos um eine weitere wesentliche biologische Komponente, die unmittelbar die Gewässersohle als Lebensraum nutzt und äußerst sensibel auf Beeinträchtigungen im Feststoffhaushalt reagiert.

Eigene Vor-Ort Untersuchungen zur Flussperlmuschel wurden nicht durchgeführt. Zum einen da die vorkommende MZB - Fauna auch Rückschlüsse auf die Eignung als Muschellebensraum zulässt (Ofenböck, 1997) und zum anderen da bereits umfangreiche Muscheldaten vorliegen, von deren integrierter Betrachtung im Zusammenhang mit den umfassenden Projektergebnissen bereits Erkenntnisse zu erwarten sind. Die Datenlage reicht dabei von historischen Quellen um 1900 bis zu aktuellen Fundpunkten.

Für vertiefende Analysen wurden Muscheldaten (Funde und Nicht-Funde) in den Einzugsgebieten von Erlau, Kleiner und Großer Mühl sowie Waldaist herangezogen, da hier das flächendeckendsten Wissen über die Bestände im Untersuchungsgebiet vorliegt. Details zu den Bestandserhebungen finden sich im Endbericht- Hauptteil.

Detailanalysen

Ob *M. margaritifera* grundsätzlich in einem Gewässer noch vorkommt oder nicht mehr liegt zunächst offenkundig an den Gesamteinzugsgebieten an sich. Speziell in intensiv genutzten Einzugsgebieten wie beispielsweise jenen der Feldaist oder der Gusen konnte sich Muschel, obwohl sie früher vorhanden waren, nicht halten. Die flache Landschaftsmorphologie führt dort zu intensiven menschliche Nutzungen und damit ungünstigen Hydromorphologie- und Sedimentverhältnissen.

Eine große Naturnähe und eine leichte Gefällesituation, die zur Ausprägung eines Flachbett-Typs führt, begünstigen vermutlich die Situation für die Flussperlmuschel. Vor allem die Randbereiche der eher flachen Talmäanderstrecken dürften früher auch gute Muschelhabitate gewesen sein. Diese sind aber die am deutlichsten von der Versandung und der Feinsedimentproblematik betroffenen Abschnitte.

Sowohl die Versandung wie auch die Belastung durch ganz feine Sedimentbestandteile beeinträchtigen jedenfalls die Flussperlmuschel (Abbildung 34 a,b). Während der Sand ein Problem durch seine Mobilität darstellt, sind ganz feine Sedimentanteile für die Verfüllung des Kieslückenraumes verantwortlich. Dies führt wie bereits beschrieben zu schlechten Überlebensbedingungen vor allem für die Jungtiere.

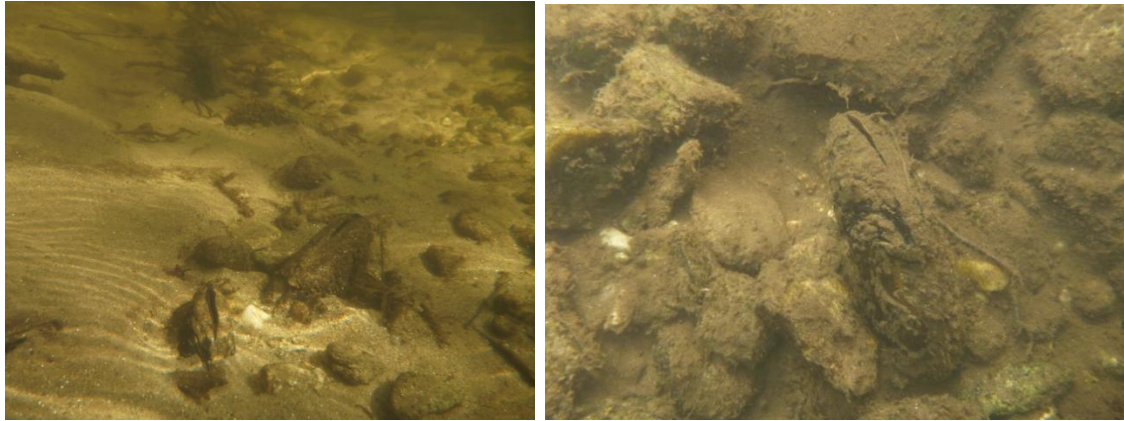


Abbildung 35: (a) Mobile Sandfronten im Begriff adulte Flussperlmuschel zu überdecken, (b) Feinsedimentablagerungen bedrohen neben den Adulttieren (siehe Bild) vor allem juvenile Flussperlmuscheln.

Die genauer betrachteten Abschnitte an Waldaist, Erlau sowie Kleiner und Großer Mühl weisen deutliche Unterschiede hinsichtlich ihres sedimentologischen Aufbaues auf. Auch die Situation der Flussperlmuschel muss etwas differenziert betrachtet werden, obgleich in allen vier Gewässersystemen nur mehr Reliktvorkommen vorhanden sind. Kartierungen in den letzten Jahren haben in der Kleinen und der Großen Mühl sowie in der Erlau einen drastischen Bestandesrückgang dokumentiert. In diesen Gewässern sind quasi nur noch Einzelfunde dieser Tiere möglich. Auch in der Waldaist ist mit Sicherheit von deutlichen Rückgängen auszugehen, in manchen Gewässerabschnitten finden sich aber zumindest noch etwas dichtere Bestände. Diese bestehen jedoch ebenso nur aus Adulttieren.

Betrachtet man die Zusammensetzung des Sediments der in den Abschnitten durchgeführten Siebanalysen gesamt sowie getrennt nach Ober- und Unterschicht zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Flusssystemen. Starke Feinsedimentbelastungen wurden beispielsweise für Erlau und Kleiner Mühl ausgewiesen. Die Waldaist weist eindeutig gröberes Geschiebe und den geringsten Feinanteil auf. Es kann mitunter angenommen werden, dass die etwas bevorzugte Sedimentsituation im Waldaist-System das Überleben der Restbestände der Flussperlmuschel dort begünstigt hat.

Um ein detaillierteres Bild zu erhalten wurden sowohl der Anteil der feinsten Fraktion (< 0.125 mm) sowie die summierte Sandfraktion bis 2 mm aus den Deckschicht- bzw. Mischproben nach Flusskilometer dargestellt (0=Mündung). Das Gleiche wurde für die seit dem Jahr 2000 bekannten Muschelfunde bzw. dezidierten Nicht-Nachweise durchgeführt. Damit ergibt sich ein Bild der Änderungen über den Längsverlauf der Untersuchungsgewässer (Abbildung 36, Abbildung 37).

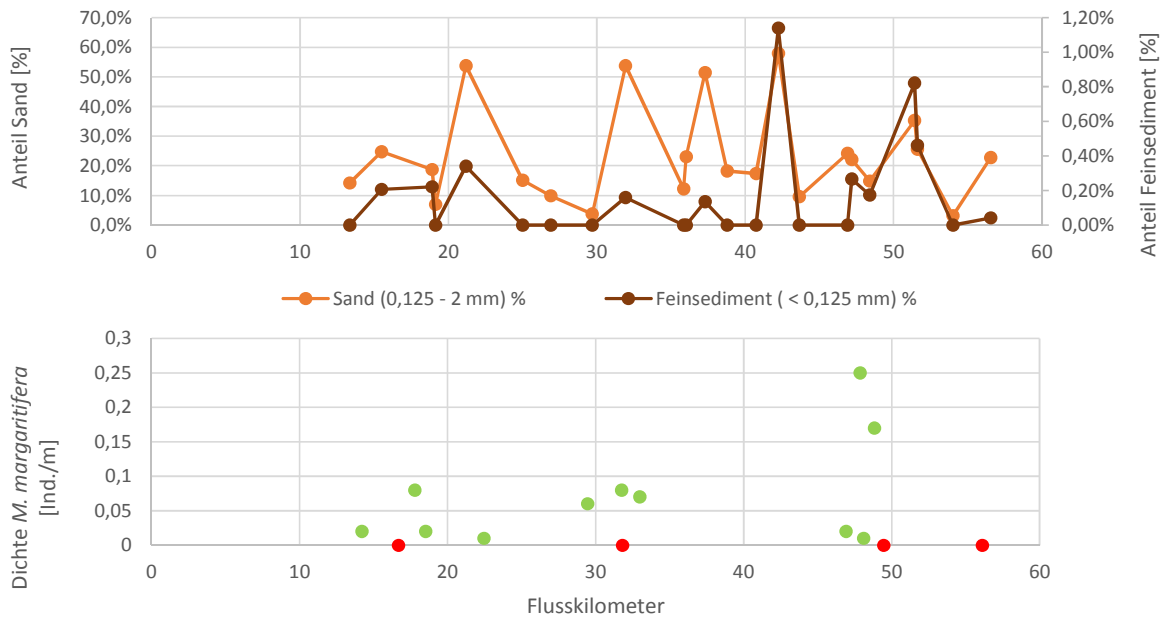


Abbildung 36: Situation in der Großen Mühl hinsichtlich feinen Sedimentfraktionen (oben) und der Flussperlmuschelnachweise seit dem Jahr 2000 (unten: rote Punkte... Suche aber keine Nachweise, grüne Punkte... Nachweise der Flussperlmuschel in Individuen pro Laufmeter Fließgewässer).

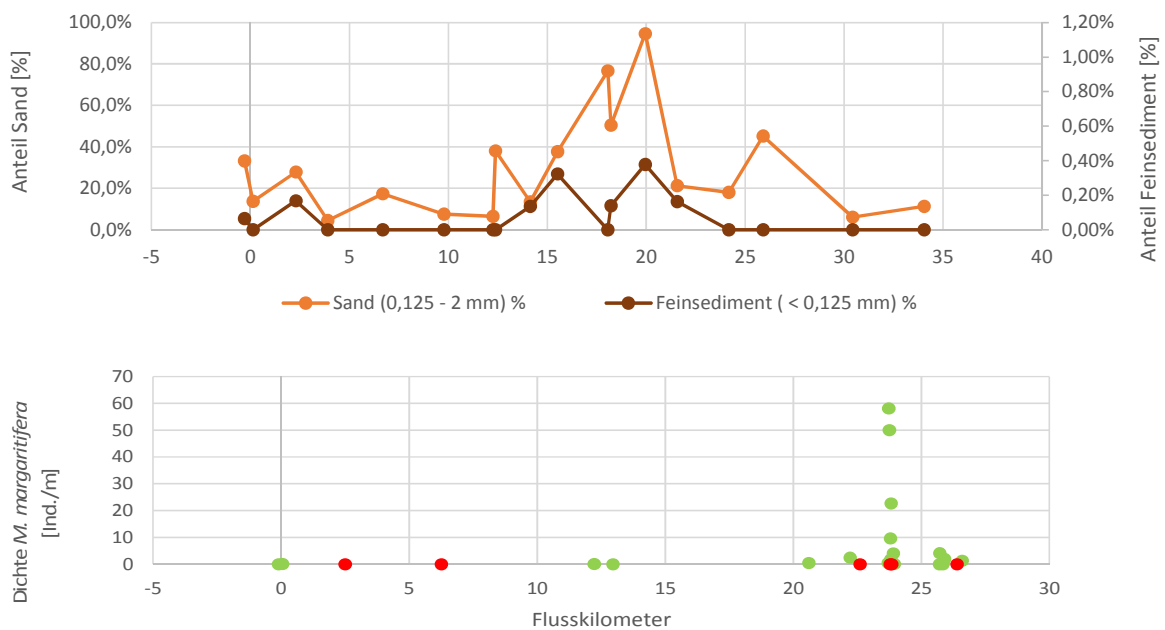


Abbildung 37: Situation in der Waldaist hinsichtlich feinen Sedimentfraktionen (oben) und der Flussperlmuschelnachweise seit dem Jahr 2000 (unten: rote Punkte... Suche aber keine Nachweise, grüne Punkte... Nachweise der Flussperlmuschel in Individuen pro Laufmeter Fließgewässer) (negative Werte X-Achse durch eine Probestelle unterhalb des Zusammenflusses mit der Feldaist).

Tendenziell kann aus der Betrachtung der Abschnitte geschlossen werden, dass es einen Zusammenhang zwischen der Ablagerung von Sand- und Feinsedimentfraktionen und einem Muschelvorkommen gibt. Dieser ist jedoch nicht zwingend gegeben. Die Gewässersysteme weisen deutliche Unterschiede hinsichtlich der feinsten Fraktion auf und auch lokal ergeben sich hier große Unterschiede (siehe dazu auch Höfler & Gumpinger, 2014).

Die noch bekannten Muschelvorkommen sind offenkundig vor allem durch das Fehlen oder einen sehr geringen Anteil an der Fraktion < 0.125 mm determiniert. Mehr als dies durch einen geringen Anteil die Sandfraktion der Fall ist.

Es kann auf Grund dieser Ergebnisse davon ausgegangen werden, dass vor allem die sehr feinen Sedimente die Flussperlmuschel beeinträchtigen. Die massiven Rückgänge dieser Tiere in Erlau, Kleiner Mühl und Großer Mühl können mit großer Wahrscheinlichkeit den dortigen, durch die eher intensive Umlandnutzung bedingten Feinsedimenteinträgen zugerechnet werden. Feinsediment führt zu physikalischen und durch die angelagerten Stoffe auch chemischen Degradationen des Habitats und der physiologischen Prozesse der Muscheln. Darüber hinaus sind diese Einträge oftmals auch korreliert mit Wasserverunreinigungen aus Siedlungsbereichen und landwirtschaftlich intensiver genutzten Bereichen.

Auch in der Waldaist treten Versandungserscheinungen auf, das Material ist aber gröber und die sehr feinen Sedimente sind anteilmäßig deutlich geringer vertreten.

6. Vorschläge für Grundsätze des Feststoffmanagement

Das abschließende Kapitel „Vorschläge für Grundsätze des Feststoffmanagements“ fasst nochmals alle wesentlichen Ursachen der Versandung der Fließgewässer der Böhmisches Masse zusammen. Es wird dabei neben der Sicherheit der Aussagen zu den Ursachen, auch der Anteil an der Versandungsproblematik und die räumliche Größenordnung der Einflussnahme bewertet. Auf diesen Ursachen aufbauend erfolgt in einem zweiten Teil ein Vorschlag für mögliche Sanierungsmaßnahmen, wobei hier zwischen Sofortmaßnahmen und Maßnahmen zur nachhaltigen Verbesserung unterschieden wird.

6.1. Zusammenfassung der Ursachen

Wie im Kapitel 5 „Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete“ bereits deutlich gezeigt werden konnte, sind die Ursachen für die zunehmende Versandung der Fließgewässer der Böhmisches Masse vielfältig. In diesem Teil des Berichts wird nochmals auf einige der wesentliche Punkte eingegangen bzw. eine Zusammenfassung in Bezug auf die zeitliche Entwicklung der Ursachen der Versandung gegeben. Ein skalenorientierter Zugang soll die Bedeutung der einzelnen Ursachen im Projektgebiet festlegen. Diese Bewertung beinhaltet die generelle Aussagekraft (Übertragbarkeit zwischen den Flusssystemen) und die Größenordnung in Bezug am Anteil an der Versandungsproblematik.

6.1.1. Auswirkungen der Globalen Erwärmung

Sicherheit der Aussagen: **sehr hoch**

Anteil an Versandungsproblematik: **sehr hoch**

Skalenbetrachtung: **gesamtes Projektgebiet**

Die Auswirkungen der Globalen Erwärmung zeigen mit einem Anstieg der Temperatur im Untersuchungsgebiet (Abbildung 38) eine deutliche Zunahme der Gebietsniederschläge. Dies wurde bereits ausführlich im Kapitel „Übertragbarkeit der Ursachen“ beschrieben. Ashmore & Church (2001) zeigten bereits in ihren Arbeiten aus Kanada, dass Veränderungen in der Flussmorphologie aber auch im Sedimenthaushalt großteils mit Prozessen des „Climate wettings“ in Verbindung stehen und nicht alleine durch „Global Warming“ hervorgerufen werden.

Generell ist festzuhalten, dass klimabedingte Veränderungen der Flussmorphologie sehr stark von den hydrologischen Veränderungen (Frequenz der Hochwässer, Veränderungen des hydrologischen Regimes) abhängen. In Hinblick auf den Feststoffhaushalt ist die Lage der Fließgewässer im Einzugsgebiet ein wesentlicher Faktor. Bei Fließgewässern in den Oberläufen der Einzugsgebiete kann es klimawandelbedingt vermehrt zu einer zeitlichen Verschiebung der Gletscherschmelze sowie zu einer Steigerung des Feststoffeintrags infolge des Abschmelzens des Permafrosts und der daraus resultierenden Hanginstabilitäten kommen. Bei Betrachtung der Sensitivität zeigt sich jedoch, dass Fließgewässer im Oberlauf bzw. Gerinne mit einem steilen Sohlgefälle, die als bettbildendes Material Grobkies und Blöcke aufweisen, nur eine geringe morphologisch / morphodynamische Sensitivität gegenüber Änderungen des Klimas zeigen.

