



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

Masterarbeit

Verbesserung des hydromorphologischen Zustands der steirischen Mur basierend auf historischen Erkenntnissen

verfasst von

Tanja SCHACHNER, BSc

im Rahmen des Masterstudiums

Umwelt- und Bioressourcenmanagement

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Wien, Mai 2022

Betreut von:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Stefan Schmutz

Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz, noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Wien, 13.05.2022

Tanja SCHACHNER (eigenhändig)



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

Masterarbeit

Verbesserung des hydromorphologischen Zustands der steirischen Mur basierend auf historischen Erkenntnissen

verfasst von

Tanja SCHACHNER, BSc

im Rahmen des Masterstudiums

Umwelt- und Bioressourcenmanagement

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Wien, Mai 2022

Betreut von:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Stefan Schmutz

Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Severin Hohensinner

Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement

Will man die Natur und Kultur im Zusammenspiel mit Land und Leuten kennenlernen, so folgt man am besten Flüssen, in diesem Fall der Mur, wo sich vom Menschen Geschaffenes und wunderschöne Natur in vielfachen Perspektiven und Facetten begegnen.

Johann Tschmuck, Knittelfeld, 2020

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Besondere Dank gilt meinem Betreuer DI Dr. Severin Hohensinner, der mir mit seiner fachlichen Kompetenz und Freundlichkeit stets zur Seite stand.

Ein herzliches Danke an meine Familie, ohne deren mentale und finanzielle Unterstützung ich dieses Ziel nie erreicht hätte, sowie an meine Freunde und Kollegen, die mich durch die Studienzeit begleitet haben.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	i
Danksagung.....	iv
Inhaltsverzeichnis	v
Kurzfassung	vii
Abstract.....	viii
1. Einleitung und Problemstellung	1
1.1. Stand der Forschung	2
2. Zielsetzung und Aufgabenstellung	5
3. Charakterisierung des Murtals und geschichtlicher Hintergrund	7
3.1. Naturräumlicher Überblick	8
3.1.1. Projektgebiet	8
3.1.2. Geologie.....	9
3.1.3. Klima und Niederschlag.....	10
3.1.4. Hydrologie	11
3.1.5. Fischökologisches Leitbild	13
3.2. Historische Entwicklung.....	14
3.2.1. Siedlungsentwicklung	15
3.2.2. Die Mur in Karten	17
3.2.3. Regulierungen der Mur	19
3.3. Ist-Zustand	21
3.3.1. FFH-Richtlinie und Schutzgebiete.....	23
3.4. LIFE-Projekte „Murerleben“	24
3.4.1. Maßnahmen im Untersuchungsabschnitt	25
4. Methodik.....	35
4.1. Datengrundlagen	35
4.1.1. Georeferenzierung der digitalen Karten.....	35
4.1.2. Die regressiv-iterative GIS-Rekonstruktion.....	36
4.2. Auswertung der GIS-Karten	37
4.2.1. Gewässertypen (aquatische Makrohabitate)	38
4.2.2. Sinuosität.....	39
4.2.3. Mittlere Breite	40

4.2.4.	Anbindung der Nebenarme	40
4.2.5.	Wassertiefen.....	40
4.2.6.	Geländehöhen.....	42
4.2.7.	Auswertung des Verlandungsrisikos von Nebenarmen	42
5.	Ergebnisse.....	44
5.1.	Gewässertypen (Makrohabitate)	44
5.2.	Sedimentflächen und Inseln	47
5.3.	Sinuosität und Migration.....	48
5.4.	Mittlere Breite.....	49
5.5.	Anbindungen von Nebengewässern.....	51
5.6.	Wassertiefen.....	51
5.7.	Geländehöhen	52
5.8.	Verlandungsrisiko von Nebenarmen.....	55
6.	Diskussion der Ergebnisse.....	60
6.1.	Typische flussmorphologische Strukturen.....	60
6.2.	Hydromorphologische Veränderungen im Vergleich	61
6.3.	Verlandung neu angelegter Nebenarme	64
6.4.	Grenzen bei der Verwendung historischer Daten	65
7.	Potenzielle Maßnahmen zur Verbesserung des morphologischen Zustands.....	67
7.1.	Maßnahmentypen.....	67
7.2.	St. Michael	68
7.3.	St. Stefan	77
7.4.	Maßnahmenübersicht	81
8.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	83
	Literaturliste.....	85
	Abbildungsverzeichnis.....	90
	Tabellenverzeichnis	93
	Anhang.....	94

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde der historische flussmorphologische Zustand der steirischen Mur zwischen Fischening und Leoben anhand der „Großen Murstromkarte“ um 1812 mittels ArcGIS Pro digitalisiert und mit dem aktuellen Zustand verglichen. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf das Verlandungsrisiko von Nebenarmen gelegt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich zwar die Sinuosität und der als „gewunden“ einzustufende Flusstyp der Mur nicht verändert haben, der Anteil an verzweigten Strecken hat sich jedoch von 28% auf 10% verringert. Gewässertypen (Makrohabitate) wie Nebenarme, dynamische Altarme und Totarme haben nicht nur quantitative Rückgänge zwischen jeweils 74% und 94% zu verzeichnen, sondern weisen nun auch einen wesentlich geringeren prozentuellen Anteil gegenüber dem Hauptarm auf. Durch die Regulierung wurde auch die mittlere Breite des aktiven Gerinnes um rund 31% reduziert, die Flusssufer sind nun stabilisiert und signifikant höher als im historischen Referenzzustand. Dynamische Laufverlagerungen (laterale Ufermigration) an Flussbögen, die einst im Mittel 2,6 m pro Jahr ausmachten, sind nicht mehr möglich. Aktuell besteht für 61% der Nebenarme das Risiko, in den nächsten Jahren zu verlanden. Dies betrifft auch alle der im Zuge des LIFE+ Projekts „murerleben“ geschaffenen Nebenarme. Diese Erkenntnisse berücksichtigend werden Vorschläge für weitere adaptierte Restauration der Mur erstellt. Dabei werden Maßnahmen präferiert, die eine eigendynamische Erneuerung flusstypischer Habitate ermöglichen.

Abstract

As part of this master's thesis, the historical morphological conditions of the Styrian Mur River between Fischen and Leoben was digitized with ArcGIS Pro, using the "Great Murstromkarte" from around 1812. The results were then compared with the current conditions. Particular attention was paid to the risk of side arms silting up. The results show that although the sinuosity and the "sinuous" river type of the Mur have not changed, the proportion of branched stretches has decreased from 28% to 10%. Waterbody types (macrohabitats) such as side arms, dynamic backwaters, and isolated backwaters have not only experienced quantitative declines between 74% and 94% each, but also have a significantly lower percentage share compared to the main channel. Channelization has also reduced the mean width of the active channel by about 31%, the river banks are now stabilized and significantly higher than in the historical reference condition. Dynamic channel shifting (lateral bank migration) at river bends, which once averaged 2.6 m per year, is no longer possible. Currently, 61% of the side arms are at risk of silting up in the next few years. This also applies to all the side arms created in the course of the LIFE+ project "murerleben". Taking these findings into account, proposals for further adapted river restoration of the Mur are made within this thesis. Preference is given to measures that enable the self-dynamic renewal of typical river habitats.

1. Einleitung und Problemstellung

Flussökosysteme wurden seit hunderten von Jahren und besonders in den letzten Jahrzehnten in immer größerem Maßstab verändert. Flusslandschaften wurden umgestaltet, um intensive Landwirtschaft und industrielle Nutzung zu ermöglichen. Das Tempo und das Ausmaß der Änderungen und Regulierungen von Flüssen spiegeln sich im Ausmaß der Auswirkungen auf die aquatische Flora und Fauna wider (Schmutz und Sendzimir, 2018). Der weltweit steigende Wasserbedarf hat zu einem Konflikt zwischen der Nutzung von Flüssen als Wasser- und Energiequelle und der Notwendigkeit geführt, Flüsse als intakte Ökosysteme zu erhalten (Zeiringer et al., 2018). Der systematische Gewässerausbau, beginnend in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, hatte auch für die Mur eine Veränderung des Flusslaufs zur Folge. Ursprünglich prägten das Gewässer vielfältige flusstypische Elemente wie Seitenarme, Altarme, Sedimentbänke und bewachsene Inseln. Die Mur wurde durch die Regulierung über weite Strecken in ihrer Dynamik eingeschränkt, Nebenarme wurden abgeschnitten und für die landwirtschaftliche Bodennutzung trockengelegt. Die ersten Veränderungen waren vor allem lokale Maßnahmen, die in ihrem Umfang über die Jahre größer wurden. Die ersten größeren Projekte waren bereits Ende des 18. Jahrhunderts in Planung. Darüber hinaus hat der Bau von Wasserkraftwerken die Gewässerdurchgängigkeit und den Sedimenttransport beeinflusst (Paar and Turk, 2015). Das erste Kraftwerk zur Stromerzeugung wurde bereits 1895 in Niklasdorf errichtet und über die Jahre wurden immer mehr Wasserkraftanlagen gebaut. Heute sind an der Mur 29 Kraftwerke in Betrieb (Mein Alpenstrom GmbH, n.d.). Diese Veränderungen führten zur Entkopplung der Mur von ihrem Umland und Nebenbächen, zu einer Zurückdrängung flussbegleitender Auwälder, zum Verlust der Fließgewässerdynamik und somit zu einem starken Rückgang von wertvollen Lebensräumen für Fische, Amphibien und Vögel (Paar and Turk, 2015). Um diesen Entwicklungen entgegenzuwirken, wurden in den vergangenen Jahren im Rahmen von LIFE+ Projekten an mehreren Gewässerabschnitten der Mur Maßnahmen zum Erhalt der Artenvielfalt, zur dynamischen Gewässerentwicklung, sowie zur Verbesserung des passiven Hochwasserschutzes gesetzt (BMLFUW, 2017). Bei einigen der gesetzten Maßnahmen zeigte sich jedoch, dass nicht alle Strukturen auch langfristig bestehen können und eine Verlandungstendenz erkennbar ist. Um diesen Problemen genauer auf den Grund gehen zu können, wurde im Rahmen dieser Arbeit die aktuelle Situation der Mur mit historischen Daten verglichen. Die Verwendung historischer Grundlagen konnte sich in den vergangenen Jahren im Gewässermanagement zunehmend etablieren und basiert auf der

Annahme, dass es die Rekonstruktion der historischen Verhältnisse ermöglicht, den Zustand eines Gewässers vor systematischen Regulierungsmaßnahmen zu beschreiben (Haidvogel et al., 2011). Da weitgehend unbeeinflusste Flusslandschaften in Mitteleuropa kaum mehr zu finden sind, können manche der zu berücksichtigenden Merkmale bei Revitalisierungen an mittleren und großen Flüssen auf Grund der stark anthropogen veränderten Verhältnisse heute nicht mehr untersucht werden. Es muss in diesem Fall auf historisches Kartenmaterial zurückgegriffen werden (Drescher, 2016). Durch diesen Vergleich zwischen den historischen und aktuellen Daten können Veränderungen aufgezeigt werden und sollen in dieser Arbeit vor allem zur Analyse der Gewässermorphologie dienen. In den vergangenen Jahren wurden schon an mehreren österreichischen Flüssen Forschung mit historischen Quellen durchgeführt. Es wurden Rekonstruktionen der Landnutzung und Flusslandschaft durchgeführt, wie zum Beispiel an der Traisen (Haidvogel et al., 2018). Bei Projekten an Möll, Lech und Kamp lag der Fokus auf der Rekonstruktion der hydromorphologischen Verhältnisse (Haidvogel et al., 2011). Die wohl umfangreichsten Forschungsarbeiten wurden für die Donau-Flusslandschaft durchgeführt (Hohensinner et al., 2014, 2013, 2005). Für die Stadt Wien konnten Rekonstruktionen des historischen Landschaftswandels erstellt werden, die bis ins 16. Jahrhundert zurückreichen (Zentrum für Umweltgeschichte, 2019). Für die Mur wurde eine solche Rekonstruktion noch nicht durchgeführt. Bei der Erforschung der Morphologie der steirischen Mur liegt der Schwerpunkt meist auf dem Fluss, um und flussab von Graz bis Slowenien (Aurenhammer, 2016; Drescher, 2018, 2016) oder auf der oberen Mur bis Murau (Badura et al., 2007; Preis et al., 2001). Für diese Arbeit wurde der Abschnitt der Mur zwischen Fischening und Leoben gewählt, der eine hydrologisch weitgehend unbeeinflusste Strecke ohne Kontinuumsunterbrechung darstellt, wie sie in dieser Ausprägung bei großen Flüssen in Österreich mittlerweile sehr selten ist (Drescher, 2016; Schmutz, 2020). Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich erstmalig mit der hydromorphologischen Entwicklung der Mur zwischen 1812 und 2020. Um den Zustand in diesem Abschnitt zu erhalten und weiter zu verbessern, werden im Rahmen dieser Arbeit zudem Restaurationsmaßnahmen vorgestellt, die auf der Analyse des historischen Zustandes aufbauen.

1.1. Stand der Forschung

Für den untersuchten Abschnitt der Mur zwischen Fischening und Leoben gibt es keine vergleichbaren Forschungen, mit denen die nachfolgend postulierten Hypothesen argumentiert

werden können. Aus diesem Grund werden hier die generellen Erkenntnisse zu anthropogen veränderten Flusslandschaften dargestellt, auf denen die Hypothesen dieser Arbeit aufbauen.

Die Industrialisierung der Flüsse erfolgte schrittweise und mit zunehmendem Tempo. Zusammen mit der Nutzung durch den Menschen nahmen die daraus resultierenden ökologischen Auswirkungen exponentiell zu. Flüsse, wie auch die Mur, wurden zuerst für die Schifffahrt reguliert und später, um Hochwasserschäden in Siedlungsräumen und landwirtschaftlichen Flächen zu verringern. Großflächige Hochwasserschutzmaßnahmen, oft in Verbindung mit Wasserkraftanlagen, führten zu einer hydrologischen Abtrennung regelmäßig überfluteter Gebiete vom jeweiligen Hauptgewässer und wertvolle aquatische Habitate gingen verloren (Drescher, 2016; Haidvogel, 2018). Im Gegensatz zu Hochwasserschutzdämmen im Hinterland schränken solche, die direkt an Flussufern liegen, sowohl morphologisch als auch hydrologisch die Flussdynamik ein (Hohensinner et al., 2018). Des Weiteren führte die Errichtung von Querbauwerken im 20. Jahrhundert zu einer bedeutenden Störung des longitudinalen Feststofftransports und einer Unterbrechung des Längskontinuums für die Migration aquatischer Organismen (Hauer et al., 2016; Hohensinner et al., 2018). Aus flussmorphologischer Sicht sind der Transport, die Umlagerung und Sedimentation sowie Remobilisierung von Feststoffen im Fluss und der Austausch (Ein- und Austrag) mit dem Umland natürliche Phänomene eines sich im dynamischen Gleichgewicht befindenden Fließgewässers. Neben den wasserbaulichen Aspekten in den Bereichen Böschungen und Sohle ist das fehlende Sedimentkontinuum im alpinen Raum als wesentlich für die Verschlechterung des ökologischen Zustandes der betroffenen Fließgewässer anzusehen (Hauer et al., 2016). Ist die Strömung für die verfügbare Sedimentfracht zu hoch, beginnt der Fluss sein Defizit durch Erosion des Flussbetts auszugleichen. Eine Eintiefung des Flusses stromabwärts des Damms ist die Folge (Patt, 2016; Hohensinner et al., 2018). Neben dem Trockenfallen von Augewässern und dem Verlust (semi)aquatischer Habitate macht sich dies primär in zunehmend vergrößerten Flurabständen, dem Höhenunterschied zwischen Geländeoberkante und Grundwasserspiegel, im Augebiet bemerkbar. Damit verringern sich auch laufend potenzielle Standorte für nasse, feuchte oder frische Auwaldgesellschaften (Hohensinner und Jungwirth, 2016). Typische, für Pflanzen- und Tiergesellschaften negative Folgen sind die Reduktion der ursprünglichen Habitatkomplexität und Habitatverfügbarkeit nicht nur in den Uferbereichen, sondern auch im Fluss selbst (Jansson et al., 2000). Dementsprechend sind deutliche Unterschiede in der Artenzusammensetzung und -häufigkeit im Vergleich zu naturbelasseneren Standorten festzustellen (Hohensinner et al., 2018).

Eine Studie von Surian (1999) über den Piave in Oberitalien zeigt weitere Auswirkungen der Stabilisierung von Flüssen. Die Analyse historischer Karten und Luftaufnahmen ergab eine Abnahme der Gerinnebreite, der Sinuosität und eine Absenkung des Flussbettes. Dies ist außerdem verbunden mit einer Änderung des Flusslaufes von verzweigt zu pendelnd (gewunden) und dem Rückgang von Nebenarmen. Durch Buhnen und verbaute Uferstrukturen wurde der Fluss dazu gezwungen, einen schmaleren und weniger beweglichen Kanal beizubehalten, und dabei die Ufererosion zu verringern. Diese Entwicklung konnte in Österreich auch an der Donau festgestellt werden. Seit Anfang des 19. Jahrhunderts wurde der einst strukturreiche Fluss zu einem Hauptgerinne verengt und die Sinuosität des Hauptarms verringerte sich z.B. im Machland bis 1925 von 1,32 auf 1,08 (Hohensinner et al., 2004). Drescher (2016) beschreibt, dass außer der Donau auch andere größere Alpenflüsse wie Inn, Drau, Gail, Salzach, Enns, sowie die Mur von diesen Problemen betroffen sind. An der Grenzmur im Speziellen konnte ebenfalls eine Reduktion der Breite des Hauptarmes und eine Eintiefung des Flusses festgestellt werden (Drescher, 2018).

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, anhand von historischen Daten, flussmorphologische Defizite aufzuzeigen. Darauf aufbauend sollen bereits vollendete Restaurationsprojekte besser beurteilt und neue ökologisch orientierte Maßnahmen erarbeitet werden. Dazu wurde die historische Situation der steirischen Mur zwischen Fising und Leoben, beginnend mit dem Zeitraum um 1812 (1809-1815) vor Beginn der Murregulierungen, rekonstruiert. Anhand der Rekonstruktion wurden zahlreiche flussmorphologische Charakteristika und Parameter für die Intensität menschlicher Eingriffe in die Gewässerlandschaft erhoben. Hierfür wurden die historischen Karten mit Hilfe folgender hydromorphologischer Parameter auf verschiedenen räumlichen Ebenen analysiert und die Ergebnisse graphisch dargestellt.

- Verteilung von Gewässertypen
- Veränderung der Breiten des aktiven Gerinnes
- Anbindungen von Nebenarmen
- Laufentwicklung (Sinuosität)
- Variabilität der Wassertiefen
- Variabilität der Geländehöhen
- Analyse der Verlandungsgefährdung von Nebenarmen

All diese Parameter wurden sowohl für die Situation um 1812 als auch für das Jahr 2020 erhoben und anschließend verglichen. Durch diese vergleichende Analyse kann die Veränderung der Flussmorphologie der Mur im Detail dargestellt werden. Der Arbeit liegen primär drei Forschungsfragen zugrunde:

1. Welche flussmorphologischen Strukturen waren typisch für die Mur vor ihrer Regulierung?

H1.1: Die historische Mur war geprägt von abschnittswisen Flussverzweigungen (Anbindungen von Nebengewässern). Sedimentinseln in Haupt- und Nebenarmen zählten zu den typischen Flusstrukturen.

H1.2: Geringe Uferhöhen ermöglichten bereits bei leicht erhöhter Wasserführung Überflutungen der Uferzonen.

2. Welche flussmorphologischen Veränderungen sind aktuell an der Mur im Vergleich zum historischen Zustand um 1812 nachweisbar?

H2.1: Die typischen Flussstrukturen wurden durch anthropogene Eingriffe stark reduziert. Es kam zu einer flächigen Verringerung von aquatischen Habitaten (Gewässertypen) wie Nebenarmen oder Totarmen sowie von Sedimentbänken und Inseln.

H2.2: Aufgrund von Begradigungsmaßnahmen hat die Mur seit 1812 an Sinuosität verloren.

H2.3: Durch Ufersicherungen kam es zu einer Verringerung der mittleren Gerinnebreite und der Variabilität der Breiten des aktiven Gerinnes.

H2.4: Die Errichtung zahlreicher Querbauwerke flussauf des untersuchten Murabschnittes führte zu einer Eintiefung des Flusses und einer daraus resultierenden Zunahme der Uferhöhen, was zur Homogenisierung und Stabilisierung des Flussbetts führte.

3. Wie ist die langfristige Funktionsfähigkeit bereits durchgeführter Restaurationsmaßnahmen zu bewerten?

H3.1: Es besteht die Gefahr der Verlandung von bestehenden und neu angelegten Nebenarmen. Diese kommt aufgrund von ungünstigen Einströmungswinkeln, Längenverhältnissen zwischen Haupt- und Nebenarm, sowie der Lage der Nebenarme zustande.

3. Charakterisierung des Murals und geschichtlicher Hintergrund

Die Mur ist mit einem Einzugsgebiet von 13.824 km² der größte Nebenfluss der Drau, die ihrerseits einen der wichtigsten Zuflüsse der Donau bildet (Cede, 1989). Sie entspringt im Salzburger Lungau in einer Höhe von ca. 1950 m Seehöhe (Brilly et al., 2012). Die Mur durchfließt Österreich, Slowenien, Kroatien und Ungarn und bildet in Teilen ihres Verlaufs die Grenze zwischen diesen Staaten (Habsburg-Lothringen, 2018). Sie fließt zunächst in östlicher und nordöstlicher Richtung, ab Bruck an der Mur fließt sie nach Süden, durch Graz und an Spielfeld vorbei bis zur österreichisch-slowenischen Grenze. Entlang der Grenze fließt sie bis Radkersburg, anschließend durch Slowenien und entlang der slowenisch-kroatischen Grenze bis zur kroatisch-ungarischen Grenze und an dieser entlang, worauf sie bei Legrad auf einer Höhe von 130 m ü. A. als linker Zufluss in die Drau mündet. Entlang des Flusslaufs durchquert die Mur verschiedene Höhenstufen, die als Längsschnitt der Mur in Abbildung 1 dargestellt sind. Ihre Gesamtlänge beträgt 468,8 km, davon 325,5 km in Österreich und 33,5 km entlang der österreichisch-slowenischen Grenze.

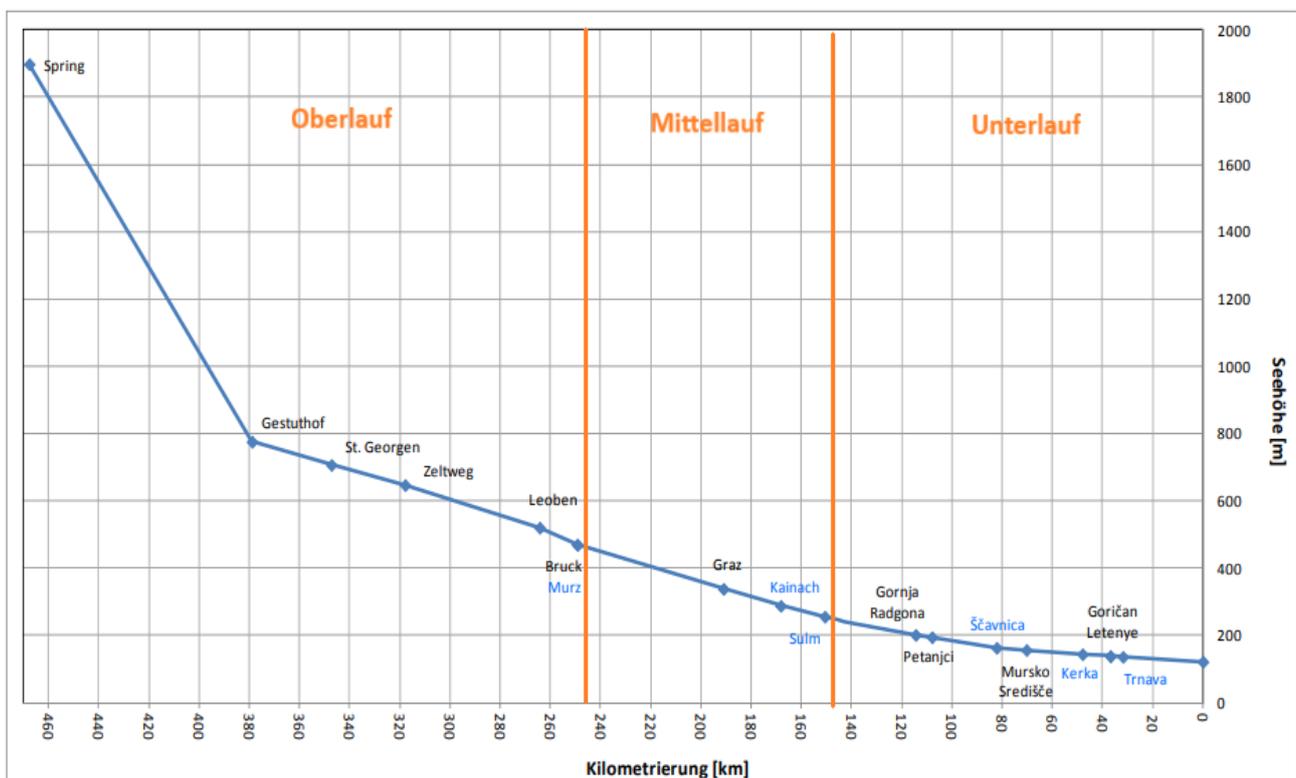


Abbildung 1: Längsschnitt der Mur vom Ursprung bis zur Mündung, Zubringer in Blau, eingeteilt in Ober-, Mittel- und Unterlauf (verändert nach Brilly et al., 2012)

Gemäß den topographischen, morphologischen und hydrologischen Eigenschaften wurde das Einzugsgebiet in drei Bereiche eingeteilt (siehe Abbildung 1):

- Der Oberlauf umfasst den alpinen Bereich, beginnend in einer Seehöhe von 470 m ü. A., und reicht vom Ursprung der Mur in den Salzburger Alpen bis zur Einmündung der Mürz in der Steiermark.
- Der Mittellauf der Mur umfasst das Einzugsgebiet zwischen der Mürz und der Sulm, die in Leibnitz in die Mur fließt.
- Der Unterlauf beginnt ab der Einmündung der Sulm und reicht bis zur Mündung der Mur in die Drau.

Der Oberlauf und der mittlere Abschnitt des Einzugsgebiets umfassen alpines Berg- und Hügelland am Übergang zur pannonischen Tiefebene; beide befinden sich vollständig in Österreich (Brilly et al., 2012). Vom Ursprung bis Graz fließt die Mur mit einem durchschnittlichen Gefälle von 5,9‰, wobei im Oberlauf das größte Gefälle mit über 35‰ zu verzeichnen ist. Von Graz bis zur Mündung verringert sich das Gefälle auf durchschnittlich 1,2‰ (Cede, 1989).

3.1. Naturräumlicher Überblick

Im folgenden Kapitel sollen die wichtigsten Aspekte der Flusslandschaft Mur und im Besonderen die des in dieser Arbeit untersuchten Abschnitts beschrieben werden.

3.1.1. Projektgebiet

Der untersuchte Abschnitt der Mur befindet sich im Oberlauf der Mur und beginnt im Steirischen Murtal bei Fischening und endet in Leoben. Der Mur-Abschnitt liegt zwischen Flusskilometer 317,1 und 263,1 und ist somit 54 km lang. Die geographische Lage kann auf der Karte in Abbildung 2 nachvollzogen werden. Die Mur befindet sich in diesem Abschnitt in der Fischregion „Hyporithral“ (BMLRT, 2020a).

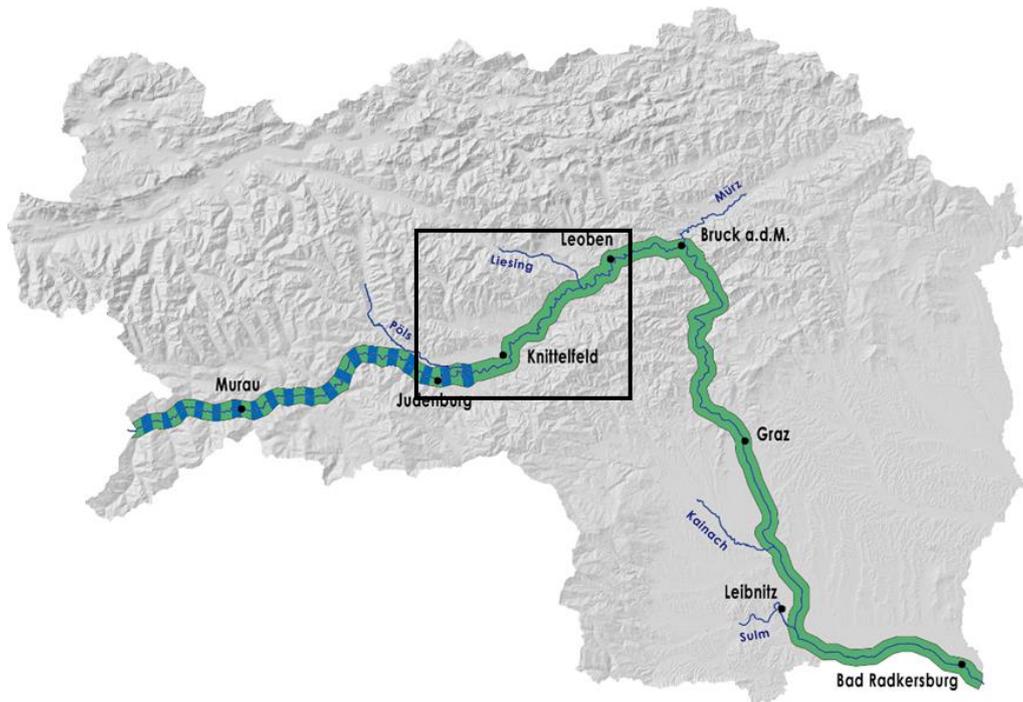


Abbildung 2: Untersuchter Abschnitt der Mur, markiert mit schwarzem Rechteck. Grundlage: Biologische Gütebildkarte 2005, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, blau-grün: Güteklasse I-II, grün: Güteklasse II (verändert nach Universalmuseum Joanneum, 2018)

3.1.2. Geologie

Im oberen Murgebiet durchfließt die Mur zunächst die Zentralalpen. Das genannte Gebiet ist Teil der inneralpiner Mur und reicht von der Landesgrenze zu Salzburg bis in den Raum Leoben. Die vorherrschenden Talformen sind Sohlen- und Kerbtäler (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2014). Im Bereich Aichfeld-Murboden verlässt die Mur das Gebiet des einstigen gewaltigen Murgletschers, der in der letzten Eiszeit (Würm) von seinem Ursprung im Lungau bis 2 km westlich von Judenburg reichte. Die dort gebildeten Endmoränen zogen mächtige Schottermassen talwärts und vollzogen große Aufschüttungen bis in das Knittelfeld-Judenburger-Becken (auch: Aichfeld). Hier befindet sich auch das größte tertiäre Senkungsfeld der sogenannten Norischen Furche mit einer Fläche von 120 km². Die letzte Eiszeit legte noch einen gewaltigen Moränenwall mit einer Maximalhöhe von 86 m über die Mur (Suppan, 1984). Das Geschiebe des Murgletschers besteht vorwiegend aus sandig-tonigem und schluffigem Material mit Kieslinsen und stammt zum Großteil aus den Niederen Tauern (Preis et al., 2001). Weiter flussab im Mürztal streift die Mur die Grauwackenzone und durchbricht ab Bruck das Steirische Randgebirge und das Grazer Bergland der Zentralalpenzone. Das außeralpine Murgebiet umfasst das Steirische Becken, welches als Teil

des pannonischen Senkungsfeldes von diesem, durch die südburgenländische Schwelle, getrennt ist. Ab Graz durchfließt die Mur die breiten Sohllentäler des Grazer-, Leibnitzer-, Murecker- und Radkersburger-Feldes. Die vorherrschenden Talformen sind Sohlen- und Kerbtäler. An Flusstypen findet man gestreckte, pendelnde, gewundene, sowie mäandrierende Formen (Formatti, 2008).

3.1.3. Klima und Niederschlag

Der nördliche Teil des Einzugsgebiets der Mur weist die höchsten Niederschlagssummen auf, im Durchschnitt mehr als 1000 mm/Jahr. Grundsätzlich nimmt die Jahresniederschlagsmenge flussabwärts ab. Die mittlere Niederschlagssumme im Einzugsgebiet der Mur beträgt ca. 920 mm/Jahr. Der gebirgige Teil im oberen Einzugsgebiet weist die höchsten Niederschlagssummen auf, überdurchschnittliche Niederschlagsmengen fallen auch im bergigen Bereich westlich von Graz. Nachdem die Mur in das Flachland Sloweniens, Kroatiens und Ungarns übergeht, sinken die Niederschlagssummen stark ab (Brilly et al., 2012). In der Klimaregion Knittelfeld-Judenburger Becken kann das Klima als kontinental geprägtes Beckenklima bezeichnet werden. Es ist wintertrocken und schneearm. Wie in Abbildung 3 ersichtlich ist, erreicht der Niederschlag im Jänner mit ca. 40 mm sein Jahresminimum. Die Temperatur beträgt im Jahresmittel 6,3°C, es können jedoch Tagesschwankungen von 11,6°C auftreten (Sammelrock, n.d.).