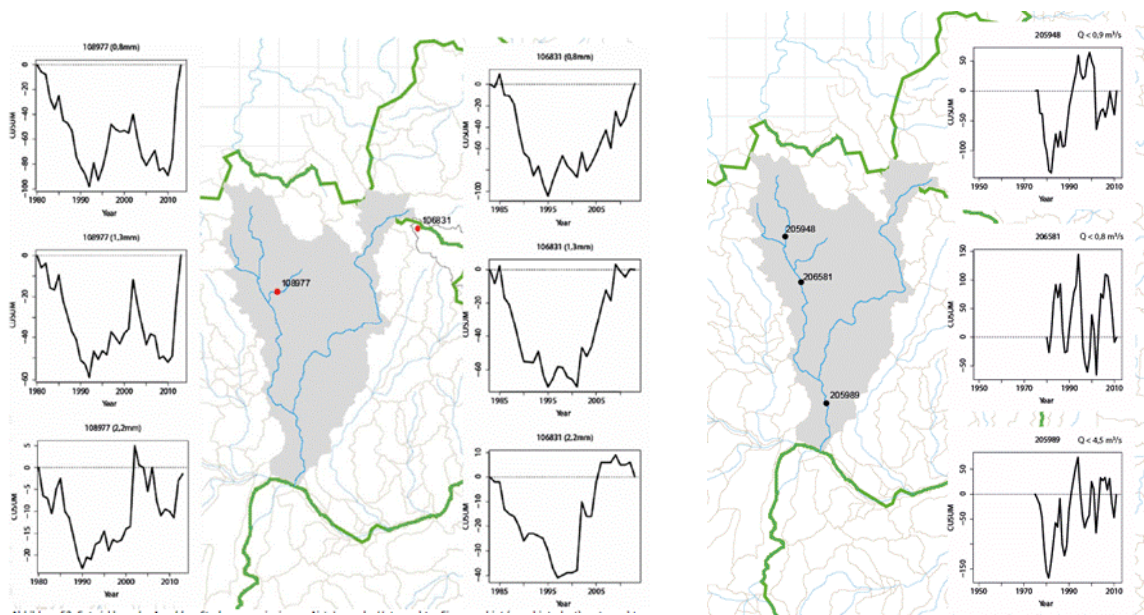
Im Gegensatz zu den Fließgewässern in den Oberläufen, sind bei den untersuchten Fließgewässern der Böhmisches Masse Gletscherschmelze und ein Auftauen des Permafrosts kein Thema. Dennoch zeigen diese Fließgewässer eine stärkere Sensibilität in Hinblick auf die globale Erwärmung. Die

Ursachen für die zunehmende Versandung, bedingt durch die Globale Erwärmung (und damit in Verbindung stehende Climate Wetting), erfolgt jedoch nicht durch die Zunahme der (Stark-) Niederschläge alleine.



Abbildung 38: (a) Kumulative Abweichung vom Mittelwert für die Entwicklung der Jahresmittel im Untersuchungsgebiet (Station Kollerschlag / EZG Kl. Mühl).

Die Ursachen sind durch Veränderung der Niederschlags- Abflussverhältnisse begründet (Abbildung 39). Lokal auftretende Starkniederschläge verursachen nur eingeschränkt erhöhte Wasserstandsführungen in den Vorflutern. Somit tritt zwar ein erhöhter Feststoffeintrag auf, der Abtransport erfolgt aber nicht in gleichem Maße. Dies konnte durch Trendanalysen in Bezug auf die transportwirksamen Abflüsse gezeigt werden (Abbildung 39). Durch diese Entkoppelung des Eintrags und den Möglichkeiten des Weitertransportes ist eine kontinuierliche Akkumulation des Versandungsmaterials im gesamten Einzugsgebiet gegeben.



(a)

(b)

Abbildung 39: (a) Kumulative Abweichung vom Mittelwert für Starkniederschläge im Einzugsgebiet der Aist, (b) Kumulative Abweichung vom Mittelwert für die transportwirksamen Abflüsse im Einzugsgebiet der Aist.

6.1.2. Geologie und Bodenaufbau

Sicherheit der Aussagen: **sehr hoch**

Anteil an Versandungsproblematik: **tlw. hoch**

Skalenbetrachtung: **gesamtes Projektgebiet**

Die Bewertung der Verwitterung des Festgesteins ist neben der hydraulisch bedingten Erosion, Transport und Ablagerung ein weiterer wichtiger Faktor für die Eingrenzung und Unterteilung von Ursachen und ihrer Bedeutung am tatsächlichen Feststoffaufkommen. Hier wurden am Institut für Angewandte Geologie (IAG) an der Universität für Bodenkultur Wien, die im Untersuchungsgebiet vorkommenden lithologischen Hauptgruppen hinsichtlich ihres Versandungsrisikos (Feststoffproduktion) bewertet. Dies wurde bereits im Kapitel „Feststofftransportmodell Aist“ kurz beschrieben. In der Tabelle 3 sind nochmals die Ergebnisse der Bewertung, welche für das gesamte Projektgebiet gelten, dargestellt.

Tabelle 3: Klassifizierung der lithologischen Hauptgruppen in 5 Klassen hinsichtlich ihrer Versandungsneigung (Zersatz- / Erosionsanfälligkeit).

Klasse	Geo	Klasse Name	Unterklasse	Versandungsneigung	Lithologische Hauptgruppe (laut Geologie 20.000)
1		Feinkorngranit		gering	Feinkorngranit, Granit, Gangquarz, Granitoid
2		Grobkorngranit und -gneis		hoch	Granit-Grobkorngneis, Grobkorngneis, Grobkorngranit=Weinsbergergranit, Grobkorngneis-Perlgneis, Gneisgranit, Granit, Granitgänge
3		sonstige Magmatite			
			sonstige Plutonite	gering	Granodiorit, Diorit, Zweiglimmergranit, Quarzdiorit-Diorit, Titanfleckendiorit
			Vulkanite	gering	Porphyrit, Nadel-Porphyrit
			Ganggesteine	gering - hoch	Aplit, Kersantit, Pegmatit
			Kristallingrus	sehr hoch	Kristallingrus
4		Metamorphite		gering	Kinzigit, Migmatit, Mylonit, Perlgneis, Perlgneis-Schiefergneis, Schiefergneis, Amphibolit, Bänder-Hartschiefer, Gneis, Granat-Cordierit-Sillimanitgneis, Granit-Schiefergneis, Marmor, Mylonit-Diaphorit, Mylonit-Phyllonit, Perlgneis/Migmatit-Schiefergneis, Talkschiefer, Schiefergneis-Intrusivbrekzie
5		Sedimente		gering-hoch	Lehm, Schluff, Ton, Tonmergel, (Löß)lehm, Quarz-Kiessand, Kiessand, Quarzsand, Sand, Schutt

Hinsichtlich der Versandungsneigung wurden Grobkorngneise (z.B. Weinsberger Granit) und Grobkorngranite (z.B. grober Perlgneis) als jene geologische Materialien klassifiziert, welche stark zur Vergrusung neigen und somit einen deutlich höheren Anteil an der Feststoffproduktion besitzen als dies beispielsweise für Feinkorngranite ausgewiesen wurde. Die Verteilung dieser Grobkorngranit und -gneise ist jedoch über das gesamte Projektgebiet unterschiedlich (Abbildung 40). Die Ergebnisse der Kartierung bestätigen jedoch den Zusammenhang zwischen geologischen Untergrund und Versandungsneigung der Fließgewässer, da die Einzugsgebiete Kl. Mühl, Kl. Gusen, Teile von Feld und Waldaist und die Naarn eindeutig einen hohen prozentuellen Anteil an diesen geologischen Elementen aufweisen. Gr. Mühl und Gr. Rodl, welche über weite Strecken als Klasse 0 und Klasse 1 ausgewiesen wurden (keine Probleme), zeigen beispielsweise einen höheren Anteil an Feinkorngraniten oder sogenannten Metamorphiten.

Darüber hinaus beeinflusst der geologische Untergrund auch die auftretende Versandungscharakteristik und den Grad der menschlichen Landnutzung. Beispielsweise sind das Feld-Aistsystem oder auch das System der Großen Gusen von eher sanften Landschaftsformen geprägt, die intensiver vom Menschen für Siedlungszwecke und Landwirtschaft genutzt werden als andere Einzugsgebiete. In diesen Gewässern treten dann häufig neben der Versandung auch vermehrt Feinsedimentprobleme auf. Auch die Charakteristik der Versandung ist eine andere, da der Sand hier sehr fein ist. Es bilden sich oft Dünen aus und die Bedingungen für die aquatische Fauna sind oftmals noch stärker beeinträchtigt als bei grobkörnigeren Verwitterungsprodukten. Ganz

deutlich zu beobachten ist diese sehr feine Versandung auch beispielsweise im Kettenbach, einem linksufrigem Zufluss in den Unterlauf der Aist.

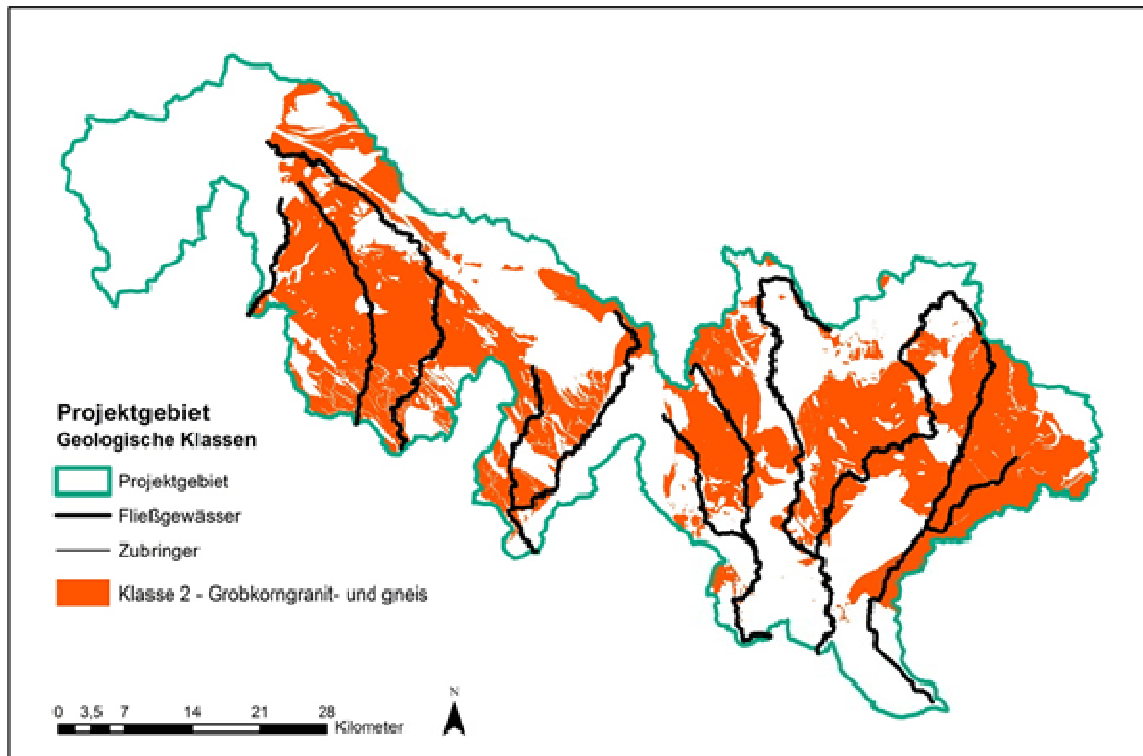


Abbildung 40: Ausweisung von Flächen mit Grobkorngranit und -gneis im österreichischen Projektgebiet.

Aus der Geologie resultieren auch die bodenkundlichen Bedingungen. Durch das Kristallin bilden sich eher dünne Rohbodentypen wie Ranker auf kristallinen Locker- oder Festgesteinen aus. Diese weisen oftmals sehr dünne A-Horizonte auf. Werden diese Böden gestört beispielsweise bei Straßenanschnitten, frischen Böschungen, bei Waldarbeiten, etc. kommt es oft zu lang anhaltenden Erosionsprozessen, da eine schützende Vegetationsschicht nur langsam wieder aufkommt.

6.1.3. Forstwirtschaftliche Nutzung

Sicherheit der Aussagen: **sehr hoch**

Anteil an Versandungsproblematik: **hoch**

Skalenbetrachtung: **gesamtes Projektgebiet**

Vor allem die oberen Einzugsgebiete der untersuchten Gewässer werden teilweise sehr intensiv forstwirtschaftlich genutzt (z.B. Naarn, Feldaist, Waldaist). Ein Zusammenhang mit der zunehmenden Versandung muss dabei dringend angenommen werden. Sowohl in den größeren Forstbetrieben wie auch teilweise im eher kleinflächig genutzten bäuerlichen Wald treten aufgrund der Bewirtschaftungsform und der Nutzungsintensität starke Erosionserscheinungen zu Tage. Dies ist auch im bereits erwähnten Bodenaufbau begründet, der einmal angegriffen zu einer lang anhaltenden Erosion neigt. Die Auswirkungen ergeben sich aus einer Kombination von nicht standortgerechter Baumartenwahl (hoher Fichtenanteil), negativen Auswirkungen durch die Nutzung als Altersklassenwald, mit fehlender Kraut- und Strauchschicht und damit einhergehenden relativ großen Kahlschlagflächen, dem zunehmenden Einsatz von schwerem Arbeitsgerät wie Harvester und

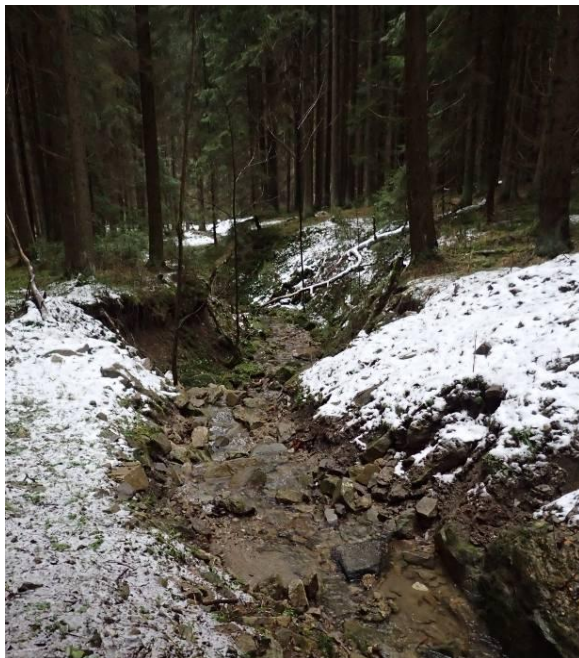
Forwarder und der damit im Zusammenhang stehende deutlichen Intensivierung des forstlichen Wegebauens. Die Verbreiterung der Wege sowie die Anlage von Holzlager- und Umkehrplätzen führen zu teilweise großen Geländeanschnitten. Die dazu angelegten Entwässerungssysteme transportieren das erodierte Material direkt in die Gewässer und beschleunigen den Abfluss in die ohnehin erosionsanfälligen Gräben. Darüber hinaus reichen die nicht standortgerechten Forste bis an die Gewässer heran. Die Wurzeln der Fichte bieten aber keine adäquate Boden- und Uferstabilisierung, wodurch teilweise tief ausgerissenen Gräben und übermäßige Uferabbrüche als eindeutige Erosionsherde identifiziert werden konnten.



(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 41: Ursachen im Bereich Forstwirtschaft: (a) Fichtenforste mit fehlendem Unterwuchs, (b) Fichtenforste bis an den Gewässerrand und damit einhergehende übermäßige Ufererosion, (c und d) ausgerissene Erosionsgräben.

6.1.4. Siedlungsentwicklung / Straßenbau

Sicherheit der Aussagen: **hoch**

Anteil an Versandungsproblematik: **hoch**

Skalenbetrachtung: **Intensiv menschlich genutzte und erschlossene Bereiche im gesamten Projektgebiet**

In einer weiteren Betrachtung der Umlandnutzung wurden im Einzugsgebiet der Aist in ausgewählten Abschnitten die Entwicklungen der Siedlungsstruktur untersucht. Diese flächenhafte Ausweisung der Siedlungsentwicklung im Zeitraum 1950 – 1990 zeigte die Ausdehnung der Wohn- mitunter auch Gewerbeflächen und die damit einhergehende Bodenversiegelung, wobei derzeit in Österreich nach wie vor ca. 20 ha pro Tag an Grünland versiegelt werden. Durch diese Versiegelung der Flächen selbst, bzw. aber auch die Fassung und konzentrierte Abfuhr des Niederschlags von diesen Flächen, welche in kleine Zubringer der Feld- und Waldaist, bzw. nicht dauerhaft benetzten Erosionsgräben münden, kommt es zu einem verstärkten Abtrag von Material. Dies tritt vor allem in jenen Bereichen auf wo die Feld- und Waldaist bereits tief in das Grundgebirge eingeschnitten sind und die Zubringer und Erosionsgräben entsprechende Gradienten aufweisen ($> 10\%$). Diese Effekte der Siedlungsentwicklung und beschleunigten Abfuhr von Regenwasser beeinflussen die Auswirkungen der globalen Erwärmung (Zunahme der Starkniederschläge) zusätzlich negativ. Somit kommt es in der zeitlichen Betrachtung zu einer Überlagerung zweier sich negativ auf die Versandung auswirkender Prozesse.

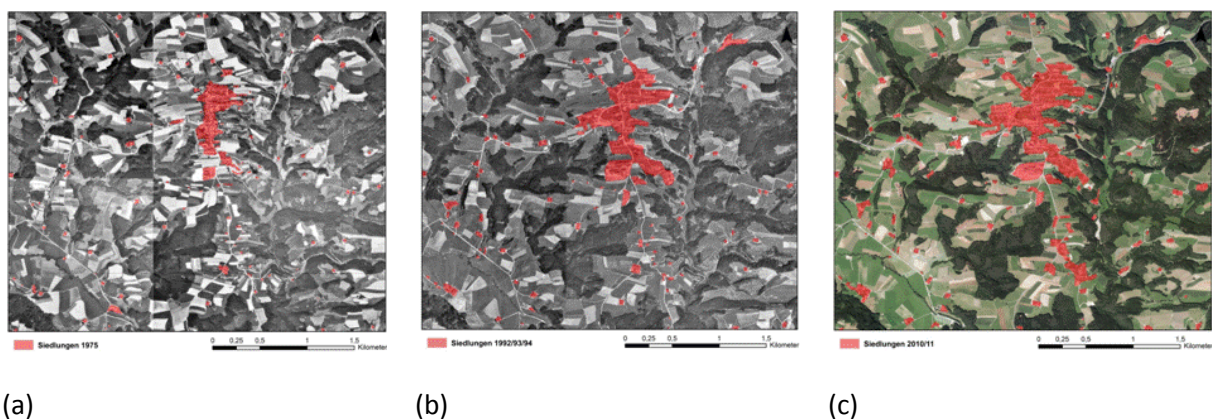


Abbildung 42: Entwicklung der Siedlungsstruktur in Einzugsgebiet der Aist im Zeitraum 1950 – 1990, (a) 1950, (b) 1970 und (c) 1990.

Mit der Siedlungsentwicklung einhergehend wurde in den letzten Jahrzehnten auch das Straßennetz ausgebaut. Darüber hinaus kam es durch den vermehrten Einsatz von größeren Maschinen in der Land- und Forstwirtschaft auch im ländlichen Wegenetz zu Ausbauten. Neben den dadurch entstehenden neuen Erosionsherden, besteht durch die, die Infrastruktur begleitenden, Entwässerungssysteme ein dichtes Netz an Eintragswegen. Damit wird oft auch die Verbindung von weiter weg gelegenen Erosionsquellen zum Gewässer hergestellt.

Der Einfluss der Salzstreuung ist ein derzeit nicht abschätzbarer Faktor.



(a)

(b)

Abbildung 43: Frische Straßenanschnitte mit Erosionsneigung und guten Gewässerverbindungen durch Entwässerungssysteme im (a) Kettenbach Einzugsgebiet und (b) Waldaist-Tal.

6.1.5. Landwirtschaftliche Nutzung

Sicherheit der Aussagen: **großräumig gering / kleinräumig hoch**

Anteil an Versandungsproblematik: **tlw. hoch**

Skalenbetrachtung: **Landwirtschaftlich genutzte Flächen im gesamten Projektgebiet**

Die landwirtschaftliche Nutzung in den Flusseinzugsgebieten der Böhmischen Massen bedarf hinsichtlich ihres Anteils an der Versandungsproblematik einer differenzierten Betrachtung bzw. Bewertung. Ackerflächen, welche intensiv durch tlw. erosionsfördernde Kulturen (z.B. Maisanbau) bewirtschaftet werden, tragen mitunter bei ungünstiger Exposition zu einem deutlichen Feststoffeintrag in die Fließgewässer der Böhmischen Masse bei. Dies betrifft jedoch meist Kornfraktionen deutlich < 1 mm, welche in der Folge als Schwebstoffe im Vorfluter flussab transportiert werden bzw. im Falle von Sedimentation oberflächlich und im Interstitial den Schotterlückenraum verschließen. Die Anteile an den im Projekt zentral untersuchten Grobsand und Feinkiesfraktionen variieren je Einzugsgebiet, wobei sie generell einen geringen bis mittleren Volumsanteil besitzen (20 % - 40%).



(a)

(b)

Abbildung 44: (a) Landwirtschaftliche Flächen mit hoher Neigung (größtenteils Ackerflächen) im Einzugsgebiet der Naarn flussab Königswiesen, (b) begradigter Verlauf eines Zubringers.

Ein weiterer Aspekt in der Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzung hinsichtlich ihres Anteils am Feststoffaufkommen ist die Form des landwirtschaftlichen Wasserbaus. Hier konnte in einigen Fallbeispielen über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt (Kl. Mühl – Naarn) bei ungünstiger Exposition (steiles Gelände) und Ausführung (begradigter Verlauf) eine lokale Quelle hinsichtlich Feststoffeintrag nachgewiesen werden (Abbildung 45). Hier kommt es bei (Stark-) Niederschlag zu einer konzentrierten Abflussbildung, welche über das steile Gefälle bis zur Einmündung in den Vorfluter hohe Transportkapazitäten aufweist. Mitunter wird die Erosion aus diesen Gräben durch die Tatsache verstärkt, dass diese Rinnen meist nur periodisch Wasser führen und im Winter bei tiefen Temperaturen durch Frostsprengung (Kryoklastik) das anstehende Festgestein (Abbildung 45) einer zusätzlichen physikalischen Verwitterung unterliegt.



(a)

(b)

(c)

Abbildung 45: (a), (b) Entwässerungsgräben im Einzugsgebiet der Kl. Mühl (Bereich Julbach) welche als punktuelle Quellen für die Erosion und Abtransport von Grobsand und Feinkies ausgewiesen wurden; (c) Sohle eines Entwässerungsgrabens im Einzugsgebiet der Kl. Mühl mit Verwitterungsprodukten des Festgesteins.

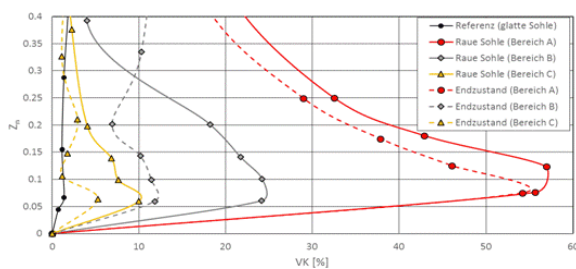
6.1.6. Sedimenttransportverhalten

Sicherheit der Aussagen: **sehr hoch**

Anteil an Versandungsproblematik: **sehr hoch**

Skalenbetrachtung: **gesamtes Projektgebiet**

Im Projekt wurde in einer sehr kleinräumigen physikalischen prozessorientierten Betrachtung das Transportverhalten des sogenannten Versandungsmaterials (Grobsand und Feinkies) im Wasserbaulabor der Universität für Bodenkultur untersucht. Die Versuche, die neben der Bestimmung der Geschwindigkeit (Schubgeschwindigkeit) der sogenannten Versandungsfronten (Sohlformen mit einer steilen Ausprägung im vorderen Bereich), über unterschiedlich rauem Sohlmaterial auch detaillierte Messungen von Fließgeschwindigkeit und Turbulenz beinhalteten, brachten neue Erkenntnisse mit sich, welche auf das gesamte Einzugsgebiet anzuwenden sind bzw. Gültigkeit besitzen. Die Variabilität der Turbulenz (kleinräumig über der Sohle) konnte eindeutig mit den unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Fortbewegung des Materials in Verbindung gebracht werden (Abbildung 46). Interessanterweise zeigten alle Versuche jedoch, dass je rauer das Material desto geringer die Schubgeschwindigkeiten womit die Turbulenzvariabilität eindeutig als physikalische Größe für die Beschleunigung der Sohlformen in ihrer flussab gerichteten Bewegung ausgewiesen wurde (Details siehe Endbericht). Aus diesem physikalisch begründeten Verhalten des Materials im Gewässer ergibt sich folgende zusammenfassende Schlussfolgerung. Je mehr sich von diesen Feststoffen im Gewässer befindet (z.B. vollständige Überdeckung der Sohle), desto schwieriger ist es für den Fluss selbst unter gleichbleibenden naturräumlichen (hydraulischen) Bedingungen das Material abzutransportieren. Daraus entsteht ein weiterer kumulierender Effekt der neben der Überlagerung von Auswirkungen der Globalen Erwärmung im gesamten Einzugsgebiet Gültigkeit besitzt.



(a)

Rauigkeit (Sohlbereich)	VR-I ($d_s = 2 \text{ mm}$)	VR-II ($d_s = 4 \text{ mm}$)
A	3.24 m/h (78 m/d)	5.49 m/h (132 m/d)
B	2.27 m/h (55 m/d)	3.13 m/h (75 m/d)
C	1.05 m/h (25 m/d)	1.32 m/h (32 m/d)
glatte Sohle	7.5 m/h (180 m/d)	13.7 m/h (329 m/d)

(b)

Abbildung 46: (a) Variabilität der Turbulenz über unterschiedlich rauhen Sohlen, (b) Schubgeschwindigkeiten des Versandungsmaterials in Abhängigkeit unterschiedlicher Sohlrauheiten.

6.1.7. Defizite im Gewässer-Umland Gefüge

Sicherheit der Aussagen: **sehr hoch**

Anteil an Versandungsproblematik: **hoch**

Skalenbetrachtung: **gesamtes Projektgebiet**

Die laterale Konnektivität, also die Verbindung zwischen einem Gewässer und seinem Umland, spielt sowohl für die Strukturvielfalt wie auch für den Sedimenthaushalt eine entscheidende Rolle. Grundsätzlich sind Uferabbrüche in einem gewissen Ausmaß natürlich. Oftmals ist jedoch nur ein sehr dünner oder kein Ufergehölzstreifen vorhanden. Dies ist vor allem in forstlich und landwirtschaftlich intensiv genutzten Bereichen der Fall. Kommt es dort zu Uferabbrüchen, wird unnatürlich viel Material erodiert. In solchen Situationen, wie beispielsweise an der Kleinen Gusen, wird dann auch der Biber als Problem und Verursacher wahrgenommen, wobei die Probleme eigentlich aus dem Defizit an ausreichender Ufervegetation resultieren und nicht aus dem Vorkommen des Bibers. Die Vernetzung zwischen Gewässerumland und Flussschlauch spielt auch deshalb eine große Rolle, weil in unbeeinflussten Fließgewässersystemen Sediment eigentlich auch wieder ausgetragen wird. Es lagert sich bei Hochwässern im Umland ab oder bildet in breiteren Passagen neue Ablagerungen. Diesen natürlichen Tendenzen wurde durch die Regulierungen und Erhaltungsmaßnahmen nach Hochwasserereignissen Einhalt geboten. Die „Selbstreinigungskraft“ der Gewässer ging somit oftmals verloren. Deshalb akkumuliert das Material ebenfalls auf unnatürliche Weise im Gewässer.

Unnatürliche Erosionserscheinungen treten auch dort auf wo Gewässer als Tränken in Viehweiden miteingezaunt werden. Dort kommt es durch Viehtritt an den Ufern zu offenen Stellen und Sedimenteinträgen. Dies konnte an einigen wenigen Stellen beobachtet werden.

6.1.8. Hydromorphologische Überprägung

Sicherheit der Aussagen: **sehr hoch**

Anteil an Versandungsproblematik: **sehr hoch**

Skalenbetrachtung: **gesamtes Projektgebiet**

Neben den bereits unter Punkt 7 erwähnten Änderungen in der lateralen Konnektivität wurden auch weitere hydromorphologische Veränderungen in den Fließgewässern des Mühlviertels und des Bayerischen Waldes herbeigeführt, die das Problem der Versandung zusätzlich verstärken. Durch Regulierungen und Entnahme von großen Blöcken zur Holztrift, für die Sicherung der Ufer oder aus Hochwasserschutzgründen wurden Strecken mit sehr monotonen Abflussverhältnissen geschaffen. Wie auch im physikalischen Modellversuch gezeigt werden konnte, neigen solche Strecken mit einer geringen Turbulenz zu einer verstärkten Versandung. Der Sand teilt sich auch sehr gleichmäßig über das gesamte Profil auf und es bilden sich somit keine unterschiedlichen Choriotope mehr aus.

Speziell nach dem Hochwasser 2002 wurden in vielen Bereichen die großen Blöcke aus den Gewässern entfernt um die Abflussleistung zu erhöhen (siehe Abbildung 50 und Abbildung 51). Dies geschah zum Teil auch in Bereichen wo das Umland eher nur extensiv land- und forstwirtschaftlich

genutzt ist. Oftmals sind diese Steine noch auf gewässernahen Flächen vorhanden und könnten für Renaturierungsmaßnahmen genutzt werden (siehe Kapitel „Maßnahmen“).

Auch die Hydrologie der gesamten Landschaft wurde deutlich verändert. Während im menschlich unbeeinflussten Zustand eine Landschaft eher langsam das Wasser aus den anfallenden Niederschlägen in die Flüsse abgibt, wird dieser Vorgang durch die Versiegelung (siehe Punkt 5) und durch die künstliche Entwässerung vieler land- und forstwirtschaftlicher Flächen deutlich beschleunigt. Überlagert mit den Erkenntnissen zum Klimawandel (siehe Punkt 1) ergeben sich damit hinsichtlich der Versandung ungünstige hydrologisch-hydraulische Bedingungen. Über lange Perioden herrschen ausgesprochene Niederwasserphasen. Wenn erhöhte Wasserführungen auftreten sind diese oftmals kurzfristig und dafür ausgeprägter.

Weitere Überprägungen ergeben sich durch die energiewirtschaftliche Nutzung der Gewässer und verschiedene wasserbauliche Maßnahmen. Es kann durch den Gefälleabbau über Querbauwerke und das Vorhandensein von teilweise nicht unerheblichen Streckenlängen von Ausleitungsstrecken (siehe Kapitel „Kartierung“ sowie Abbildung 47) von einer Reduktion der Transportkapazität der Flüsse ausgegangen werden.

Betrachtet man den Anteil der Höhen der Querbauwerke an der gesamten Höhendifferenz der Gewässer wird ersichtlich, dass im Schnitt 13 % der Höhe über Querbauwerke abgebaut wird (Abbildung 48). Vor allem in den Unterläufen und in speziellen Abschnitten ist dieser Anteil lokal gesehen oftmals noch deutlich höher (siehe z.B. Aist).

Alle diese menschlichen Eingriffe in den Wasserhaushalt und die morphologischen Bedingungen haben erhebliche und sich summierende Auswirkungen auf den Sedimenthaushalt.

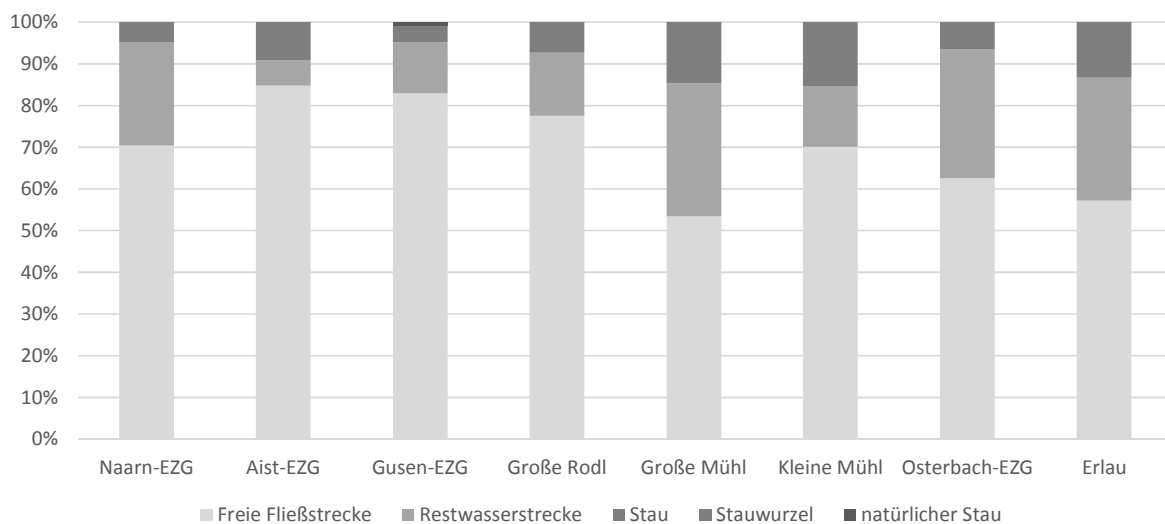


Abbildung 47: Anteile der Gewässerabschnitte die durch eine energiewirtschaftliche Nutzung überprägt sind.