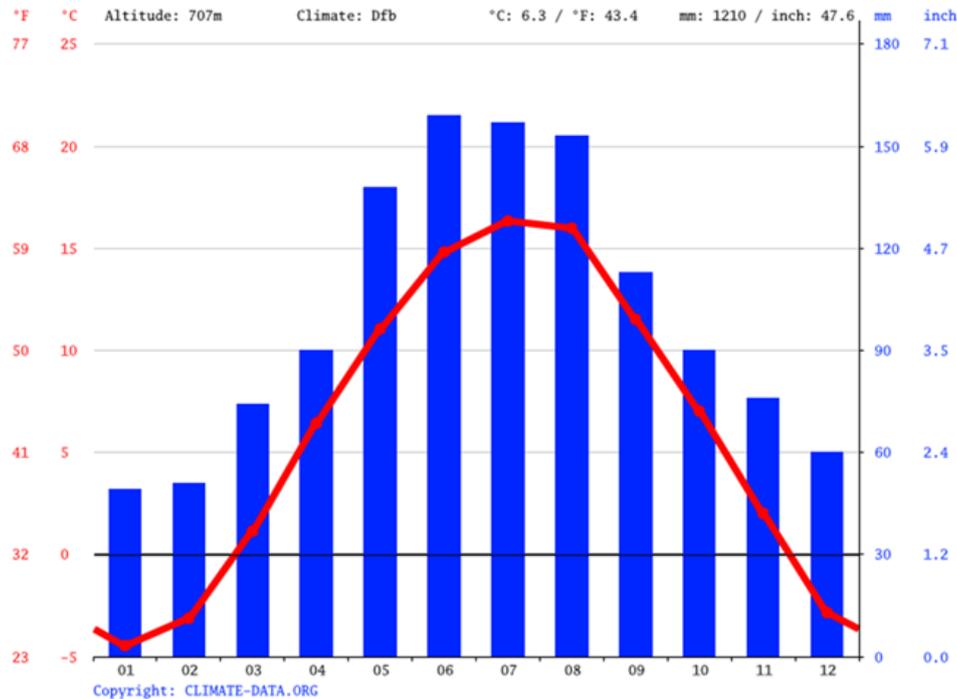


Abbildung 3: Klimadiagramm Judenburg, Steiermark (www.climate-data.org)

3.1.4. Hydrologie

Die Hydrologie beeinflusst die physikalischen Prozesse und Eigenschaften in aquatischen Ökosystemen maßgeblich. Natürliche Abflüsse bestehen aus einem breiten Spektrum und unterliegen oft hohen Schwankungen zwischen den Volumina von Niedrigwasserabflüssen bis zu denen von Hochwasserabflüssen. Die natürliche Variabilität in Menge, Häufigkeit und Dauer dieser Abflussverhältnisse sind für die Erhaltung der ökologischen Integrität von Süßwassersystemen unerlässlich und beeinflussen direkt den physischen Lebensraum, Lebenszyklusstrategien, Konnektivität und Artenzusammensetzung (Smith et al., 2008). Der Abfluss, ebenso die Tiefe und die Geschwindigkeit des Fließgewässers werden durch die klimatischen Verhältnisse, die Luft- und Bodentemperatur, die Geologie, die Beschaffenheit und Wassersättigung des Bodens, Größe, Form und Morphologie des Einzugsgebietes, sowie die Bodenbedeckung und Vegetation bestimmt. Der Abfluss von Fließgewässern setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Der unmittelbar abflusswirksame Niederschlag bildet den „Direktabfluss“, der ohne Infiltration oberflächlich ins Gewässer gelangt. Auch der direkt im Gewässer aufgenommene Niederschlag gehört zu dieser Komponente, doch ist dessen Anteil relativ gering. Der Zwischenabfluss (Interflow) sickert zunächst in den Boden und wird erst zeitverzögert zum Oberflächenabfluss. Der Basisabfluss von Fließgewässern schließlich wird

aus dem Grundwasserspeicher dotiert. Er ist eher unabhängig von Niederschlagsereignissen (Jungwirth et al., 2003). Dies ist vor allem, während einer anhaltend niederschlagsfreien Periode maßgeblich, in welcher der Abfluss überwiegend aus dem Grundwasser kommt. Das Grundwasser reagiert nicht sofort auf geringen oder gar keinen Niederschlag. Anders als bei Hochwasserereignissen stellt sich eine Niederwassersituation erst viel später nach einer längeren niederschlagsfreien Zeit ein. Es kann generell zwischen Winter- und Sommerniederwasserperioden unterschieden werden, die unterschiedliche Ursachen und eine andere räumliche Verteilung haben (BMLRT, 2020b). Wesentlich für das Abflussregime eines Fließgewässers ist somit auch die Art der Abflussspeisung. Regen wird unmittelbar zum Abfluss, Schnee und Eis hingegen werden zunächst gespeichert und gelangen erst zeitverzögert bis zu mehreren Wochen oder Monate später als Schmelzwasser in die Fließgewässer. Jungwirth et al. (2003) ordnet die Mur als Fluss mit nivalem Regime ein. Ihr Abfluss ist also von Schneeschmelzwasser geprägt. Hoch- und Niederwasserperioden treten dementsprechend vorwiegend zu bestimmten Jahreszeiten auf. Beim nivalen Regime liegen die Abflussmaxima bedingt durch die Schneeschmelze im Gebirge überwiegend im Juni vor (Jungwirth et al., 2003). So können kalte und schneereiche Winter trotz ausreichend Niederschlag in fester Form eine Winterniederwasserzeit bewirken. Die Ursache von Sommerniederwasser ist in der Regel eine längere niederschlagsfreie Zeit, in Kombination mit geringen Grundwasserständen und hoher Verdunstung (BMLRT, 2020b). Der mittlere Abfluss der Mur erreicht seine Spitze im Mai und sein Minimum im Februar. In Abbildung 4 sind die durchschnittlich niedrigsten, mittleren und höchsten Abflüsse pro Monat an der Messstelle Zeltweg angeführt. Die Messstelle Zeltweg befindet sich bei Fkm 313,67 und liegt somit am Beginn des untersuchten Murabschnittes.

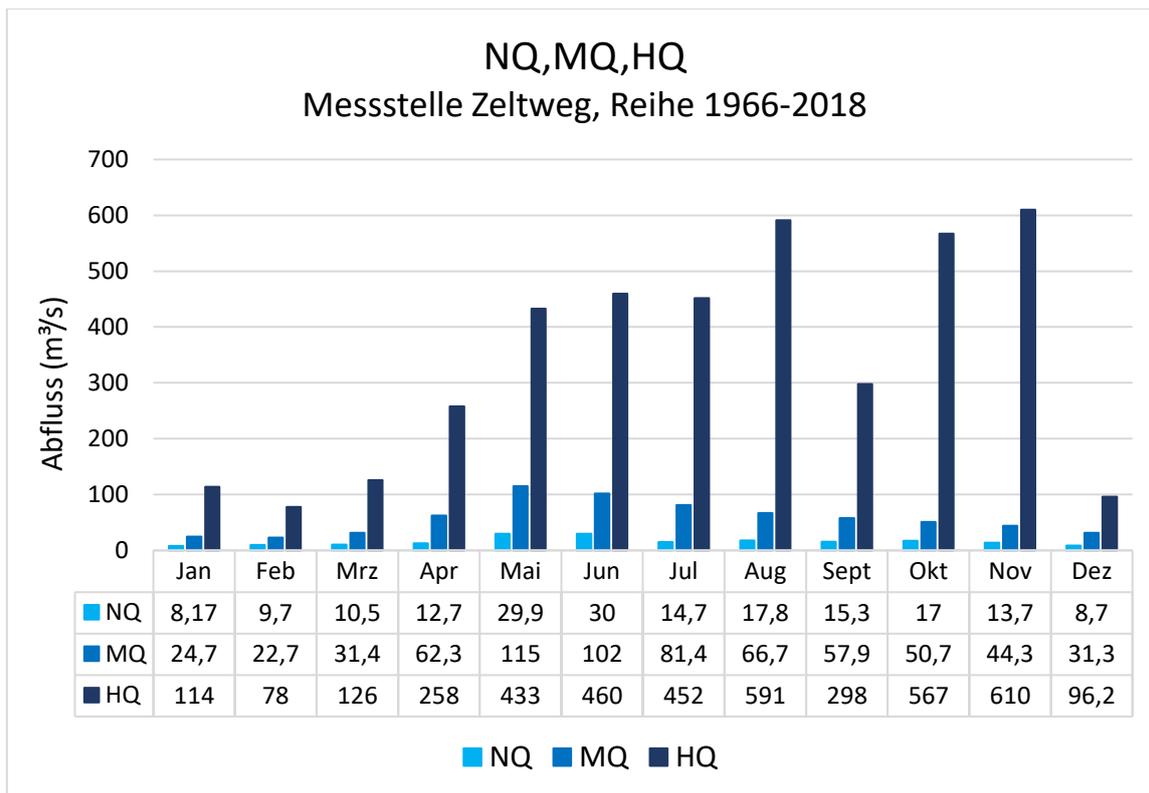


Abbildung 4: Niedriger, mittlerer und hoher Abfluss gemessen an der Messstelle Zeltweg 1966-2018 (eigene Grafik basierend auf den Daten des Hydrographischen Jahrbuches 2018)

3.1.5. Fischökologisches Leitbild

Die Mur zwischen Fising und Leoben kann in die Bioregionen „Unvergletscherte Zentralalpen“ und „Bergrückenlandschaft“ eingeordnet werden (Wimmer et al., 2012).

Schmutz et al. (2011) gliedert die steirische Mur aus fischökologischer Sicht in vier Abschnitte:

- (1) Landesgrenze bis Murau: Hyporhithral ohne Huchenvorkommen
- (2) Murau bis Bruck/Mürzmündung: Hyporhithral mit Huchenvorkommen
- (3) Bruck/Mürzmündung bis Gersdorf: Epipotamal
- (4) Gersdorf bis Staatsgrenze (Grenzmur): Epipotamal inkl. umfassender Augewässer

Fischregionen dienen dazu, Fließgewässer anhand ihrer längszonalen Eigenschaften im Hinblick auf ihre Eignung für bestimmte Fischarten zu gliedern. Da sich die meisten abiotischen Umweltfaktoren von Fließgewässern entlang ihres Längsverlaufes stark verändern, gibt es auch Unterschiede in den Fischgemeinschaften. Der in dieser Arbeit untersuchte Abschnitt ist der Fischregion Hyporhithral (Äschenregion) mit Huchenvorkommen

zuzuordnen. Tabelle 1 zeigt die fischökologischen Leitbilder, die an die speziellen Verhältnisse der Mur angepasst wurden (Mielach et al., 2013). Zwischen Zeltweg und Leoben zählen Äsche, Bachforelle und Huchen zu den Leitfischarten (Mielach et al., 2013; Schmutz, 2020).

Tabelle 1: Fischökologisches Leitbild der Mur; l = Leitart, b = typische Begleitart, s = seltene Begleitart (Mielach et al., 2013). Der Abschnitt Zeltweg-Leoben entspricht dabei dem in dieser Masterarbeit untersuchten Flussabschnitt.

		Madling- Murau	Murau- Judenburg	Zeltweg- Leoben
		Fkm 411-378,5	Fkm 378,5-328	Fkm 314,5-262
Thymallus thymallus	Äsche	l	l	l
Salmo trutta fario	Bachforelle	l	l	l
Cottus gobio	Koppe	l	l	b
Hucho hucho	Huchen		b	l
Eudontomyzon mariae	Neunauge	b	b	b
Barbatula barbatula	Bachschmerle	s	s	b
Phoxinus phoxinus	Elritze	s	s	b
Squalius cephalus	Aitel		s	b
Telestes souffia	Strömer		s	b
Lota lota	Aalrutte			b
Carassius carassius	Karassche		s	s
Chondrostoma nasus	Nase		s	s
Barbus barbus	Barbe			s
Gobio gobio	Gründling			s
Esox lucius	Hecht			s
Rutilus rutilus	Rotaugen			s

3.2. Historische Entwicklung

Die folgenden Kapitel sollen Einblick in die historische Bedeutung und Entwicklung der Flusslandschaft bringen.

3.2.1. Siedlungsentwicklung

Schon für die Altsteinzeit lassen sich an der Mur vereinzelt menschliche Spuren nachweisen. Hinweise auf frühe jungsteinzeitliche Siedlungen gibt es im Gebiet um Graz, im Leibnitzer Feld oder in Mureck. Das Leben am Wasser erlaubte nicht nur räumliche Orientierung, sondern auch der Zugang zu Trink- und Nutzwasser war für die Siedlungsentwicklung von hoher Bedeutung. Der Fluss wurde als Barriere zur Verteidigung genutzt und spielte schon früh eine Rolle als Verkehrsweg (Suppan, 1984).

Die Mur war ein essenzieller Faktor für mehrere Stadtgründungen. So wird Bruck 860 erstmals als Siedlung belegt und wuchs über Jahrhunderte zu einem wichtigen Knotenpunkt heran (Stadt Bruck an der Mur, 2010). Judenburg entstand im 11. Jahrhundert aus einer Kaufmannssiedlung und gelangte im Spätmittelalter zu seiner wirtschaftlichen Blüte (Schiestl, 2013). Die Gründung der Stadt Leoben wird markiert durch die Verlegung der Siedlung 1268, in die sogenannte „Murschleife“ (Universalmuseum Joanneum, 2018a). Zunächst mit einfachen Mitteln angelegt, wurden sie im Laufe der Zeit mit festen Häusern, Straßen und Plätzen in ihren Umrissen definiert, mit Festungsbauten gesichert und über Scharniere mit dem Fluss verbunden. Die Mur spendete nicht nur Nutz- und Trinkwasser, sie lieferte Nahrung und wurde sowohl als Mülldeponie als auch zur Energieproduktion genutzt. Sie stützte die Verteidigung und ermöglichte weitreichende Handelsbeziehungen. Als Straßennetze noch schlecht ausgebaut waren, boten Flüsse die Gelegenheit, auch große Distanzen in kurzer Zeit zu überwinden. Dies ermöglichte die Zirkulation von Waren und Menschen, Fertigkeiten und Informationen. Je nach dem Stand der Technik wurden unterschiedliche Fortbewegungsmittel genutzt. Jahrhundertlang bewegten sich Menschen mit Flößen, Plätten und Schiffen über den Fluss. Die erste urkundliche Nachricht über die Verwendung von Schiffen auf der Mur stammt aus dem Privileg Herzog Leopolds III aus dem Jahr 1380. Es durfte Wein flussaufwärts nach Judenburg befördert werden (Suppan, 1984). Flussaufwärts musste ein Schiff von bis zu 16 Pferden gezogen werden (Engele, 2012; Suppan, 1984), wofür ein befestigter Uferweg erforderlich war, der viel Geld kostete. Flößerei auf der anderen Seite benötigte diese Uferbefestigungen zwar nicht, war aber mit hohem Holzverlust verbunden, da die Flöße am Zielort zerlegt und das Holz verkauft wurde. Im Jahre 1477 befahl Kaiser Friedrich III die Beseitigung all jener Flusshindernisse zwischen Judenburg und Radkersburg, die den Schiff- und Floßleuten schädlich sein konnten (Suppan, 1984). In Kriegszeiten blühte das Geschäft der Murschiffer ganz besonders, da wurden Waffen und Munition bis an die ungarische Grenze geführt. Gegen entsprechendes Entgelt beförderten sie auch Reisende, die rasch in die

Landeshauptstadt kommen wollten (Engele, 2012). Ausgangspunkte der Flößerei waren Bruck oder Leoben und Endpunkt der Transportstrecke auf der Mur war Radkersburg. Bei Schönwetter dauerte die Fahrt vom steirischen Oberland in den Süden zwei Tage. Solche Fahrten waren jedoch nicht ungefährlich, denn ganze Ladungen gingen unter und Menschen ertranken. Die Rückfahrt auf dem Landweg dauerte in der Regel zwölf Tage (Universalmuseum Joanneum, 2018b). Als „Hochburg der Flößerei“ konnte aber Knittelfeld bezeichnet werden. Mit den Zubringern Pöls und Ingerningbach hatte Knittelfeld die Vorteile der günstigen Wasserführung und im Umland ein großes Holzeinzugsgebiet mit Ressourcen für den Floßbau (Suppan, 1984). Der Wasserweg war bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts die einzige halbwegs kostengünstige Möglichkeit, Schwerlasten und große Gütermengen zu befördern. Die Flößerei existierte bis in das 20. Jahrhundert. Beim Bau des E-Werks (1903) wurde beim Murwehr in Oberaich noch eine Floßgasse eingerichtet (Universalmuseum Joanneum, 2018b). Gemeinsam mit dem Judenburger Elektrizitätswerk, das 1904 errichtet wurde, zählt es zu den ältesten Elektrizitätswerken an der der Mur. Dieses lieferte damals bei mittlerem Wasserstand umgerechnet eine Leistung von 370 kW und wurde 1911 durch Umbauten und Stauerhöhungen auf ca. 956 kW erhöht. 1922 wurden sogar beheizte Rechenstäbe angebracht, um ein Zufrieren im Winter zu verhindern (Suppan, 1984). Durch das Aufkommen der Eisenbahn und die Verbesserungen im Straßenverkehr verlor die Mur als Transportweg aber allmählich immer mehr an Bedeutung (Engele, 2012). Heute sind in Österreich nur noch die Donau und teilweise die March, die Enns und die Traun als Wasserstraßen ausgewiesen (Wirtschaftskammer Österreich, 2018).

3.2.2. Die Mur in Karten

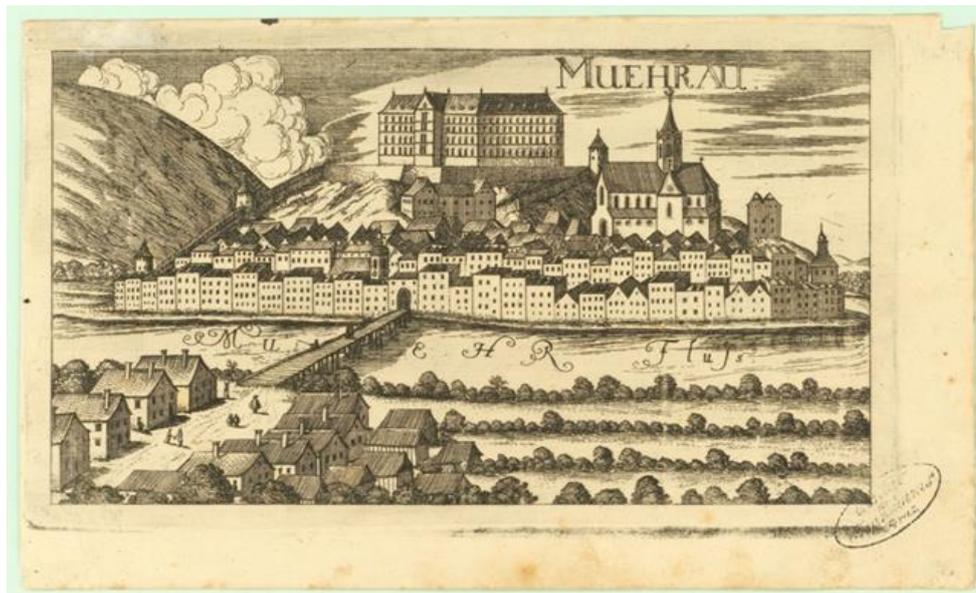


Abbildung 5: Kupferstich der Mur bei Murau 1681 von Georg Matthäus Fischer
(Universalmuseum Joanneum, 2018)

Erstmals tauchen Karten der Mur im 16. und 17. Jahrhundert im militärischen Kontext auf. Die älteste Karte des Landes entstand 1561 und stammt von Wolfgang Lazius. Ihr Kreisformat zeigt den universellen Herrschaftsanspruch der Habsburger, im Zentrum steht die Steiermark. Die dekorativ gestaltete Karte zeigt wichtige Orte und Bauwerke, z. B. die Murbrücken in Graz, Leoben, Bruck, Mureck und Radkersburg. Über 100 Jahre später, im Jahr 1681, zeigte Georg Matthäus Vischer auf seiner Karte der Mur Hinweise auf Bergbau, Hüttenwesen, Fischerei, Flößerei, Salzvorkommen und Weinbau. Neben Dörfern, Märkten und Städten sind auch hier die Murbrücken eingetragen (siehe Abbildung 5). Eine weitere überlieferte Karte stammt aus dem frühen 18. Jahrhundert, sie ist besonders der Mur rund um Radkersburg gewidmet. Im Mittelalter verlief ihr Hauptarm nördlich und östlich der Stadt. Im 16. Jahrhundert brach ein zweiter Arm zwischen Stadt und Schlossberg durch, er brachte die Stadt in eine Insellage.

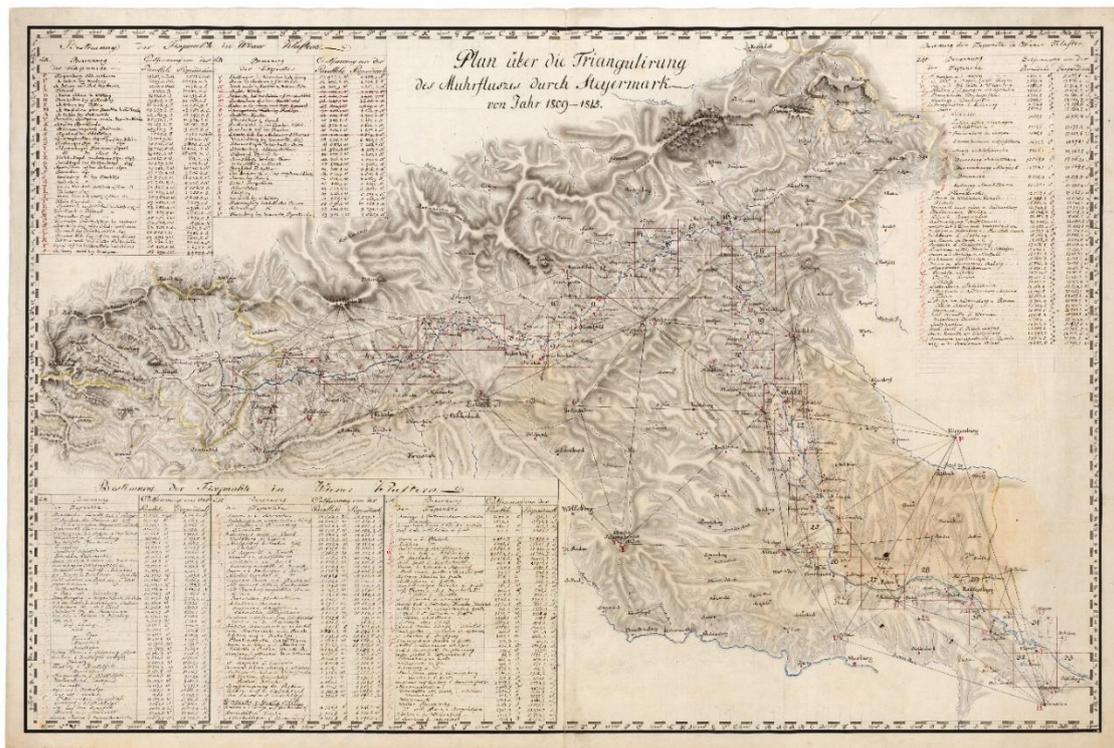


Abbildung 6: Plan über die Triangulierung der Mur in der Steiermark 1809-1815
(NÖ Landesarchiv, Sign. M35-4)

Erst im 19. Jahrhundert wurde die Steiermark statistisch erfasst (Universalmuseum Joanneum, 2018b). Ein dafür sehr bedeutendes Kartenwerk stellt der Franziszeische Kataster dar. Dieser wurde unter Kaiser Franz I. als Grundsteuerkataster für ganz Österreich erstellt. Im Jahr 1817 wurde mit der Vermessung der Wiener Vorstädte begonnen (Stadt Wien, n.d.). Die Vermessung der Steiermark erfolgte in den Jahren 1821-1825 (GIS Steiermark, 2019). Eine weitere Karte aus dem 19. Jahrhundert ist die „Große Murstromkarte“. Mit diesem Kartenwerk aus den Jahren 1809-1815 wurde es möglich, das Murtal neu zu überblicken. Sie markiert die erste Karte, bei der der Fluss im Mittelpunkt steht. Von Fixpunkten aus wurde die Mur genau vermessen und in ihrem Verlauf und ihrer Ausdehnung präzise dokumentiert. Auf der Übersichtskarte zur „Kleinen Murstromkarte“ sind die Details der Vermessungsarbeiten dokumentiert (siehe Abbildung 6). Diese genauen Daten waren notwendig, um die Mur für Flößerei und Schifffahrt zu regulieren und besser nutzen zu können (Universalmuseum Joanneum, 2018b).

3.2.3. Regulierungen der Mur

Ab dem 16. Jahrhundert versuchten die Menschen zunehmend, die Mur in einen bestimmten Sollzustand zu bringen. Dies beschränkte sich zunächst auf einzelne Eingriffe und wurde dann zu systematischen Regulierungen, um die Mur berechenbarer zu machen. Die erste große Murregulierung erfolgte unter Maria Theresia. 1775 wurde mit Regulierungsarbeiten von Wildon bis Radkersburg begonnen, doch unter Joseph II. wurden die Arbeiten eingestellt und der Fluss verwilderte. Einzelne Regulierungsmaßnahmen erfolgten später im Raum Graz nach dem Hochwasser von 1827. Die größte Murregulierung erfolgte in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts unter der Leitung von Franz Ritter von Hohenburger. Er wollte die Mur zwischen Graz und der steirisch-ungarischen Grenze bei Untermautdorf/Mota zu einem Hauptarm regulieren. Dadurch wurde die Mur um rund 15 Kilometer verkürzt. Neu gegenüber früheren Projekten war, dass die Regulierungsarbeiten an mehreren Stellen gleichzeitig begonnen wurden (Universalmuseum Joanneum, 2018b). In der Großen Murstomkarte für das hier untersuchte Gebiet sind vor allem lokale Maßnahmen, wie Ablenkbuhnen und Uferschutzbauten, erkennbar. In einem von Johann Tschmuck (2020) veröffentlichten Bildband findet man außerdem ein Foto eines um 1800 entstandenen Ölgemäldes, das einen sogenannten Holzrechen in der Mur bei Leoben zeigt (siehe Abbildung 7). Mittels Schleusen und Klausen wurde Holz in der Mur transportiert und in diesen speziell errichteten Rechen wieder aufgefangen. Zu diesem Zweck entstand bereits um 1500 der „kaiserliche Rechen“ bei Leoben (Tschmuck, 2020).



Abbildung 7: Gösser Murrechen um 1800 mit Flößer; Rechts im Bild: die Massenburg (Foto nach einem Ölgemälde im Privatbesitz) (Tschmuck, 2020)

Die Mur wurde ab Beginn des 20. Jahrhunderts zur Stromerzeugung genutzt. Der überwiegende Anteil der Wasserkraftwerke mit den ebenso durchschnittlich größten Leistungen befindet sich im mittleren und unteren steirischen Abschnitt (von Leoben bis Spielfeld). Der Großteil der ersten Murkraftwerke wurde im obersteirischen Murverlauf errichtet (Niklasdorf, Bruck, Judenburg, Murau, Murdorf) (Kodric, 2019). Das älteste Wasserkraftwerk der Mur in Niklasdorf liefert seit 1895 Strom und ist durch Modernisierungsmaßnahmen noch heute in Betrieb (Mein Alpenstrom GmbH, n.d.). Die energetische Bedeutung der Mur nahm in der Zwischenkriegszeit weiter zu, als die neu errichteten Wasserkraftwerke in Pernegg und Lafnitzdorf zu den Hauptpfeilern der Stromversorgung der Steiermark wurden. Der größte Ausbau an der Mur fand in den 1980er Jahren statt, als sieben Laufkraftwerke mit einer Leistung von insgesamt 100 MW errichtet wurden. Wasserkraftwerke sind dabei sowohl im oberen Abschnitt (Bodendorf, Unzmarkt, St. Georgen), mittleren Abschnitt (Weinzödl, Rabenstein) als auch im unteren Abschnitt (Mellach-Weissenegg, Lebring, Spielfeld) der Mur zu finden. Seit dem Jahr 2000 kam es zu einer umfangreichen Modernisierung und Aufrüstung von mehreren bestehenden Anlagen, sowie zu Neuerrichtungen (Kodric, 2019). Heute sind 29 Wasserkraftwerke in der steirischen Mur in Betrieb (siehe Abbildung 8).



Abbildung 8: Darstellung der steirischen Mur mit Kraftwerksstandorten (verändert nach Schmutz et.al., 2011)

Im untersuchten Gebiet der Mur befinden sich keine Wasserkraftwerke. Der Abschnitt beginnt unmittelbar nach dem im Jahr 1994 in Betrieb genommenen Laufkraftwerk in der Gemeinde Fisching und endet vor dem Kraftwerk in Leoben. Dieses wurde zum ersten Mal 1905 in Betrieb genommen und 2003 bis 2005 durch ein modernes Laufkraftwerk ersetzt (Verbund AG, 2022).

3.3. Ist-Zustand

Im untersuchten Abschnitt wird der Mur, laut dem 2021 veröffentlichten Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP), insgesamt ein „guter ökologischer Zustand“ zugesprochen. Bei den Teilbeurteilungen, aus denen sich diese Bewertung zusammensetzt, wird der Mur sowohl ein guter chemischer (ohne ubiquitäre Schadstoffe) als auch ein guter biologischer Zustand zugesprochen. Abbildung 9 zeigt die Belastung der Gewässermorphologie. Zwischen Fisching und Leoben ist die Mur als wenig bis mäßig verändert bewertet (BMLRT, 2021). Die Mur ist zwar weitgehend reguliert, die ursprüngliche Linienführung blieb jedoch im Gegensatz zu vielen anderen Fließgewässern Österreichs größtenteils erhalten. Der gesamte Abschnitt ist grundsätzlich infolge flussmorphologischer Eingriffe verändert, aufgrund der sanften Regulierung können sich jedoch auch flusstypspezifische Habitate wie Flussbögen, Kolke, Furten, Rinner, Sedimentbänke,

Ufersäume und -vegetation ausbilden und langfristig halten (Schmutz, 2020). Die Ufer sind heute weitestgehend fixiert aber relativ gut eingewachsen und teilweise überlandet (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2014). Dennoch bedingen die verschiedenartigsten anthropogenen Eingriffe in Fluss und Umland Lebensraumdefizite für die Fischfauna der Mur. Hochwasserschutzmaßnahmen beispielsweise beschränken die natürliche Dynamik der Mur, bewirken monotone Uferstrukturen, unterbinden die laterale Vernetzung Fluss/Umland und vereinheitlichen dadurch insgesamt den Lebensraum Fluss.