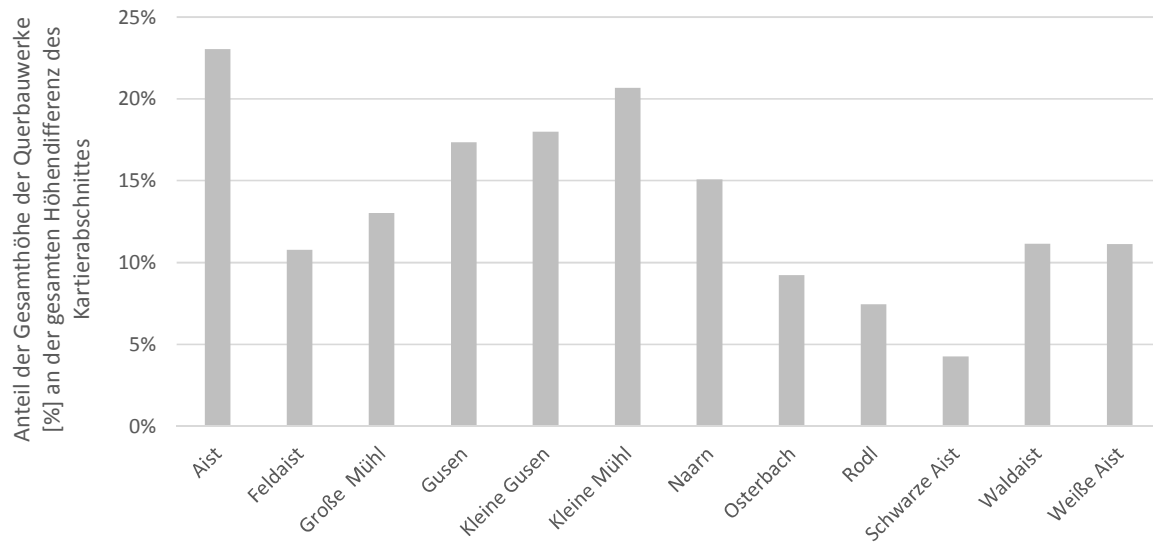


Abbildung 48: Anteil an der Höhendifferenz der Gewässer / Kartierabschnitte, die über Querbauwerke abgebaut wird.



(a)



(b)

Abbildung 49: Ausprägung der Versandung bei (a) Strukturmangel und (b) bei naturnaher Substratzusammensetzung mit ausreichendem Grobkornanteil.



Abbildung 50: „Räumungsarbeiten“ nach dem Hochwasser 2002: Alle großen Blöcke wurden aus der Waldaist entfernt, auch in nur land- und forstwirtschaftlich genutzten Bereichen (Foto: Peter Anderwald).



Abbildung 51: Nach dem Hochwasser 2002 wurden die entstandenen Verwerfungen an der Aist zur Gänze wieder in einen Regulierungszustand rückgeführt (Foto: Peter Anderwald).

6.1.9. Zeitliche Zuordnungen der Ursachen

Zusammenfassend sind in Abbildung 52 wesentliche Ursachen für die Versandung der Fließgewässer der Böhmisches Masse auf einer Zeitachse abgebildet. Durch die Zuordnung soll es ermöglicht werden, vor allem das sich akkumulierende Problem bzw. auch mögliche Begründungen für das gewachsene Bewusstsein über die Problematik in Bereichen Ökologie und Wasserbau über die letzten 2 Jahrzehnte aufzuzeigen. Zwei der in der Abbildung 52 angeführten Punkte sind jedoch mit Fragezeichen versehen, da eine mögliche negative Beeinflussung (Verstärkung) des sauren Regens auf die Gesteinsverwitterung bisher noch nicht untersucht werden konnte. Weiters ist die Bedeutung bzw. die Auswirkung der historisch traditionellen Sedimententnahme in gestauten Bereichen bei Wehranlagen nicht eindeutig feststellbar, da hier keine quantitativen Mengenangaben verfügbar sind und mündliche Aussagen nur eine qualitative Interpretation ermöglichen.

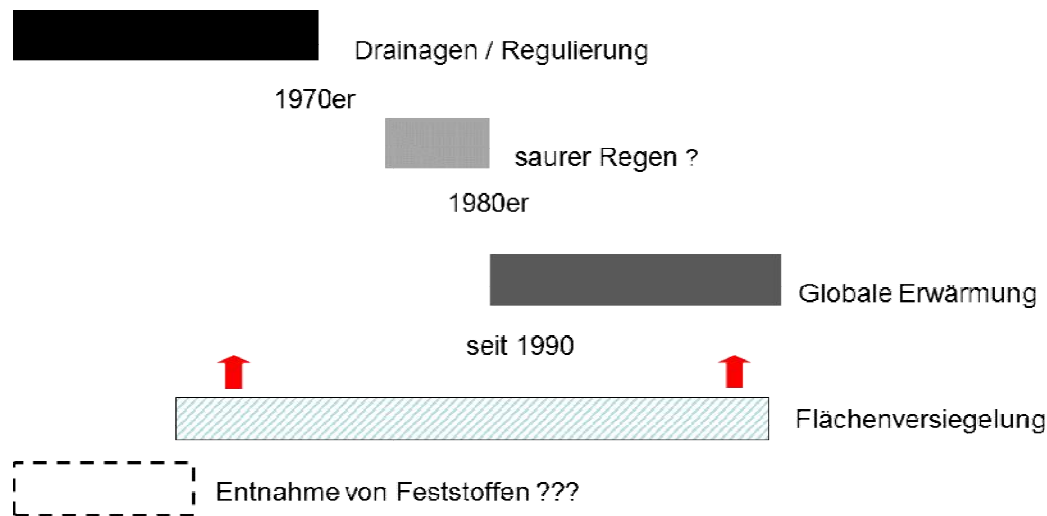


Abbildung 52: Zuordnung der Ursachen für die Versandung auf einer Zeitachse für den Zeitraum 1950 – 2015. Zuordnung erfolgt meist auf Grund der fachlichen Ergebnisse des Forschungsprojekts aber auch unter Miteinbeziehung von Informationen aus der lokalen Bevölkerung (Interviews).

6.2. Konzipierung von Maßnahmen zur Reduktion der Versandung

Aufbauend auf den Ursachen der Versandung und dem Prozessverständnis in den Einzugsgebieten auf unterschiedliche Skalen (Auswirkungen Globale Erwärmung / kleinräumiges Transportverhalten von Sohlformen) werden unterschiedliche Typen von Maßnahmen für die Einzugsgebiete der untersuchten Fließgewässer konzipiert. Die Konzipierung aber auch die erwartete Verbesserung durch diese Maßnahmen nimmt Bezug zu unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen in der Betrachtung und Bewertung von Fließgewässern. Nicht zuletzt auf Grund der vielfachen (sich teils überlagernden) Ursachen der Versandung werden unterschiedlichste Maßnahmen vorgeschlagen, die teils als Einzelmaßnahmen aber vor allem in der Wirkung als Maßnahmenkombination eine deutliche kurzfristige aber vor allem nachhaltige Verbesserung für Ökologie aber auch schutzwasserwirtschaftliche Belange in der Region Mühlviertel / Bayerischer Wald nach sich ziehen werden. Prinzipiell werden für die Konzipierung folgende Unterscheidungen getroffen bzw. werden bei den Maßnahmenvorschlägen folgende Eigenschaften explizit ausgewiesen. Hinsichtlich der Wirksamkeit:

- Sofortmaßnahme: unmittelbare kurzfristige Verbesserungen (Ökologie / Schutzwasserwirtschaft) sind zu erwarten.
- Nachhaltige Verbesserung: durch Umsetzung dieses Maßnahmentyps ist eine Veränderung im längerfristigen Feststoffaufkommen zu erwarten. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist mitunter erst nach einigen Jahren erkennbar.

Weiters wird hinsichtlich der Klassifizierung der Maßnahmentypen unterschieden, wo diese im Zuge der Umsetzung situiert sind. Es wird dabei zwischen Maßnahmen im

- Hauptfluss
- Mündungsbereich der Zubringer
- Zubringer
- Einzugsgebiet

unterschieden. Eine detaillierte Auflistung der unterschiedlichen Maßnahmentypen findet sich diesbzgl. in Abbildung 53.

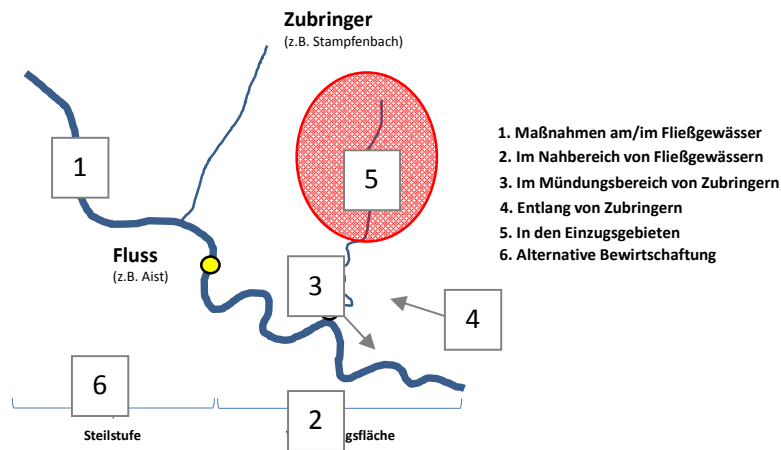


Abbildung 53: Unterschiedliche Maßnahmen für eine Reduktion der Versandungsproblematik in den Fließgewässern der Böhmisches Masse.

Alle vorgeschlagenen Maßnahmen dienen in unterschiedlicher Art und Weise den von Waters (1995) vorgeschlagenen Prinzipien zur Feinsediment- (Sand-) Reduktion: (1) Vermeidung, (2) Rückhalt in der Fläche und (3) Wiederherstellung naturnaher Verhältnisse im Gewässer. Einem pragmatischen Umsetzungszugang, ist jedoch oftmals aufgrund von diversen Rahmenbedingungen, der aus fachlicher Sicht wünschenswerten chronologische Reihenfolge dieser Prinzipien der Vorzug zu geben.

In der nachstehenden Übersicht sind mögliche Maßnahmen zusammenfassend dargestellt. Die möglichen Ansatzpunkte zur Problemlösung sind in die folgenden Kategorien eingeteilt:

- A) Aktives Sedimentmanagement: Möglichkeiten der Sandentnahme im Hauptgewässer und den Zuflüssen sowie im unmittelbaren Umland
- B) Strukturelle Maßnahmen im Fließgewässer: Verbesserung der hydromorphologischen Situation in den Gewässern
- C) Maßnahmen entlang von Zubringern: Neben der Sedimententnahme und hydromorphologischen Verbesserungen in den Zuflüssen sind vor allem hinsichtlich den hydrologischen Bedingungen Maßnahmen zur Erosions- und Transportverminderung möglich.
- D) Bewirtschaftung im Einzugsgebiet: Am wichtigsten aber auch schwer umsetzbar sind Maßnahmen im Einzugsgebiet um die erosiven Vorgänge hintanzuhalten und somit bereits den Eintrag des Feinmaterials in die Gewässer zu verhindern.
- E) Lokale Hochwasserschutzmaßnahmen: Stellenweise sind für den Hochwasserschutz lokale Maßnahmen im Zusammenhang mit dem Sedimenthaushalt notwendig.
- F) Alternative Formen der fischereilichen Bewirtschaftung: Damit sind lokal und zeitlich begrenzte Verbesserungen für die Fischfauna möglich.
- G) Bewusstseinsbildung und Öffentlichkeitsarbeit: Begleitende Maßnahmen zur Verankerung der Thematik bei den betroffenen Stellen und der Bevölkerung.

Die Reihung der Maßnahmen ist nicht als Prioritätenliste zu verstehen. Je nach vorliegenden Rahmenbedingungen sind individuell angepasste Lösungen zu suchen.

Maßnahme	Wirksamkeit	Situierung	Ansprechpartner
A – Aktives Sedimentmanagement			
A1 – Entnahme von Feststoffen im Hauptfluss	Sofortmaßnahme	im Hauptfluss	Gewässerhaltung, Behörden (Wasserwirtschaft, Naturschutz), Fischereiberechtigte, Kraftwerksbetreiber, eventuell gewerbliche Nutzer des Materials, etc.
A2 – Entnahme von Feststoffen in den Zuflüssen	Sofortmaßnahme	in den Zuflüsse	
A3 – Berücksichtigung und Adaptierung bestehender Entnahmen	Sofortmaßnahme	im Hauptfluss, in den Zuflüsse	
B – Strukturelle Maßnahmen im Fließgewässer			
B1 – Leitbildkonforme Restrukturierung	Sofortmaßnahme / Nachhaltige Maßnahme	im Hauptfluss, in den Zuflüsse	Gewässerhaltung, Behörden (Wasserwirtschaft, Naturschutz), Fischereiberechtigte, etc.
B2 – Leitbildkonforme Renaturierung	Sofortmaßnahme / Nachhaltige Maßnahme	im Hauptfluss, in den Zuflüsse	
C – Maßnahmen entlang von Zubringern			
C1 – Rückbau von Zubringermündungen	Nachhaltige Maßnahme	Zuflüsse	Gewässerhaltung, Behörden (Wasserwirtschaft, Naturschutz), Fischereiberechtigte, Landbesitzer/innen, etc.
C2 – Rückhalt von Niederschlag / Reduktion Abfluss	Sofortmaßnahme / Nachhaltige Maßnahme	Oberes Einzugsgebiet von Zubringer	Baubehörde / Gemeinde, Landbesitzer/innen, Behörden (Wasserwirtschaft, Naturschutz), etc.
C3 – Kleine bauliche Maßnahmen zum Sedimentrückhalt	Sofortmaßnahme / bei entsprechender Wartung nachhaltig	Zuflüsse	Landbesitzer/innen, Behörden (Wasserwirtschaft, Naturschutz), etc.
D – Bewirtschaftung im Einzugsgebiet			
D1 – Maßnahmen im Bereich der forstwirtschaftlichen Nutzung	Nachhaltige Maßnahme	Einzugsgebiet	Landbewirtschaftler/innen, Verwaltungen der Forstgüter, Beratungsstellen (Landwirtschaftskammer, Bezirksförster), etc.
D2 – Maßnahmen im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung	Nachhaltige Maßnahme	Einzugsgebiet	Landbewirtschaftler/innen, Beratungsstellen (Landwirtschaftskammer), etc.
D3 – Maßnahmen im Bereich Straßen- und Wegebau sowie Infrastrukturerhaltung	Nachhaltige Maßnahme	Einzugsgebiet	Straßen- und Wegehalter (diverse Verwaltungseinheiten aber auch Privatbesitzer/innen)
E – Lokale Hochwasserschutzmaßnahmen			
E1 – Kontrollen und Unterhaltungsmaßnahmen im Bereich hochwasserkritischer Sandablagerungen	Sofortmaßnahme / Nachhaltige Maßnahme	kleinräumig	Gewässerhaltung, Behörden (Wasserbau, Naturschutz), Betroffene, etc.
E2 – Lokale hydraulische Adaptierungen zum Hochwasserschutz	Sofortmaßnahme / Nachhaltige Maßnahme	kleinräumig	Gewässerhaltung, Behörden (Wasserbau, Naturschutz), etc.
F – Alternative Formen der fischereilichen Bewirtschaftung			
	Nachhaltige Maßnahme	kleinräumig in Hauptfluss oder Zubringer	Fischereiberechtigte, Pächter/innen, Fischer/innen, Beratungseinrichtungen (z.B. Landesfischereiverband, Reviere, etc.)
G – Bewusstseinsbildung und Öffentlichkeitsarbeit			
	Nachhaltige Maßnahme	Einzugsgebiet / Gesamte Region	alle Akteure und Akteurinnen in der Region (z.B. Schulen, Gemeinden, Erhaltungsverpflichtete, Landnutzer und Landnutzerinnen, etc.)

Maßnahmenkategorie: Aktives Sedimentmanagement

A

Sedimententnahmen sind als eine mögliche Maßnahme zu sehen. Sie stellen eine Sofortmaßnahme dar, deren Anwendung räumlich günstig gelegen und zeitlich begrenzt sein sollte. Derzeit werden an einigen Stellen im Untersuchungsgebiet wiederkehrend Sandentnahmen durchgeführt, da dies aus Hochwasserschutzgründen in den dichter besiedelten Bereichen notwendig ist. Auch in näherer Zukunft wird man nicht umhin kommen, solche Entnahmen zur Gewährleistung eines ausreichenden Abflussquerschnittes durchzuführen. Dabei wichtig ist jedoch:

- Bestmögliche **Situierung** der **Entnahmen**: Oftmals sind vorhandene Staubereiche oberhalb von Siedlungsbereichen besser als Standorte geeignet als Entnahmebereiche direkt im bebauten Gebiet.
- Die Maßnahme ist immer wieder **neu zu bewerten**. Sedimententnahmen können schon alleine wegen der Kosten **nicht** als **Dauerlösung** gesehen werden. Zusätzlich sind die ökologischen und fischereilichen Schäden nicht auf Dauer tolerierbar.
- Die **Eingriffe** sind so **gering** als möglich zu halten. Lang andauernde **Trübungen** verursachen ökologische und fischereiliche Schäden. Darüber hinaus sollte im unmittelbaren Eingriffsbereich, die aquatische Fauna vor dem Eingriff geborgen werden.
- **Langfristige Verbesserungsmaßnahmen** sind zu forcieren: Dazu zählen diverse nachstehend aufgezeigte Maßnahmengruppen wie **Wasserrückhalt** in der Landschaft, **erosionsvermindernde Maßnahmen** in der Land- und Forstwirtschaft usw.
- Wenn Entnahmen durchgeführt werden müssen, sollten bevorzugt **naturnahe Lösungen** zur Anwendung kommen. Dazu zählen naturnahe **Sedimentationsbereiche** durch **Umlandabsenkungen** und das Wiederherstellen des Gewässer-Umland Gefüges durch **Renaturierungen**.
- Stellenweise müsste die **Dimensionierung** der **Regulierungsstrecken** überdacht werden. Überbreiten sollten dort vermieden werden. Durch das Herstellen einer Rinne für Mittelwasserabflüsse bzw. etwas darüber, können stellenweise Sandablagerungen reduziert und damit Baggerungen eingeschränkt werden.
- Immer ist bei Entnahmen auf eventuell vorhandene **Eintiefungstendenzen** in flussab gelegenen Strecken zu achten. Solche treten im Mühlviertel nur sehr lokal in bestehenden oder ursprünglichen aber heute regulierten Talmäanderstrecken auf.