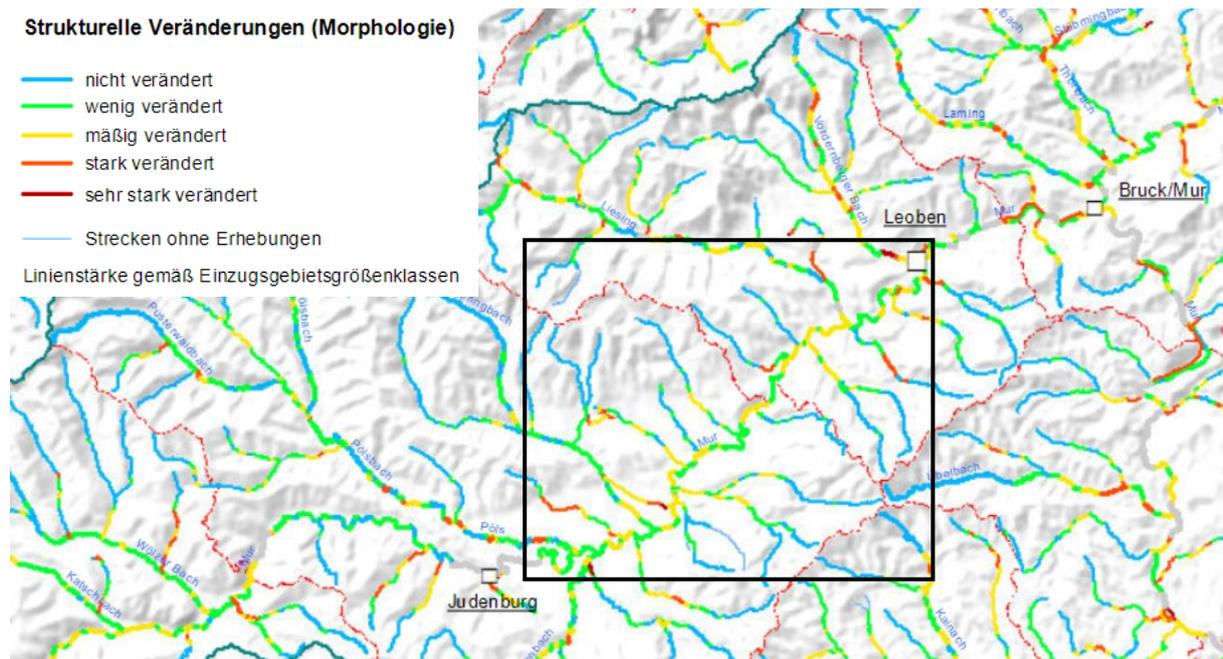


Abbildung 9: Belastungen von Oberflächengewässern - Eingriffe in die Gewässermorphologie, Karte O-BEL5; das schwarze Rechteck markiert den untersuchten Abschnitt (verändert nach BMLRT, 2021)

Bestehende Wasserkraftwerke an der Mur sowie an ihren Zubringern wiederum stellen zumeist eine für wassergebundene Organismen unüberwindbare Unterbrechung des Längskontinuums dar. Darüber hinaus beeinträchtigt der Kraftwerksbetrieb durch Stau, Schwall und Stauraumpülungen nachhaltig die Lebensgemeinschaften der Mur (Preis et al., 2001). Im Vergleich zu anderen großen Fließgewässern in Österreich und in den gesamten Alpen, ist die morphologische Ausstattung dieses Abschnittes dennoch als überdurchschnittlich gut zu bezeichnen. Es ist besonders hervorzuheben, dass es sich bei dem untersuchten Abschnitt, um eine sehr lange, hydrologisch weitgehend unbeeinflusste Strecke ohne Kontinuumsunterbrechung handelt, wie sie in dieser Ausprägung bei großen Flüssen in Österreich mittlerweile äußerst selten ist (Schmutz, 2020). Die einzig staubeinflusste Strecke im Abschnitt ist ca. 4 km lang und befindet sich von Fkm 267 bis zum Kraftwerk Leoben (Fkm 263,1), an der der untersuchte Abschnitt auch endet (Grillitsch und Hochkofler, 2006).

Aus fischökologischer Sicht kann der untersuchte Abschnitt dem Hyporhithral (Äschenregion) zugeordnet werden (vgl. Kapitel 3.1.5.). In der Mur kommen bis zu über 40 Fischarten vor, darunter zahlreiche Schutzgüter der Fauna-Flora-Habitat Richtlinie und der Roten Liste gefährdeter Arten. Der Huchen ist die bedeutendste Indikatorfischart in der Mur, da er sehr spezifische Ansprüche an den Lebensraum stellt und somit die Verhältnisse der gesamten Fischzönose sehr gut widerspiegelt. Die Sensibilität dieser Fischart zeigt sich auch in ihrem hohen Gefährdungsgrad. Der Huchen ist als „stark gefährdet“ eingestuft und, im Vergleich zu seiner historischen Verbreitung, auf nationaler und internationaler Ebene auf einen Bruchteil seiner ehemaligen Vorkommensgebiete reduziert. Die meisten bestehenden Populationen sind darüber hinaus durch Besatzmaßnahmen gestützt oder gänzlich darauf angewiesen. Aufgrund des Verbreitungsschwerpunktes im oberen Donaeinzugsgebiet deckt Österreich den wesentlichen Teil des ursprünglichen Verbreitungsgebietes ab, wodurch dem Erhalt der heimischen Populationen eine hohe Bedeutung zukommt (Schmutz et al., 2011). Mit einer Biomasse von 28 kg/ha beherbergt die obere Mur die heute mit Abstand größte Huchenpopulation Österreichs und eine der bedeutendsten Populationen im gesamten Verbreitungsgebiet (Schmutz, 2020). Die Mur ist außerdem eines der letzten alpinen Gewässer mit selbstproduzierender Äschenpopulation (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2014). Die Äsche ist ebenfalls auf der Roten Liste gefährdeter Tierarten zu finden und gilt als „gefährdet“. Die Bachforelle befindet sich auf der Vorwarnstufe als „potenziell gefährdet“ (Umweltbundesamt GmbH, 2007).

3.3.1. FFH-Richtlinie und Schutzgebiete

Die „Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume, sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen“ (Kurzbezeichnung Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie oder FFH-Richtlinie) trat am 10. Juni 1992 in Kraft. Ihr Ziel ist die "Sicherung der Artenvielfalt durch die Erhaltung der natürlichen Lebensräume, sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen." Für eine Reihe von Arten und Lebensraumtypen, die als "von gemeinschaftlichem Interesse" eingestuft und in mehreren Anhängen aufgelistet werden, sind die Mitgliedsstaaten der europäischen Union verpflichtet, einen günstigen Erhaltungszustand zu bewahren oder gegebenenfalls wiederherzustellen. Für die in der Richtlinie aufgelisteten Lebensraumtypen und Tier- und Pflanzenarten mit bedeutendem Vorkommen, sind von den Mitgliedsstaaten gemeinsam mit der Kommission "Gebiete gemeinschaftlichen Interesses" zu nominieren und schließlich als besondere Schutzgebiete

(SACs) auch gesetzlich zu schützen. Sie bilden gemeinsam mit den Schutzgebieten gemäß der Vogelschutz-Richtlinie das Netzwerk Natura 2000 (Land Burgenland, 2021).

Das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit liegt im FFH-Gebiet AT2236000 „Ober- und Mittellauf der Mur mit Puxer Auwald, Puxer Wand und Gulsen“, das von der Landesgrenze zu Salzburg bei Predlitz bis Leoben reicht. Die wichtigste rezente Art ist der Huchen (*Hucho hucho*), der in diesem Murabschnitt seinen steirischen Kernbestand hat (Paar and Turk, 2015). Aufgrund der starken Rückgänge der Huchenpopulation wurde der Bestand jedoch mit „ungünstigem Erhaltungsgrad“ eingestuft. Außerdem erhielt der Bestand in diesem Gebiet eine Einstufung als „(weitgehend) isoliert“, da es zu anderen Huchenpopulationen aufgrund der vielen Kontinuumsunterbrechungen im Unterlauf kaum mehr einen Austausch gibt. Dennoch wird von einem beträchtlichen Restaurationspotenzial ausgegangen (Schmutz, 2020).

3.4. LIFE-Projekte „Murerleben“

Das LIFE-Projekt ist das EU-Finanzierungsinstrument für Umwelt- und Naturschutz. Maßnahmen zur Erhaltung oder Wiederherstellung von natürlichen Lebensräumen für Tiere und Pflanzen können aus dem LIFE-Programm gefördert werden (Paar and Turk, 2015). Insbesondere für große Gewässerrevitalisierungsprojekte hat das Umweltfinanzinstrument große Bedeutung in Österreich. Im Rahmen von LIFE-Projekten wurden und werden zahlreiche Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerökologie und Vernetzung der Lebensräume durchgeführt (BMLRT, 2021).

Im Rahmen dieser LIFE-Projekte wurden auch an mehreren Gewässerabschnitten der Mur Maßnahmen zum Erhalt der Artenvielfalt, zur dynamischen Gewässerentwicklung, sowie zur Verbesserung des passiven Hochwasserschutzes gesetzt (BMLFUW, 2017). Das 1.317 ha große Europaschutzgebiet „Ober- und Mittellauf der Mur mit Puxer Auwald, Puxer Wand und Gulsen“ bildet den geografischen Rahmen für die beiden LIFE-Projekte „murerleben I und II“. Im Rahmen des EU-Förderprogramms „LIFE Natur“ startete im Jahr 2003 unter dem Titel „Inneralpines Flussraum-Management Obere Mur“ das erste LIFE-Projekt „murerleben I“ an der Oberen Mur. Das 5-jährige Renaturierungsprojekt wurde mit dem Folgeprojekt „murerleben II“ von 2010 bis 2016 fortgesetzt. Das Projektgebiet erstreckt sich über zwei Bezirke (Murau, Murtal) von Murau bis in den Raum von Knittelfeld. Eines der Ziele des LIFE-Projektes „Inneralpines Flussraummanagement Obere Mur“ ist es, das ursprüngliche verzweigte Flusssystem wiederherzustellen, und die vorhandenen naturnahen Au- und

Flusslandschaften der Mur zu sichern bzw. die Entstehung neuer zu initiieren. Gemäß den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie wurden an sieben Gewässerabschnitten der Mur Schritte zum Erhalt der Artenvielfalt, zur dynamischen Gewässerentwicklung, sowie zur Verbesserung des passiven Hochwasserschutzes gesetzt. Dies soll durch die Wiederanbindung bzw. Schaffung von Nebenarmen, die Errichtung von Amphibientümpeln und die Sicherung und Wiederherstellung von natürlichen Auwäldern ermöglicht werden. Durch die Sicherung und Reaktivierung von Überflutungsgebieten soll auch der passive Hochwasserschutz in diesem Gewässerabschnitt wesentlich verbessert und die Mur als Erholungsraum aufgewertet werden. Außerdem wurde im Rahmen der Projekte die Einbindung und Information der Bevölkerung und dadurch das Bewusstsein der Region für die ökologische Bedeutung der Mur als Lebensraum gefördert.

Im ersten LIFE-Projekt „murerleben I“ von 2003 – 2007 wurden insgesamt 2,2 Mio. € für Maßnahmen zur Verbesserung des Gewässerlebensraumes Mur und des passiven Hochwasserschutzes investiert. Mehr als 80 % dieser Investitionen verblieben in der Region. Im zweiten LIFE-Natur Projekt „murerleben II“ von 2010 – 2016 wurden insgesamt 2,8 Mio. € investiert (Paar and Turk, 2015).

3.4.1. Maßnahmen im Untersuchungsabschnitt

Auf einer Länge von rd. 90 km, von Murau bis in den Bereich von Knittelfeld, wurden mit den beiden LIFE-Natur-Projekten in bis Ende 2016 in siebzehn verschiedenen Abschnitten der Mur flusstypische Strukturen wie Nebenarme, Sedimentbänke, Flachufer, Auwälder und Autümpel geschaffen bzw. initiiert. Zur Verstärkung der bereits umgesetzten Maßnahmen im Projekt „Muerleben I“ wurden die neuen LIFE-Gebiete des Projektes „Muerleben II“ bewusst in Nähe der Abschnitte des Vorgängerprojektes ausgewählt. Fünf dieser Maßnahmen befinden sich im untersuchten Abschnitt dieser Arbeit und werden nachfolgend genauer beschrieben (Siehe Abbildung 10).



Abbildung 10: LIFE-Maßnahmen im Untersuchungsabschnitt der Mur

Maßnahme Weyern 1&2 (Fkm 307,8-306,6)

In der Weyern-Au (flussabwärts des Mursteges zwischen Weyern und Großlobming) wurde in Zuge des ersten LIFE-Projektes an der Mur, auf einer Länge von rund 1,2 km mehr Platz für die Entwicklung natürlicher Flusslebensräume geschaffen. Ermöglicht wurde dies durch die Anlage zweier Nebenarme mit einem angebundenen Stillwasserbereich (siehe Abbildung 11 & Abbildung 12).



Abbildung 11: Luftaufnahme der LIFE+ Maßnahme „Weyern 1“; aufgenommen am 20.07.2006, bei 86% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)

Die Inseln zwischen den Nebenarmen und der Mur verblieben ungesichert, wodurch Ausbildung natürlicher Gewässer- und Uferstrukturen gefördert werden soll. Ein nur flussabwärts an diesen neuen Nebenarm angebundener „Altarm“ stellt einen wertvollen Winterruhe- und Rückzugsraum für die Fischfauna dar (Hornich and Zebinger, n.d.).



Abbildung 12: Luftaufnahme der LIFE+ Maßnahme „Weyern 2“ 2006; aufgenommen am 20.07.2006, bei 86% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)

Maßnahme Apfelberg (Fkm 306,4-306,0)

Die Aufweitung Apfelberg ist, wie alle folgenden Maßnahmen, im Rahmen des Projekts „murerleben II“ geplant und umgesetzt. Sie hat zum Ziel, gemeinsam mit den umgesetzten Maßnahmen in Weyern und in der Lässer Au, eine zusammenhängende strukturreiche Fließstrecke zu schaffen. Die Maßnahme beinhaltet die Entfernung der Ufersicherungen, die Gestaltung von Nebenarmen und die Strukturierung durch Wurzelstöcke (Paar and Turk, 2015).



Abbildung 13: Luftaufnahme bei Apfelberg vor Beginn der LIFE-Maßnahme 2013; Zubringer links im Bild: Ingeringbach; aufgenommen am 28.07.2013, bei 62% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)



Abbildung 14: Luftaufnahme bei Apfelberg nach Fertigstellung der LIFE- Maßnahme 2016; Zubringer links im Bild: Ingeringbach; aufgenommen am 28.08.2016, bei 69% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)

Die Maßnahme Auenmanagement Apfelberg umfasst eine Fläche von rd. 2,3 ha. Anhand von Luftaufnahmen des umstrukturierten Bereichs kann die Situation vor und nach Fertigstellung der Maßnahmen in den Abbildungen 13 & 14 nachvollzogen werden.

Folgende Maßnahmen werden gesetzt: (Hornich and Turk, n.d.)

- Öffnung der Ufersicherung auf einer Länge von rd. 270 m
- Absenkung des Geländes im Ausmaß von rd. 2.200 m²
- Anlage eines rd. 310 m langen Nebenarmes
- Initiierung der Auwaldentwicklung im Ausmaß von rd. 0,5 ha
- Sicherung der Auwaldbestände im Ausmaß von rd. 1,0 ha
- Strukturierung auf einer Länge von rd. 2000 m

Die Kosten der Maßnahme Apfelberg beliefen sich auf ca. € 250.000,- und wurde von den Murfischereiberechtigten Thalheim-Knittelfeld und der Gemeinde Apfelberg finanziert (Paar and Turk, 2015) Mit der Maßnahmenumsetzung wurde im 3./4. Quartal 2014 begonnen und im 1. Quartal 2015 fertig gestellt (Hornich and Turk, n.d.).

Maßnahme Lässer Au (Fkm 305,1-304,2)

Die Aufweitung Lässer Au zählt, wie bereits erwähnt, zu den Maßnahmen zur Revitalisierung einer 4 km langen zusammenhängenden Fließgewässerstrecke. Das Maßnahmengbiet der Lässer Au selbst ist rund 1 km lang. Zur Förderung der dynamischen Entwicklung der Mur wurde die bestehende Ufersicherung am linken Ufer entfernt und ein strukturierter Nebenarm mit zwei Einströmbereichen geschaffen. Zusätzlich wurden zahlreiche Amphibientümpel errichtet und Auwaldflächen gesichert und neu initiiert. Des Weiteren wurde ein Nebenarm neu geschaffen und im Bereich der Lässer Au wurde das Natura2000 - Gebiet um 4,1 ha erweitert (Paar and Turk, 2015).



Abbildung 15: Luftaufnahme vor Beginn der LIFE+ Maßnahme „Lässer Au“ 2011; aufgenommen am 26.08.2011, bei 67% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)

Folgende Maßnahmen werden in der Lässer Au gesetzt:

- Anlage eines rd. 900 m langen Nebenarmes mit teilweiser Geländeabsenkung
- Öffnung der Ufersicherung auf einer Länge von rd. 900 m
- Anlage von Autümpel(n) im Ausmaß von rd. 4.000 m²
- Initiierung der Auwaldentwicklung im Ausmaß von rd. 3,5 ha
- Sicherung der Auwaldbestände im Ausmaß von rd. 4,5 ha
- Erweiterung des Natura-2000-Gebiets um rd. 4,1 ha

Die Luftaufnahmen des Abschnittes in den Abbildungen 15 & 16 zeigen einen Vergleich des Zustandes vor und nach Fertigstellung der Maßnahmen. Die Aufnahmen entstanden bei nahezu gleichem Abfluss. Die Kosten der Maßnahme Lässer Au beliefen sich auf ca. € 470.000,- und konnten gemeinsam mit dem Fischereiberechtigten Mag. Klemens Hatschek und der Gemeinde Apfelberg finanziert werden (Paar and Turk, 2015). Mit der Maßnahmenumsetzung wurde im 2. Quartal 2012 begonnen. Die Fertigstellung der Maßnahme erfolgte mit der Öffnung des Nebenarms am 10.12.2013 (Hornich and Turk, n.d.).

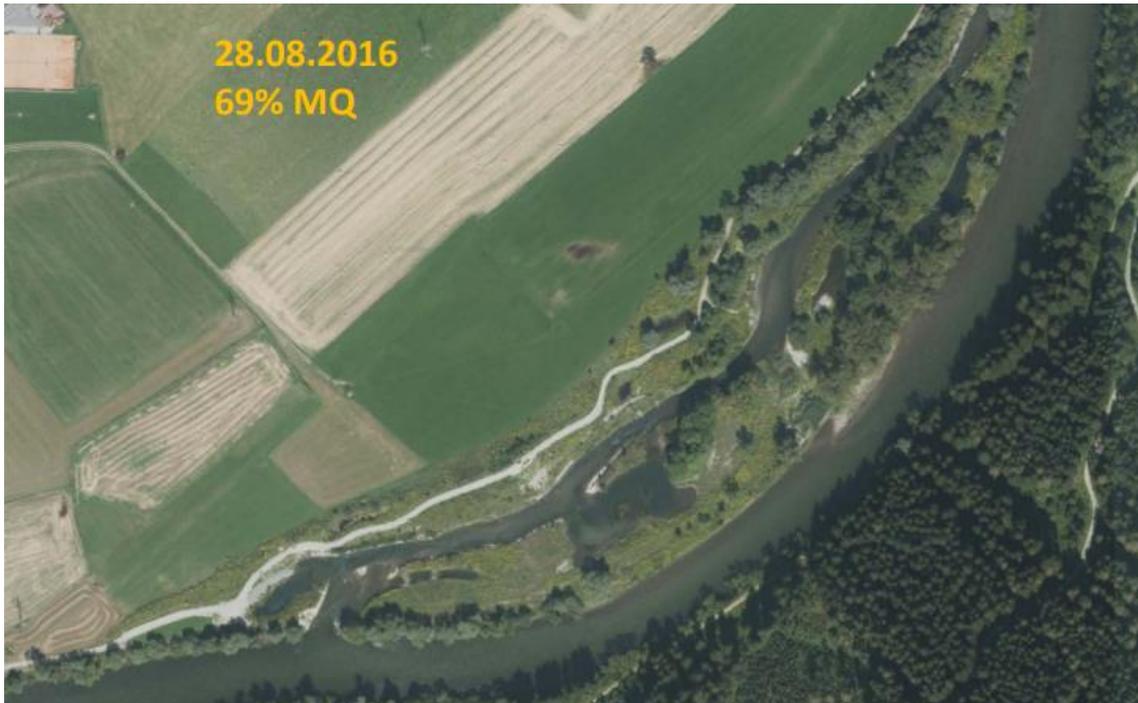


Abbildung 16: Luftaufnahme nach Fertigstellung der LIFE+ Maßnahme „Lässer Au“ 2016; aufgenommen am 28.08.2016, bei 69% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)

Maßnahme Feistritz – St. Lorenzen (Fkm 292,8-292,3)

In Feistritz wurde ein verzweigtes Nebenarmsystem neu angelegt. Zusätzlich wurden in diesem Bereich die Ufersicherungen entfernt, wodurch sich natürliche Strukturen wieder entwickeln können und somit neuer Lebensraum für Fische, Amphibien und Vögel geschaffen wird (siehe Abbildung 17 & 18). Die Wiederanbindung an den angrenzenden Auwaldbereich schafft im Hochwasserfall eine vergrößerte Retentionsfläche und ermöglicht es der Mur, ihre Strukturen zu verändern (Paar and Turk, 2015). Die Maßnahme Auenmanagement Feistritz - St. Lorenzen umfasst eine Fläche von rd. 4,3 ha.



Abbildung 17: Luftaufnahme bei Feistritz vor Beginn der LIFE+ Maßnahme 2013; aufgenommen am 29.07.2013, bei 62% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)

Folgende Maßnahmen werden gesetzt:

- Öffnung der Ufersicherung auf einer Länge von rd. 850 m
- Anlage eines rd. 760 m langen Nebenarmes
- Anlage von Tümpeln im Ausmaß von rd. 2.000 m²
- Initiierung der Auwaldentwicklung im Ausmaß von rd. 1,0 ha
- Sicherung der Auwaldbestände im Ausmaß von rd. 1,4 ha
- Absenkung des Geländes im Ausmaß von rd. 3.000 m²
- Anlage von Tümpeln im Ausmaß von rd. 2.000 m²



Abbildung 18: Luftaufnahme bei Feistritz nach Fertigstellung der LIFE+ Maßnahme 2016; aufgenommen am 28.08.2016, bei 69% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)

Die Kosten der Maßnahme Feistritz – St. Lorenzen beliefen sich auf ca. € 410.000,- und konnten mit einer Finanzierung durch den Fischereiberechtigten Mag. Klemens Hatschek und der Gemeinde Feistritz umgesetzt werden (Paar and Turk, 2015). Die Maßnahme wurde im Sommer 2014 fertig gestellt (Hornich and Turk, n.d.).

Maßnahme Preg (Fkm290,7-288,4)

Im Gebiet dieser Maßnahme wies die Mur ein gestrecktes strukturarmes Gewässerbett auf. Da kein Raum für Aufweitungen zur Verfügung stand, setzte man auf Strukturierungsmaßnahmen im bestehenden Gewässerbett, es wurden vorhandene Strukturen verstärkt und neue initiiert. Als Strukturierungsmaßnahmen wurden an natürlichen Sohlstrukturen orientierte Steinriegel und fixiertes Totholz einbracht (siehe Abbildung 19) Die Maßnahme wurde im Sommer 2011 fertig gestellt (Hornich and Turk, n.d.).



Abbildung 19: Strukturierungsmaßnahmen in der Mur bei Preg (www.murerleben.at)

Die Kosten beliefen sich auf ca. € 50.000,-. Die Maßnahme konnte durch die Finanzierung der H.M.Z. Liegenschaftserwerbs- und verwaltungs GesmbH und der Gemeinde St. Lorenzen bei Knittelfeld umgesetzt werden (Paar and Turk, 2015).

4. Methodik

4.1. Datengrundlagen

Die Datengrundlage für die Rekonstruktion des flussmorphologischen Zustands der historischen Mur bildet die „Große Murstromkarte“ 1809-1815 im Maßstab 1:3.600 Klafter (ca. 1:6.800 Meter) (Cede, 1989). Sie stellt den ältesten dokumentierten Flussverlauf der gesamten Mur dar. Sie gibt nicht nur Auskunft über den Verlauf des Flusses, sondern enthält außerdem Aufzeichnungen über Gewässertiefen und Uferhöhen. Dies machte sie geeignet für Auswertungen und Vergleiche. Die genaue Darstellung aller vorhandenen Informationen ist für die Digitalisierung von hoher Bedeutung. Eine Differenzierung der unterschiedlichen Elemente, wie zum Beispiel Gewässerflächen, Sedimentbänke und vegetationsbedeckten Flächen, ist für die Rekonstruktion eine notwendige Voraussetzung. Ebenso ist die gute Lesbarkeit der Kartenwerke wesentlich und hängt vom Maßstab, sowie von der Bildqualität ab. Um eine geeignete Auflösung der Karten zu gewährleisten, ist ein hochwertiger Scan erforderlich (Lager, 2012). Die historischen verfügbaren Kartenwerke der Mur wurden von Severin Hohensinner recherchiert und auf ihre Qualität geprüft.

4.1.1. Georeferenzierung der digitalen Karten

Die digitalisierten Karten können anschließend in Form von Rasterdaten in ArcGIS eingefügt und weiterbearbeitet werden. Im Gegensatz zu modernen Satellitenbildern und Aufnahmen von Luftbildkameras, die in der Regel relativ genaue Positionsinformationen aufweisen, enthalten gescannte historische Luftbilder keine Raumbezugsinformationen. Diese können nicht zusammen mit anderen räumlichen Daten in einem GIS-System verwendet werden, da die Software sie nicht auf der Karte verorten kann. Um dies zu beheben, ist die Georeferenzierung der historischen Karten notwendig. Im Zuge dessen wird die Karte in die richtige Lage gebracht, indem Passpunkte bei den Rasterdaten gesetzt werden. Das Rasterdaten-Set in die räumlich richtige Lage zu bringen, ist Voraussetzung, um es anschließend mit weiteren geografischen Daten vergleichen zu können. Die Georeferenzierung richtet sich an den vorhandenen Raumdaten aus, welche bereits im Koordinatensystem liegen (ESRI, 2021). Diese Schritte wurden ebenfalls von Severin Hohensinner durchgeführt. Um einen räumlichen Bezug

herstellen zu können, wurde für diese Masterarbeit die Gauß-Krüger-Projektion verwendet und auf den Meridianstreifen M34 bezogen.

Die folgenden Informationen beziehen sich auf das verwendete Gauß-Krüger-Koordinatensystem:

- Projiziertes Koordinatensystem: MGI_Austria_GK_M34
(Gauß-Krüger bezogen auf Meridian 34, Austria East Zone)
- Geografisches Koordinatensystem: GCS_MGI
- Projektion: Transverse Mercator
- False easting: 750000
- False northing: -5000000
- Central meridian: 16,33333333
- Scale factor: 1
- Latitude of origin: 0
- Linear unit: Meter
- Angular Unit: Degree (0,017453292519943299)
- Datum: Militar Geographische Institute
- Ellipsoid: Bessel 1841
- Nullmeridian: Greenwich
- Winkeleinheit: Degree

4.1.2. Die regressiv-iterative GIS-Rekonstruktion

Die von Hohensinner entwickelte GIS-basierte Fluss- und Auenrekonstruktionsmethode wurde erstmals angewendet, um historische Veränderungen der Donaulandschaft im österreichischen Machland 160 km flussaufwärts von Wien zu identifizieren (Hohensinner, 2008). Diese Methode wurde dann für die Rekonstruktion der Wiener Donau von Hohensinner *et al.* (2013) weiterentwickelt.

Je älter die historischen Quellen sind, umso mehr nimmt die Qualität und Quantität dieser ab. Daher ist es in der Geschichtsforschung üblich, regressiv Methoden anzuwenden. Dabei werden ältere historische Situationen ausgehend von jüngeren rekonstruiert. Für diese Arbeit war der erste Zeitschnitt, der rekonstruiert wurde, der Verlauf der Mur 2020. Dieser diente anschließend als Ausgangssituation für den nächsten Zeitschnitt, um 1812. Anhand der

Datengrundlagen für 1812 und durch den Vergleich mit dem Zeitschnitt 2020 werden alle Änderungen eruiert. Unter Einbeziehung aller vorhandenen Datengrundlagen und mit dem Wissen über die natürlichen Prozesse, welche die morphologische Gewässerentwicklung vorantreiben, wird anschließend überprüft, ob die eruierten Änderungen tatsächlich stattgefunden haben können. Durch diesen Schritt können tatsächliche Änderungen von solchen unterschieden werden, die sich aufgrund von Fehlern, Ungenauigkeiten und zu geringem Detailgrad der Datengrundlagen ergäben. Handelte es sich um tatsächliche Änderungen, werden diese in den Zeitschnitt 1812 eingearbeitet. Bei dem Verfahren von Hohensinner et al. (2013) kommt noch der iterative Ansatz hinzu. Nach der Fertigstellung des Zeitschnitts 1812 wird überprüft, ob die neu gewonnen Erkenntnisse aus diesem Zeitschnitt Auswirkungen auf den vorherigen Zeitschnitt haben. Erst nach diesem gegenseitigen Abgleichen der zwei Zeitschnitte wurden die Analysen begonnen. Fehler, Ungenauigkeiten und geringe Detailgrade nehmen meist mit dem Alter der Datengrundlagen zu. Mit dieser Herangehensweise können solche Informationsmängel ausgeglichen werden.

4.2. Auswertung der GIS-Karten

Nach der Rekonstruktion der Zeitschnitte, wurden anschließend die flussmorphologischen Analysen durchgeführt. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden zunächst in Gewässertypen (vgl. Kapitel 4.2.1) nach Hohensinner et al. (2005) für die beiden Zeitschnitte klassifiziert und in ArcGIS Pro als Polygonflächen dargestellt. Bevor die Auswertungen erfolgen konnten, wurden die Flächen des sogenannten „Active Channel“ (Aktives Gerinne) für die jeweiligen Zeitsituationen dargestellt. Als aktives Gerinne werden alle Gewässer- und Sedimentflächen gemeinsam bezeichnet. Da die Ausdehnung des Gewässers je nach Aufnahmewasserstand variiert, wird die Ausdehnung des aktiven Gerinnes für Analysen herangezogen. Es wird begrenzt durch mehrjährige Gehölzvegetation (Osterkamp and Hedman, 1982). Um die Ergebnisse der Auswertungen besser mit anderen Daten vergleichbar zu machen, wurden die zahlreichen Gewässer- und Sedimentflächen, die bei der Vektorisierung entstanden sind, zu einem großen Polygon miteinander verbunden. Anschließend erfolgten die Auswertungen zu Sinuosität, Anbindung der Nebenarme, Wassertiefen, Geländehöhen, Wassertiefen und lateraler Verlagerung des Hauptarms. Des Weiteren wurde das Verlandungspotenzial historischer und aktueller Nebenarme nach Mosselman (2001) analysiert.

4.2.1. Gewässertypen (aquatische Makrohabitate)

Für die Erhebung der Daten und zur genaueren Vergleichbarkeit, wurde der gewählte Abschnitt der Mur in ArcGIS Pro in die nachfolgenden Gewässertypen (aquatische Makrohabitate), sowie unbewachsene Sedimentflächen und bewachsene Inseln unterteilt. Die Einordnung hängt dabei von der Intensität der hydrologischen Oberflächenvernetzung zwischen dem Hauptarm und den diversen Nebengewässern ab (Hohensinner et al., 2014). Die vorgenommenen Flächenauswertungen beziehen sich, aus Gründen der Vergleichbarkeit, auf das aktive Gerinne inklusive der unbewachsenen Sedimentflächen.

Hauptarm (Eupotamon A): Bei verzweigten oder gewundenen Fließgewässern wird damit jener Flussarm bezeichnet, in dem der Großteil des Wassers abfließt und der dadurch in seiner Dimension deutlich größer ist als Nebenarme. Bei extremer Niederwasserführung ist fallweise nur der Hauptarm dotiert und stellt damit einen wichtigen Rückzugsraum, speziell für die Fischfauna, dar. Beim gestreckten und mäandrierenden Flusstyp, der ein kompaktes Gewässerbett aufweist, ist der Hauptarm identisch mit dem einzigen Flussarm (Jungwirth et al., 2003).

Nebenarme (Eupotamon B): Nebenarme fließen parallel zum Hauptarm und sind beidseitig so an das Hauptgewässer angebunden, dass sie auch bei Nieder- und Mittelwasser durchflossen sind (Jungwirth et al., 2003; Hohensinner et al., 2014).

Altarme dynamisch/Sedimentgerinne (Parapotamon A): Altarme mit hoher Dynamik, die von Kies-/Sandablagerungen blockiert, aber bei Mittelwasser durchflossen werden. Es bilden sich Ökosysteme mit halb stehenden Gewässern (Hohensinner et al., 2014).

Altarme einseitig angebunden (Parapotamon B): Altarme sind ehemalige Teile des Hauptflusses, die aufgrund dynamischer Prozesse im Auegebiet nur periodisch bei Hochwasserereignissen an den Hauptfluss angebunden sind (Jungwirth et al., 2003). Flussaufwärts sind sie durch vegetationsbewachsene Ablagerungen blockiert und nur flussabwärts angeschlossen (Hohensinner et al., 2014).

Totarme (Plesio-/Paläopotamon): Natürlich oder künstlich vollständig abgetrennte Flussarme, die nur bei Hochwässern noch mit dem Fließgewässer in Verbindung stehen. Das Ökosystem ist durch permanent oder temporär stehendes Gewässer geprägt (Hohensinner et al., 2014).

Vegetationslose Sedimentbänke: Sie liegen in der Wasserwechselzone und bieten nur zu Nieder- bis Mittelwasserzeiten kurzfristig terrestrischen Lebensraum. Diese „offenen“ Sedimentflächen sind typische Bruthabitate beispielsweise für Kiesbrütende Vogelarten. Kennzeichnend sind geringe Wassertiefen, geringe bis sehr geringe Fließgeschwindigkeiten und der Wechsel zwischen Wasserbedeckung und Trockenfallen entsprechend den jahreszeitlichen Abflussverhältnissen. Diese Zonen werden bevorzugt von Fischbrut und Jungfischen aufgesucht (Jungwirth et al., 2003).

Bewachsene Inseln: Sedimentbänke und Inseln, die deutlich über dem jährlichen Mittelwasser liegen, zeigen häufig bereits Bodenbildung und Gehölzbestände. Es ist eine Entwicklung von Weidengebüsch und nachfolgenden Sukzessionsstadien möglich. Durch Abbrüche kommt es vermehrt zum Eintrag von Substrat und Ufervegetation, die im aquatischen Bereich strukturell wirksam werden. Unterspülte Ufer stellen besonders bei reichlicher Durchwurzelung aufgrund der Überdeckung (Beschattung) und strömungsdifferenzierender Wirkung ideale Einstände für viele Libellenlarven und Fischarten dar (Jungwirth et al., 2003).

4.2.2. Sinuosität

Mit Hilfe der digitalisierten, historischen Flussachse (Mittellinie des aktiven Gerinnes) und der digitalisierten Talachse lässt sich die Laufentwicklung der Enns in den verschiedenen räumlichen Ebenen berechnen. Für die Laufentwicklung (Sinuosität) wird die Länge der Flussachse durch jene der Talachse dividiert. Das Ergebnis gibt Aufschluss über den Flusstyp (gestreckt, gewunden, mäandrierend) im jeweils betrachteten Abschnitt (Leopold and Wolman, 1957). In der Fachliteratur wird oft die Luftlinie für die Berechnung der Sinuosität verwendet. Davon ist man jedoch in jüngerer Zeit immer mehr abgekommen. In den Fällen, in denen der Fluss von Talflanken eingengt wird und sich deshalb nicht frei mäandrieren kann, hat diese Berechnung wenig Aussagekraft. Daher wurde hier die Tallänge anstatt der Luftlinie zur Berechnung herangezogen (Reichstein, 2016).

Formel 4.2.2.

$$\text{Sinuosität} = \frac{\text{Gewässerlänge [m]}}{\text{Tallänge [m]}}$$

4.2.3. Mittlere Breite

Zur Regelmäßigen Messung der Gewässerbreite, wurden in ArcGIS Pro mit dem Tool „Perpendicular Transects“ alle 100 m Linien orthogonal zur Gewässerachse eingezeichnet. Diese wurden anschließend auf die Breite des aktiven Gerinnes (Wasser- und unbewachsene Sedimentflächen) reduziert und diese Daten zur weiteren Auswertung in Excel exportiert. Für die Berechnung der mittleren Breite des aktiven Gerinnes wurde folgende Formel verwendet:

Formel 4.2.3.

$$\text{Mittlere Breite [m]} = \frac{\text{Fläche des aktiven Gerinnes [m}^2\text{]}}{\text{Gewässerlänge [m]}}$$

4.2.4. Anbindung der Nebenarme

Zur Berechnung der Anbindungsbreiten als Maß für die Intensität der hydrologischen lateralen Konnektivität zwischen Hauptstrom und Nebengewässern wurde die beim jeweiligen Wasserstand benetzte Breite des Gerinnes, bei der Einfluss- und Ausflusstelle des Nebengewässers gemessen. Dies wurde sowohl für den in der Karte dargestellten Aufnahmewasserstand bei ca. Mittelwasser durchgeführt als auch für das aktive Gerinne, wenn alle unbewachsenen Sedimentflächen überschwemmt sind. So ließ sich die Zahl der Nebenarm-Anbindungen quantifizieren und deren summierte Breiten (gemessen in Metern) je km Lauflänge ermitteln.

4.2.5. Wassertiefen

Die historischen Wassertiefen konnten aus der Großen Murstromkarte abgelesen und umgerechnet werden. Für die Auswertungen wurden die Messpunkte in der Mitte des Stromstriches verwendet, die meist die tiefsten Stellen der Sohle darstellen. Für den untersuchten Abschnitt konnten 302 Messpunkte in Abständen von 90-250 m ausgewertet werden. Die Lage der historischen Messpunkte wurde den Messstellen der aktuellen Daten zugeordnet, um eine konsistente Gegenüberstellung der Werte zu ermöglichen.

Im frühen 19. Jahrhundert wurden die Wassertiefen und ebenso die Geländehöhen auf Niederwasser (ca. MJNW) bezogen, um positive Wasserstände messen zu können. Auf diesen sogenannten Nullwasserstand (Pegelnulppunkt) bezogen sich alle Höhendaten (Hohensinner

and Jungwirth, 2016). Bedingt durch die natürliche Dynamik des Flusses sind die Pegelprofile meist nicht stabil. Zusätzlich konnten Regulierungsbauten dazu führen, dass sich die Sohle eintiefte und dann das historische sowie auch aktuelle MJNW nicht mehr beim Pegelnullpunkt (PNP), sondern darüber lag, bis hin zu einem Pegelwert, der anfangs noch für MW gegolten hat. Im untersuchten Murabschnitt gab es um 1812 direkt beim Pegel Zeltweg bereits Uferschutzbauten. Man behielt jedoch meist lange Zeit Berechnungen mit dem ursprünglichen PNP aus Gründen der Vergleichbarkeit bei. Die sehr niedrigen Höhen der Sedimentbänke in der Großen Murstromkarte und auch deren verhältnismäßig kleinen Flächen 1812, deuten darauf hin, dass der PNP um 1812 vermutlich nicht mehr mit MJNW gleichzusetzen ist, sondern mit einem höheren Wasserstand.

Nach Hydrografischem Jahrbuch ist das MJNW in der Jahresreihe 1988-2017 mit 156 cm Wasserstand beim Pegel Zeltweg gleichzusetzen (MW = 203 cm und MJHW = 330 cm). Basierend auf dem heutigen Abflussregime beträgt die Höhendifferenz zwischen MJNW und MJHW somit 1,74 m. Und zwischen MW und MJHW somit 1,27 m (zwischen MJNW und MW nur 0,47 m).

Die Auswertungen der historischen Uferhöhen ergeben einen Medianwert von 1,26 m über dem Aufnahmewasserspiegel. Die Inseln lagen im Median nur 0,95 m über dem WSP. Wenn man den Aufnahmewasserstand um 1812 mit MJNW gleichsetzen würde, wäre die Amplitude zu MJHW mit 1,74 m wesentlich höher als die historisch gemessene Höhe der Ufer und Inseln. MJHW entspricht einem 2,33-jährlichen Hochwasser und befindet sich damit am oberen Ende des sogenannten bordvollen Wasserstands, welcher typischerweise zwischen HQ_1 und HQ_2 liegt. Wenn der Aufnahmewasserstand bei MJNW liegt, dann wäre das MJHW mit +1,74 m bei weitem höher als der gemäß historischer Uferhöhen anzunehmende bordvolle Wasserstand. Dies wäre flussmorphologisch nicht typisch.

Wenn der Aufnahmewasserstand bei MW liegt, dann wäre das MJHW mit +1,27 m fast ident mit den historischen mittleren Uferhöhen und wäre flussmorphologisch passend. Daher wird im Rahmen dieser Arbeit davon ausgegangen, dass es sich bei der historisch eingemessenen Wasserspiegellage um annähernde Mittelwasserstände handelte (Hohensinner, 2021).

Die aktuellen Daten wurden errechnet aus den Sohliefen der Abflussuntersuchungen der Steiermärkischen Landesregierung, gemessen in m. ü. A., in Abständen von rund 100 m (Amt der Steiermärkischen Landesregierung et al., 2008, 2010), und der in der Flussmitte gemessenen Wasserspiegellage aus dem Laserscan der GIS-Steiermark. Diese wurden an den

jeweiligen Flusskilometern erhoben, an denen auch die Sohliefen vermessen wurden. Diese Stationierungen haben sich im Laufe der Zeit im Mittel um 300 m verschoben, daher wurde die gerundete alte Kilometrierung verwendet. Die Sohlage in den Längenschnitten der Abflussuntersuchungen wurde an der Gewässermittelachse gemessen. Da dies aber nicht, wie historisch, die tiefste Stelle der Sohle markiert, ist davon auszugehen, dass die aktuellen maximalen Wassertiefen größer sind als ausgewertet. Des Weiteren war für den Laserscan kein genauer Aufnahmezeitpunkt verfügbar, aus dem sich der konkrete Wasserstand zum Zeitpunkt der Befliegung ermitteln lässt. Daher wurde die im Laserscan gemessene Wasserspiegellage mit dem Mittelwasserstand bei der Pegelstelle Zeltweg verglichen und dementsprechend die aktuell errechneten Wassertiefen für Mittelwasser angepasst.

4.2.6. Geländehöhen

Zur Auswertung der Geländehöhen wurden zunächst die Höhenkoten in der Großen Murstromkarte abgelesen. Da diese in Wiener Fuß und Wiener Zoll angegeben sind, mussten sie zunächst in Meter umgerechnet werden, um sie mit den aktuellen Werten vergleichbar zu machen. Anhand der Geländemodelle des Airborne Laserscans des Landes Steiermark, mit einer Bodenauflösung von 1x1 m², wurden die aktuellen Höhenwerte berechnet. Da sich die historischen Höhenmessungen auf den Aufnahmewasserstand bei ca. MW beziehen und die aktuellen in m ü. A. gemessen wurden, musste im Laserscan zuerst die Geländehöhe gemessen und anschließend die Höhe des Wasserspiegels bei MW abgezogen werden (siehe Kapitel 4.2.5.). Zur Analyse der Uferhöhen wurden sowohl für 1812 als auch für 2020 die Daten von jeweils 261 Messstellen herangezogen.

4.2.7. Auswertung des Verlandungsrisikos von Nebenarmen

Anhand der von Mosselman (2001) entwickelten Methode zur Berechnung des Verlandungspotenzials von Nebenarmen, wurden folgende Parameter erhoben und verglichen (siehe Abbildung 20):

- **Length Ratio:** definiert als das Verhältnis der Längen des Seitenarmes zum Hauptarm, zwischen der oberstromigen Verzweigung und der unterstromigen Einmündung.
- **Offtake angle:** definiert als der Winkel zwischen dem Nebenarm und dem Hauptarm bei der oberstromigen Verzweigung

- **Orientation angle:** definiert als der durchschnittliche Winkel zwischen dem Nebenarm und der Fließrichtung der Überschwemmung während eines Hochwassers. Da die Fließrichtung am überschwemmten Talboden schwer zu ermitteln ist, wurde stattdessen als vereinfachte Annahme die Richtung der Talachse herangezogen.

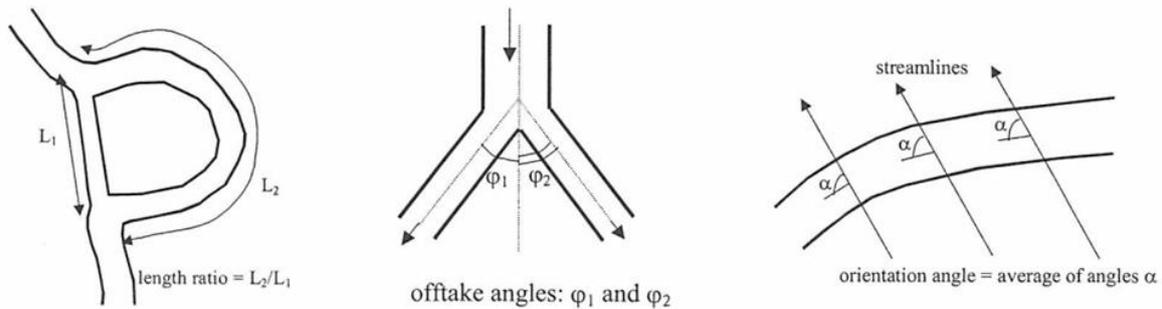


Abbildung 20: Skizze zur Berechnung von length ratio, oftake angle und orientation angle. (Mosselman, 2001)

Die mit dieser Methode gewonnenen Daten wurden anschließend wie folgt bewertet:

Die Geometrie eines Nebenarms gilt als ungünstig, wenn zwei oder drei der folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Das Längenverhältnis (Length Ratio) ist größer als 1,5
- Der Verzweigungswinkel (Offtake Angle) beträgt 90° oder mehr
- Der Orientierungswinkel (Orientation Angle) bei Hochwässern beträgt 45° oder mehr
- Der Nebenarm zweigt an einem Gleitufer vom Hauptarm ab.

5. Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden zunächst die flussmorphologischen Zustände von 1812 und 2020 vergleichend gegenübergestellt.

5.1. Gewässertypen (Makrohabitate)

Wie in Kapitel 3.2.1. beschrieben, erstreckt sich der Untersuchungsabschnitt dieser Arbeit von Fkm 317,1 bis Fkm 263,1 (heute somit 54 km Lauflänge) beginnend nach der Ausleitungstrecke des Kraftwerks Fising bis zum Wehr des Kraftwerks Leoben. In den Anhängen B bis J befinden sich die Karten für das gesamte Gebiet mit den eingezeichneten Gewässertypen: Hauptarm (Eupotamon A), Nebenarm (Eupotamon B), Altarm über MW durchströmt (Parapotamon A), einseitig angebundener Altarm (Parapotamon B) und isolierter Altarm/Totarm (Paläopotamon).

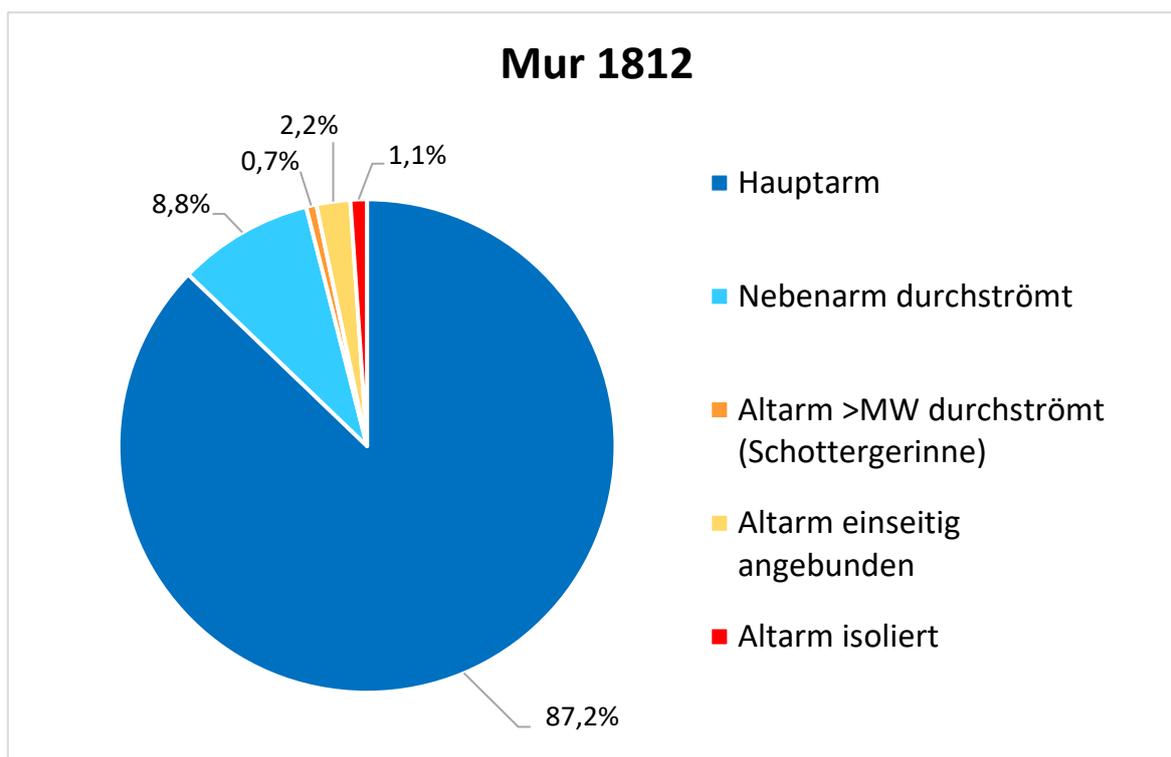


Abbildung 21: Relative Verteilung der Makrohabitate in der Mur 1812 (eigene Grafik)

In Abbildung 21 ist die Verteilung der Gewässerflächen der Mur 1812 abzulesen. Es lässt sich erkennen, dass der Gewässertyp Hauptarm mit 87,2% dominiert. Das entspricht einer Fläche von 351,2 ha.

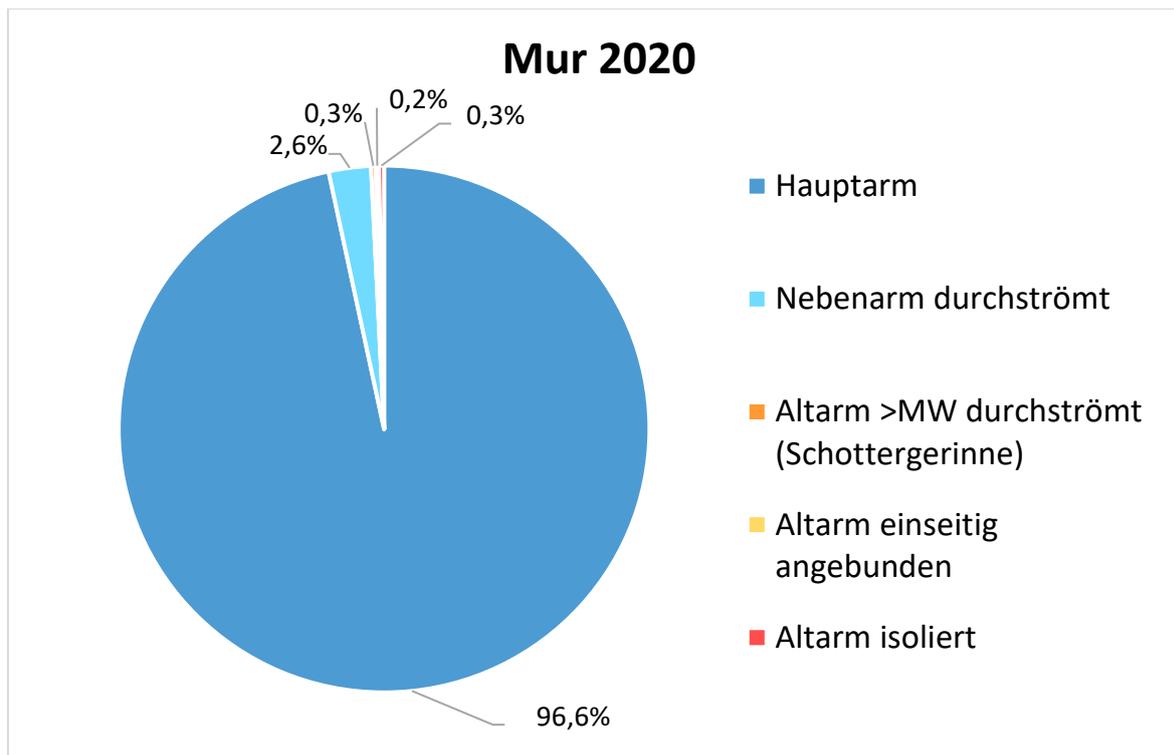


Abbildung 22: Relative Verteilung der Makrohabitate in der Mur 2020 (eigene Grafik)

Anhand von Abbildung 22 ist ersichtlich, dass 2020 96,6% der Fläche der Mur zum Hauptarm gehören. Das entspricht einer Fläche von 258,6 ha von insgesamt 267,6 ha. Vergleicht man die Gesamtfläche aller Wassertypen der Mur von 1812 mit der von 2020, so lässt sich ein Rückgang der Gesamtfläche um 135 ha berechnen. Abbildung 23 ist zu entnehmen, wie sich dieser Rückgang in Bezug auf die Gewässertypen (aquatische Makrohabitate) verteilt. Es zeigt sich, dass bei jedem der definierten Gewässertypen ein Rückgang zu verzeichnen ist. Den Flächenverlust des Hauptarmes (-26%) ausgenommen, beträgt dieser Rückgang für alle anderen Gewässertypen mindestens 74%. (Nebenarme -81%; dynamische Altarme -74%; Altarme einseitig angebunden -94%, Altarme isoliert -81%).

Betrachtet man die Wasserfläche pro km Lauflänge, so ergibt sich eine Reduktion von insgesamt 7,4 ha/km auf 4,9 ha/km. Die genaue Verteilung auf die Gewässertypen kann in Abbildung 24 eingesehen werden.

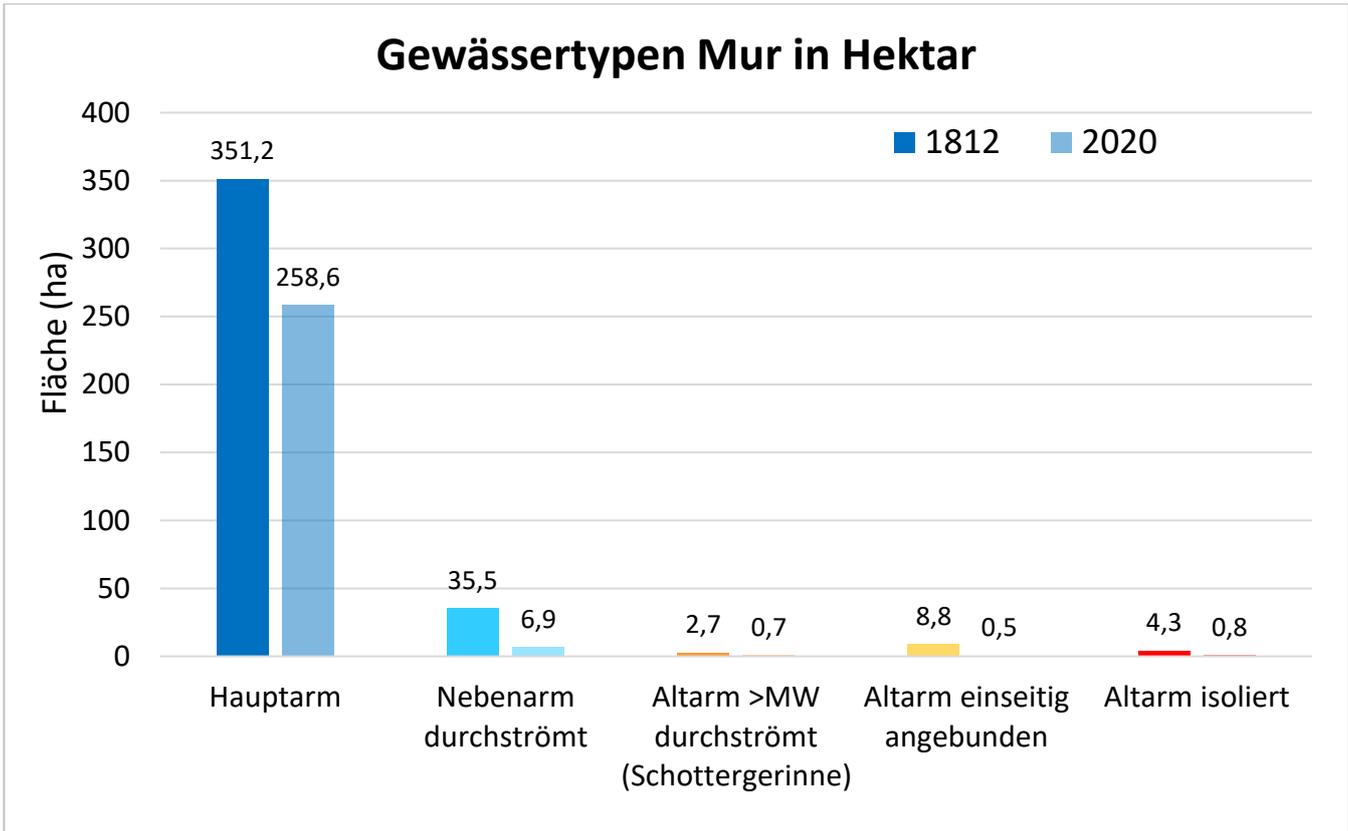


Abbildung 23: Verteilung der Gewässertypen im Vergleich zwischen 1812 und 2020 (eigene Grafik)

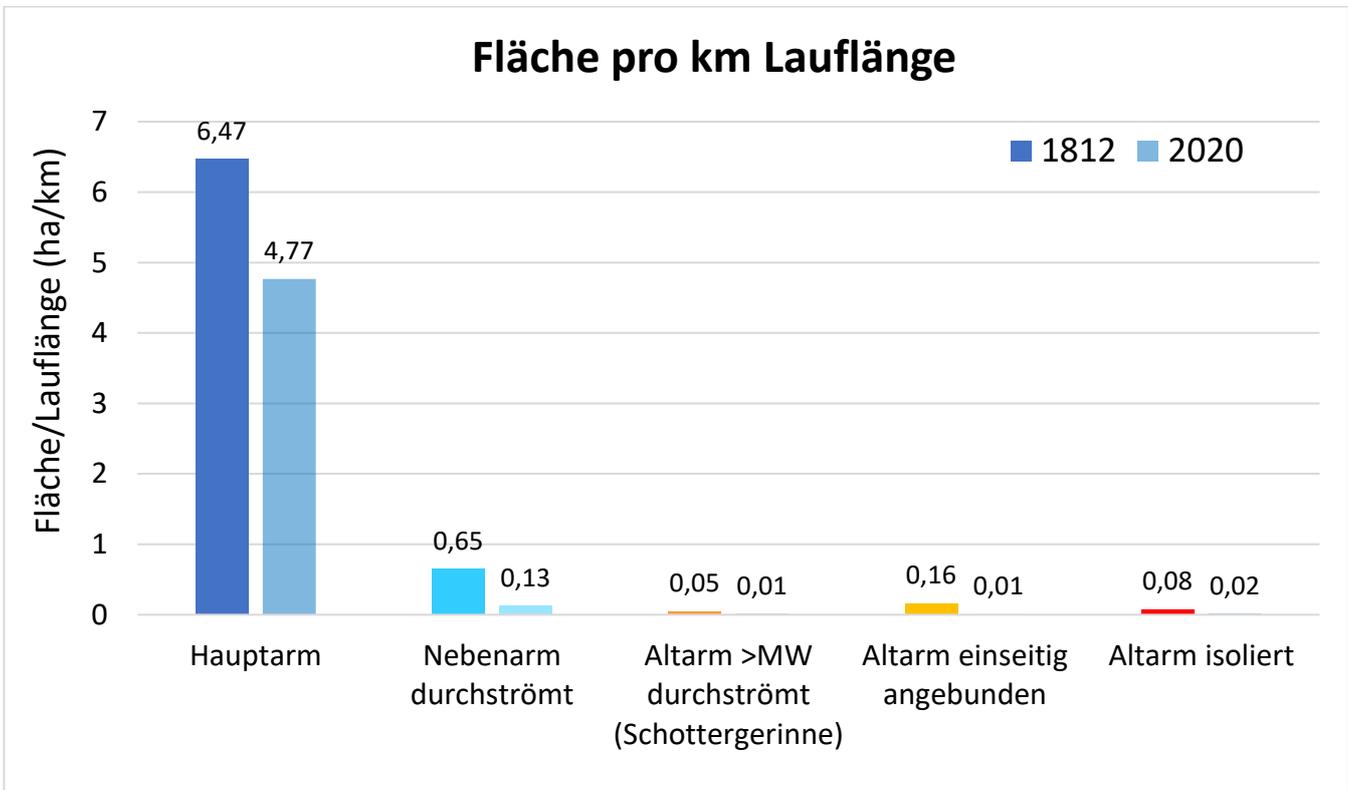


Abbildung 24: Verteilung der Fläche pro km Lauflänge auf die Gewässertypen im Vergleich zwischen 1812 und 2020 (eigene Grafik)

5.2. Sedimentflächen und Inseln

Zusätzlich zu der Quantifizierung der unterschiedlichen Gewässertypen wurde auch noch zwischen unbewachsenen Sedimentflächen und bewachsenen Inseln unterschieden. Die Verteilung ist für das gesamte Projektgebiet den Karten 1 bis 9 im Anhang zu entnehmen.

Zum Zeitpunkt der Erstellung der Großen Murstromkarte machten Sedimentflächen bei ungefährem Mittelwasser einen Anteil von 5,5% am gesamten aktiven Gerinne aus. In den Auswertungen für die Mur 2020 beträgt dieser Anteil mit 2,3% nicht einmal halb soviel. Absolut betrachtet erreichten die Sedimentflächen 1812 eine Ausdehnung von 22,1 ha und 2020 nur mehr 6,2 ha. Dabei ist jedoch zu erwähnen, dass der Aufnahmewasserstand im Jahr 2020 vermutlich um rund 10 cm höher war als 1812, wodurch etwas geringere Sedimentflächen zu erwarten sind.

Wie in Abbildung 25 ersichtlich, betrug die Fläche der bewachsenen Inseln im Hauptarm bzw. zwischen Haupt- und Nebenarmen 1812 23,2 ha und 2020 13,5 ha. Des Weiteren konnten 1812 43 Inseln gezählt werden, 2020 waren es nur noch 13.

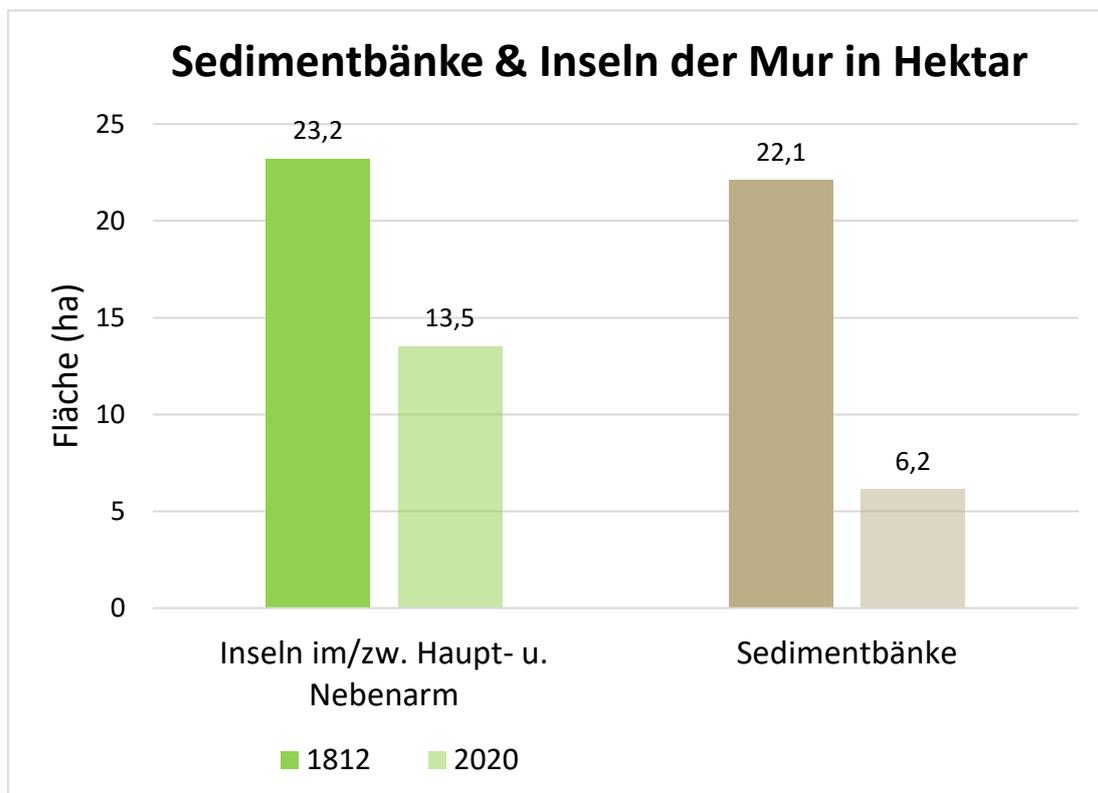


Abbildung 25: Vergleich der Flächen von bewachsenen Inseln und Sedimentflächen (eigene Grafik)

5.3. Sinuosität und Migration

Die Sinuosität beschreibt das Verhältnis zwischen der Flusslänge und der Länge der Talachse. Bei einer Sinuosität von 1 – 1,1 handelt es sich um einen gestreckten Fluss, von 1,1 – 1,5 um einen gewundenen und ab 1,5 um einen mäandrierenden Fluss (Leopold und Wolman, 1957). Aus dem Ergebnis von 1,34 lässt sich schließen, dass sich im Projektgebiet um 1812 hauptsächlich gewundene (pendelnde) Strecken befanden. 2020 misst die Sinuosität der Mur ebenso einen Wert von 1,34.

Des Weiteren wurde zur Messung der Sinuosität, zusätzlich zur Großen Murstromkarte, der Franziszeische Kataster für 1823/24 herangezogen. Für den untersuchten Abschnitt konnte eine Veränderung der Sinuosität auf 1,31 festgestellt werden. Der Franziszeische Kataster wurde außerdem auch zur Berechnung der jährlichen lateralen Verlagerung der Flussbögen herangezogen. Da nicht genau bekannt ist in welchem Jahr der untersuchte Abschnitt in den Kartenwerken des Franziszeischen Katasters und der Großen Murstromkarte aufgenommen wurde, zeigt Abbildung 26 die Ergebnisse vergleichend zwischen den unterschiedlichen Zeiträumen. Diese Analyse ergab im Median eine Migration (laterale Verlagerung) des Flusslaufs zwischen minimal 1,9 und maximal 3,6 m pro Jahr, im Mittel um 2,6 m pro Jahr.