Maßnahme: Entnahme von Feststoffen im Hauptfluss*Wirksamkeit:* Sofortmaßnahme*Situierung:* im Hauptfluss**A1**

Hinsichtlich einer aktiven Entnahme der Feststoffe (Granitgrus: 1 mm – 10 mm) gilt es grundsätzlich 3 Varianten zu diskutieren. Die Möglichkeiten unterscheiden sich vor allem in Bezug auf die Auswirkungen auf die Gewässerökologie bzw. hinsichtlich ihrer Anlehnung an die natürliche Dynamik:

- Entnahme bei bestehenden Querbauwerken (Nassbaggerung)
- Entnahme bei bestehenden Querbauwerken (Trockenbaggerung durch Wasserspiegelabsenkung)
- Konzipierung und Errichtung von Aussandungszonen (Trockenbaggerung)

Der erste Vorschlag bezieht sich auf die Entnahme von Feststoffen aus den Rückstaubereichen von Kleinwasserkraftwerken oder bedeutenden Kontinuumsunterbrechungen ohne spezielle Berücksichtigung einer möglichen Betriebsweise an der z.B. Wasserkraftanlage. Hier würde mittels Nassbaggerungen unabhängig von der natürlichen Dynamik aber unter Berücksichtigung ökologisch sensibler Perioden (z.B. Laichzeiten) Anlandungsmaterial aus dem System entnommen werden. Die Erhebung der Querbauwerke, siehe Kapitel „Kartierung“ (Endbericht) in Kombination mit dem Linienpotenzial hinsichtlich der relativen Transportkapazitäten bilden diesbezüglich eine wichtige Grundlage (Abbildung 54).

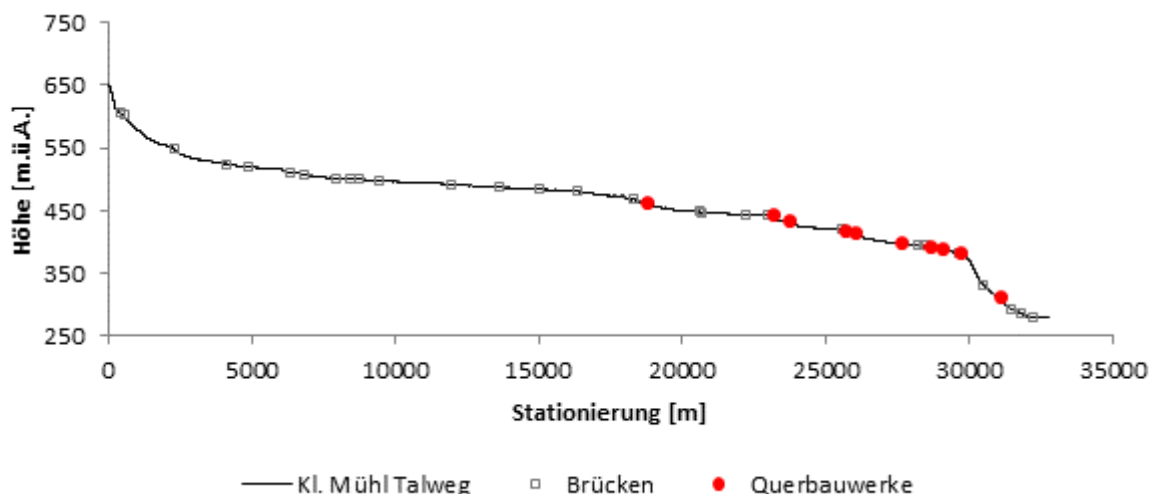


Abbildung 54: Längenschnitt des Wasserspiegelgefälles der Kl. Mühl; bedeutende Querbauwerke sind in der Abbildung eingetragen.

Vorschlag 2 sieht ebenfalls die aktive Entnahme an Querbauwerken vor. Im Unterschied zur ersten Variante werden hierbei die Optionen in der Betriebsweise von Querbauwerken berücksichtigt. Ziel ist es in der Umsetzung der Variante 2 den Wasserspiegel in Niederwasserphasen abzusenken und das Material mittels Trockenbaggerung zu entnehmen bzw. die Trübung des Gewässers so gering als möglich zu halten.

Variante 3 unterscheidet sich grundlegend von den beiden anderen Vorschlägen zur aktiven Sedimententnahme. Hier bilden natürliche Prozesse des Materialaustrags bzw. Ablagerung in den Überflutungsflächen die Grundlage und diese Prozesse sollen durch die konstruktive Ausführung der Maßnahme letztendlich gefördert bzw. verstärkt werden. Es wurden dafür mittels hydrodynamischer (Sedimenttransport-) Modellierung Varianten vorab getestet, die eine Ablagerung in bestimmten Bereichen begünstigen. Aus Sicht der Hydraulik sollten gewisse Rahmenbedingungen berücksichtigt werden, welche in Abbildung 55 dargestellt sind.

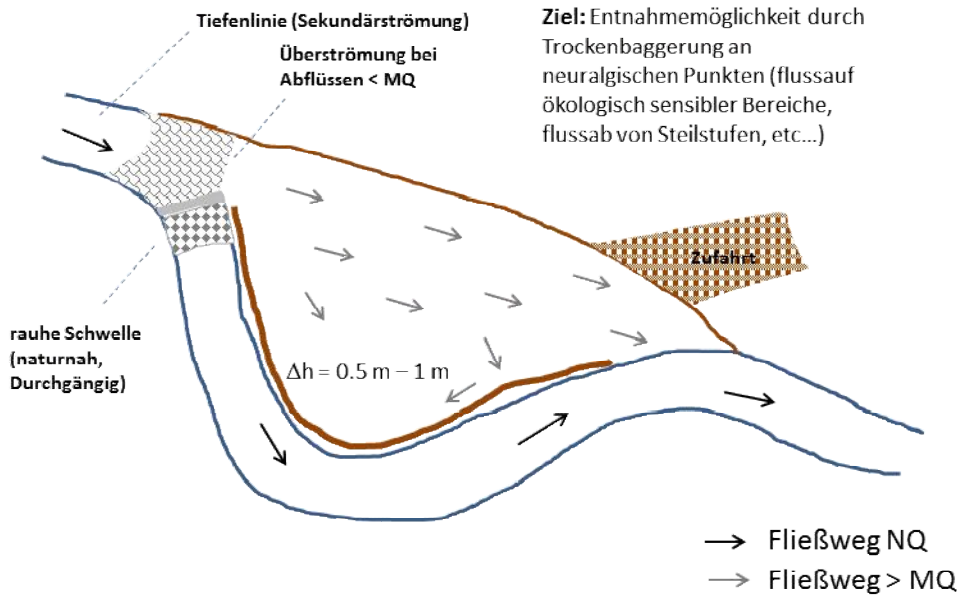


Abbildung 55: Schematische Darstellung einer Vorlandabsenkung zur Förderung des eigendynamischen Geschiebeaustrags (Granitgrus) in die Fläche; NQ = Niederwasserabfluss; MQ = Mittelwasserabfluss.

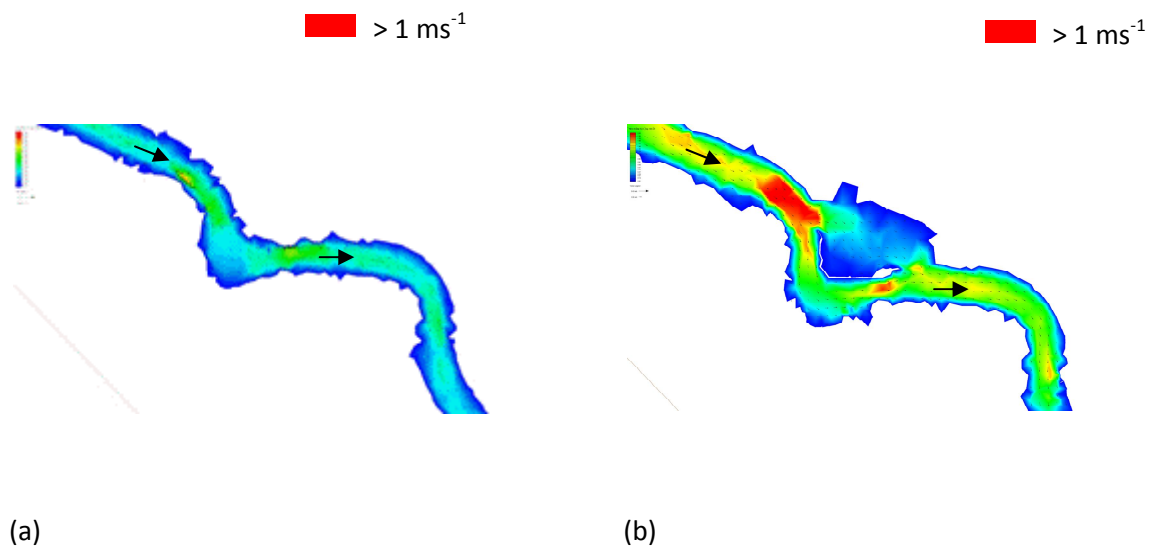


Abbildung 56: Modellierung der zweidimensionalen-tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten im Bereich einer künstlichen Vorlandabsenkung an der Feldaist; (a) $Q = 1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; (b) $Q = 28.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (HQ_1) im Bereich Kefermarkt.

Als eine dieser Rahmenbedingungen sollte wenn möglich die natürliche Bewegungsrichtung des Sediments an der Flusssohle genutzt werden um einen optimierten Austragseffekt zu erzielen. Aus diesem Grund ist die Umsetzung der Maßnahme in Bereich von Flusskrümmungen günstig. Diese gewundenen und mäandrierenden Abschnitte besitzen auch eine weitere besondere Eigenschaft für die Situierung dieses Maßnahmentyps. Sie befinden sich in Verebnungsflächen der Hochlandes der Böhmisches Masse, welche prinzipiell eine hohe Versandungsneigung zeigen (vgl. Kapitel „Kartierung“). Weiters sind diese Situationen häufig kombiniert mit flussauf gelegenen Steilstufen, welche Vergrusungsmaterial aus Zubringern sammeln und verstärkt abtransportieren. Aus diesem Grunde ist die Situierung dieses Maßnahmentyps am Beginn von Verebnungsflächen, bei geeignetem Standort (Erreichbarkeit und Platzverfügbarkeit), zu empfehlen.

Aus hydraulischer Sicht ist die Anlage an einer Flusskrümmung insofern von Bedeutung, da durch Sekundärströmungen in den Krümmungen das Material verstärkt entlang des Prallhangs transportiert wird. Dieser Effekt sollte in der Maßnahmenumsetzung berücksichtigt werden. Weiters ist eine Absenkung des Vorlandes bis knapp über Mittelwasser empfehlenswert, da hier bereits ein bedeutender Materialtransport auftritt bzw. auftreten kann (vgl. physikalischer Modellversuch, Feststofftransportmodell Aist, Endbericht). Im Zuge einer baulichen Adaption mittels einer Anrampung kann der Austrag mitunter verbessert werden. Die technische Umsetzung im Einlaufbereich muss jedenfalls ein passierbares Kontinuum für die Wanderung von Gewässerorganismen gewährleisten (Abbildung 57a). Genaue hydraulische Konzipierungen gilt es an geplanten Standorten im Detail zu evaluieren, wobei die Größe der Aussandungsfläche (Absenkung des Vorlandes) sicherlich ein wesentliches Kriterium für den Erfolg dieser Maßnahme ist.

Bei optimal abgestimmten hydraulischen Bedingungen sollte es möglich sein, die feinen Kornfraktionen sehr gezielt zu einer Ablagerung zu bringen, während gröbere Fraktionen im Flussschlauch weiter transportiert werden. Hierzu wäre die Durchführung von hydraulischen Modellversuchen sehr hilfreich.

Als Beispiel für eine als Sandfang wirkende Maßnahme kann der neu angelegte Hochwasserschutz Leopoldschlag an der Maltzsch genannt werden, für den rund 70.000 m³ Erd- und Felsmaterial abgetragen wurden (siehe u.a. Höfler & Gumpinger, 2014). Hierbei handelt es sich um eine Umlandabsenkung knapp über Mittelwasserniveau mit dem Ziel den Hochwasserschutz des Siedlungsgebiets der Marktgemeinde Leopoldschlag zu gewährleisten.

Als Nebeneffekt wird der, auch in der Maltzsch in sehr großen Mengen auftretende Sand, auf der Fläche abgelagert, da sich beim Ausuferern die Schleppkräfte verringern.

Ausschlaggebend für die Funktionsweise als Sandfang sind neben der Situierung knapp über Mittelwasser, die Größe der Maßnahme und ihre für diesen Zweck gute hydraulische Wirksamkeit.

Wünschenswert wäre auch eine kombinierte hydromorphologische Aufwertung des Gerinnes, da damit zusätzlich der eigendynamische Austrag gefördert würde und die Ökologie davon profitieren könnte. Eine solche war im beschriebenen Fall aufgrund des Status als Grenzgewässer nicht möglich, obwohl die alten Mäander bei den Aushubarbeiten noch deutlich ersichtlich waren und die Wiederherstellung einer Talmäanderstrecke innerhalb des Absenkungsbereiches geradezu prädestiniert für diesen Maßnahmentyp gewesen wäre (siehe dazu auch Maßnahmengruppe B).



(a)

(b)

Abbildung 57: Hochwasserschutz Leopoldschlag an der Malsch: (a) großflächig frisch abgelagerter Sand; (b) der Sand wird durch die Vegetation abgebremst und lagert sich ab.

Allen drei Maßnahmevorschlägen zur aktiven Entnahme gemein ist, dass durch die Entnahme in Kombination mit der natürlichen Abflussdynamik für flussab gelegene durch die Versandung beeinträchtigte Bereiche hydraulisch die Möglichkeit besteht, sich eigendynamisch zu sanieren (Austrag durch Hochwässer bei reduziertem oder unterbundenem Materialeintrag). Dies ist als ein wesentlicher Beitrag dieser Sofortmaßnahme zu einer nachhaltigen Sanierung der Gewässer der Böhmisches Masse zu bewerten. Hinsichtlich einer möglichen wirtschaftlichen oder teilweisen ökologischen Verwertbarkeit (Laichkies) des Materials gilt es in möglichen Folgeprojekten zu untersuchen in welchen Bereichen das Versandungsmaterial (z.B. Silikatsande) Verwendung finden könnte.

Anwendungsbereiche allgemein:

- Alle Bereiche wo größere Kubaturen an Sand bereits im Ist-Zustand abgelagert werden.
- Vor allem in Verebnungsflächen und flussauf von größeren Querbauwerken.
- Vorzugsweise oberhalb von hochwasserschutztechnisch oder ökologisch sensiblen Bereichen.
- Gute Erreichbarkeit der Entnahmestelle für die notwendigen Gerätschaften und Fahrzeuge.

Maßnahmenkategorie: Aktives Sedimentmanagement**A****Maßnahme: Entnahme von Feststoffen in den Zuflüssen***Wirksamkeit:* Sofortmaßnahme*Situierung:* in den Zuflüssen**A 2**

Neben der Entnahme direkt aus den Hauptflüssen bieten sich gerade sehr stark sandführende Zuflüsse für ein aktives Sedimentmanagement an. Als Beispiele sind hier exemplarisch die Jaunitz oder die Flanitz im Bereich der Feldaist zu nennen. Für sie gelten prinzipiell dieselben konstruktiven Rahmenbedingungen wie für die Hauptflüsse aufgezeigt. Aufgrund der geringeren Größe können aber eventuell andere Bautypen sinnvoll sein. Sehr erfolgreich wurde beispielsweise in einem Artenschutzprojekt für die Flussperlmuschel mit kleinen Sedimentationsbecken an der Lutter in Deutschland gearbeitet (Altmüller & Dettmer, 2006). Als entscheidend dabei hat sich die sehr regelmäßige Wartung und Räumung erwiesen, da sich in den kleinen Becken individuelle hydraulische Bedingungen einstellen, die bei teilweise scheinbar geringen Füllständen bereits zur Ausbildung eines Fließgleichgewichts zwischen Eintrag und Austrag führen und damit die Wirksamkeit der Absetzbecken konterkarieren.

Anwendungsbereiche allgemein:

- Zuflüsse die stark sandführend sind.
- Vorzugsweise oberhalb von hochwasserschutztechnisch oder ökologisch sensiblen Bereichen.
- Gute Erreichbarkeit der Entnahmestelle für die notwendigen Gerätschaften und Fahrzeuge.