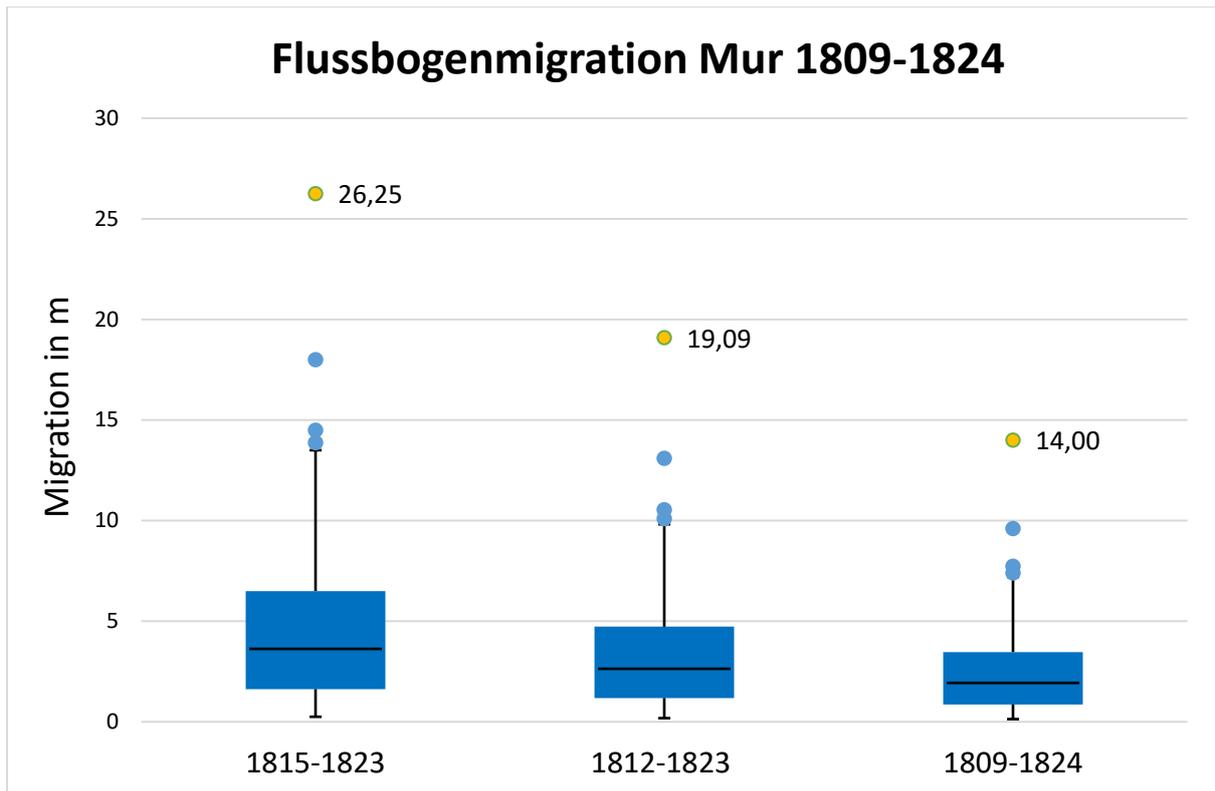


Abbildung 26: Jährliche laterale Verlagerung der Flussbögen der Mur zwischen 1809 und 1824 abhängig vom angenommenen Jahr der Erstellung der Großen Murstromkarte bzw. des Franziszeischen Katasters (eigene Grafik)

5.4. Mittlere Breite

Die mittlere Breite des aktiven Gerinnes der Mur betrug um 1812 71,2 m. Dem gegenüber beträgt die mittlere Breite 2020 48,9 m. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden Zeitschnitte ist in Abbildung 27 dargestellt. Die mittlere Breite der Mur nahm um 22,3 m ab, was einer Verringerung um rund 31% entspricht.

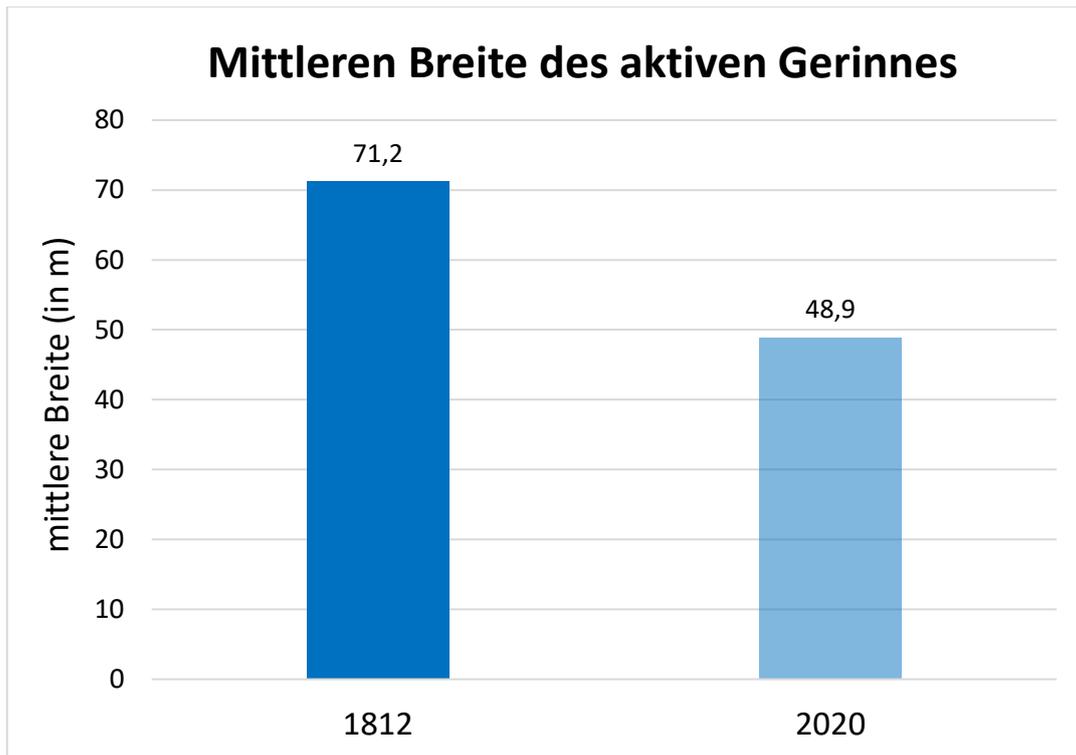


Abbildung 27: Vergleich der mittleren Breiten des aktiven Gerinnes (eigene Grafik)

Anhand der Boxplots in Abbildung 28 ist außerdem erkennbar, dass sich die Maximalbreite des Gerinnes von 1812 bis 2020 von 136 m auf 90 m verringert hat, ebenso wie die Minimalbreite von 37 m auf 30 m. Dazu ergänzend ergibt sich eine Verschiebung des Medians von 70 m auf 48 m. Berechnet man die Streuungsmaße, um die Verteilung der Werte um den Mittelwert zu betrachten, so ergibt sich für 1812 eine Standardabweichung von 15,8 und eine Varianz von 248,5. Für den Zeitschnitt 2020 ergibt sich eine Standardabweichung von 9,5 und eine Varianz von 91, was auf ein aktuell wesentlich monoton ausgeformtes Gerinne hindeutet.

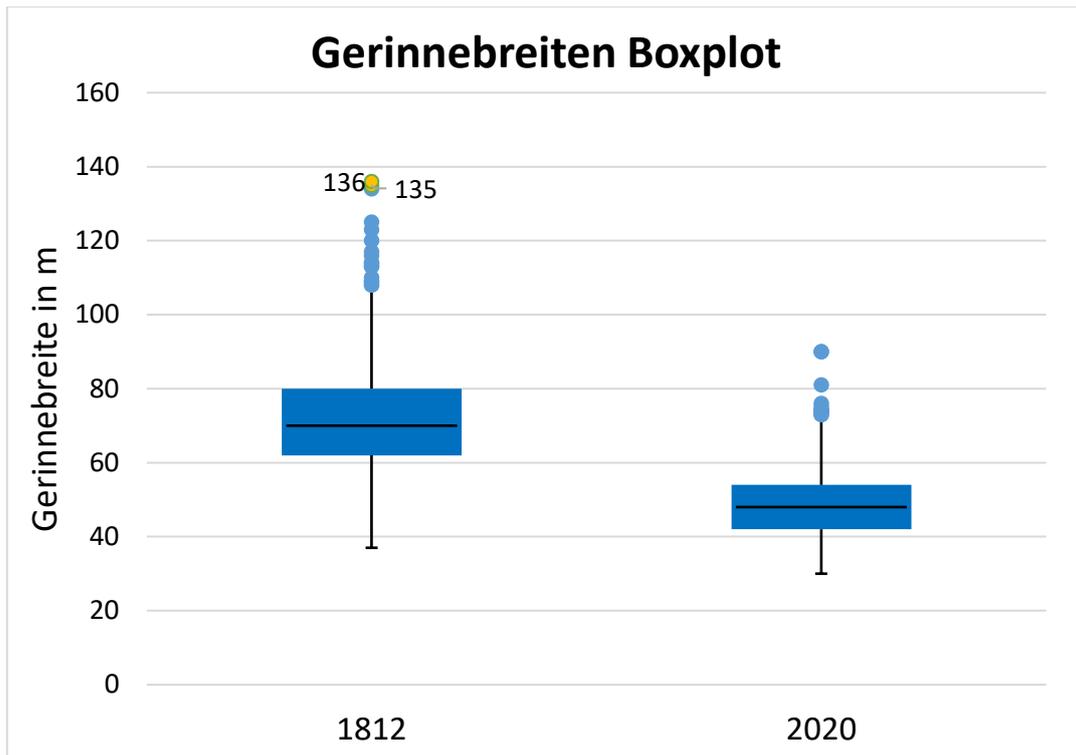


Abbildung 28: Vergleichende Boxplots der Gerinnebreiten 1812 und 2020; Ausreißer als blaue Punkte und extreme Ausreißer als gelbe Punkte dargestellt. (eigene Grafik)

5.5. Anbindungen von Nebengewässern

Aus den Auswertungen der erhobenen Daten von 1812 geht hervor, dass bei ca. MW pro km Flusslauf 107 m lange Anbindungen zwischen Hauptarm und verschiedenen Nebengewässern vorhanden waren. Bei höherem Wasserstand, wenn das gesamte aktive Gerinne wasserbedeckt war, ergab sich eine Länge von 128 m pro km.

Dem gegenüber sind 2020, bei ca. MW, nur noch 19 m pro km Flusslauf mit Nebengewässern verbunden. Diese Zahl erhöht sich mit überschwemmten Sedimentflächen auf 26 m pro km.

5.6. Wassertiefen

Die Entwicklung der Wassertiefen bei ungefährem Mittelwasser wird in Abbildung 29 dargestellt. Der Median hat sich geringfügig von 1,26 m um 1812 auf 1,36 m im Jahr 2020 verschoben (Mittelwert von 1,29 auf 1,53 m). Die maximale Tiefe betrug um 1812 5,69 m, 2020 hingegen nur 3,71 m. Betrachtet man die Streuung der Wassertiefen, so ergibt sich für den Zeitschnitt 1812 eine Standardabweichung von 0,61 und eine Varianz von 0,38. Dem

gegenüber ist 2020 die berechnete Standardabweichung 0,68 und die Varianz 0,46. Der Unterschied zwischen 1812 und 2020 erscheint überraschend klein, jedoch konnte bei der Durchführung eines einseitigen Zweistichproben T-Tests mit $p < 0.01$ ein signifikanter Unterschied der Wassertiefenverteilung festgestellt werden.

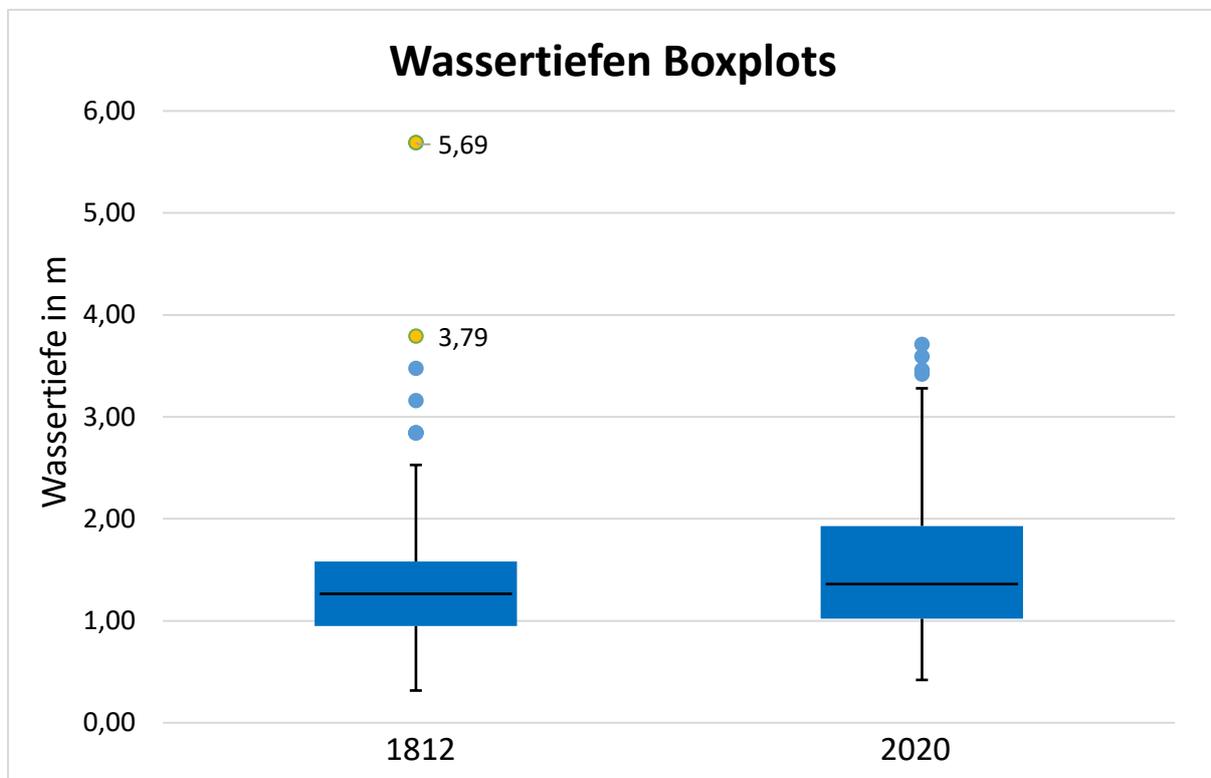


Abbildung 29: Vergleichende Boxplots der Wassertiefen bei Mittelwasser 1812 und 2020; Ausreißer als blaue Punkte und extreme Ausreißer als gelbe Punkte dargestellt. (eigene Grafik)

5.7. Geländehöhen

Die Auswertungen der Differenzen zwischen dem Vergleichswasserstand bei ca. MW und den Oberkanten der Ufer ist in Abbildung 30 zu erkennen. Es wird klar deutlich, dass sich der Höhenunterschied zwischen MW-Spiegel und Umland seit 1812 vergrößert hat. Dies ist sowohl an der Erhöhung des Medians von 1,26 m auf 2,54 m erkennbar als auch durch die Ausreißer, deren höchster Wert 1812 auf 5,69 m kommt und 2020 auf 12,84 m.

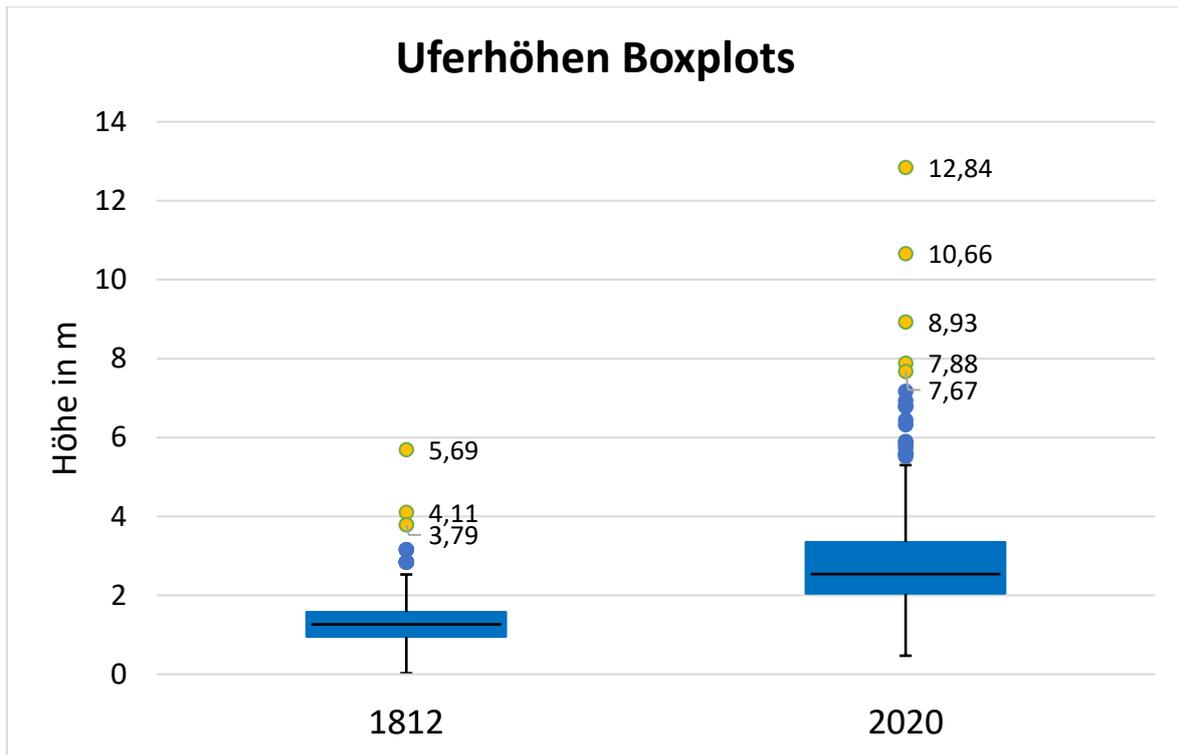


Abbildung 30: Vergleichende Boxplots der Uferhöhen bezogen auf MW 1812 und 2020 (eigene Grafik)

Abbildung 31 zeigt die Variabilität der Höhe der bewachsenen Inseln zwischen Haupt- und Nebenarmen. Der Median betrug 1812 0,95 m und 2020 1,78 m. Der minimale Wert war 1812 0,32 m und der maximale 1,58 m. Dem gegenüber waren 2020 Minimum und Maximum bei 0,80 m und 2,11 m.

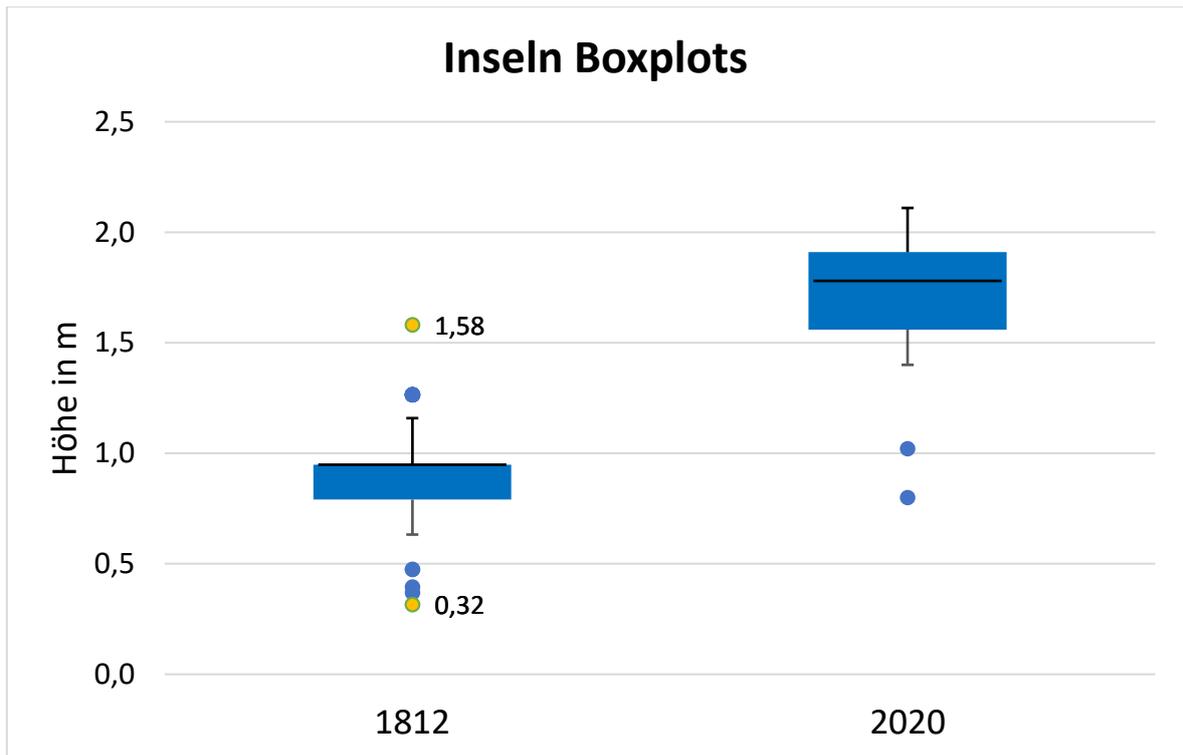


Abbildung 31: Vergleichende Boxplots der Höhen bewachsener Inseln über MW 1812 und 2020 (eigene Grafik)

Abbildung 32 zeigt die Unterschiede der Höhen der Sedimentbänke im Vergleich der beiden Zeitschnitte. 1812 waren die minimalen und maximalen Werte 0,11 m und 0,95 m. Der Median berechnet sich auf 0,26 m. 2020 beträgt der Median 1,13 m und Minimum und Maximum belaufen sich auf 0,15 m und 1,98 m.

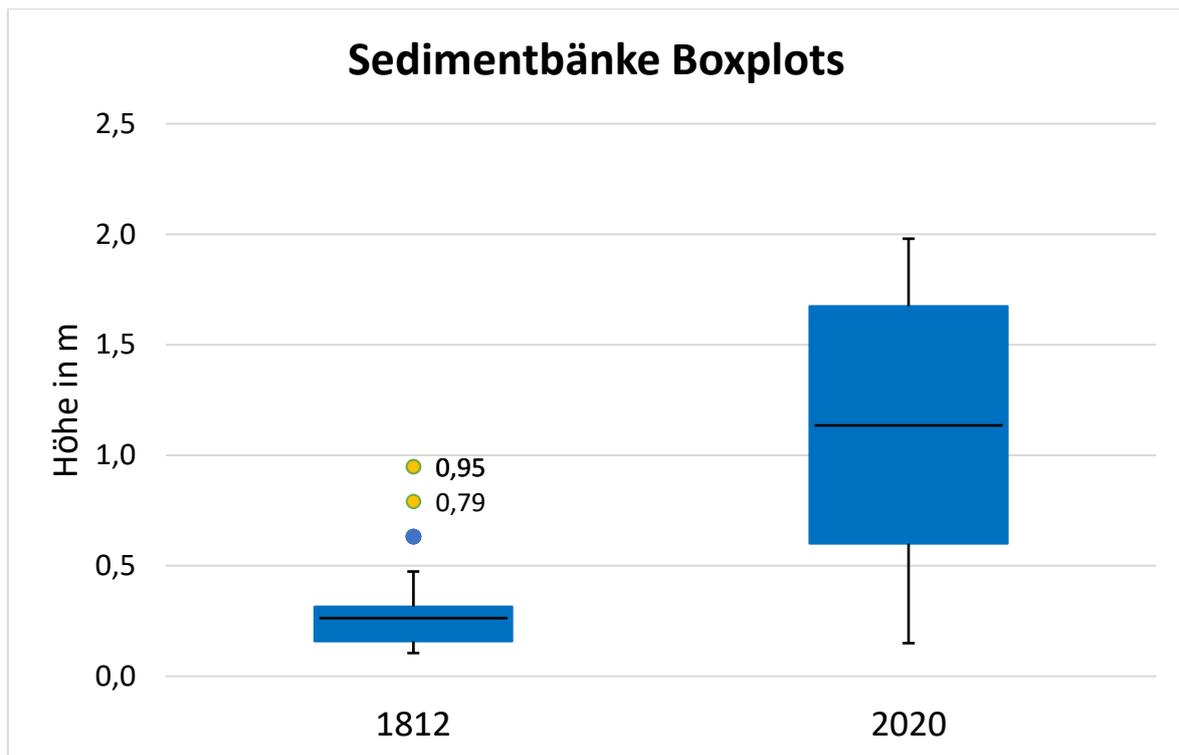


Abbildung 32: Vergleichende Boxplots der Höhen der Sedimentbänke über MW 1812 und 2020 (eigene Grafik)

5.8. Verlandungsrisiko von Nebenarmen

Mit der von Mosselman (2001) entwickelten Methode konnte das Verlandungsrisiko der Nebenarme der Mur 1812 festgestellt werden (vgl. Kapitel 4.2.7.). Die Analyse ergab, dass 15 der 46 Nebenarme, somit 33 %, eine Verlandungsgefährdung aufwiesen. In Tabelle 2 können die genauen Daten dieser Analyse abgelesen werden. Zur besseren Übersicht stellt Abbildung 33 die Ergebnisse im Verhältnis dar.

Tabelle 2: Auswertung des Verlandungsrisikos der Nebenarme der Mur 1812 anhand der Großen Murstromkarte

Fkm	Bereich	Anbindung	Length Ratio	Offtake Angle (°)	Orientation Angle (°)	Verlandungsrisiko
316,5	Fisching	Gleitufer	1,37	37	15	nein
315,6	Fisching	Prallufer	0,90	40	82	nein
314,4	Pfaffendorf	Prallufer	1,12	39	96	nein
313,5	Zeltweg	Gleitufer	0,97	43	7	nein
313,2	Neufisching	Prallufer	0,96	37	126	nein
311,9	Laing	Gleitufer	1,10	57	55	ja
311,5	Laing	Gleitufer	1,04	44	49	ja

308,8	Murhof	Prallufer	1,32	35	39	nein
307,6	Weyern 1	Prallufer	1,23	44	56	nein
307,6	Weyern	Gleitufer	0,75	48	137	ja
306,8	Weyern 2	Gleitufer	1,06	51	31	nein
304,1	Knittelfeld	Prallufer	1,06	30	57	nein
302,3	St. Margereten	Prallufer	0,90	55	36	nein
301,8	St. Margereten	Gleitufer	0,99	56	107	ja
301,5	St. Margereten	Gleitufer	1,08	38	33	nein
300,8	St. Margereten	Gleitufer	1,14	55	69	ja
300	St. Margereten	Prallufer	1,65	52	100	ja
289,9	Kobenz	Gleitufer	0,99	27	22	nein
298,4	Kobenz	Gleitufer	1,07	45	81	ja
297,4	Fentsch	Gleitufer	0,98	28	68	ja
297,4	Fentsch	Prallufer	1,03	39	148	nein
294,8	St. Lorenzen	Gleitufer	1,11	63	128	nein
294,2	St. Lorenzen	Gleitufer	0,87	65	56	ja
291,2	Feistritz	Gleitufer	0,91	47	22	nein
290,7	Untermur	Prallufer	1,16	40	71	nein
290,4	Untermur	Gleitufer	1,44	51	144	ja
290,3	Untermur	Prallufer	0,88	29	14	nein
290	Untermur	Prallufer	0,96	28	39	nein
289,2	Preg	Gleitufer	1,17	39	7	nein
288,4	Preg	Prallufer	1,40	34	81	nein
287,2	Leising	Gleitufer	0,76	25	37	nein
285,1	Kraubath	Gleitufer	0,91	32	37	nein
285	Kraubath	Prallufer	0,83	26	21	nein
284,1	Wolfersbach	Gleitufer	1,05	40	94	ja
283,8	Wolfersbach	Gleitufer	0,89	38	151	ja
282,8	St. Stefan	Prallufer	1,10	26	75	nein
282,5	St. Stefan	Gleitufer	1,27	23	17	nein
282,1	St. Stefan	Gleitufer	0,91	54	22	nein
280,8	Kaiserberg	Prallufer	1,05	31	52	nein
280,4	Kaiserberg	Gleitufer	0,90	34	65	ja
280,2	Kaiserberg	Prallufer	1,21	33	61	nein

279	Greith	Gleitufer	0,87	44	126	ja
278,2	Greith	Gleitufer	1,28	53	54	ja
276,7	St. Michael	Prallufer	0,77	26	146	nein
266,7	Leoben	Prallufer	1,31	43	51	nein
265,8	Leoben	Gleitufer	1,10	18	43	nein

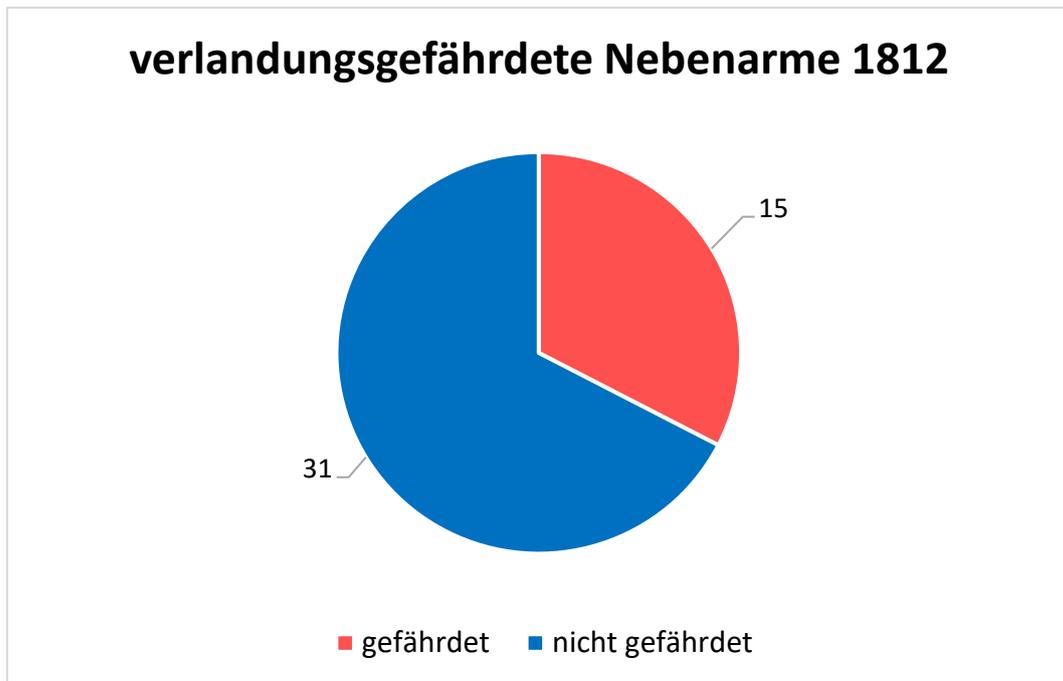


Abbildung 33: Nebenarme mit und ohne Verlandungsrisiko 1812 (eigene Grafik)

Die Auswertungen nach Mosselman (2001) ergaben 2020 eine Verlandungsgefahr bei 11 von 18 Nebenarmen, somit 61 %, im untersuchten Abschnitt der Mur. Abbildung 34 stellt die Ergebnisse im Verhältnis dar. Wie sich schon anhand Tabelle 3 erkennen lässt, gab es 1812 um 28 mehr Nebenarme als 2020. Nebenarme, die im Zuge von LIFE-Projekten entstanden sind, weisen zu 100% ein Verlandungsrisiko auf. Bei diesen und allen anderen verlandungsgefährdeten Nebenarmen sind die ausschlaggebenden Faktoren für die Verlandung primär in der Anbindung in ungünstigen Gleituferebereichen, sowie der Orientation Angle, also der Winkel zwischen dem Nebenarm und der Talachse, zu finden (vgl. Kapitel 4.2.7).

Tabelle 3: Auswertung des Verlandungsrisikos der Nebenarme der Mur 2020

Fkm	Bereich	LIFE Maßn.	Anbindung	Length Ratio	Offtake Angle (°)	Orientation Angle (°)	Verlandungsrisiko
314,4	Pfaffendorf	nein	Gleitufer	1,2	46	72	ja
313,5	Zeltweg	nein	Gleitufer	0,9	44	24	nein

310,7	Lind/Zeltweg	nein	Gleitufer	1,1	39	76	ja
308,5	Weyern	nein	Prallufer	1,2	38	73	nein
308,4	Weyern	nein	Gleitufer	0,9	47	151	ja
307,7	Weyern 1	ja	Gleitufer	0,9	46	98	ja
306,8	Weyern 2	ja	Gleitufer	1,2	44	61	ja
306,4	Apfelberg	ja	Gleitufer	1,0	40	135	ja
305,0	Lässer Au	ja	Gleitufer	0,9	29	57	ja
298,9	Kobenz	nein	Gleitufer	1,0	47	16	nein
298,4	Kobenz	nein	Gleitufer	1,0	32	87	ja
292,7	Feistritz	ja	Gleitufer	0,7	57	136	ja
291,2	Pichl	nein	Gleitufer	1,1	54	65	ja
285,1	Kraubath	nein	Prallufer	1,2	45	62	nein
283,8	Wolfersbach	nein	Gleitufer	0,9	40	72	ja
280,8	Kaiserberg	nein	Prallufer	1,1	44	53	nein
278,0	St. Michael	nein	Gleitufer	1,0	37	11	nein
275,4	St. Michael	nein	Prallufer	1,1	34	48	nein

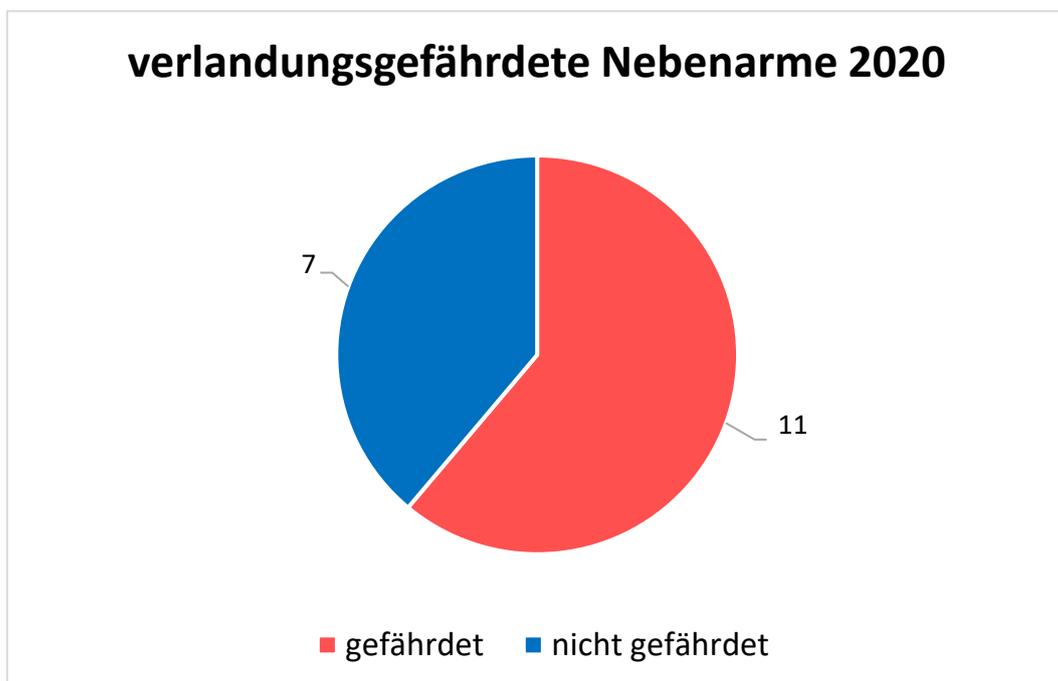


Abbildung 34: Nebenarme mit und ohne Verlandungsrisiko 2020 (eigene Grafik)

Um die beiden Zeitschnitte direkt miteinander zu vergleichen, stellt Tabelle 5 die Nebenarme von 1812 jenen gegenüber die auch 2020 an den jeweiligen Flusskilometern gefunden werden

konnten. Ob es sich 2020 dabei um Nebenarme handelt, die bei einem der LIFE-Projekte entstanden sind, wurde in die Gegenüberstellung ebenfalls miteinbezogen. So konnte festgestellt werden, dass die beiden Maßnahmen Weyern 1 & 2 (vgl. Kapitel 3.4.1) verlandungsgefährdet sind. Für die Nebenarme in diesem Bereich um 1812 konnte dies nicht festgestellt werden. Da es 1812 mehr als einen Nebenarm gab, bei dem einer verlandungsgefährdet war und der andere nicht, ist bei Fkm 307,7 sowohl ja als auch nein angegeben.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Nebenarme 1812 und 2020

Fkm	Bereich	LIFE Maßnahme	Verlandung 2020	Verlandung 1812
314,4	Pfaffendorf	nein	ja	nein
313,5	Zeltweg	nein	nein	nein
307,7	Weyern 1	ja	ja	ja/nein
306,8	Weyern 2	ja	ja	nein
298,9	Kobenz	nein	nein	nein
298,4	Kobenz	nein	ja	ja
291,2	Feistritz	nein	ja	nein
285,1	Kraubath	nein	nein	nein
283,8	Wolfersbach	nein	ja	nein
280,8	Kaiserberg	nein	nein	nein

6. Diskussion der Ergebnisse

Nachfolgend werden die in Kapitel 2 formulierten Forschungsfragen und Hypothesen aufbauend auf den Ergebnissen diskutiert. Zudem werden im Anschluss Restaurationsmaßnahmen vorgestellt, die anhand der gewonnenen Erkenntnisse entwickelt wurden.

6.1. Typische flussmorphologische Strukturen

Welche flussmorphologischen Strukturen waren typisch für die Mur?

Vor der Regulierung, um das Jahr 1812, entsprach die Mur im untersuchten Abschnitt primär einem „gewundenen Flusstyp“ (Poppe et al., 2003; Hohensinner et al., 2021); dies wird auch durch die gemessene Sinuosität von 1,34 bestätigt. Es existierten nur wenige, stark verzweigte Strecken, wovon die Längste eine Länge von 1,5 km erreichte. Längere, den Hauptarm begleitende Alt- und Nebenarme waren also typische Elemente dieser Flusslandschaft. Dies ist auch anhand der lateralen Konnektivität zwischen Hauptarm und diversen Nebengewässern zu erkennen. 1812 existierten bei mittlerer Wasserführung pro km Flusslauf 107 m lange Anbindungen zwischen Hauptarm und Nebengewässern. Misst man wie hoch der Anteil verzweigter Strecken (mit nebeneinander verlaufenden Armen des Typs Eupotamon A und B sowie Parapotamon A) an der gesamten Lauflänge war, kommt man auf rund 28%. Anders als bei einem typischen furkierenden Fluss waren diese aber von einer geringeren Umlagerungsdynamik geprägt. Oft waren es auch nur schmälere Nebenarme, die durch Inseln getrennt parallel zum Hauptarm flossen und nicht wie bei einem furkierenden Fluss größere Bereiche des Talbodens einnahmen.

Die Mur bestand zum Zeitpunkt der Erstellung der Großen Murstromkarte zu rund 87% aus Habitaten des Hauptarms (Eupotamon A) und zu 8,8% aus permanent durströmten Nebenarmen (Eupotamon B). Die übrigen 4% verteilten sich auf dynamische Altarme (Parapotamon A), einseitig angebundene Altarme (Parapotamon B) und Totarme (Paläopotamon). Für strömungsliebende (rheophilen) Arten, wie Äsche, Bachforelle und Huchen, boten diese eupotamalen Bedingungen günstige Lebensräume (Jungwirth et al., 2003). Diese werden auch im Fischökologischen Leitbild diesem Abschnitt der Mur zugeordnet (vgl. Kapitel 3.1.5).

Das aktive Gerinne der Mur wies 1812 im Median eine Breite von 70 m auf und das Gerinne war bei MW flacher ausgeprägt mit einem Median von 1,26 m Wassertiefe. Die Uferhöhe befand sich bei MW im Median ebenfalls bei 1,26 m. Die geringen Uferhöhen ermöglichten schon bei kleineren Hochwasserabflüssen die Ausuferung ins Umland und die dadurch bedingte Bildung von semi-aquatischen Habitaten und Auenlandschaften, aber auch die dynamischen Umlagerungsprozesse des Gerinnes (Hohensinner und Jungwirth, 2016; Patt, 2016). Aus restaurationsökologischer Sicht sind Daten zur Gerinnesdynamik besonders interessant. Je nachdem welche Aufnahmejahre man zugrunde legt, betrug die jährliche laterale Verlagerung der Flussbögen Anfang des 19. Jahrhunderts zwischen 1,9 und 3,6 m. Sedimentinseln in Haupt- und Nebenarmen zählten ebenfalls zu den typischen Flussstrukturen. Diese machten 1812 einen Anteil von 5,5% bezogen auf die Fläche des gesamten aktiven Gerinnes bei einem mittleren Wasserstand aus (vgl. Kapitel 4.2.5.)

Die Hypothesen H1.1 und H1.2, konnten durch die Analysen der Großen Murstromkarte also bestätigt werden.

6.2. Hydromorphologische Veränderungen im Vergleich

Welche flussmorphologischen Veränderungen sind aktuell an der Mur im Vergleich zum historischen Zustand um 1812 nachweisbar?

Die vielfältigen Eingriffe in die Flusslandschaft der Mur seit der Erstellung der Großen Murstromkarte zwischen 1809 und 1815 haben in allen erhobenen Bereichen Veränderungen hervorgerufen. Eine signifikante Laufbegradigung wie an anderen großen Flüssen konnte für den untersuchten Abschnitt der Mur nicht festgestellt werden. Anders als an der Donau (Hohensinner et al., 2004) und dem Piave in Italien (Surian, 1999) ist die Sinuosität des Flusslaufs heute wie historisch 1,34 und dieser daher nach wie vor gewunden bis pendelnd. Die Hypothese H2.2, dass die Sinuosität seit 1812 abgenommen hat, muss daher verworfen werden. Die Sinuosität ist jedoch der einzige Parameter der gar keine regulierungsbedingte Veränderung aufweist. Wie im vorigen Kapitel bereits festgestellt wurde, handelte es sich bei der Mur trotz einiger Verzweigungsstrecken nicht um einen furkierenden Flusstyp. Dem ist auch heute nicht so, im Gegenteil, es konnte ein deutlich geringerer Anteil verzweigter Strecken festgestellt werden. In der heutigen Mur machen verzweigte Strecken nur noch einen Anteil von rund 10% im Verhältnis zur Lauflänge aus. Hinzu kommt eine höhere Stabilität

dieser bestehenden Verzweigungen. Heute sind es oft nur schmälere und kürzere Nebenarme, die eher zur Verlandung neigen, was im nächsten Kapitel noch genauer diskutiert wird.

Betrachtet man die angesprochenen Veränderungen genauer, ist erkennbar, dass sich auch die aquatische Habitatausstattung im Projektgebiet stark verändert hat. Vergleicht man zunächst die Gesamtfläche des aktiven Gerinnes der Mur, so zeigt sich ein Rückgang um 135 ha, also um 34%. Außerdem konnte auch bei jedem der definierten Gewässertypen ein Rückgang verzeichnet werden. Den Flächenverlust des Hauptarmes (-26%) ausgenommen, beträgt dieser Rückgang für alle anderen Gewässertypen mindestens 70%. Am größten ist der Verlust der Fläche von Altarmen, die um 94% zurückgegangen ist. Durch den Rückgang der Fließgewässerfläche können die Regulierungen und Einengungen, die in großen Teilen Österreichs bereits belegt sind, auch für den untersuchten Abschnitt der Mur bestätigt werden (Haidvogel et al., 2018; Hein et al., 2018). Gumpinger et al. (2018) stellte auch schon an Fließgewässern von Oberösterreich fest, dass anthropogene Eingriffe nicht nur qualitative Änderungen der aquatischen Habitatausstattung, sondern auch einen quantitativen Verlust verursachen. Diese Beobachtung untermauert die zur zweiten Forschungsfrage formulierte Hypothese H2.1, einer Änderung der Flächenanteile innerhalb der Habitate als Folge der Regulierungsmaßnahmen. Dies kann von den Ergebnissen für die Mur bestätigt werden.

Ebenfalls konnte ein Verlust von Sedimentflächen von 22,1 ha auf 6,2 ha festgestellt werden. Dies entspricht einem Rückgang um 72%. Diese Entwicklung kann vermutlich auch mit einer verringerten Geschiebefracht begründet werden (Patt, 2018). Diese Verringerung der Sedimentflächen setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen, wie der nachgewiesenen Einengung des Gerinnes, der Stabilisierung der Ufer und den zahlreichen Querbauwerken, die sich flussauf des untersuchten Abschnitts befinden. Mit diesem Rückgang verkleinert sich auch das Habitatangebot. Vegetationsfreie Kies- bzw. Sedimentbänke beherbergen eine sehr spezifische Fauna mit einem hohen Anteil eng biotopgebundener (stenotoper) Arten (Plachter, 1986). Bei Flussinseln mit Vegetation, die sich ebenfalls durch Anschwemmungen und Ablagerungen von Sand und Kies bilden, konnte auch eine Verringerung der Fläche festgestellt werden. Der Rückgang der flächenmäßigen Ausdehnung beläuft sich auf rund 42%. Dem ist hinzuzufügen, dass sich nicht nur die Fläche der Inseln, sondern auch die absolute Anzahl verringert hat. Konnten 1812 noch 43 Inseln gezählt werden, waren es 2020 nur mehr 13. Wie schon bei den Sedimentflächen ist auch dies mit einem Verlust spezieller Habitatstandorte verbunden. Es muss jedoch erwähnt werden, dass der Flächenvergleich nur bedingt aussagekräftig ist. Bei den nachfolgenden Ergebnissen der Höhenberechnungen wurden die

aktuellen Daten auf den annähernden Mittelwasserstand von 1812 angepasst, dies konnte bei den Flächen von Sedimentbänken nicht durchgeführt werden. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass vor allem die Sedimentflächen 2020 bei MW geringfügig größere Ausdehnung aufweisen können als im Rahmen der vorliegenden Arbeit dokumentiert.

Weiters konnte auch die Hypothese H2.3 zur Abnahme der Gerinnebreite mit den erhobenen Ergebnissen bestätigt werden. Die Maximalbreite des Gerinnes hat sich seit 1812 von 136 m auf 90 m verringert, ebenso wie die Minimalbreite von 37 m auf 30 m. Dazu ergänzend ergibt sich eine Verschiebung des Medians von 70 m auf 48 m. Vergleicht man des Weiteren die Varianz der Daten, zeigt sich, dass sich diese ebenfalls von 249 auf 91 verringert hat. Dies deutet folglich auf eine zunehmende Homogenisierung des Flusslaufes hin, wie es für andere Flüsse (Surian, 1999; Hohensinner et al., 2004) und die Grenzmur bereits festgestellt werden konnte (Drescher, 2018).

Die Entwicklung der Wassertiefen weisen ebenfalls Unterschiede zwischen den Zeitschnitten auf. Der Median hat sich von 1,26 m zwar nur geringfügig auf 1,36 m vergrößert, jedoch zeigt sich beim Vergleich der Maximalwerte eine Verringerung von 5,69 m auf 3,71 m. Diese Tiefenwerte sind jedoch kritisch zu beurteilen, da – wie in Kapitel 4.2.5. erwähnt – die aktuellen Wassertiefen entlang der Mittelachse gemessen wurden und nicht wie historisch entlang des tendenziell tieferen Stromstrichs. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die aktuellen Wassertiefen noch größer als hier angegeben sind.

Die Auswertungen der Differenzen zwischen dem Vergleichswasserstand und den Ufern der Mur haben ergeben, dass sich zwischen 1812 und 2020 die vertikale Distanz zwischen Wasserspiegel und Umland vergrößert hat. Dies ist nicht nur an der Erhöhung des Medians von 1,26 m auf 2,54 m erkennbar, sondern auch durch die Ausreißer, deren höchster Wert auf 12,84 m kommt und damit fast doppelt so hoch ist wie der Maximalwert 1812. Die berechneten Werte deuten darauf hin, dass sich die Mur im Vergleich zu den historischen Referenzwerten eingetieft und damit den Fluss von seinem Umland entkoppelt hat. Damit verringern sich auch laufend potenzielle Standorte für nasse, feuchte oder frische Auwaldgesellschaften (Hohensinner und Jungwirth, 2016). Die weitgehend fixierten Ufer hindern den Fluss außerdem an der natürlichen Umlagerungsdynamik (siehe auch Kapitel 6.3.) Dies bestätigt die eingangs formulierte Hypothese H2.4 und ebenfalls die Erkenntnisse aus anderen Arbeiten (Haidvogel et al., 2018; Schmutz und Sendzimir, 2018).

6.3. Verlandung neu angelegter Nebenarme

Wie ist die langfristige Funktionsfähigkeit bereits durchgeführter Restaurationsmaßnahmen zu bewerten?

Sowohl 1812 als auch 2020 existierten Nebenarme mit Verlandungstendenzen. Die historische Mur war jedoch von einer größeren Dynamik geprägt als heute und die Ausbildung neuer Nebenarme konnte weitestgehend ohne Uferbegrenzungen erfolgen. Um 1812 existierten um 61% mehr Nebenarme als heute, 33% davon befanden sich im Verlandungsstadium. Diese waren aber nicht statisch, sondern veränderten sich in Abhängigkeit der Abflussereignisse und der Sedimentverfügbarkeit beständig. Sofern Flussbögen an den Prallufeln nicht fixiert sind, weiten sie sich durch Erosion aus. Auf der anderen Seite können sich am Gleitufer neue Sedimente ablagern, wobei oft auch Inseln mit Nebenarmen entstehen können. In Summe, auf einem längeren Flussabschnitt betrachtet, gleichen sich diese gegenläufigen Prozesse wieder aus und tragen langfristig zu einer flusstypischen Zusammensetzung aquatischer und terrestrischer Habitate bei. Diesen Prozess bezeichneten Stanford et al. (2005) als „shifting habitat mosaic“, das von Hohensinner et al. (2011) im Detail für die historische Donau untersucht wurde. Diese Prozesse finden an der Mur heute nur noch eingeschränkt statt und verringern die Dynamik und Komplexität der Flusslandschaft. Um diesen Entwicklungen entgegenzuwirken und wieder eine größere Habitatvielfalt zu schaffen, werden durch Restaurierungsprojekte Nebenarme wieder angebunden oder neu initiiert. Sind diese jedoch aufgrund ihrer Lage, Länge oder Einströmungswinkel ungünstig angelegt und drohen dadurch in wenigen Jahren zu verlanden, verlieren sie ihre langfristige Wirksamkeit, den ökologischen Zustand des Flusses aufrechtzuerhalten. Vergleicht man die in Kapitel 3.4. vorgestellten LIFE-Maßnahmen mit den Analysen nach Mosselman (2001), so ist in Tabelle 5 ersichtlich, dass alle neu initiierten Nebenarme eine Gefährdung zur Verlandung aufweisen. Dies bestätigt die Annahme der vorab definierten Hypothese H3.1. Wie in Kapitel 5.8. gezeigt, waren auch um 1812 Nebenarme als verlandungsgefährdet zu bewerten.

Tabelle 5: Bewertung der Verlandungsgefahr nach Mosselman (2001) für Nebenarme der Mur 2020, LIFE-Maßnahmen sind fett hervorgehoben

Fkm	Bereich	LIFE Maßnahme	Verlandungs-gefährdet
314,4	Pfaffendorf	nein	ja
313,5	Zeltweg	nein	nein

310,7	Lind/Zeltweg	nein	ja
308,5	Weyern	nein	nein
308,4	Weyern	nein	ja
307,7	Weyern 1	ja	ja
306,8	Weyern 2	ja	ja
306,4	Apfelberg (Ingeringmündung)	ja	ja
305,0	Lässer Au	ja	ja
298,9	Kobenz	nein	nein
298,4	Kobenz	nein	ja
292,7	Feistritz	ja	ja
291,2	Pichl	nein	ja
285,1	Kraubath	nein	nein
283,8	Wolfersbach	nein	ja

Nebenarme können Überschwemmungsrisiken mindern und die Vielfalt fluvialer Lebensräume verbessern. Laut Mosselman (2001) besteht die gegenwärtige Praxis darin, dass neue Nebenarme mit einer Neigung zur Sedimentation angelegt werden. Neben der Frage der Flächenverfügbarkeit mag eine Überlegung dahinter möglicherweise sein, dass sich der Nebenarm nicht zu stark verändert und dabei Sedimente in den Hauptarm ausgetragen werden. Da die Ablagerungen in Nebengewässern zu einer allmählichen Verringerung der positiven ökologischen und hydrologischen Effekte führt, ist ein periodischer Aushub zur Freilegung der neuen Gerinne erforderlich. Die erforderliche Häufigkeit dieser periodischen Verjüngung hängt von der morphologischen Entwicklung des Nebenarms ab (Mosselman, 2001). Dies bedeutet nicht nur wiederkehrende Eingriffe in das Flusssystem, sondern ist auch mit laufenden Kosten verbunden. Um diese gering zu halten, sollten die genannten Aspekte bei zukünftigen Projekten berücksichtigt werden. Beispiele zur Gestaltung von Nebenarmen werden in den folgenden Kapiteln behandelt.

6.4. Grenzen bei der Verwendung historischer Daten

Um die Ergebnisse der historischen Analysen mit den aktuellen Daten vergleichen und diskutieren zu können, sollten auch die praktischen Grenzen dieser Methode aufgezeigt werden. Es ist wichtig zu betonen, dass historische Karten immer nur das Abbild eines

Zeitpunktes in der Vergangenheit sind (Haidvogel et al., 2011; Higgs et al., 2014). Die Motivation, historische Referenzen als Ziele für Restaurationsprojekte zu suchen, ist im klassischen Modell einfach: Es gilt die generelle Annahme, dass die Integrität des betreffenden Ökosystems vor modernen menschlichen Störungen besser war als heute. Somit werden historische Informationen oder Referenzbedingungen zur primären Quelle dafür, wie ein Ökosystem nach der Wiederherstellung in der Zukunft aussehen sollte. Ein Versuch, zu Referenzbedingungen zurückzukehren, erscheint vernünftig, auch wenn gegenwärtige Zwänge, Prioritäten und Hinterlassenschaften der Landnutzung das Erreichbare gewaltig einschränken können (Higgs et al., 2014; Haidvogel et al., 2018). Dieser Ansatz hat sich mit der Zeit gewandelt und ging dazu über, historisches Wissen als Leitfaden anstatt als Vorlage zu nutzen. Mehrere potenzielle Entwicklungspfade des Ökosystems werden diskutiert und dynamische Prozesse starren Strukturen vorgezogen (Higgs et al., 2014).

Im vorliegenden Fall bildet die Große Murstromkarte den Zustand zwischen 1809 und 1815 ab. Diese Situation zeigt ein Produkt aus den historischen Rahmenbedingungen, wie Landnutzung im Einzugsgebiet, Holztrift und anderen anthropogenen Eingriffen, aber auch die damaligen klimatischen Begebenheiten, welche in weiteren Überlegungen berücksichtigt werden muss. Zudem soll deutlich gemacht werden, dass quantitative Analysen auf Grund von Qualität und Genauigkeit des Kartenmaterials an ihre Grenzen stoßen. Nicht nur die Unterschiede zwischen den verwendeten Maßeinheiten, die im Kapitel 4 bereits angesprochen wurden, auch der nur ungefähr einzuordnende Wasserstand zum Aufnahmezeitpunkt führt zu Unsicherheiten und möglicherweise Ungenauigkeiten in den Ergebnissen.

Trotz der aufgezeigten Kritiken und der erwähnten Grenzen in den Analysen ist historisches Kartenmaterial eine wichtige Informationsquelle, um Entwicklungen in Flusslandschaften und die zu Grunde liegenden Prozesse verstehen zu können. Besonders die Folgen von natürlichen und anthropogenen Störungen können mit Hilfe von genau datiertem historischem Material analysiert werden. Dies darf aber nicht bedeuten, dass eine punktuelle historische Situation als Planungsziel herangezogen wird. Historische Daten können zwar eine wichtige Rolle im integrativen Planungsprozess spielen, in welchem Ausmaß ist allerdings vom Umfang und der Qualität der verfügbaren historischen Quellen abhängig und müssen im Einzelfall beurteilt werden (Palmer et al., 2005).

7. Potenzielle Maßnahmen zur Verbesserung des morphologischen Zustands

Die Herausforderung bei der Revitalisierung von Flüssen besteht darin, ihre natürliche Form und Prozesse so weit wie möglich wiederherzustellen und den notwendigen Raum, in denen diese Prozesse stattfinden, zu gewährleisten. Je mehr ein Renaturierungsprojekt natürliche Prozesse zulässt, desto wahrscheinlicher wird sich das Ökosystem erholen (Smith et al., 2008). Nachfolgend werden unterschiedliche Maßnahmentypen beschrieben und anschließend Konzepte für Abschnitte der Mur vorgestellt.

7.1. Maßnahmentypen

Die Palette von Maßnahmen zur Reduktion von morphologischen Beeinträchtigungen reicht von kleinräumigen Strukturierungsmaßnahmen bis hin zu Maßnahmen, die auch Teile des Gewässerumlandes miteinbeziehen. Während kleinräumige Maßnahmen („Strukturierungen“) primär auf eine Habitatverbesserung an Ufer und im Gewässerbett abzielen, dienen großräumige Maßnahmen („Restorationen“) zur Annäherung an den gewässertypischen Leitbildzustand und beziehen auch unmittelbar angrenzende Vegetationsbestände und Nebengewässer ein. Voraussetzung hierfür ist eine geeignete Flächenverfügbarkeit im Gewässerumland. Abhängig vom Gewässertyp ist zudem die Erhaltung und Entwicklung autotypischer Standorte anzustreben. Durch Initialmaßnahmen (Entfernen von Uferbefestigungen und/oder der Sohlsicherung, Öffnung von Verrohrungen) kann eine sukzessive „Selbstenwicklung“ initiiert werden. Im Idealfall kann sich ein restauriertes Fließgewässer zu einem natürlichen, sich selbst regulierenden System entwickeln, welches seinem Landschaftsraum und seinem morphologischen Gewässertyp angepasst ist. In diesem Fall kann sich der umgestaltete Gewässerabschnitt nachhaltig selbst erhalten und bedarf nach Abschluss der Maßnahmen keiner weiteren Unterstützung oder Pflege (Preis et al., 2001). Wasserbauliche Maßnahmen, die eine eigendynamische Gewässerentwicklung einleiten, zeichnen sich dadurch aus, dass mit ihnen niemals ein „fertiger Zustand“ nach Abschluss der Bauarbeiten erstellt wird. Es werden Grobstrukturen vorgegeben, die anschließend durch die gestaltende Kraft des Wassers vollendet werden (Patt, 2018).

Tabelle 6 zeigt eine Übersicht verschiedener Ansätze und potenzieller Restaurationsmaßnahmen. Dabei reicht das Spektrum von kleinräumigen

Restrukturierungsmaßnahmen im Gewässerbett und im Uferbereich bis hin zu Maßnahmen, die weit in die Flächen greifen. Innerhalb dieses umfangreichen Maßnahmenkatalogs liegt im Hauptfluss das Hauptaugenmerk vor allem auf Maßnahmen zur Habitatverbesserung für die Fischfauna.

Tabelle 6: Überblickmäßige Darstellung der potenziellen Maßnahmentypen an der Mur

Potenzielle Restaurationsmaßnahmen an der Mur

Dynamischer Restaurationsansatz

- Aufweitung des Flussbettes – Ermöglichung von dynamischen Umlagerungsprozessen innerhalb des Flussbettes (Sedimentinseln und Nebenarme)
- Entfernung der Uferverbauung in Flussbögen – Ermöglichung von lateraler Erosion an Prallufeln
- Einbau von Holzstrukturen oder Bühnen zur Ablenkung der Strömung, um eine Gerinneverlagerung zu initiieren; Einbringen von Totholz; Einbringen von Störsteinen

Konservierender Restaurationsansatz

- Verbesserung der Durchströmung bestehender Nebenarme/Altarme
- Einbau von Sohlstrukturen im bestehenden Gerinne

Gestaltender Restaurationsansatz

- Lokale Aufweitung des Gerinnes und Aufschüttung von Sedimentbänken
- Aktive Neuschaffung von Nebenarmen und Inseln durch Baggerungen
- Abflachung der Uferbereiche durch Baggerungen

Kombinierter Restaurationsansatz

- Kombination dynamischer Restaurationsmaßnahmen mit konservierenden oder gestaltenden Maßnahmen

Adaptiver Restaurationsansatz

- Schrittweise Umsetzung von Restaurationsmaßnahmen, z.B. schrittweise Verlängerung von Gerinneaufweitungen um Erfahrungen zu sammeln und allfällige Gefahrenpotenziale (Hochwasserschutz) besser beurteilen zu können

7.2. St. Michael

Um die oben erwähnten Maßnahmen konkreter darzustellen, werden in diesem Kapitel zwei Maßnahmenkonzepte für die Mur bei St. Michael in der Obersteiermark beschrieben und in Karten verortet. Die Abbildungen 34 & 35 bilden dafür die Basis und zeigen den ausgewählten

Bereich als Luftaufnahme und als Geländemodell. Abbildung 35 zeigt außerdem zum Vergleich den Verlauf der Mur um 1812 in blau als GIS-Layer über dem aktuellen Orthofoto. In beiden Aufnahmen ist die Flusskilometrierung zur Orientierung eingezeichnet. Wie erkennbar ist, hat sich die Sinuosität hier nicht verändert. Die Breite des aktiven Gerinnes hingegen hat sich für diesen Abschnitt im Median seit 1812 von 76 m auf 63 m verringert. Eine Aufweitung um 13 m entsprächen 17% ausgehend vom Bestand. Zum Vergleich der Geländehöhen war in diesem Bereich nur eine historische Messung am rechten Flussufer bei Fkm 275,0 vorhanden und eine mit Messungen an beiden Ufern bei Fkm 275,0. Die Uferhöhen bei St. Michael im historischen Vergleich zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Uferhöhen bei St. Michael

	1812	2020
Fkm 275,6	1,6 m	1,7 m
Fkm 275,0 l. Ufer	0,6 m	1,8 m
Fkm 275,0 r. Ufer	1,6 m	5,7 m

Würde man sich bei den Restaurationsmaßnahmen streng am historischen Zustand orientieren, dann würde man hier nur eine Gerinneaufweitungen vorschlagen. Wie bereits in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ausgeführt, ist dies jedoch nicht immer sinnvoll. Daher wird hier der historische Zustand zum Vergleich herangezogen, die Maßnahmen aber an die örtlichen Rahmenbedingungen angepasst. Der hier gezeigte

Flussabschnitt dient im Rahmen dieser Arbeit als Beispiel für potenziell mögliche Maßnahmenarten bei eingeschränkter Raumverfügbarkeit.