Maßnahmenkategorie: Aktives Sedimentmanagement**A****Maßnahme: Berücksichtigung und Adaptierung bestehender Entnahmen***Wirksamkeit:* Sofortmaßnahme*Situierung:* im Hauptfluss, in den Zuflüssen**A 3**

Im Sinne eines integrierten Sedimentmanagements für ganze Einzugsgebiete sollten die bestehenden Entnahmen in einem solchen berücksichtigt und gegebenenfalls adaptiert werden. Dies betrifft neben den Entnahmen der Gewässerbezirke (z.B. in der Aist im Bereich Schwertberg), auch kleinräumige Entnahmen durch Gemeinden oder Anrainer (z.B. an der Kleinen Gusen) sowie Sedimentmanagementmaßnahmen durch Kraftwerksbetreiber und Mühlenbesitzer. Es werden beispielsweise einige Mühlgräben an der Großen Gusen regelmäßig geräumt. Der Sand wird jedoch nicht entnommen sondern wieder in das Gewässer verbracht. Die Räumung von Mühl- und Ausleitungsgräben sowie deren zunehmende Versandung ist auch hinsichtlich der Flussperlmuschel ein wichtiges Thema, da Mühlgräben oft die letzten Rückzugsorte für diese Tiere darstellen (z.B. am Gießenbach).

Anwendungsbereiche allgemein:

- Alle Bereiche wo bereits jetzt Entnahmen durchgeführt werden.

Maßnahmenkategorie: Strukturelle Maßnahmen im Fließgewässer**B**

Defizite in der Hydromorphologie wurden als eine der Ursachen für die Verschärfung der Versandungsproblematik abseits des grundsätzlichen Eintrags identifiziert (siehe Kapitel „Ursachen“ - Endbericht). Demnach sind Verbesserungen der Hydromorphologie - die in unterschiedlicher Intensität möglich sind - dazu geeignet das Problem zu entschärfen. Neben relativ einfach umsetzbaren Strukturierungsmaßnahmen stellen größer angelegte Renaturierungsmaßnahmen ein probates Mittel dar, unterschiedliche Ursachen und Auswirkungen der Versandung zu reduzieren.

Bei allen strukturellen Maßnahmen in Fließgewässern sind eine gewisse Maßnahmengröße und eine leitbildkonforme Umsetzung entscheidend für den Erfolg. Wichtig ist daher eine adäquate wasserbauliche und ökologische Begleitung der Planung und Umsetzung.

Je nach dem Grad der Wiederherstellung der Naturnähe spricht man von einer Strukturierung oder einer Renaturierung. Wenn mittels Strömungselementen wie Blöcken oder Totholz im bestehenden regulierten Flussbett eine Diversifizierung der Strömung erreicht wird, handelt es sich um eine Strukturierung. Diese ist vergleichsweise einfach umsetzbar. Wird auch der Verlauf des Gewässers bzw. dessen Ufer- und Sohldynamik leitbildkonform wiederhergestellt, spricht man von einer Renaturierung. Dazu werden jedoch zumeist Umlandflächen benötigt, womit Aufwand und Kosten zumeist deutlich höher als bei einer Strukturierung sind. Die positiven Wirkungen für die Gewässerökologie und den Sedimenthaushalt sind aber jedenfalls auch als deutlich größer einzustufen als bei einer reinen Strukturierung.

- **Maßnahme B 1: Leitbildkonforme Restrukturierung**
- **Maßnahme B 2: Leitbildkonforme Renaturierung**

Maßnahmenkategorie: Strukturelle Maßnahmen im Fließgewässer

B

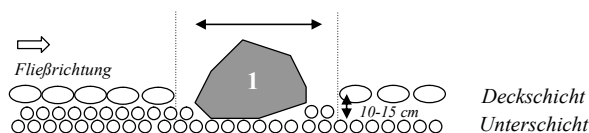
Maßnahme: Leitbildkonforme Restrukturierung*Wirksamkeit:* Sofortmaßnahme / Nachhaltige Maßnahme

B 1

Situierung: im Hauptfluss

Eine leitbildkonforme Strukturierung einzelner Fließgewässerabschnitte wird ebenfalls als eine Möglichkeit angesehen das Problem der bestehenden oder der sich entwickelnden Versandung zu reduzieren. Diese Annahme stützt sich auf drei wesentliche Ergebnisse des vorliegenden Forschungsprojektes; (1) die Turbulenzintensität bzw. Turbulenzvariabilität wurde als eine wesentliche Größe hinsichtlich der Geschwindigkeit des Geschiebetransports ausgewiesen. Eine Erhöhung der Turbulenz durch Strukturen führt dadurch zu einem verbesserten Transportverhalten, (2) bereits kleinräumige Aufwertungen der Gewässerstruktur (Substratheterogenität), welche sich in einer Verbesserung der Versandungsklasse von 3 auf 2 niederschlagen, bringen signifikante Verbesserungen hinsichtlich Abundanz und Biomasse des Makrozoobenthos. Neben einer Zunahme der Fischnährtiere kommt es (3) auch zu einer Verbesserung der Habitatheterogenität für die Fischfauna, für welche kleinräumig unterschiedliche Lebensräume wichtig sind. Dies betrifft sowohl die eigendynamische Entwicklung von Kieslaichplätzen als auch verbesserte Adultfischhabitate (Sicht- und Strömungsschutz) wie lokale Tiefstellen um Strukturen.

In einer Pilotstudie wurden diese leitbildkonforme Strukturierung bereits in einem Abschnitt der Großen Mühl konzipiert und gemeinsam mit dem Gewässerbezirk Grieskirchen umgesetzt (Hauer, 2011; Hauer, 2012). In der Abbildung 58 sind Details zur Konzipierung bzw. zur Umsetzung dargestellt.



(a)

(b)

Abbildung 58: Konzipierung und Umsetzung einer leitbildkonformen Restrukturierung an der Gr. Mühl (a) Details zur Einbringung der Granitblöcke (2-3 Tonnen), (b) Umsetzung der Maßnahme in Zusammenarbeit mit dem Gewässerbezirk Grieskirchen.

Das Postmonitoring der Maßnahme zeigte eine deutliche Verbesserung hinsichtlich Heterogenisierung der Substratzusammensetzung (Abbildung 59a) bzw. auch hinsichtlich eine hydromorphologischen Lebensraumverbesserung. Beispielsweise konnte der Nachweis von Aalrutten bei den eingebrachten Blöcken im Zuge von Elektrobefischungen erbracht werden (Abbildung 59b).

Diese Fischart wurde im Pre-Monitoring, sicherlich auch auf Grund der Strukturlosigkeit der Abschnitte, nicht nachgewiesen.

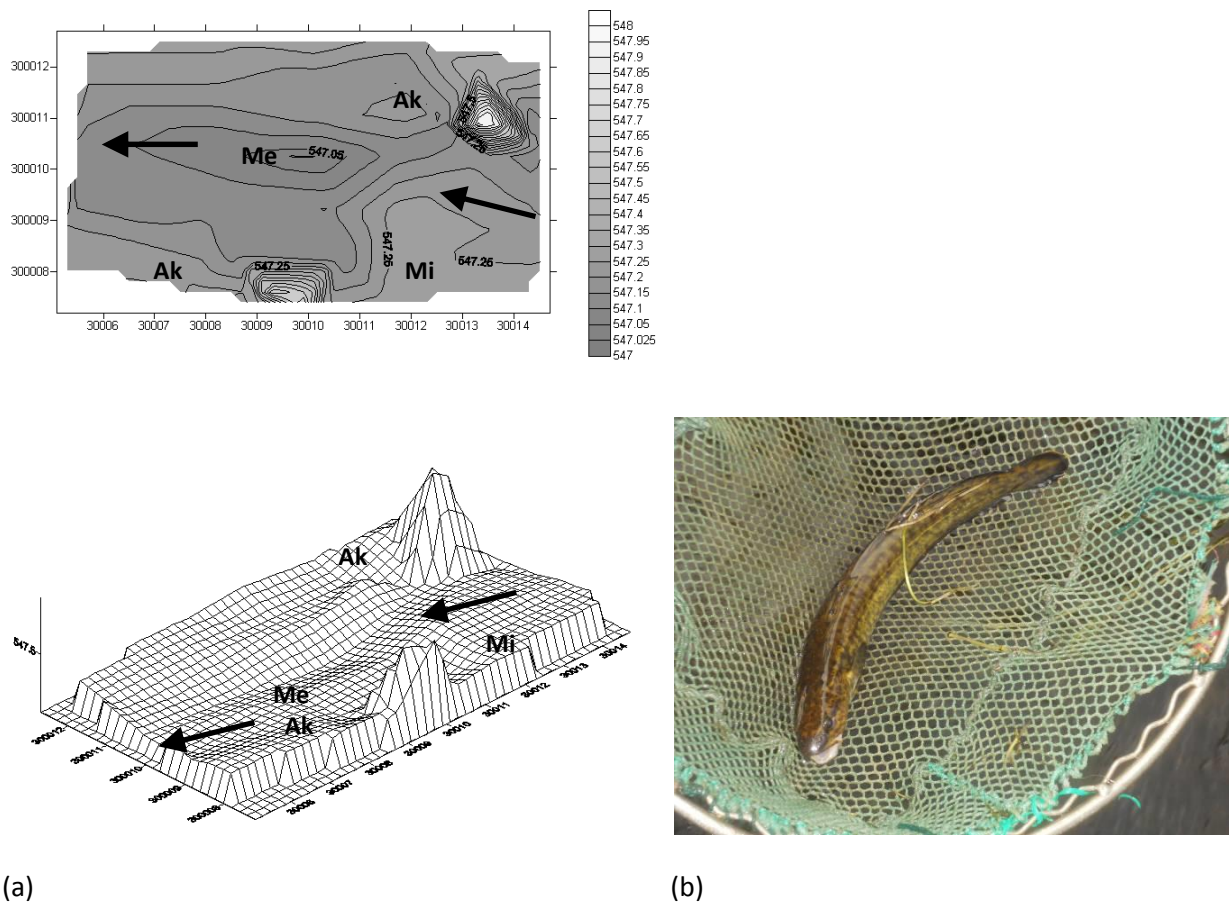


Abbildung 59: (a) Digitales Höhenmodell eines Detailbereichs der Gr. Mühl in dem 2 Granitblöcke (2-3 Tonnen) eingebracht wurden. Das Höhenmodell zeigt die eigendynamische Entwicklung nach einem Jahr; schwarze Pfeile zeigen die Fließrichtung; A = Akal ($d_m = 2 \text{ mm} - 2 \text{ cm}$), Mi = Mikrolithal ($d_m = 2 \text{ cm} - 6.3 \text{ cm}$), Me = Mesolithal ($d_m = 6.3 \text{ cm} - 20 \text{ cm}$), (b) subadulte Aalrutte gefangen im Nahbereich der Granitblöcke mittels Elektrofischung.

Die Strukturierung der Gewässer ist jedenfalls dem jeweiligen Flusstyp anzupassen. Im Prinzip sind es zwei unterschiedliche morphologische Typen, welche durch Strukturierung in ihrer Substratheterogenität verbessert werden können. Es sind dies der gestreckt bis pendelnd verlaufende Flachbett-Typ (dominierend in der Böhmisches Masse) und der gewundene bis mäandrierende Furt-Kolk Typ in flachen Bereichen der Verebnungsflächen. Der dritte in der Böhmisches Masse abgrenzbare Typ, der Kaskadentyp, bedarf keiner Strukturierung, da hier nach wie vor aufgrund geringerer menschlicher Einflussnahme Blöcke in der Größenordnung von bis zu mehreren Metern dominieren und auf Grund der Steilheit der Abschnitte keine vollständige Bedeckung mit Versandungsmaterial auftritt.

Leitbildkonform hinsichtlich der Strukturierung von Flachbettstrecken bedeutet das Einbringen von grobblockigen Strukturen (3 – 5 Tonnen) zur Erhöhung der Turbulenz und der Strömungs- (Substrat)-variabilität (Bsp. Strukturierung Gr. Mühl). Die ursprünglich in den Gewässern vorhandenen Blöcke sind sogar oftmals noch im Nahbereich vorhanden. Zum einen wurden sie bereits vor relativ langer Zeit für die Holzdrift und die Uferstabilisierung aus der Gewässermitteln an die Ufer verbracht und zum anderen wurden auch nach dem Hochwasserereignis 2002 weitere Gewässerabschnitte geräumt,

wobei die Blöcke oftmals noch am Ufer vorhanden sind. Unter Berücksichtigung der Hochwasserthematik ist zu unterscheiden zwischen Strecken in denen nichts gegen ein Wiedereinbringen des Materials spricht und jenen die zur Gewährleistung eines ausreichenden Durchflusses frei bleiben müssen.

In Gewässern von Furt-Kolk Strecken sind grobblockige Strukturen natürlicherweise nur eingeschränkt vorhanden und Totholz tritt als strukturbildendes Element zunehmend in den Vordergrund. Die Möglichkeiten zur Nutzung von Totholz als Strukturelement sollte unter Berücksichtigung der Anforderungen des Hochwasserrisikomanagements aber auch in Flachbett – Gewässerstrecken in die Überlegungen mit einbezogen werden. Auch hier gilt es bei der Konzeptionierung eine Abwägung hinsichtlich des Hochwasserschutzes zu treffen (siehe z.B. VeMaFlood – Habersack et al., 2009).

Im Sinne der genannten Verbesserungen liefert auch der Biber einen Beitrag zum natürlichen Eintrag von Totholz in die Fließgewässer (Abbildung 60).

Anwendungsbereiche allgemein:

Strukturierung mit Blöcken:

- Flachbetttyp (gestreckter bis pendelnder Verlauf)
- Bereiche wo dies unter Berücksichtigung des Hochwasserschutzes möglich ist.
- Bereiche wo die entnommenen Blöcke noch vor Ort vorhanden sind.

Strukturierung mit Totholz:

- Kolk-Furt-Typ (gewundener bis mäandrierender Verlauf)
- Bereiche wo dies unter Berücksichtigung des Hochwasserschutzes möglich ist.



(a)



(b)

Abbildung 60: (a), (b) Totholz als Anpassungsmaßnahme um die eigendynamische Entwicklung lokaler Tiefstellen bzw. eine Substratheterogenisierung zu fördern.

Maßnahmenkategorie: Strukturelle Maßnahmen im Fließgewässer**B****Maßnahme: Leitbildkonforme Renaturierung***Wirksamkeit:* Sofortmaßnahme / Nachhaltige Maßnahme**B 2***Situierung:* im Hauptfluss

Eine großflächige Renaturierung stellt aus ökologischer Sicht den Idealfall einer Verbesserung dar, speziell da hier verschiedene Maßnahmen kombiniert wirken. So können beispielsweise bei einer damit verbundenen Umlandabsenkung „Aussandungsschleifen“ mit Entnahmemöglichkeit, wie unter dem Punkt „Aktives Sedimentmanagement“ vorgeschlagen, integriert werden. Mit einer leitbildkonformen Renaturierung verbessert sich die „Sedimentselbstreinigungskraft“ des Gewässers. Durch Strukturen werden die Hydromorphologie und damit die Habitatvielfalt sowie auch das Gewässer-Umland-Gefüge aufgewertet.

Als Maßnahmenstandorte würden sich vor allem stark überprägten Regulierungsstrecken mit unterhalb gelegenen Siedlungsbereichen anbieten, wodurch starke Versandungstendenzen und Hochwasserprobleme entstehen (z.B. Feldaist flussauf von Kefermarkt oder im Bereich Freistadt). Es handelt sich dabei vor allem um die Wiederherstellung von flachen Talmäanderabschnitten mit abgesenktem Umland. Der Knackpunkt dabei ist jedenfalls die Flächenverfügbarkeit in diesen eher intensiv genutzten Bereichen und das finanzielle Umsetzungsvolumen.

Maßnahmenimpulse in Bezug auf eine solche zur Verbesserung der Versandungssituation ausgelegten Renaturierung unter Berücksichtigung einer größtmöglichen Schonung der aquatischen Fauna finden sich beispielsweise im Managementplan Wolfertsrieder Bach (Bayerischen Wald) (Höfler et al., 2014). Darin werden ein mehrstufiges Errichtungsszenario für eine gewässerverträgliche Umsetzung, Umlandabsenkungen mit Sediment-Entnahmemöglichkeiten sowie Aussandungsbereiche mittels kleinerer Strukturgeber skizziert.

Anwendungsbereiche allgemein:

- Stark überprägte Regulierungsstrecken in flacheren Abschnitten, eventuell mit nachgelagerten sensiblen Strecken in Bezug auf Hochwasserschutz oder Ökologie.
- Bereiche in denen Flächen verfügbar sind.

Maßnahmenkategorie: Maßnahmen entlang von Zubringern

C

Für Zubringer, welche eindeutig (z.B. Begehungen im Felde) als maßgeblich für den Feststoffeintrag identifiziert wurden, gibt es unterschiedliche Maßnahmenvorschläge zur Reduktion des Materialeintrags.

Es gilt hier zwischen Zubringern in der Hochebene der Böhmisches Masse und Zubringern in den Durchbruchsstrecken (z.B. Steilstufen der Gr. Mühl) zu unterscheiden (Abbildung 61).