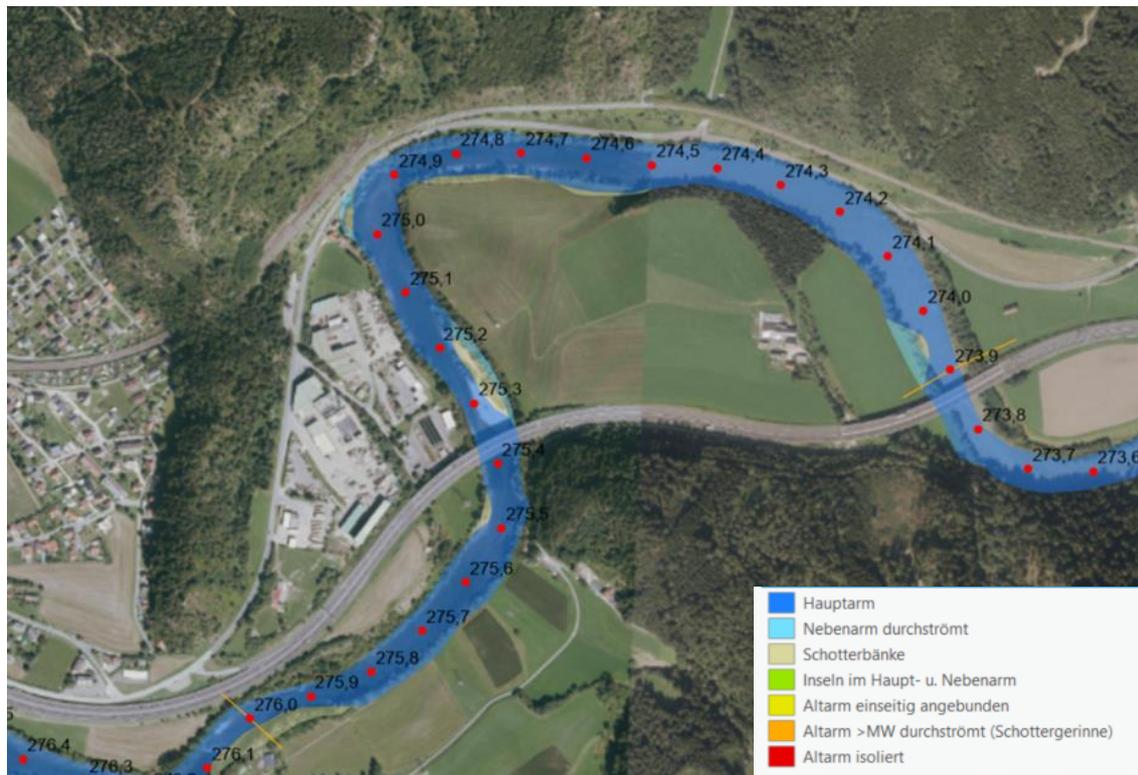


Abbildung 35: Untersuchungsabschnitt Mur flussab von St. Michael mit dem Zustand der Mur 1812 überlagert (Fkm 276,0-273,9) (Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap)

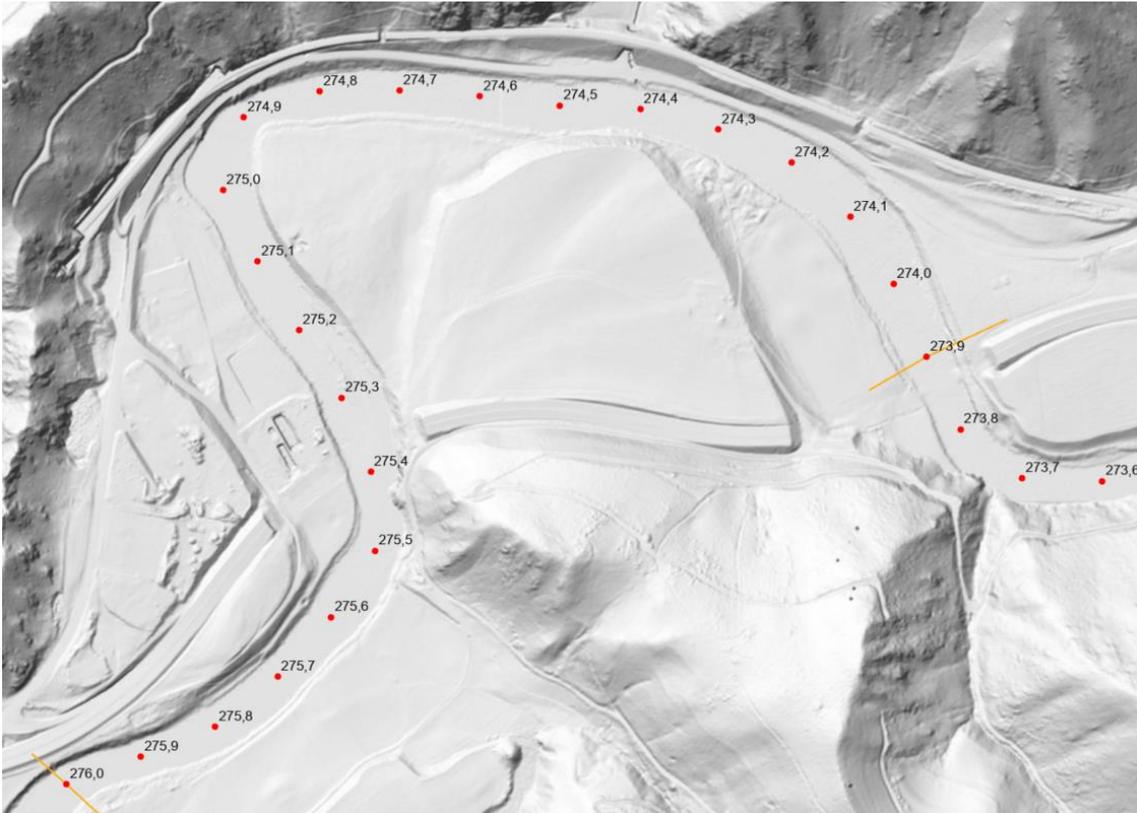


Abbildung 36: Geländemodell des Untersuchungsabschnittes der Mur flussab von St. Michael Mur (Fkm 276,0-275,5) (Grundlage: Airborne Laserscan, Land Steiermark)

Konzeptioneller Maßnahmenvorschlag 1:

- Variante 1: Aufweitung mit dynamischer Umlagerung (vgl. Abbildung 37)

In dieser Variante des Maßnahmenkonzepts soll die Revitalisierung des Gewässerabschnittes durch Initialmaßnahmen erreicht werden. Strukturierungs- und Revitalisierungsmaßnahmen müssen nicht „aktiv“ durch Baumaßnahmen erfolgen, sondern sind auch durch Initiierung der Flussdynamik und sukzessiver „Selbstenwicklung“ möglich. Durch Initialmaßnahmen kann der Bauaufwand beträchtlich reduziert werden. Auch müssen die erforderlichen Grundstücke nicht am Beginn der Maßnahme sofort zur Verfügung stehen, sondern können nach und nach in Abhängigkeit des Fortschreitens der Erosion und der jeweiligen Lage des Flussbettes über einen längeren Zeitraum erworben werden (Patt, 2018).

- Maßnahmen 1 + 2: Entfernung der links- und rechtsufrigen Ufersicherung im Schwerpunktbereich (Fkm 276,0 – 275,5) und Initiierung der Verbreiterung des Flussbogens, um dynamische Umlagerungsprozesse zu ermöglichen.
 - Vorteile: Durch Rückbau von Ufersicherungen kann regulierten Gewässern wieder die Möglichkeit zur eigendynamischen Entwicklung gegeben werden. Dies

ermöglicht eine Reihe von ökologisch wertvollen gewässertypischen, morphologischen Prozessen. Dem Gewässer wird durch Initiierung von Seitenerosion die Möglichkeit gegeben, das Gewässerbett und tiefliegende Vorlandflächen selbst zu gestalten, wodurch der Bauaufwand beträchtlich reduziert werden kann (Patt, 2018)

- Maßnahme 3: Errichtung von deklinanten Buhnen (flussabwärts gerichtet) am linken Ufer zur Ablenkung der Strömung an das rechte Ufer. Die Länge der Buhnen kann mit fortschreitender Erosion des Prallufers verlängert werden, um den Flussbogen stärker auszuweiten. Bei starker Ausweitung können die Buhnen entfernt werden, um eine bessere Durchströmung des Gleitufers zu erreichen oder die Verlandung im Bereich der Buhnen weggebaggert werden, um einen Altarm oder Nebenarm zu schaffen.
 - Vorteile: Durch den zusätzlichen Einbau von Buhnen oder Totholz-Elementen (z. B. Wurzelstöcke oder Teile von Baumkronen) am gegenüberliegenden Ufer kann die dynamische Selbstentwicklung beschleunigt werden. Im Bereich der Buhnen selbst wird die Strukturierung des Ufers erhöht und zugleich kann mit Buhnen auch die Selbstentwicklung im zulässigen Rahmen begrenzt werden. Aus bestehenden Ufersicherungen entfernte Steine können direkt zum Bau von Buhnen verwendet werden (BMLFUW, 2014; Patt, 2018).
- Maßnahme 4 (gelbe Linie): Errichtung eines Hinterland-Erosionsschutzes als Uferschutz neben der Autobahn. Umsetzung als ausgebaggertes Schlitzgraben im Gelände mit großen Wasserbausteinen gefüllt.
- Maßnahme 5 (gelbe Linie): Errichtung eines Uferschutzes vor dem Freileitungsmast (c). Umsetzung wie bei Maßnahme 4
- a & b: weitere Freileitungsmasten

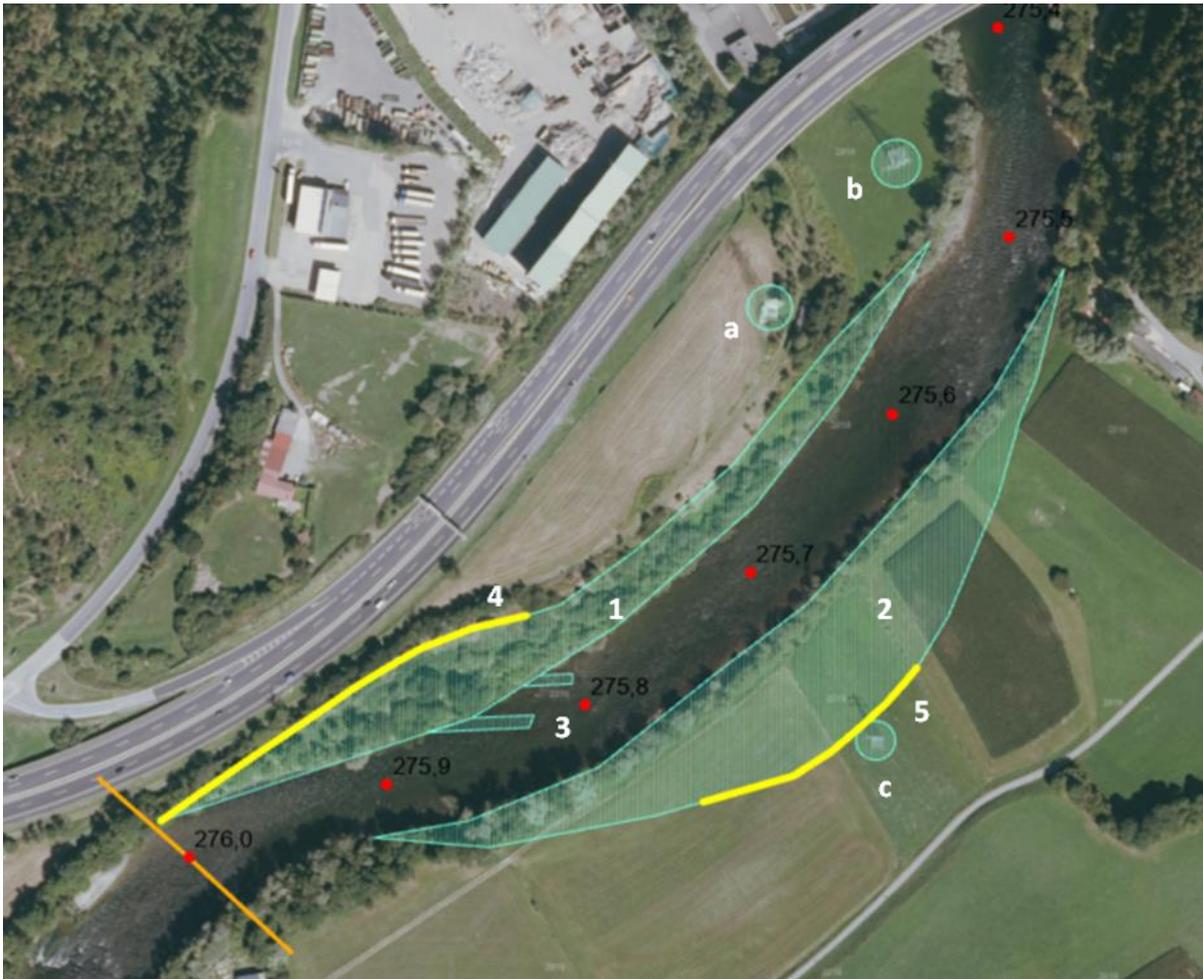


Abbildung 37: Variante 1 - Mur bei St. Michael mit schematischer Einzeichnung potenzieller Maßnahmen
(Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap)

- **Variante 2: Neuer Nebenarm mit Insel** (vgl. Abbildung 38)

Bei der zweiten Variante soll die Revitalisierung des Gewässerabschnittes durch aktive Maßnahmen gesetzt werden. Dies bietet die Möglichkeit zur schnelleren Umsetzung und mehr Kontrolle über das Ergebnis.

- Maßnahme 1: Entfernung der Ufersicherung und aktive Abflachung des Geländes linksufrig im Schwerpunktbereich (Fkm 276,0 – 275,5). Um sich den historischen Bedingungen wieder anzunähern, müsste eine Abflachung von rund 4,5 m durchgeführt werden => ausgehend von aktueller GOK im Hinterland bis historisches Niveau über MW beim Wasser.
- Maßnahme 2+3: Schaffung eines neuen Nebenarms rechtsufrig mit Insel zwischen Haupt- und Nebenarm. Umsetzung als aktive lokale Aufweitung durch Baggerung.

Abflachung des bestehenden Geländes und Vergrößerung durch Aufschüttung von zuvor gebaggertem Material im Hauptarm.

- Vorteile: Durch die Anlage von Nebenarmen können wesentliche gewässertypische Elemente geschaffen werden, die sich im Hauptarm auch natürlicherweise nur kleinräumig ausbilden. Nebenarme stellen aufgrund der reduzierten Fließgeschwindigkeit gerade in größeren Fließgewässern attraktive Laichplätze, Jung- und Kleinfischlebensräume dar. Da sich die Substratverhältnisse meist vom Hauptgewässer unterscheiden, bieten sie auch für spezialisierte Organismen zusätzliches Habitat (BMLFUW, 2014).
- Anmerkung: Auch bei einer flussmorphologisch optimierten Baggerung eines neuen Nebenarms ist aufgrund der natürlichen Umlagerungsprozesse nicht gewährleistet, dass beide Arme über längere Zeit erhalten bleiben. Es ist zu erwarten, dass sich einer der Arme im Laufe der Zeit zu einem Altarm entwickeln wird.
- Maßnahme 4 (gelbe Linie): Errichtung eines Uferschutzes neben der Autobahn. Umsetzung des Hinterland-Erosionsschutzes durch einen ausgebagerten Schlitzgraben im Gelände mit großen Wasserbausteinen gefüllt (gelbe Linie).
- Maßnahme 5 (gelbe Linie): Errichtung eines Uferschutzes am neuen Nebenarm vor dem Freileitungsmasten.
- a & b: weitere Freileitungsmasten



Abbildung 38: Variante 2 - Mur bei St. Michael mit schematischer Einzeichnung gestaltender Maßnahmen
(Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap)

Konzeptioneller Maßnahmenvorschlag 2:

Gestaltung eines neuen Hauptarmes (vgl. Abbildung 39)

Das zweite Konzept sieht exemplarisch eine größere gestaltende Maßnahme flussab von der Autobahnquerung bei St. Michael vor. Es soll in diesem Abschnitt einer neuer Hauptarm für die Mur mit nachfolgender Ausnutzung der natürlichen Flussdynamik initiiert werden (Fkm 275,3-274,4).

- Maßnahme 1: Baggerung eines schmalen Initialgerinnes
 - Vorteile: Der neu entstandene Hauptarm ist aufgrund seiner verringerten Länge und dem dadurch erhöhten Gefälle geringerer Verlandungsgefahr ausgesetzt. Der neue Hauptarm hat Raum für Laufverlagerungen in Richtung des alten Gerinnes im Norden. Das alte Gerinne verbleibt als Nebenarm und zur Abfuhr von Hochwässern. Aufgrund der historischen Analysen ist aber davon auszugehen, dass

sich der Nebenarm zu einem Altarm entwickeln wird. Die am Beginn bei der Ausleitung aus dem bestehenden Flussbett gelegene große Kiesbank (f), kann sich weiter entlang des Gleitufers des neuen Gerinnes entwickeln. Am neuen Gleitufer können sich neue Pionierstandorten bilden, die nur wenig über dem Mittelwasserspiegel liegen. Durch die allmähliche Erosion des Geländes werden Sedimente (Kies und feineres Material) mobilisiert und ausgetragen. Von diesem zusätzlichen Geschiebe profitiert auch die Unterliegerstrecke der Mur.

- Maßnahme 2: Errichtung zweier Bühnen flussab des neuen Gerinnes. Die linksufrige Bühne soll strömungsablenkend wirken und die rechtsufrige wird als Fangbühne eingesetzt.
- Maßnahme 3: Selbständige Migration des initialen Gerinnes. Basierend auf dem Median der jährlichen historischen Migrationsraten aus Kapitel 5.3. würde diese Flussbogenmigration 25-46 Jahre dauern. Es ist aber davon auszugehen, dass anfangs die Umformung und Ausweitung des Initialgerinnes durch den Fluss schneller erfolgt, als es bei einem natürlich entstandenen Flussbogen der Fall ist. Dadurch würde sich der hier genannte Zeitraum verringern. Die Migration erfolgt so lange, bis das neue Gerinne an den aus dem bestehenden Gerinne (e) entstandenen, Neben- oder Altarm stößt.
 - Vorteile: Statt den gesamten Bereich aktiv zu baggern, wird das initiale Flussbett nur als schmaler Graben mit steilen, ungesicherten Ufern angelegt (analog zur Technik der Flussbegradigungen im 19. Jhd.). Die erforderlichen Aushubmassen werden so deutlich reduziert. In den Außenbögen findet Seitenerosion statt; so entsteht ein breiteres, gewundeneres Flussbett. Es kommt zur selbständigen Ausweitung und Migration des Flussbogens (siehe Pfeil) und zur Entstehung eines neuen tiefliegenden Gleitufers am rechten Ufer des neuen Hauptarmes.
- Maßnahme 4: Selbständige Umwandlung des heutigen Hauptgerinnes (e) zu einem Nebenarm, der sich vermutlich in weiterer Folge zu einem Altarm entwickeln wird. Dieser Arm dient auch zur Abflusertüchtigung bei Hochwässern.
- Maßnahme 5: Errichtung eines Hinterland-Erosionsschutzes zum Schutz des Freileitungsmastens (d). Umsetzung als ausgebaggerter Schlitzgraben im Gelände mit großen Wasserbausteinen gefüllt (gelbe Linie).



Abbildung 39: Mur flussab von St. Michael mit schematischer Einzeichnung von konzeptionellen Maßnahmen (orange: gebaggertes Initialgerinne für neuen Hauptarm, blau: Phasen der selbständigen Gerinneverlagerung, Nr. 2: Ablenk- und Fangbuhnen) (Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap)

7.3. St. Stefan

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein weiterer Konzeptvorschlag flussauf der Gemeinde St. Stefan ob Leoben, für die Mur erstellt. Die Maßnahmen beinhalten sowohl dynamische, als auch aktiv gestaltete Elemente. Die Abbildungen 40 & 41 bilden die Basis der Planung. Abbildung 40 zeigt ein aktuelles Orthofoto des gewählten Abschnitts mit einem überlagerten GIS-Layer des Flusslaufs der Mur von 1812. Auf Abbildung 41 ist das Geländemodell des Bereiches abgebildet. Der Median der mittleren Breite des aktiven Gerinnes hat, in diesem Bereich, seit 1812 von 96 m auf 41 m abgenommen. Die Uferhöhen bei St. Michael im historischen Vergleich zeigt Tabelle 7.

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Uferhöhen bei St. Stefan

	1812	2020
Fkm 282,65 l. Ufer	0,9 m	2,6 m
Fkm 282,65 r. Ufer	1,3 m	2,8 m



Abbildung 40: Abschnitt Mur bei St. Stefan mit dem Zustand der Mur 1812 überlagert (Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap)

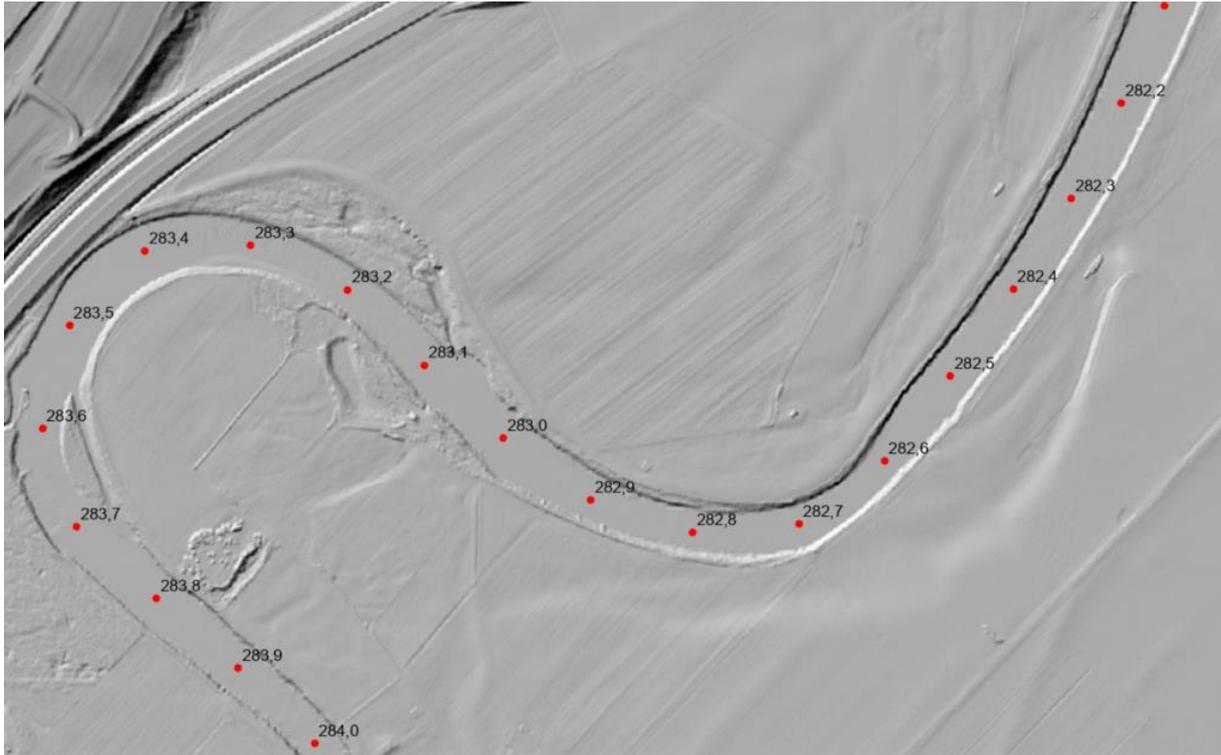


Abbildung 41: Geländemodell der Mur bei St. Stefan (Fkm 284,0-282,2) (Grundlage: Airborne Laserscan, Land Steiermark)

Konzeptioneller Maßnahmenvorschlag 3:

Geländeabflachung mit Nebenarm und Insel (vgl. Abb. 41)

In diesem Bereich ist eine Aufweitung des Flussbettes beidufbrig möglich, da keine Infrastruktur direkt angrenzt. Eine Aufweitung in diesem Bereich vom Ist-Zustand (45 m) auf die historischen Verhältnisse (122 m Hauptarm inkl. Nebenarme) entspräche einer Verbreiterung um 77 m. (+72%).

- Maßnahme 1: Entfernung der links- und rechtsufrigen Ufersicherung im Schwerpunktbereich (Fkm 282,9 – 282,1) um eine eigenständige Verbreiterung und laterale Verlagerung (Migration) des Flussbogens zu ermöglichen.
 - Vorteile: Es können laterale Erosions- und Anlandungsprozesse initiiert und dynamische Umlagerungsprozesse ermöglicht werden. Durch die Abflachung des Uferbereiches am Gleitufer können sich gewässertypische Wasser-/Land-Übergangszonen mit entsprechenden Vegetationsabfolgen bilden (Jungwirth et al., 2003; BMLFUW, 2014).

- Maßnahme 2: Neuanlage eines Nebenarmes durch aktive Baggerung des Gerinnes.
 - Anmerkung: Aufgrund natürlicher Umlagerungsprozesse kann nicht gewährleistet werden, dass beide Arme über längere Zeit erhalten bleiben. Es ist zu erwarten, dass sich der nördliche (linke) Arm zu einem Altarm entwickeln wird. Dadurch vergrößert sich die Habitatdiversität im dargestellten Flussabschnitt.
- Maßnahme 3: Erweiterung der entstandenen Insel in den Hauptarm durch Aufschüttung und Abflachung des bestehenden Geländes.
- Maßnahme 4: Abflachung des Geländes als Übergangsbereich am Prallufer bei der Einmündung des neuen Nebenarms.
- Maßnahme 5: Einbau von Raubäumen oder Buhnen zur Strömungsablenkung in den neuen Nebenarm
 - Vorteile: Raubäume zeichnen sich durch eine große Oberfläche und eine vielfältige, von gering durchströmten Mikrohabitaten durchsetzte Struktur aus, was eine hohe Eignung als Fischeinstand und Lebensraum für eine hohe Dichte und Vielfalt an wirbellosen Tieren zur Folge hat.
- Maßnahme 6: Errichtung eines Uferschutzes vor dem Freileitungsmasten (a). Umsetzung des Hinterland-Erosionsschutzes als ausgebagelter Schlitzgraben im Gelände mit großen Wasserbausteinen gefüllt (gelbe Linie)
- b & c: weitere Freileitungsmasten

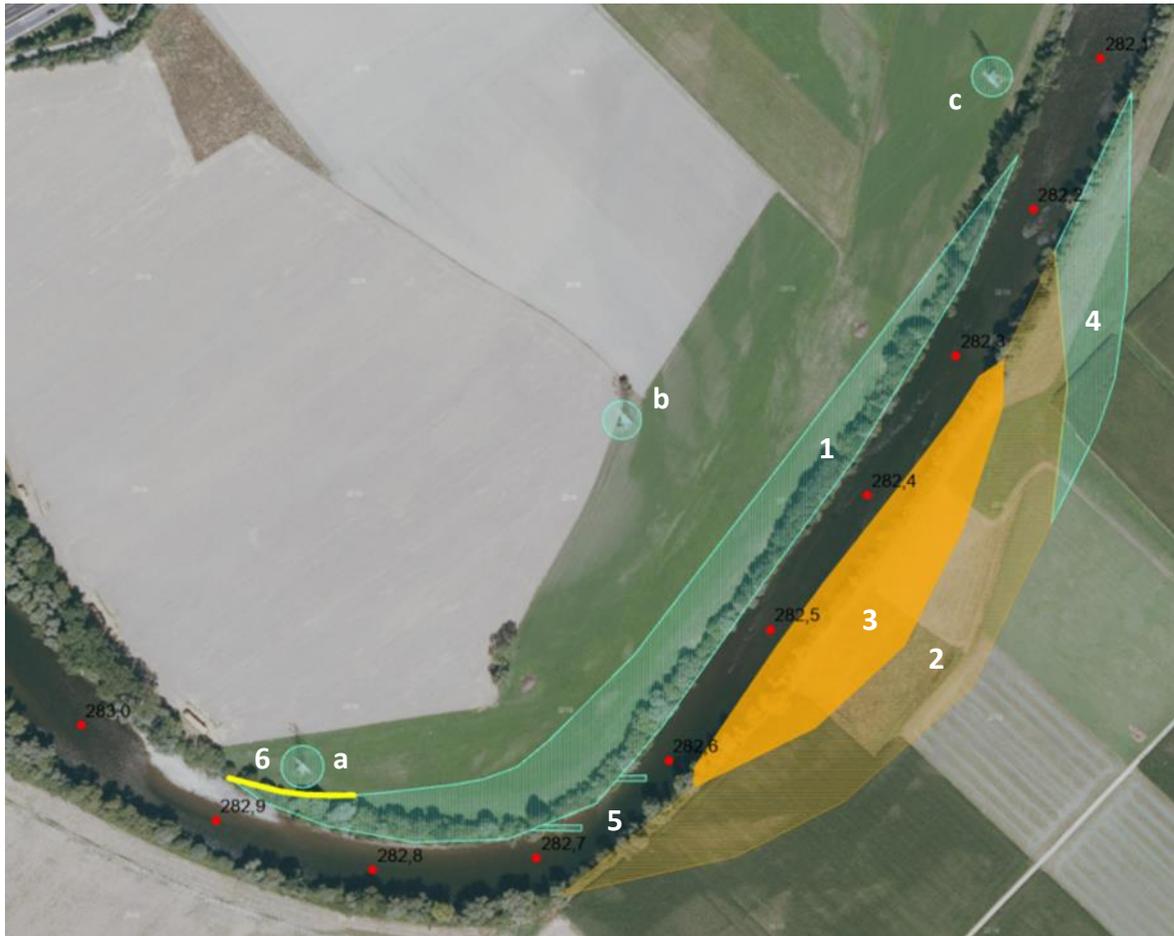


Abbildung 42: Abschnitt Mur bei St. Stefan mit schematischer Einzeichnung möglicher Maßnahmen; dynamische Maßnahmen in türkis und gestaltende Maßnahmen in orange (Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap)

7.4. Maßnahmenübersicht

Zur klareren Übersicht der flussmorphologischen Auswirkungen der Maßnahmen zeigt Tabelle 8 eine Zusammenschau aller potenziellen Maßnahmen. Um diese besser vergleichbar zu machen, wurden die Auswirkungen der Eingriffe bewertet und den einzelnen Maßnahmenvorschlägen und deren Varianten zugeordnet. Wie in Tabelle 8 erkennbar, beeinflusst eine Aufweitung des Flusses vor allem die Gerinnebreite. Besonders wenn der Fluss sich selbständig durch Seitenerosion verbreitern kann, wird Geschiebe mobilisiert und weiter in die Unterlaufstrecke transportiert. Durch die erhöhte Dynamik können sich Sedimentbänke bilden und dadurch sowohl neue aquatische Habitate als auch Lebensraum für Pionierpflanzenarten entstehen. Diese Dynamik ist noch höher, wenn ein Flussbogen über einen langen Zeitraum die Möglichkeit zur Migration hat.

Tabelle 9: Flussmorphologische Auswirkungen der Maßnahmen im Überblick (M = Maßnahmenvorschlag, V = Variante). Bewertungsschema: annähernd gleichbleibend (-/+); Verbesserung (+), starke Verbesserung (++); * Sinuosität Initialgerinne: - (da kürzer als aktuelles Gerinne), Endstadium nach Migration: -/+ (ähnlich wie aktuell)

flussmorphologische Auswirkungen

Maßnahmenvorschlag	primärer Maßnahmentyp	Sinuosität/ Lauflänge	Gerinnebreite	Dynamik	neue aquat. Habitate	Pionier- standorte	Mobilisierung Geschiebe
St. Michael M1/V1 + St. Stefan M3	Aufweitung	-/+	++	+	+	+	+
St. Michael M1/V1 + St. Michael M2	Initiierung Migration	+	+	++	+	+	+
St. Michael M1/V2 + St. Stefan M3	neuer Nebenarm/Insel	+	+	+	++	++	+
St. Michael M2	neuer Hauptarm	- bzw. -/+ *	+	++	++	++	++

Wird ein neuer Nebenarm mit einer Insel geschaffen, ist eine noch größere Habitatvielfalt zu erwarten. Am größten sind die positiven Auswirkungen bei der Schaffung eines neuen Hauptarmes. Die Dynamik wird erhöht und Geschiebe in den Unterlauf ausgetragen. Die Sinuosität bleibt über lange Sicht gesehen zwar gleich, aber durch die sukzessive Verlandung des alten Hauptarmes können sich in jedem Stadium neue typische Tier- und Pflanzengesellschaften ansiedeln. Die Vorteile dieses Maßnahmentyps sowie die einer initiierten Migration werden zum Beispiel in Maßnahmenvorschlag 2 (M2) vereint. In geringerem Umfang als M2 weist auch der Maßnahmenvorschlag 1 in der Variante 1 (M1/V1) die Vorteile einer Flussbogenmigration in Kombination mit einer Aufweitung des Gerinnes auf.

8. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Mur zwischen Fischening und Leoben in der Steiermark anhand der „Großen Murstromkarte“ (1809-1815) rekonstruiert. Anhand der Rekonstruktion wurden flussmorphologische Charakteristika erhoben und diese mit den Daten aus aktuellen Quellen verglichen. Als flussmorphologische Charakteristika wurden die Sinuosität, die mittlere Breite des aktiven Gerinnes, sowie die Uferhöhen bezogen auf den Wasserspiegel und die Wassertiefen erhoben. Ein Fokus dieser Arbeit lag außerdem auf der Analyse des Verlandungsrisikos von Nebenarmen. Dieses wurde anhand des Einströmungswinkels, des Verhältnisses der Längen von Nebenarm und Hauptarm, sowie der Anbindung an Prall- oder Gleitufer bestimmt. Basierend auf den Ergebnissen der beiden Zeitschnitte erfolgte eine vergleichende Analyse des flussmorphologischen Zustandes. Darauf aufbauend wurden in einem weiteren Schritt konzeptionelle Maßnahmenvorschläge zur Restauration der Mur entwickelt.

Die erste Forschungsfrage dieser Arbeit beschäftigt sich mit den historischen Verhältnissen der Mur bevor größere Eingriffe durch den Menschen stattfanden. Die durch die Analysen gewonnenen Ergebnisse beschreiben den Referenzzustand (Leitbild) für potenzielle, an den Flusstyp angepasste Restaurationsmaßnahmen. Die Mur war aufgrund ihrer Sinuosität primär einem gewundenen Flusstyp zuzuordnen. Trotzdem konnte im Verhältnis zur Lauflänge ein Anteil von rund 28% an verzweigten Strecken festgestellt werden. Die meisten dieser Verzweigungen wiesen allerdings nur eine geringe Umlagerungsdynamik auf. Die historische Mur um 1812 bestand zu rund 87% aus lotischen Habitaten des Hauptarms (Eupotamon A) und zu 8,8% aus permanent oder zumeist durchströmten Nebenarmen (Eupotamon B). Diese eupotamalen Bedingungen boten gerade für stömungsliebende Arten wie Äsche, Bachforelle und Huchen günstige Lebensräume.

Die zweite Forschungsfrage gilt den flussmorphologischen Veränderungen der Mur zwischen 1812 und 2020. Veränderungen konnten in fast allen Bereichen erfasst werden. Einzig die Sinuosität ist unverändert geblieben und damit auch der Flusstyp. Aktuell machen verzweigte Strecken nur noch auf einen Anteil von rund 10% im Verhältnis zur Lauflänge aus. Dabei handelt es sich zumeist um kleinere, verlandungsgefährdete Neben- bzw. Altarme. Dies machte sich auch an den Ergebnissen zu den Gewässertypen bemerkbar. Diese zeigen für die Mur 2020 einen flächenmäßigen Rückgang von Hauptarm (-26%), durchströmten Nebenarmen (-81%), dynamischen Altarmen (-74%), einseitig angebundenen Altarmen (-94%) und isolierten

Altarmen (-81%). Ebenfalls wurde konnte ein Rückgang der mittleren Breite des aktiven Gerinnes um rund 31% verzeichnet werden. Wie in der Hypothese angenommen, konnte außerdem eine Vergrößerung der Wassertiefe festgestellt werden. Diese Veränderung war jedoch geringer als angenommen. So hat sich der Median der Wassertiefen bis 2020 nur um 10 cm vergrößert.

Dennoch ist der morphologische Zustand des untersuchten Abschnitts aktuell, im Vergleich zu anderen großen Fließgewässern in Österreich, auch laut dem Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan 2021 als gut zu bezeichnen. Aufgrund der Tatsache, dass es sich um eine Strecke ohne Kontinuumsunterbrechung handelt, besteht ein hohes Revitalisierungspotenzial.

Die dritte Forschungsfrage bezieht sich auf die langfristige Funktionsfähigkeit bereits durchgeführter Restaurationsmaßnahmen (Wiederanbindung von Altarmen). Die Vermutung, dass für neu geschaffene Nebenarme Verlandungsgefahr besteht, kann anhand einer gesonderten Bewertung nach Mosselman (2001) bestätigt werden. Die Analysen ergeben, dass 61% der heutigen Nebenarme ein Verlandungsrisiko aufweisen. Dazu zählen auch alle durch LIFE-Projekte neu angelegten Nebenarme. Um 1812 waren zwar auch rund 33% der Nebenarme gefährdet zu verlanden, anders als heute waren diese aber nicht stabil und durch das breitere Gerinne sowie durch Laufverlagerungen konnten sie sich beständig verändern und neu bilden.

Die Ergebnisse dieser Masterarbeit weisen den Weg für ein flusstypisches, an die aktuellen Rahmenbedingungen angepasstes Restaurationskonzept. Generell ist dabei solchen Maßnahmen den Vorzug zu geben, die auf eine Wiederermöglichung dynamischer Umlagerungsprozesse abzielen. Dies kann im einfachsten Fall durch den Rückbau von Ufersicherungen erfolgen, aber auch durch den Einbau strömungsablenkender Buhnen, um eine Erosion von Prallufeln und damit eine begrenzte Laufverlagerung zu initiieren. Durch neue, entsprechend den Kriterien von Mossleman (2001) geschaffene Nebenarme können zusätzlich wesentliche, gewässertypische Habitate geschaffen werden. Diese ist vor allem dann der Fall, wenn die restaurierten Strecken nicht zu kurz ausfallen. Auch hier können historische Erkenntnisse Auskunft geben. So lag der Median von verzweigten Strecken in der Mur um 1812 bei rund 240 m. Trotzdem sollten sich die Restaurationsmaßnahmen nicht nur am historischen Zustand orientieren, es sind auch die lokalen Rahmenbedingungen sowie die aktuell reduzierte Geschiebefracht bei der Projektierung miteinzubeziehen.

Literaturliste

- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2014. Natura 2000 - Standard Data Form, AT2236000 - Ober- und Mittellauf der Mur mit Puxer Auwald, Puxer Wand und Gulsen.
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Wasserwirtschaft Land Steiermark, BMLRT (Eds.), 2010. Hochwasserabflussuntersuchungen Sonderprogramm 2005 - Teil II - ABU 2008.
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Wasserwirtschaft Land Steiermark, BMLRT (Eds.), 2008. Abflussuntersuchung Mur in den Bezirken Judenburg und Knittelfeld Fluss KM 288+510 bis 353+250.
- Aurenhammer, S., 2016. Die Mur in Graz: das grüne Band unserer Stadt. Freya, Linz.
- Badura, H., Knoblauch, H., Schneider, J., Harreiter, H., Demel, S., 2007. Wasserwirtschaftliche Optimierung der Stauraumpülungen an der Oberen Mur. Österr. Wasser-Abfallwirtsch. 59, 61–68. <https://doi.org/10.1007/s00506-007-0101-6>
- BMLFUW, 2017. Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW, 2014. Fließgewässer erhalten und entwickeln - Praxisfibel zur Pflege und Instandhaltung (No. 2. Auflage). Ministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLRT, 2020a. Gewässertypologie von Oberflächengewässern [WWW Document]. WISA - Wasserinformationssystem Austria. URL <https://maps.wisa.bmlrt.gv.at/gewaesserbewirtschaftungsplan-2021#> (accessed 11.18.21).
- BMLRT, 2020b. Hydrographisches Jahrbuch 2017 (No. 125. Band). Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus; Abteilung I/3 Wasserhaushalt, Wien.
- BMLRT, M. der S.I.W., 2021. Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2021 - Entwurf. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien.
- Brilly, M., Sraj, M., Vidmar, A., Horvat, A., Koprivsek, M., 2012. Hydrologische Studie der Mur. Universität Ljubljana, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Lubljana.
- Cede, P., 1989. Antropogene Geomorphologie am Beispiel der Murregulierung südlich von Graz. Institut für Geographie der Karl-Franzens_Universität Graz, Graz.
- Drescher, A., 2018. Die Grenzmur-aktueller Zustand und Renaturierungsversuche 11, 69–89.
- Drescher, A., 2016. Revitalisierung von Alpenflüssen – Beispiele aus Ost- und Süd-Österreich. Mitteilungen Naturwissenschaftlichen Vereines Für Steiermark 145, 75–110.
- Engle, R., 2012. Fiasko beendete Mur-Schiffahrt [WWW Document]. Austria-Forum. URL https://austria-forum.org/af/Wissenssammlungen/Damals_in_der_Steiermark/Mur-Schiffahrt (accessed 1.12.22).
- ESRI, 2021. Historische Bilddaten in ArcGIS Pro georeferenzieren | Learn ArcGIS [WWW Document]. Learn ArcGIS. URL <https://learn.arcgis.com/de/projects/georeference-imagery-in-arcgis-pro/> (accessed 10.15.21).

- Formatti, A., 2008. Vergleichende Fischbestandserhebungen an den Flüssen Mur und Enns (Diplomarbeit). Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- GIS Steiermark, 2019. Franziszeischer Kataster als WMTS-Dienst [WWW Document]. Landesentwickl. - Land Steiermark. URL <https://www.landesentwicklung.steiermark.at/cms/beitrag/12663682/142970647/> (accessed 1.13.22).
- Grillitsch, J., Hochkofler, O., 2006. Murkraftwerk Leoben 1/06.
- Habsburg-Lothringen, B., 2018. Die Mur - Kulturgeschichte Online | Museum für Geschichte [WWW Document]. Mus. Für Gesch. URL <https://www.museum-joanneum.at/kulturgeschichte-online/die-mur-eine-kulturgeschichte> (accessed 7.19.21).
- Haidvogel, G., 2018. Historic Milestones of Human River Uses and Ecological Impacts, in: Riverine Ecosystem Management, Aquatic Ecology Series. Springer International Publishing, pp. 19–40.
- Haidvogel, G., Eberstaller, J., Eberstaller-Fleischanderl, D., Fraiß, B., Gabriel, H., Hohensinner, S., 2018. Historische Landnutzung und Siedlungsentwicklung in Flussauen und Hochwasserschutz: Das Beispiel der Traisen und St. Pöltens 1870–2000. Österr. Wasser- Abfallwirtsch. 70, 305–315. <https://doi.org/10.1007/s00506-018-0473-9>
- Haidvogel, G., Hohensinner, S., Preis, S., 2011. Rekonstruktion historischer Flusslandschaften als Grundlage im Gewässermanagement – Potential und Limits. Österr. Wasser- Abfallwirtsch. 63, 174–182. <https://doi.org/10.1007/s00506-011-0335-1>
- Hauer, C., Obruca, W., Wagner, B., Habersack, H., 2016. Ökologische Bedeutung von Feststoffen und gewässermorphologischen Strukturen im Nahbereich von Kleinwasserkraftwerken. Österr. Wasser- Abfallwirtsch. 68. <https://doi.org/10.1007/s00506-016-0354-z>
- Hein, T., Funk, A., Borgwardt, F., Wolfram, G., Zsuffa, I., Haidvogel, G., Schinegger, R., Weigelhofer, G., 2018. Management challenges related to long-term ecological impacts, complex stressor interactions, and different assessment approaches in the Danube River Basin. River Res. Appl. 35. <https://doi.org/10.1002/rra.3243>
- Higgs, E., Falk, D., Guerrini, A., Hall, M., Harris, J., Hobbs, R., Jackson, S., Rhemtulla, J., Throop, W., 2014. The changing role of history in restoration ecology. Front. Ecol. Environ. In press. <https://doi.org/10.1890/110267>
- Hohensinner, S., 2021. Aufnahmewasserstand (Unveröffentlichte Analyse). Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- Hohensinner, S., 2008. Rekonstruktion ursprünglicher Lebensraumverhältnisse der Fluss-Auen-Biozönose der Donau im Machland auf Basis der morphologischen Entwicklung von 1715 - 1991. Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- Hohensinner, S., Egger, G., Muhar, S., Vaudor, L., Piégay, H., 2021. What remains today of pre-industrial Alpine rivers? Census of historical and current channel patterns in the Alps. River Res. Appl. 37, 128–149. <https://doi.org/10.1002/rra.3751>
- Hohensinner, S., Habersack, H., Jungwirth, M., Zauner, G., 2005. Natürliche Charakteristik der Donau-Auen im Machland und hydromorphologische Veränderungen durch menschliche Eingriffe (1812 -1991). Wiss. Mitteilungen Niederösterreichischen Landesmus. 17, 275–308.

- Hohensinner, S., Habersack, H., Jungwirth, M., Zauner, G., 2004. Reconstruction of the characteristics of a natural alluvial river–floodplain system and hydromorphological changes following human modifications: the Danube River (1812–1991). *River Res. Appl.* 20, 25–41. <https://doi.org/10.1002/rra.719>
- Hohensinner, S., Hauer, C., Muhar, S., 2018. River Morphology, Channelization, and Habitat Restoration. pp. 41–65. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3_3
- Hohensinner, S., Jungwirth, M., 2016. Die unbekannte dritte Dimension: Geländehöhen, Gewässertiefen und Dynamik österreichischer Donaulandschaften vor der Regulierung - The unknown third dimension: terrain elevations, water depths and fluvial dynamics of Austrian Danube river landscapes prior to regulation. *Österr. Wasser- Abfallwirtsch.* 68, 324–341. <https://doi.org/10.1007/s00506-016-0323-6>
- Hohensinner, S., Jungwirth, M., Muhar, S., Schmutz, S., 2014. Importance of multi-dimensional morphodynamics for habitat evolution: Danube River 1715–2006. *Geomorphology* 215, 3–19. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.001>
- Hohensinner, S., Sonnlechner, C., Schmid, M., Winiwarter, V., 2013. Two steps back, one step forward: reconstructing the dynamic Danube riverscape under human influence in Vienna. *Water Hist.* 5, 121–143. <https://doi.org/10.1007/s12685-013-0076-0>
- Hornich, R., Turk, R., n.d. “Murerleben” - das LIFE+ Natur Projekt an der oberen Mur [WWW Document]. *Mur Erleb.* URL <http://www.murerleben.at/startseite/index.htm> (accessed 10.12.21).
- Hornich, R., Zebinger, J., n.d. *Neue Wege der Mur - Maßnahmen 2007*. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung Schutzwasserwirtschaft und Naturschutz, Graz.
- Jansson, R., Nilsson, C., Dynesius, M., Andersson, E., 2000. Effects of river regulation on river-margin vegetation: a comparison of eight boreal rivers. *Ecol. Appl.* 10, 203–224. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0203:EORROR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0203:EORROR]2.0.CO;2)
- Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., Schmutz, S., 2003. *Angewandte Fischökologie an Fließgewässern: Facultas*.
- Kodric, J., 2019. Energienutzung der Mur - Historisch, naturräumlich und institutionell bedingte Unterschiede zwischen Österreich und Slowenien. *Public Sect.* 45, 13.
- Lager, B., 2012. *Historische Morphologische Veränderungen der Wiener Donau-Flusslandschaft 1529-2010*. Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- Land Burgenland, 2021. *Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie)* [WWW Document]. URL <https://www.burgenland.at/themen/natur/eu-naturschutz/fauna-flora-habitat-richtlinie-ffh-richtlinie/> (accessed 10.21.21).
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., 1957. River channel patterns: Braided, meandering, and straight (USGS Numbered Series No. 282- B), River channel patterns: Braided, meandering, and straight, Professional Paper. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. <https://doi.org/10.3133/pp282B>
- Mein Alpenstrom GmbH, n.d. *MeinAlpenStrom Partner Kraftwerk Niklasdorf - echten Ökostrom beziehen* [WWW Document]. *MeinAlpenStrom.* URL <https://www.meinalpenstrom.at/kraftwerke/niklasdorf/> (accessed 1.17.22).
- Mielach, C., Unfer, G., Pinter, K., Friedrich, T., 2013. Quantitative Fischbestandsaufnahme in der Oberen Mur zwischen Stadl und Knittelfeld (Studie im Auftrag des Amtes der

- Steiermärkischen Landesregierung). Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 15 – Referat Gewässeraufsicht und Gewässerschutz, Wien.
- Mosselman, E., 2001. Morphological development of side channels. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3384.4960>
- Osterkamp, W.R., Hedman, E.R., 1982. Perennial-Streamflow Characteristics Related to Channel Geometry and Sediment in Missouri River Basin. Geological Survey Professional Paper 1242.
- Paar, H.P., Turk, R., 2015. Inneralpinen Flussmanagement Obere Mur - Life-Obere Mur mur(er)leben 2003-2016. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 14, Graz.
- Palmer, M., Bernhardt, E., Allan, J.D., ALEXANDER, G., Brooks, S., CARR, J., CLAYTON, S., Dahm, C., Follstad Shah, J., Galat, D., LOSS, S., GOODWIN, P., Hart, D., HASSETT, B., Jenkinson, R., Kondolf, george 'mathias, Lave, R., MEYER, J.L., Sudduth, E., 2005. Standards for Ecologically Successful River Restoration. *J. Appl. Ecol.* 42, 208–217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01004.x>
- Patt, H., 2018. Naturnaher Wasserbau - Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern, 5. Auflage. ed. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Patt, H., 2016. Erratum zu: Fließgewässer- und Auenentwicklung, in: Patt, H. (Ed.), Fließgewässer- und Auenentwicklung: Grundlagen und Erfahrungen. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. E1–E1. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48449-4_8
- Plachter, H., 1986. Die Fauna der Kies- und Schotterbänke dealpiner Flüsse und Empfehlungen für ihren Schutz (No. 10/1986). Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL).
- Poppe, M., Muhar, S., Egger, G., Schmutz, S., 2003. Status quo der österreichischen Flusslandschaften: Erfassung und Bilanzierung der Eingriffe und Nutzungen. *Österr. Wasser- Abfallwirtsch.* 55, 122.
- Preis, S., Haselmair, A., Jungwirth, M., Muhar, S., Unfer, G., 2001. Fischökologisch orientiertes Managementkonzept Obere Mur. Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- Reichstein, J., 2016. Historische Morphologische Veränderung des Wienflusses 1633/83-2010. Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- Schiestl, M., 2013. Die Geschichte Judenburgs [WWW Document]. Stadtgemeinde Jud. URL https://www.judenburg.at/de/allgemein/Die_Geschichte_Judenburgs.asp (accessed 1.13.22).
- Schmutz, S., 2020. Gewässerökologisches/fischereiliches Gutachten zum Wasserkraftwerk St. Michael, Mur, Steiermark. Wien.
- Schmutz, S., Sendzimir, J. (Eds.), 2018. Riverine Ecosystem Management: Science for Governing Towards a Sustainable Future, Aquatic Ecology Series. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3>
- Schmutz, S., Wiesner, C., Preis, S., Muhar, S., Unfer, G., Jungwirth, M., 2011. Auswirkungen des Wasserkraftausbaues auf die Fischfauna der steirischen Mur. *Österr. Wasser- Abfallwirtsch.* 63, 190–195. <https://doi.org/10.1007/s00506-011-0338-y>
- Semmelrock, U.S.-L.S., Sabine, n.d. Klimaregion Murtal [WWW Document]. www.umwelt.steiermark.at URL <https://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10023631/25206/> (accessed 7.20.21).

- Smith, M.P., Schiff, R., Olivero, A., MacBroom, J., 2008. The Active River Area - A Conservation Framework for Protecting Rivers and Streams. The Nature Conservatory, Boston, USA.
- Stadt Bruck an der Mur, 2010. 1150 Jahre Bruck an der Mur.
- Stadt Wien, n.d. Wien Kulturgut: Franziszeischer Kataster 1829 [WWW Document]. Stadt Wien. URL <https://www.wien.gv.at/kultur/kulturgut/plaene/franziszeisch.html> (accessed 1.13.22).
- Suppan, R., 1984. Unsere Mur. Verlag für Sammler, Graz.
- Surian, N., 1999. Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy. *Earth Surf. Process. Landf.* 24, 1135–1151. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199911\)24:12<1135::AID-ESP40>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199911)24:12<1135::AID-ESP40>3.0.CO;2-F)
- Tschmuck, J., 2020. Das Tal der Mur - Perspektiven einer Flusslandschaft, 1. Auflage. ed. Selbstverlag des Verfassers, Knittelfeld.
- Umweltbundesamt GmbH, 2007. Rote Listen gefährdeter Tierarten [WWW Document]. Umweltbundesamt. URL <https://www.umweltbundesamt.at/umwelthemen/naturschutz/rotelisten/downloads-rl-tiere> (accessed 1.28.22).
- Universalmuseum Joanneum, 2018a. Die Stadtanlage von Leoben [WWW Document]. *Mus. Für Gesch.* URL <https://www.museum-joanneum.at/kulturgeschichte-online/maerkte-und-staedte-im-mittelalter/die-stadtanlage-von-leoben> (accessed 1.13.22).
- Universalmuseum Joanneum, 2018b. Schaffen und Scheitern - Die Mur [WWW Document]. *Mus. Für Gesch.* URL <https://www.museum-joanneum.at/kulturgeschichte-online/die-mur-eine-kulturgeschichte/schaffen-und-scheitern> (accessed 4.29.21).
- Verbund AG, 2022. Die Mur [WWW Document]. Verbund. URL <https://www.verbund.com/de-at/ueber-verbund/kraftwerke/gewaesser/mur> (accessed 1.17.22).
- Wimmer, R., Wintersberger, H., Parthl, G., 2012. Hydromorphologische Leitbilder - Fließgewässertypisierung in Österreich (No. Band 2). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Wirtschaftskammer Österreich, 2018. Wasserstraßen -Schiffbare Gewässer [WWW Document]. URL <https://www.wko.at/service/netzwerke/Wasserstrassen.html> (accessed 1.13.22).
- Zentrum für Umweltgeschichte (Ed.), 2019. Wasser Stadt Wien - Eine Umweltgeschichte. Universität für Bodenkultur Wien, Technische Universität Wien, Wien.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Längsschnitt der Mur vom Ursprung bis zur Mündung, Zubringer in Blau, eingeteilt in Ober-, Mittel- und Unterlauf (verändert nach Brilly et.al., 2012)	7
Abbildung 2: Untersucher Abschnitt der Mur, markiert mit schwarzem Rechteck. Grundlage: Biologische Gütebildkarte 2005, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, blau-grün: Güteklasse I-II, grün: Güteklasse II (verändert nach Universalmuseum Joanneum, 2018)	9
Abbildung 3: Klimadiagramm Judenburg, Steiermark (www.climate-data.org)	11
Abbildung 4: Niedriger, mittlerer und hoher Abfluss gemessen an der Messstelle Zeltweg 1966-2018 (eigene Grafik basierend auf den Daten des Hydrographischen Jahrbuches 2018)	13
Abbildung 5: Kupferstich der Mur bei Murau 1681 von Georg Matthäus Fischer (Universalmuseum Joanneum, 2018).....	17
Abbildung 6: Plan über die Triangulierung der Mur in der Steiermark 1809-1815 (NÖ Landesarchiv, Sign. M35-4)	18
Abbildung 7: Gösser Murrechen um 1800 mit Flößer; Rechts im Bild: die Massenburg (Foto nach einem Ölgemälde im Privatbesitz) (Tschmuck, 2020).....	20
Abbildung 8: Darstellung der steirischen Mur mit Kraftwerksstandorten (verändert nach Schmutz et.al., 2011)	21
Abbildung 9: Belastungen von Oberflächengewässern - Eingriffe in die Gewässermorphologie, Karte O-BEL5; das schwarze Rechteck markiert den untersuchten Abschnitt (verändert nach BMLRT, 2021)	22
Abbildung 10: LIFE-Maßnahmen im Untersuchungsabschnitt der Mur	26
Abbildung 11: Luftaufnahme der LIFE+ Maßnahme „Weyern 1“; aufgenommen am 20.07.2006, bei 86% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)	27
Abbildung 12: Luftaufnahme der LIFE+ Maßnahme „Weyern 2“ 2006; aufgenommen am 20.07.2006, bei 86% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)	27
Abbildung 13: Luftaufnahme bei Apfelberg vor Beginn der LIFE-Maßnahme 2013; Zubringer links im Bild: Ingeringbach; aufgenommen am 28.07.2013, bei 62% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg)	28
Abbildung 14: Luftaufnahme bei Apfelberg nach Fertigstellung der LIFE- Maßnahme 2016; Zubringer links im Bild: Ingeringbach; aufgenommen am 28.08.2016, bei 69% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg).....	28

Abbildung 15: Luftaufnahme vor Beginn der LIFE+ Maßnahme „Lässer Au“ 2011; aufgenommen am 26.08.2011, bei 67% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg).....	30
Abbildung 16: Luftaufnahme nach Fertigstellung der LIFE+ Maßnahme „Lässer Au“ 2016; aufgenommen am 28.08.2016, bei 69% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg).....	31
Abbildung 17: Luftaufnahme bei Feistritz vor Beginn der LIFE+ Maßnahme 2013; aufgenommen am 29.07.2013, bei 62% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg).....	32
Abbildung 18: Luftaufnahme bei Feistritz nach Fertigstellung der LIFE+ Maßnahme 2016; aufgenommen am 28.08.2016, bei 69% des langjährigen mittleren Abflusses (Google Earth, Pegelmessstelle Zeltweg).....	33
Abbildung 19: Strukturierungsmaßnahmen in der Mur bei Preg (www.murerleben.at).....	34
Abbildung 20: Skizze zur Berechnung von length ratio, ofttake angle und orientation angle. (Mosselman, 2001)	43
Abbildung 21: Relative Verteilung der Makrohabitats in der Mur 1812 (eigene Grafik).....	44
Abbildung 22: Relative Verteilung der Makrohabitats in der Mur 2020 (eigene Grafik).....	45
Abbildung 23: Verteilung der Gewässertypen im Vergleich zwischen 1812 und 2020 (eigene Grafik).....	46
Abbildung 24: Verteilung der Fläche pro km Lauflänge auf die Gewässertypen im Vergleich zwischen 1812 und 2020 (eigene Grafik)	46
Abbildung 25: Vergleich der Flächen von bewachsenen Inseln und Sedimentflächen (eigene Grafik).....	47
Abbildung 26: Jährliche laterale Verlagerung der Flussbögen der Mur zwischen 1809 und 1824 abhängig vom angenommenen Jahr der Erstellung der Großen Murstromkarte bzw. des Franziszeischen Katasters (eigene Grafik).....	49
Abbildung 27: Vergleich der mittleren Breiten des aktiven Gerinnes (eigene Grafik)	50
Abbildung 28: Vergleichende Boxplots der Gerinnebreiten 1812 und 2020; Ausreißer als blaue Punkte und extreme Ausreißer als gelbe Punkte dargestellt. (eigene Grafik)	51
Abbildung 29: Vergleichende Boxplots der Wassertiefen bei Mittelwasser 1812 und 2020; Ausreißer als blaue Punkte und extreme Ausreißer als gelbe Punkte dargestellt. (eigene Grafik)	52
Abbildung 30: Vergleichende Boxplots der Uferhöhen bezogen auf MW 1812 und 2020 (eigene Grafik).....	53
Abbildung 31: Vergleichende Boxplots der Höhen bewachsener Inseln über MW 1812 und 2020 (eigene Grafik).....	54

Abbildung 32: Vergleichende Boxplots der Höhen der Sedimentbänke über MW 1812 und 2020 (eigene Grafik).....	55
Abbildung 33: Nebenarme mit und ohne Verlandungsrisiko 1812 (eigene Grafik).....	57
Abbildung 34: Nebenarme mit und ohne Verlandungsrisiko 2020 (eigene Grafik).....	58
Abbildung 35: Untersuchungsabschnitt Mur flussab von St. Michael mit dem Zustand der Mur 1812 überlagert (Fkm 276,0-273,9) (Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap)	70
Abbildung 36: Geländemodell des Untersuchungsabschnittes der Mur flussab von St. Michael Mur (Fkm 276,0-275,5) (Grundlage: Airborne Laserscan, Land Steiermark)	71
Abbildung 37: Variante 1 - Mur bei St. Michael mit schematischer Einzeichnung potenzieller Maßnahmen (Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap).....	73
Abbildung 38: Variante 2 - Mur bei St. Michael mit schematischer Einzeichnung gestaltender Maßnahmen (Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap).....	75
Abbildung 39: Mur flussab von St. Michael mit schematischer Einzeichnung von konzeptionellen Maßnahmen (orange: gebaggertes Initialgerinne für neuen Hauptarm, blau: Phasen der selbständigen Gerinneverlagerung, Nr. 2: Ablenk- und Fangbuhnen) (Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap)	77
Abbildung 40: Abschnitt Mur bei St. Stefan mit dem Zustand der Mur 1812 überlagert (Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap).....	78
Abbildung 41: Geländemodell der Mur bei St. Stefan (Fkm 284,0-282,2) (Grundlage: Airborne Laserscan, Land Steiermark)	79
Abbildung 42: Abschnitt Mur bei St. Stefan mit schematischer Einzeichnung möglicher Maßnahmen; dynamische Maßnahmen in türkis und gestaltende Maßnahmen in orange (Grundlage: Orthofoto 2019, Geoland Basemap).....	81

Tabellenverzeichnis

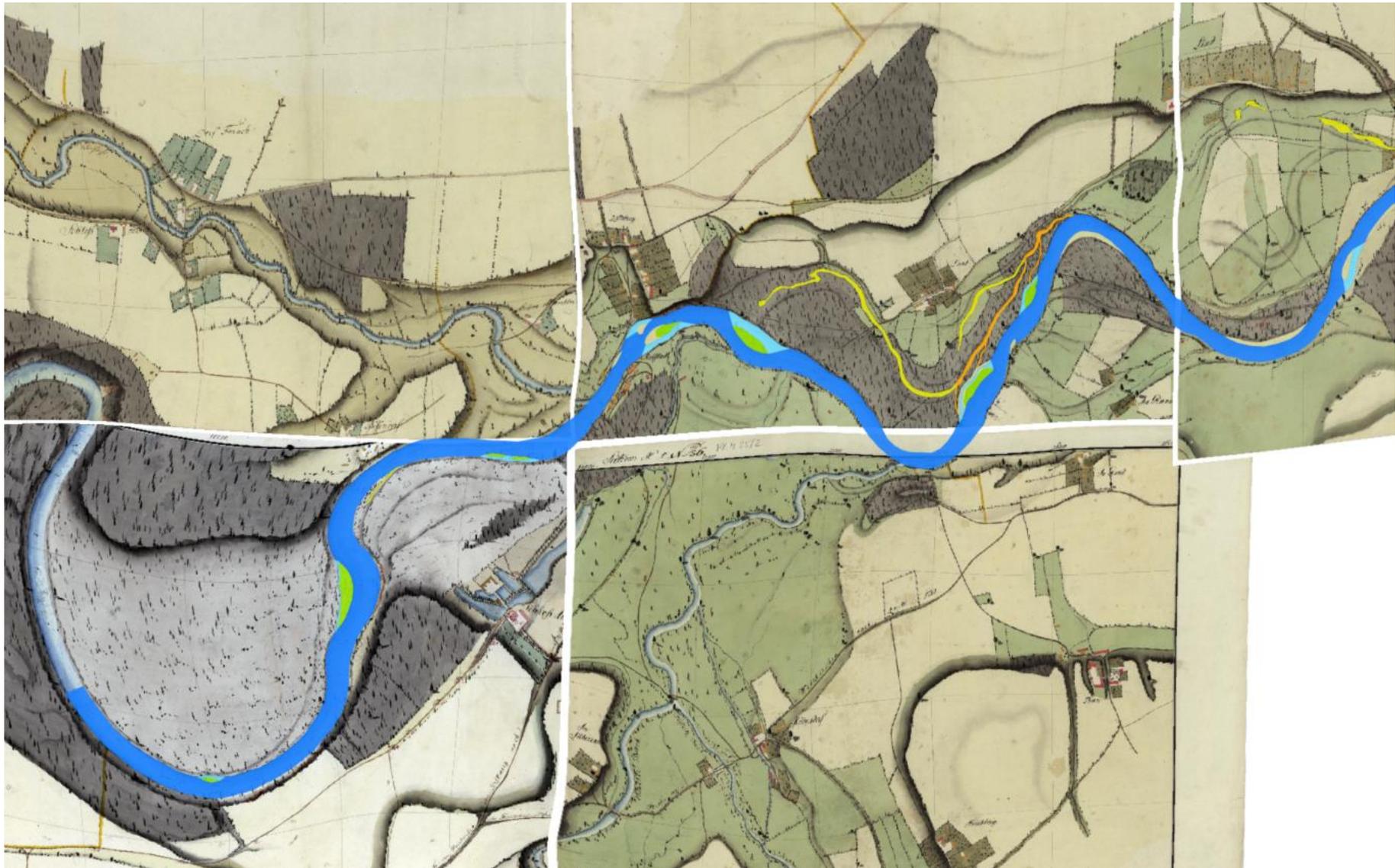
Tabelle 1: Fischökologisches Leitbild der Mur; l = Leitart, b = typische Begleitart, s = seltene Begleitart (Mielach et al., 2013). Der Abschnitt Zeltweg-Leoben entspricht dabei dem in dieser Masterarbeit untersuchten Flussabschnitt.	14
Tabelle 2: Auswertung des Verlandungsrisikos der Nebenarme der Mur 1812 anhand der Großen Murstromkarte.....	55
Tabelle 3: Auswertung des Verlandungsrisikos der Nebenarme der Mur 2020.....	57
Tabelle 4: Gegenüberstellung der Nebenarme 1812 und 2020.....	59
Tabelle 5: Bewertung der Verlandungsgefahr nach Mosselmann (2001) für Nebenarme der Mur 2020, LIFE- Maßnahmen sind fett hervorgehoben.....	64
Tabelle 6: Überblicksmäßige Darstellung der potenziellen Maßnahmentypen an der Mur	68
Tabelle 7: Gegenüberstellung der Uferhöhen bei St. Michael.....	69
Tabelle 8: Gegenüberstellung der Uferhöhen bei St. Stefan.....	78
Tabelle 9: Flussmorphologische Auswirkungen der Maßnahmen im Überblick. Bewertungsschema: annähernd gleichbleibend (-/+); Verbesserung (+), starke Verbesserung (++); * Sinuosität Initialgerinne: - (da kürzer als aktuelles Gerinne), Endstadium nach Migration: -/+ (ähnlich wie aktuell).....	82

Anhang

Anhang A – Legende der Gewässertypen des aktiven Gerinnes sowie der Sedimentbänke und bewachsenen Inseln um 1812

	Hauptarm
	Nebenarm durchströmt
	Sedimentbänke
	Inseln im Haupt- u. Nebenarm
	Altarm einseitig angebunden
	Altarm >MW durchströmt (Schottergerinne)
	Altarm isoliert

Anhang B – Gewässertypen, Sedimentbänke und bewachsene Inseln um 1812: Karte 1 – Fischeing bis Großlobming



Anhang C – Gewässertypen, Sedimentbänke und bewachsene Inseln des aktiven Gerinnes um 1812: Karte 2 – Großlobming bis Knittelfeld



Anhang D – Gewässertypen, Sedimentbänke und bewachsene Inseln des aktiven Gerinnes um 1812: Karte 3 – Knittelfeld bis Obermur



Anhang E – Gewässertypen, Sedimentbänke und bewachsene Inseln des aktiven Gerinnes um 1812: Karte 4 – Obermur bis Feistritz b. Knittelfeld



Anhang F – Gewässertypen, Sedimentbänke und bewachsene Inseln des aktiven Gerinnes um 1812: Karte 5 – Feistritz b. Knittelfeld bis Leising



Anhang G – Gewässertypen, Sedimentbänke und bewachsene Inseln des aktiven Gerinnes um 1812: Karte 6 – Leising bis St. Stefan ob Leoben



Anhang H – Gewässertypen, Sedimentbänke und bewachsene Inseln des aktiven Gerinnes um 1812: Karte 7 – St. Stefan bis St. Michael



Anhang I – Gewässertypen Sedimentbänke und bewachsene Inseln des aktiven Gerinnes um 1812: Karte 8 – St. Michael bis Göss



Anhang J – Gewässertypen, Sedimentbänke und bewachsene Inseln des aktiven Gerinnes um 1812: Karte 9 – Göss bis Leoben