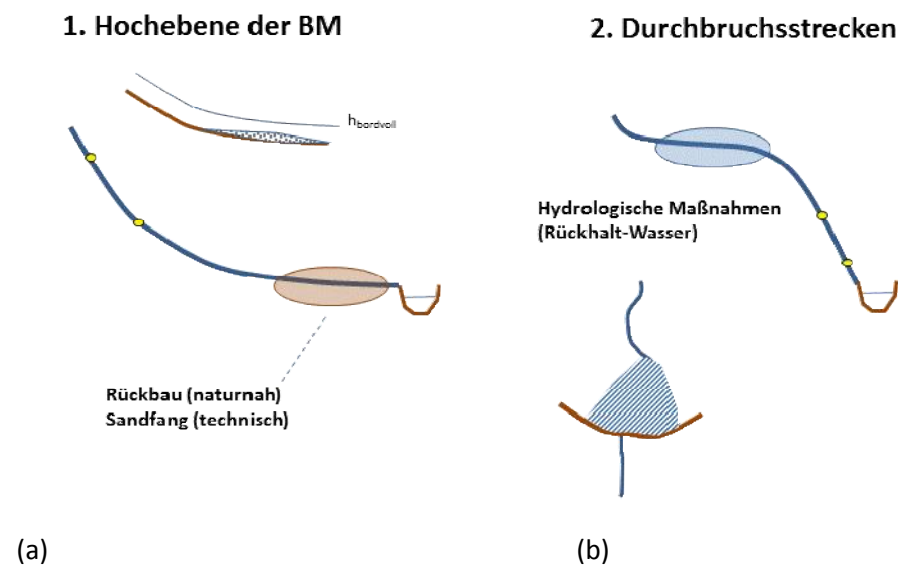


Abbildung 61: Schematische Darstellung von Zubringern (a) in der Hochebene der Böhmisches Masse und (b) in den Durchbruchsstrecken.

In Abhängigkeit des Gefälles und der Größe des hydrologisch wirksamen Einzugsgebiets werden Maßnahmen im Bereich der Einmündung in den Vorfluter oder bereits in den Oberen Einzugsgebieten empfohlen.

- **Maßnahme C 1: Rückbau von Zubringermündungen**
- **Maßnahme C 2: Rückhalt von Niederschlag / Reduktion Abfluss**
- **Maßnahme C 3: Kleine bauliche Maßnahmen zum Sedimentrückhalt**

Maßnahmenkategorie: Maßnahmen entlang von Zubringern

C

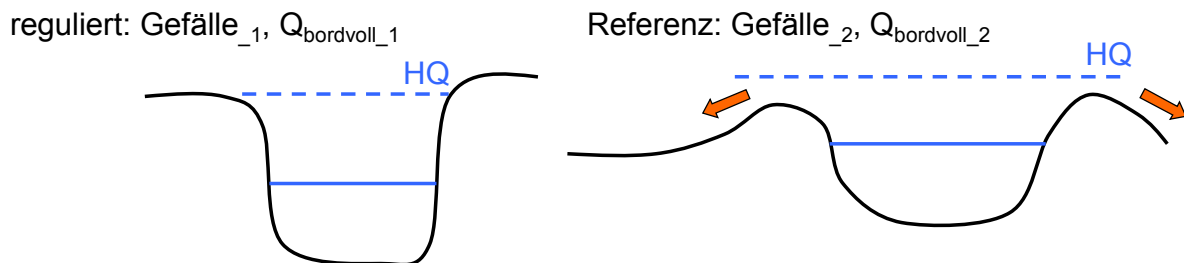
Maßnahme: Rückbau von Zubringermündungen

Wirksamkeit: Nachhaltige Maßnahme

Situierung: Zubringer

C 1

Der Rückbau bzw. die Rückführung von Zubringern, die als wesentlich für den Feststoffeintrag (Granitgrus) in die Vorfluter ausgewiesen wurden (z.B. Flanitz für die Aist), ist als eine nachhaltige und im Sinne der Gewässerökologie äußerst verträgliche Maßnahme anzusehen. Durch die Rückführung des Gewässerverlaufs in eine leitbildkonforme Ausführung (mäandrierend oder tangential in den Vorfluter einmündend) reduziert sich das Energieliniengefälle und somit die Transportkapazität im Falle von Hochwasser (Abbildung 62). Weiters ist die bordvolle Abfuhrkapazität deutlich geringer als im Vergleich zu regulierten (künstlich ausgegrabenen Zubringern).



- $\text{Transportkapazität}_{\text{reg.}} \gg \text{Transportkapazität}_{\text{Ref.}}$

Abbildung 62: Vergleich und theoretische Beschreibung unterschiedlicher Rahmenbedingungen für die Transportkapazität in einem regulierten und einem naturnahem Gerinne.

Die Richtigkeit der Annahme in Bezug auf die Feststofftransportprozesse konnte während, aber vor allem nach dem Hochwasser im Juni 2013 bestätigt werden. Ein rechtsufriger naturnaher Zubringer der Gr. Mühl trat nicht nur aus hydraulischer Sicht über die Ufer (Überflutung des Vorlandes), sondern auch die transportierten Feststoffe wurden auf Grund der reduzierten Transportkapazität und den damit verbundenen Verfüllen des Gerinnequerschnitts (Abbildung 63) entlang der Ufer abgelagert. Durch diesen Prozess kommt es zu einer sogenannten Rehenbildung und mitunter zu einer kontinuierlichen Erhöhung des Gerinnes im Vergleich zum Umland. Dieser Prozess beinhaltet aber vor allem auch einen reduzierten Feststoffeintrag in den Vorfluter. Der Eintrag von Granitgrus, als Teil der natürlichen Substratzusammensetzung der Fließgewässer der Böhmisches Masse bleibt zwar erhalten (Feststoffkontinuum), die eingetragene Menge wird jedoch auf ein natürliches oder naturnahes Maß (abhängig von weiteren Faktoren im EZG des Zubringers) reduziert.

Wichtig ist im Rahmen der Umsetzung solcher Maßnahmen die Grundverfügbarkeit, da in jenen Bereichen in denen der Sand abgelagert werden soll die Grundstücke aller Voraussicht nach abgelöst werden müssen. Auch eventuell notwendig werdende Erhaltungsmaßnahmen sollten bereits im Vorfeld mitberücksichtigt werden.

Anwendungsbereiche allgemein:

- Begradigte, stark regulierte Mündungsbereiche von Zuflüssen.
- Speziell in breiteren flacheren Talabschnitten



(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 63: (a) Foto vom Juni-Hochwasser 2013 im Einzugsgebiet der Gr. Mühl, (b), (c), (d) Ablagerungen (Granitgrus) im und entlang eines rechtsufrigen Zubringers der Gr. Mühl.

Maßnahmenkategorie: Maßnahmen entlang von Zubringern**C****Maßnahme: Rückhalt von Niederschlag / Reduktion Abfluss***Wirksamkeit:* Sofortmaßnahme / Nachhaltige Maßnahme*Situierung:* Oberes Einzugsgebiet von Zubringern**C 2**

Für jene Zubringer, welche in Durchbruchsstrecken in die Vorfluter einmünden, ist die Reduktion der Transportkapazität durch Rückhalt von Niederschlag in den Gebieten des Oberen Einzugsgebiets hilfreich. Das gilt speziell, wenn es zu großen hydraulischen Belastungen der Gerinne kommt, wie beispielsweise durch die Einleitung von Drainagen- oder Regenwässern bei intensiver menschlicher Nutzung (Landwirtschaft, Siedlungen, Infrastruktur).

Ein Rückhalt kann durch generelle Verbesserungen hinsichtlich des Retentions- und Speicherverhaltens erfolgen (z.B. Anpassung der Umlandnutzung, Reduktion von Regenwassereinleitungen, Anlage von Versickerungsbecken), aber auch bauliche Lösungen oder Adaptionen des bestehenden Gerinnes können zum Rückhalt des Niederschlags beitragen (Abbildung 61). Die Wirksamkeit von technischen Maßnahmen ist aber ebenfalls wiederum stark von den transportierten Feststoffen bzw. von abgelagertem Material abhängig, da sich in Abhängigkeit der Verlandung das Volumen eines theoretischen Speichers fortlaufend reduziert.

Grundsätzlich ist eine längere Verweildauer der Niederschläge in der Landschaft wünschenswert. Als weitere Maßnahmen können hier auch noch die Anlage von Verrieselungsflächen für Drainagen im Gewässerumland und eine umsichtige Bewilligungspraxis bei Drainagen und Entwässerungen genannt werden.

Ergänzend sollen in den Zubringern zu den bereits beschriebenen Maßnahmentypen kleinräumige bauliche Maßnahmen in einem Gesamtkonzept mitüberlegt werden (siehe nächster Punkt).

Anwendungsbereiche allgemein:

- Zuflüsse und Einleitungen mit intensiv drainierten oder durch Siedlung und Infrastruktur genutzten oberen Einzugsgebieten.
- Speziell steile Zuflüsse mit einem damit einhergehenden großen Erosionspotential.

Maßnahmenkategorie: Maßnahmen entlang von Zubringern**C****Maßnahme: Kleine bauliche Maßnahmen zum Sedimentrückhalt***Wirksamkeit:* Sofortmaßnahme / bei entsprechender Wartung auch nachhaltig**C 3***Situierung:* Zubringer

Im Vorfeld solcher Kleinmaßnahmen empfiehlt sich eine detaillierte Begehung des zu bearbeitenden Detailinzugsgebietes, um die Hauptquellen und -pfade der Erosion zu identifizieren. Hilfreich kann hier auch die Aktivierung lokalen Wissens sein, indem örtliche Landnutzer und Landnutzerinnen in diesen Prozess einbezogen werden (siehe auch Kapitel „Bewusstseinsbildung und Öffentlichkeitsarbeit“). Speziell größere Forstgüter sollten für Pilotprojekte in diesem Sinne mobilisiert werden. Die gleichzeitigen Vorteile für den Nutzer / die Nutzerin des Bodens und für die Gewässer sind dabei zumeist gut zu vermitteln.

Kleine bauliche Maßnahmen, die den Rückhalt der Sedimente in den Flächen fördern, sind als ergänzende Maßnahme in allen Bereichen des Feststoffmanagements zu sehen. Beispiele hierfür gibt es bereits in einigen der untersuchten Einzugsgebiete (Abbildung 64) und in anderen umgesetzten Projekten, wie beispielsweise am Wolfertsrieder Bach (Höfler et al., 2014). In diesem Bereich können diverse dezentrale Maßnahmen im Einzugsgebiet genannt werden. Dazu gehören z.B. kleine Absetzbecken bei Forstwegen, Verrohrungen bei land- und forstwirtschaftlichen Wegen die eine verstärkte Erosion vermindern, Versickerung kleiner Zuflüsse im Uferschutzstreifen des Hauptgewässers, die Anlage von Ableitungen und Versickerungen in die Fläche, usw. Ein Ausleiten von transportierten Feststoffen in die Fläche sowie eine Reduktion weiterer Erosion stehen hierbei im Vordergrund. Neben bestimmten naturräumlichen Voraussetzungen (z.B. tlw. tieferliegende angrenzende Flächen) bedürfen diese Maßnahmen auch einer entsprechenden Flächenverfügbarkeit und Wartung (periodische Entnahme der abgelagerten Feststoffe).

Anwendungsbereiche allgemein:

- Maßnahmenmöglichkeiten für verschiedene kleinräumige Problemstellen.
- Vor allem entlang des forst- und landwirtschaftlichen Wegenetzes.



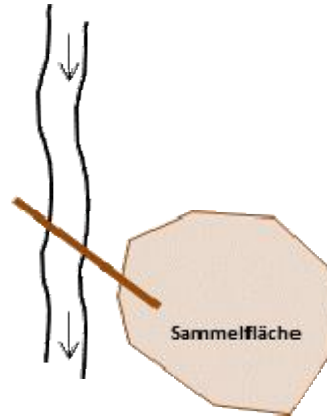
(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 64: (a), (b), (c) Kleinräumige strukturelle Maßnahmen für die Ausleitung von transportierten Feststoffen in angrenzende Flächen, (d) schematisches Funktionsprinzip einer kleinräumigen Sedimentausleitung.

Maßnahmenkategorie: Bewirtschaftung im Einzugsgebiet**D**

Übergeordnet zu den bisher erbrachten Maßnahmenvorschlägen steht eine angepasste Bewirtschaftung im Einzugsgebiet. Hier besteht die Möglichkeit nachhaltig durch Reduktion des Versandungsmaterials positiv in das System einzugreifen. Es kann mit Änderungen in der Bewirtschaftung auch auf bereits laufende naturräumliche Veränderungen, wie z.B. den Auswirkungen der Globalen Erwärmung, reagiert werden.

Diese Maßnahmenkategorie ist oftmals in Kombination mit den Maßnahmen unter Punkt C zu sehen. Am besten erfolgt eine Konzeptionierung der notwendigen Maßnahmen aus den beiden Maßnahmenblöcken bei einer Begehung der oberen Einzugsgebiete gemeinsam mit den Landbewirtschaftern. So können lokale Problemstellen identifiziert und optimale Lösungsansätze erarbeitet werden.

- **Maßnahme D 1: Maßnahmen im Bereich der forstwirtschaftlichen Nutzung**
- **Maßnahme D 2: Maßnahmen im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung**
- **Maßnahme D 3: Maßnahmen im Bereich Straßen- und Wegebau sowie Infrastrukturerhaltung**

Maßnahmenkategorie: Bewirtschaftung im Einzugsgebiet**D****Maßnahme: Maßnahmen im Bereich der forstwirtschaftlichen Nutzung***Wirksamkeit:* Nachhaltige Maßnahme*Situierung:* Einzugsgebiet**D 1**

Wie im Ursachen-Kapitel bereits erläutert, ist davon auszugehen, dass die forstliche Bewirtschaftung nicht unerheblich an der Erosion des Sandes in den Einzugsgebieten beteiligt ist. Es bieten sich daher in diesem Bereich zahlreiche Ansatzmöglichkeiten für Maßnahmen. Deren Umsetzung ist jedoch teilweise mit einer längerfristigen Perspektive zu sehen, da dafür zum einen die Landnutzer und Landnutzerinnen überzeugt werden müssen und zum anderen waldbauliche Maßnahmen an sich einen längeren Umsetzungshorizont haben. Andere Maßnahmen könnten aber auch sofort wirksam werden. Mit den „Waldbewirtschaftungsrichtlinien für das Einzugsgebiet der Aist“ (Hochbichler et al., 2012) steht bereits eine äußerst fundierte Umsetzungsanleitung bezüglich forstlicher Maßnahmen zur Verfügung. Die Umsetzung dieses Konzeptes sowohl für das Einzugsgebiet der Aist wie auch für alle anderen Einzugsgebiete muss dringend forciert werden.

Die Maßnahmen können unterteilt werden in:

- Angepasster **forstlicher Wegebau**: Berücksichtigung der Erosionsgräben und Einbeziehung des Themas Erosionsschutz in die Planung, Anlage von Rohrdurchlässen wo notwendig, etc.
- **Dezentrale Maßnahmen** wie in Kapitel „Kleine bauliche Maßnahmen zum Sedimentrückhalt“ aufgelistet (z.B. Ableitungen in die Fläche, Versickerungsflächen, etc.)
- **Waldbauliche Maßnahmen**: Förderung und Forcierung von Plenterwirtschaft und Mischwäldern im Vergleich zu Altersklassenwäldern und Fichtenforsten; Entwicklung eines naturnahen Waldaufbaues mit einer ausreichenden Kraut- und Strauchschicht
- **Standortgerechter Gehölzstreifen an Gewässern und Erosionsgräben**: Fichtenforste die direkt in das Gewässerumland heranreichen oder Erosionsgräben säumen, sollten durch einen standortgerechten Wald mit mehrschichtigem Vegetationsaufbau ersetzt werden. Nur dadurch kann die übermäßige Erosion in diesen Bereichen hintangehalten werden.

Diesbezüglich gilt es in Zusammenarbeit mit den zuständigen Förder- und Beratungsstellen Umsetzungsprogramme zu entwickeln bzw. vorhandene Instrumentarien zu forcieren.

Großflächige Verbesserungsmöglichkeiten würden sich jedenfalls ergeben, wenn man die Zusammenarbeit mit den Verwaltungen der größeren Forstgüter suchen würde. Das Thema Versandung ist dabei jedenfalls in hohem Maße dazu angetan auch die Landnutzer und Landnutzerinnen von der Sinnhaftigkeit der Erosionsreduktion zu überzeugen, da es in deren ureigenstem Interesse liegt ihre Lebensgrundlage Boden zu erhalten. Dies gilt gleichermaßen für die Forst- wie auch für die Landwirtschaft.

Anwendungsbereiche allgemein:

- Forstlich bewirtschaftete Flächen in den Einzugsgebieten

Maßnahmenkategorie: Bewirtschaftung im Einzugsgebiet**D****Maßnahme: Maßnahmen im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung***Wirksamkeit:* Nachhaltige Maßnahme*Situierung:* Einzugsgebiet**D 2**

Auch im Bereich der Landwirtschaft sollten neben den bereits bestehenden Programmen (z.B. ÖPUL (Winterbegrünungen, etc.), Vertragsnaturschutzflächen, usw.) weitere erosionsmindernde Maßnahmen forciert werden. Die wichtigsten Punkte dabei sind:

- Schutz oder Schaffung eines ausreichenden Uferschutzstreifens an den Gewässern in agrarisch genutzten Bereichen.
- Forcierung einer Extensivierung der Gewässerumlandflächen durch Agrarumweltmaßnahmen und Vertragsnaturschutz, beispielsweise die Umwandlung von gewässernahen Ackerflächen in Grünland.
- Auszäunen der Gewässer aus Viehweiden um die Ufererosion zu reduzieren. Teilweise wurden bei der Begehung solche Situationen festgestellt (siehe Kapitel „Ursachen“ - Endbericht). Hier gilt es Gegenmaßnahmen zu setzen.

Vielfach sind diesbezüglich bereits geeignete Förder- und Umsetzungsinstrumentarien vorhanden, diese müssen aber auch gezielt genutzt werden (siehe dazu auch das Kapitel „Bewusstseinsbildung und Öffentlichkeitsarbeit“ - Endbericht).

Anwendungsbereiche allgemein:

- Landwirtschaftlich bewirtschaftete Flächen im Einzugsgebiet

Maßnahmenkategorie: Bewirtschaftung im Einzugsgebiet**D****Maßnahme: Maßnahmen im Bereich Straßen- und Wegebau sowie Infrastrukturerhaltung***Wirksamkeit:* Nachhaltige Maßnahme*Situierung:* Einzugsgebiet**D 3**

Auch der öffentliche Straßen- sowie ländliche Wegebau wurde als Erosionsquelle und auch als starker Verursacher für Erosionspfade identifiziert. Das Thema muss daher Eingang in das Bewusstsein der verantwortlichen Behörden und Umsetzungsstellen finden und in der Planung und Umsetzung berücksichtigt werden.

Mögliche Maßnahmen in diesem Bereich sind:

- Vermeidung von großen Geländeanschnitten bzw. ausreichender Erosionsschutz von offen liegenden Geländeanschnitten durch spezielle Ansaattechniken, sowie Kokos- oder anderweitige Mulchmatten.
- Keine direkte Einleitung von Straßenentwässerungen in Gräben an der hydraulischen Belastungsgrenze, deren zusätzliche Dotation zu einer übermäßigen Erosion führen würde.
- Keine direkten Einleitungen von Straßenwässern in die Fließgewässer.
- Planung und Anlage von kleinen, dezentralen Aussandungsbecken bei Straßengräben, oder die Versickerung der Wässer im Vorland bzw. Uferrandstreifen der Bäche und Flüsse.

Die Herstellung direkter und langer Verbindungen aus dem Einzugsgebiet mit dem Gewässer muss vermieden werden. Unterbrechungen der Begleitgräben und wenn möglich Ableitungen in die Fläche oder in Versickerungsbecken sind einzuplanen.

Anwendungsbereiche allgemein:

- Entlang des öffentlichen und forst- und landwirtschaftlichen Straßen- und Wegenetzes.

Maßnahmenkategorie / Maßnahme: Lokale Hochwasserschutzmaßnahmen

E

Neben den unterschiedlichen Maßnahmen zur Reduktion der Sandfrachten im Gewässer können stellenweise auch kleinere lokale Lösungen zu einer Verbesserung der Hochwassersituation beitragen.

Zu bedenken gilt es vor allem, dass im Bereich des Kristallins der Böhmisches Masse kleinere Abflüsse transportrelevant sind, als in den üblicherweise angewandten Regimegleichungen angenommen. Für die Regimebreite der Gewässer in diesem Bereich sind bereits Abflüsse um Mittelwasser ausschlaggebend (siehe Projektbericht).

Diese Maßnahmenkategorie wurde in zwei Teilmaßnahmen unterteilt:

- **Maßnahme E1: Kontrollen und Unterhaltungsmaßnahmen im Bereich hochwasserkritischer Sandablagerungen**
- **Maßnahme E 2: Lokale hydraulische Adaptierungen zum Hochwasserschutz**

Maßnahmenkategorie / Maßnahme: Lokale Hochwasserschutzmaßnahmen

Maßnahme: Kontrollen und Unterhaltungsmaßnahmen im Bereich hochwasserkritischer Sandablagerungen

Wirksamkeit: Sofortmaßnahme / Nachhaltige Maßnahme

E 1

Situierung: kleinräumig

Im Zuge der Kartierung wurden größere, in den Gewässern vorhandene, Sandablagerungen lokalisiert und ihre Hochwasserrelevanz für angrenzende Gebäude und Infrastruktureinrichtungen bewertet. Für die Anlandungen ist somit eine Planungsgrundlage hinsichtlich Kontroll- und Unterhaltungsaufwand vorhanden. Die relevanten Anlandungen sollten in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden. Gegebenenfalls sind Entnahmen durchzuführen. Für solche gelten die unter Punkt A erörterten Rahmenbedingungen.

Speziell aus Sicht der Ökologie sind übermäßige Entnahmen dort wo keine Hochwassergefährdung besteht, zu vermeiden.

Darüber hinaus soll dieses Wissen auch in die Maßnahmensituierung für etwaige Sedimententnahme (siehe Maßnahme A 1) eingebracht werden.

Anwendungsbereiche allgemein:

- Im Bereich bekannter Sandablagerungen (siehe Kartierungsergebnisse)

**Maßnahmenkategorie / Maßnahme: Lokale
Hochwasserschutzmaßnahmen****E****Maßnahme: Lokale hydraulische Adaptierungen zum Hochwasserschutz***Wirksamkeit:* Sofortmaßnahme / Nachhaltige Maßnahme*Situierung:* kleinräumig**E 2**

Bei der Kartierung konnten auch kleinräumige Problemstellen in Bezug auf Hochwasserschutz in Siedlungsbereichen lokalisiert werden. Dies betrifft vor allem Sandanlandungen (siehe Maßnahme E 1 und Kapitel „Kartierung“ - Endbericht) sowie beispielsweise ungünstige hydraulische Situationen in Brückenbereichen, die zu einer vermehrten Sandablagerung führen. Solche Bedingungen treten beispielsweise im Bereich der Straßenbrücke in Pregarten, bei der Brücke über die Große Gusen in Engerwitzdorf, oder auch im Bereich von Zissingdorf im Tal der Kleinen Gusen auf. Hier kann die Ausbildung einer Mittelwasserrinne bzw. etwas über Mittelwasser eine Verbesserung der Situation bringen. Die andere Möglichkeit wäre die hier derzeit ohnehin notwendigen Sandentnahmen in ein größer angelegtes Sedimentmanagement einzubetten.

Wie bereits angemerkt ist bei der Dimensionierung der Gerinne jedenfalls den individuellen Bedingungen durch das feine Geschiebe des Kristallins Rechnung zu tragen. Als Bemessungsereignis ist eine Mittelwasserführung bzw. etwas darüber heranzuziehen. Breitere Durchlässe ohne Berme führen durch die verringerten Schleppspannungen zu unerwünschten Ablagerungen.

Lokal können auch weitere Hochwasserschutzmaßnahmen notwendig werden. Dazu zählen Verbauungen, Dämme im Hinterland oder Objektschutzmaßnahmen. Grundsätzlich sind jedenfalls wenn möglich naturnahe Lösungen zu bevorzugen. Der Sedimenthaushalt eines Gewässers hat viel mit den Prozessen bei erhöhten Wasserführungen und Überflutungen zu tun und hängt damit vor allem von einem intakten Gewässer-Umland-Gefüge ab. Deshalb sind Lösungen die dem Gewässer mehr Platz zugestehen jedenfalls optimaler. Lokal notwendige technische Ansätze sind teilweise unvermeidbar, müssen jedoch sorgfältig abgestimmt werden.

Anwendungsbereiche allgemein:

- Bei bekannten lokalen Problemstellen
- Vor allem bei Brücken und in regulierten Bereichen

Maßnahmenkategorie / Maßnahme: Alternative Formen der fischereilichen Bewirtschaftung

F

Wirksamkeit: Sofortmaßnahme

Situierung: kleinräumig in Hauptfluss oder Zubringer

Diese Maßnahme, welche als alternative Form der fischereilichen Bewirtschaftung bezeichnet wird, ist als aktive Maßnahme der Laichplatzpflege anzusehen. Dieser Maßnahmentyp, bereits im Einzugsgebiet der Großen Mühl erfolgreich umgesetzt, beinhaltet eine jährliche mechanische Lockerung des mit Granitgrus bedeckten oder kolmatierten Sohlsubstrats (Abbildung 65a, b). Als Sofortmaßnahme sind die Arbeiten einfach und kostengünstig vor den Laichzeiten im Frühjahr und Herbst (bei Bedarf) umzusetzen. An der Großen Mühl zeigten vor allem die Äschen eine deutliche Reaktion auf die mechanische Lockerung des Sohlsubstrats an bekannten und theoretisch nutzbaren Laichplätzen (Abbildung 65c, d).



(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 65: Mechanische Bearbeitung versandeter (kolmatierter) Kieslaichplätze an der Gr. Mühl mit dem Ziel eine Lockerung des Kieses bzw. eine Reduktion der Feinanteile herbeizuführen, (c) und (d) adulte Äsche (*Thymallus thymallus*), männlich an einem durch mechanische Bearbeitung aufgelockerten Kieslaichplatz (Standort Berdlmühle, Gr. Mühl); Fotos (a) und (b) Bernd Keplinger.

Anwendungsbereiche allgemein:

- Speziell in Gewässern der Äschen- und Unteren Forellenregion

Maßnahmenkategorie / Maßnahme: Bewusstseinsbildung und Öffentlichkeitsarbeit

G

Wirksamkeit: Nachhaltige Maßnahme

Situierung: Einzugsgebiet / gesamte Region

Da das Thema Sediment ein kompliziertes Ursachen-Wirkungsgefüge aufweist und seine Betrachtung ganze Einzugsgebiete umfasst, ist für eine erfolgreiche Problemlösung die Sensibilisierung der unterschiedlichsten Akteure und Akteurinnen in den notwendigen Fachdisziplinen (z.B. Straßenbau, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei, Bewilligungsbehörden) und der Bevölkerung notwendig.

Bei Gesprächen während der Kartierungsarbeiten oder im Zuge von öffentlich veranstalteten „Flussdialogen“ hat sich gezeigt, dass bei vielen Anrainern und Anrainerinnen bereits ein deutliches Problembewusstsein vorhanden ist. Wichtig scheinen in diesem Bereich vor allem die Aus- und Weiterbildung von Land- und Forstwirten sowie von ausführenden und beratenden Behörden und Interessensvertretungen. Themen könnten beispielsweise die Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsweisen auf den Sedimenthaushalt oder auch erosionsarmer Straßen- und Wegebau sein.

Des Weiteren gilt es ohnehin in der Region tätige Institutionen wie die Natura 2000 - Gebietsbetreuungen oder auch die Verantwortlichen z.B. der Naturparks fachlich zu informieren und als Multiplikatoren zu nutzen.

Auch die Einbeziehung von Schulen beispielsweise bei Renaturierungsmaßnahmen kann die Förderung des Problembewusstseins und die Maßnahmenakzeptanz in der breiten Bevölkerung unterstützen.

Anwendungsbereiche allgemein:

- Speziell im Rahmen von Einrichtungen wie z.B. Natura2000 – Gebietsbetreuungen, Naturparks, etc.
- Fachübergreifend mit den unterschiedlichen in den Einzugsgebieten arbeitenden Dienststellen und Landnutzern und Landnutzerinnen

7. Literatur

- Altmüller, R., Dettmer, R. (2006): Erfolgreiche Artenschutzmaßnahmen für die Flussperlmuschel *Margaritifera margaritifera* L. durch Reduzierung von unnatürlichen Feinsedimentfrachten in Fließgewässern. Erfahrungen im Rahmen des Lutterprojektes. - In: NLWKN (2006): Beiträge zum Fließgewässerschutz III – Erfolgreicher Arten- und Biotopschutz in Heidebächen. – Inform.d. Naturschutz Niedersachs. 26 (4), 192 - 204.
- Ashmore, P., Church, M. (2001): The impact of climate change on rivers and river processes in Canada, Geological Survey Of Canada 555. Ottawa. 58 S.
- BMLFUW (Hrsg.) (2010): Leitfaden zur hydromorphologischen Zustandserhebung von Fließgewässern, Wien, 71 S. + Anhang.
- Cline, L. D., Short, R. A. & J. V. Ward. (1982): The influence of highway construction on the macroinvertebrates and epilithic algae of a high mountain stream. *Hydrobiologia* 96: 149–159.
- Culp, J. M., Davis, R. W. (1985): Responses of benthic macroinvertebrate species to manipulation of interstitial detritus in Carnation Creek, British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42:139–146.
- Eriksen, C. H. (1966): Ecological significance of respiration and substrate for burrowing Ephemeroptera. *Canadian Journal of Zoology* 46:93–103.
- Erman, D. C., Ligon, F. K. (1988): Effects of discharge fluctuation and the addition of fine sediment on stream fish and macroinvertebrates below a water-filtration facility. *Environmental Management* 12:85–97.
- Habersack, H., Bürgel, J., Kanonier, A. (2009): FloodRisk II: Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement, Synthesebericht, BMLFUW. 274 S.
- Hauer, C. (2011): Leitbildbezogene Strukturierung der Großen Mühl als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel. Studie im Auftrag des Fischereirevier Rohrbach. 36 S.
- Hauer, C. (2012): Monitoring von Leitbildbezogenen Strukturierungsmaßnahmen an der Gr. Mühl. Studie im Auftrag des Fischereireviere Rohrbach. 11 S.
- Hauer, C., Holzapfel, P., Habersack, H. (2013): Überprüfung der Möglichkeiten zum Geschieberückhalt an der Naarn flussauf der Freibadanlage Perg / O.Ö., Studie im Auftrag der Oberösterreichischen Landesregierung. 32 S.
- Hauer, C. (2015): Review of hydro-morphological management criteria on a river basin scale for preservation and restoration of freshwater pearl mussel habitats. *Limnol. - Ecol. Manag.*

- Inland Waters, The current status and future challenges for the preservation and conservation of freshwater pearl mussel habitats 50, 40–53.
doi:10.1016/j.limno.2014.11.002
- Hjülström, F. (1935): The morphological activity of rivers as illustrated by river Fyris. Bulletin of Geological Institute, 25.
- Hochbichler, E., Jakl, R., Ettmayer, C., Raschka, M. (2012): Waldbewirtschaftungsrichtlinien für das Einzugsgebiet der Aist. Institut für Waldbau, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur. - im Auftrag des Hochwasserschutzverbandes Aist, Wien, 140 S.
- Höfler, S., Csar, D. Gumpinger, H., Schmidt, Necker, R. (2014): Managementplan für das FFH-Gebiet 7043-372 „Wolfertsrieder Bach“. - Im Auftrag der Regierung von Niederbayern, Sachgebiet Naturschutz, Wels, 66 S.
- Höfler S., Gumpinger, C. (2014): Erhebung der Feinsedimentbelastung in oberösterreichischen Alpenvorland-Gewässern - Inklusive Literaturstudie zum Thema Feinsediment in Gewässerökosystemen. - Im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Oberflächengewässerswirtschaft, Wels, 106 S. + Anhang.
- Kellerhals, R. (1967): Stable Channels with Gravel-Paved Beds. J. Waterw. Harb. Div. 93, 63–84.
- LAWA (2000): Arbeitskreis Gewässerbewertung - Fließgewässer: Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland: Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer. Kulturbuch-Verlag, Schwerin.
- Leitner, P., Hauer, C., Ofenböck, T., Pletterbauer, F., Schmidt-Kloiber, A., Graf, W. (2015): Fine sediment deposition affects biodiversity and density of benthic macroinvertebrates: A case study in the freshwater pearl mussel river Waldaist (Upper Austria). Limnol. - Ecol. Manag. Inland Waters, The current status and future challenges for the preservation and conservation of freshwater pearl mussel habitats 50, 54–57.
doi:10.1016/j.limno.2014.12.003
- Leopold, LB., Wolman, MG., Miller, JP. (1964): Fluvial processes in geomorphology. Freeman, San Francisco, CA.
- Leopold, L., Maddock, T. (1953): The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. Y Rep.
- Montgomery, D.R., Buffington, J.M. (1997): Channel-reach morphology in mountain drainage basins. Geological Society American Bulletin, 109, 596-611.

- Neuhöf, C., Stanzel, P., Nachtnebel, H.P. (2009): Incorporating river morphological changes to flood risk assessment: uncertainties, methodology and application. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 789–799.
- Nixon, M., LACEY, INGLIS (1959): A Study of the bank-full discharges of rivers in England and Wales. *ICE Proc.* 12, 157–174. doi:10.1680/iicep.1959.12123
- Ofenböck, T. (1997): FLUP - Flußperlmuschel-Schutzprojekt Oberösterreich. Pilotstudie an der Waldaist. - i.A. der Oberösterreichischen Umweltschutzbehörde Linz, Unveröffl. Gutachten, Wien, 122 S.
- Ofenböck, T., Graf, W. & Leitner, P. (2008): Eurolimpacs - Deliverable No. 224. Report - Effect of siltation on mountain rivers (Task 2.2).
- Ofenböck, T., Moog, O., Hartmann, A. & Stubauer, I. (2010): Leitfaden zur Erhebung der Biologischen Qualitätselemente, Teil A2 – Makrozoobenthos. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. 211 S.
- Rosenberg, D. M., Wiens, A. P. (1978): Effects of sediment addition on macrobenthic invertebrates in a northern Canadian stream. *Water Research* 12:753–763.
- Waters, T.F. (1995): *Sediment in Streams: Sources, Biological Effects, and Control.* - American Fisheries Society, 251 S.
- Wood, P. J., Armitage, P. D. (1997): Biological effects of fine sediment in the lotic environment. - *Environ. Management* 21: 203-217.