



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Rekonstruktion der historischen hydromorphologischen Eingriffe an der Donau im Wiener und Tullner Becken“

Verfasser

Christoph Holub

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 453

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Theoretische und angewandte Geographie (Stzw)

Betreuer:

O. Univ.-Prof. Dr. Mathias Jungwirth

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich sehr herzlich bei all jenen bedanken, die mich im Laufe meiner Studienzeit unterstützt und gefördert haben.

Univ. Prof. Mathias Jungwirth möchte ich für die Betreuung meiner Diplomarbeit und seine transdisziplinäre Pioniertätigkeit im Bereich der Fließgewässerökologie danken.

Mein ganz besonderer Dank geht an Dipl. Ing. Dr. Severin Hohensinner für die äußerst fachkundige, versierte und kollegiale Betreuung meiner Diplomarbeit.

Bei den Mitarbeitern des Instituts für Hydrobiologie und Gewässermanagement bedanke ich mich für viele spannende Lehrveranstaltungen und die zur Verfügung gestellten Ressourcen.

Renate Stumptner und Univ. Prof. Helmut Wohlschlägl gilt mein Dank für die umsichtige, sehr verantwortungsvolle Leitung des Studienprogrammes der Geographie, welche den Studenten auch die Berücksichtigung interdisziplinärer Fachinteressen erlaubt.

Ein großer Dank geht an meine Kolleginnen und Kollegen Agnes, Angela, Regina, Gernot, Helmut, Manuel und Paul für das gemeinsame studieren und viele wertvolle, motivierende Gespräche. Außerdem möchte ich Johannes für die gemeinsamen Fahrten an der Donau danken.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern Traude und Otto Holub. Sie haben mir durch ihre selbstlose Unterstützung als erstem Familienmitglied, Matura und Universitätsstudium ermöglicht.

Kurzfassung

Aufgabe der Diplomarbeit war es, die historische Donau-Flusslandschaft zwischen Tulln und der Marchmündung bei Theben vor der Regulierung, während und nach der Regulierung anhand quantifizierbarer Parameter zu beschreiben, die Rückschlüsse auf den flussmorphologisch-gewässerökologischen Zustand ermöglichen. Die Auswertungen wurden mittels ArcGIS basierend auf historischen Karten für die sechs Zeitpunkte 1775/80, 1817, 1859, 1875, 1910 und 2010 durchgeführt. Für weiterführende Analysen wurde das 85 km lange Untersuchungsgebiet in vier Abschnitte (Tullner Becken, Wiener Pforte, Wien und Nationalpark Donau-Auen) untergliedert. Zudem wurden die historischen Wasserbaumaßnahmen GIS-basiert ausgewertet, um Aufschluss über den Grad der menschlichen Einflussnahme zu erhalten.

Vor der Regulierung waren alle vier Donauabschnitte primär durch lotische (durchströmte) Gewässer geprägt. Die Wiener Donau hatte neben einem relativ hohen Gefälle die höchste Sinuosität des Hauptarmes, die höchste Verzweigungsintensität (totale Sinuosität, laterale Anbindungen) und die größte Breiten der lotischen Gewässer. Damit wies sie insgesamt den dynamischsten Charakter aller vier Abschnitte auf, obwohl hier wie auch in der Wiener Pforte vergleichsweise früh Regulierungs- und Hochwasserschutzmaßnahmen vorgenommen wurden. Aufgrund der zeitlich und räumlich unterschiedlichen Intensität menschlicher Eingriffe ist es schwierig, einen bestimmten Zeitpunkt anzugeben, ab dem das Donausystem als „signifikant anthropogen verändert“ bezeichnet werden könnte. Die vorliegenden Untersuchungen deuten darauf hin, dass ein solcher Zustand bei einer Regulierungsintensität (gemessen als Prozentsatz der verbauten Hauptstromufer) zwischen 25% und 42% zu erwarten ist. Die gesonderte Auswertung der von der Schifffahrt beeinflussten Gewässer zeigt, dass spätestens um 1910 keine von Wellenschlag unbeeinträchtigten lotischen Habitate mehr vorhanden waren.

Abstract

The main aim of the thesis is the investigation of the historical Danube river landscape between Tulln and the River March at Theben (Devin) before, during and after channelisation. The physical state is described by quantitative parameters that allow conclusions to be drawn from the river morphological and the aquatic ecological point of view. The analysis was performed based on historical maps using ArcGIS for the six points in time 1775/80, 1817, 1859, 1875, 1910 and 2010. For further analysis, the 85 km long study reach was divided into four subsections (Tulln Basin, Viennese Gate, Vienna and Danube Floodplain National Park). In addition, the historical hydraulic constructions were investigated GIS-based in order to determine the degree of human interventions.

Before channelisation, all four Danube sections were largely dominated by lotic (flowed through) water bodies. The Viennese Danube showed besides a relatively high channel gradient also the highest sinuosity of the main arm, the highest braiding intensity (total sinuosity, lateral connectivity) and the largest widths of the lotic water bodies. Thus, it featured the most dynamic character of all analysed river sections, although channelisation and flood protection measures started here, as in the Vienna Gate, comparatively early. Due to the temporally and spatially varying intensity of human interventions, it is difficult to determine a specific point in time on which the Danube system could be described as "significantly human-modified". The present study indicates that such a state can be expected at a channelisation intensity (measured as a percentage of the protected main channel banks) between 25% and 42%. The separate analysis of the water bodies influenced by navigation shows that, until 1910, no lotic habitats had remained that were undisturbed by the wash of the waves.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| 1. Einleitung und Zielsetzung | 1 |
| 1.1 Forschungsfragen | 2 |
| 2. Allgemeine Grundlagen und Methodik | 3 |
| 2.1 Untersuchungsgebiet | 3 |
| 2.1.1 Die Donau in Österreich | 3 |
| 2.1.2 Untersuchungsgebiet | 4 |
| 2.2 Methodik | 7 |
| 2.2.1 Datengrundlage | 8 |
| 2.2.2 Georeferenzierung und Entzerrung | 10 |
| 2.2.3 Erhebungsparameter | 14 |
| 2.2.4 Datenauswertung | 25 |
| 3. Ergebnisse | 27 |
| 3.1 Sinuosität | 27 |
| 3.2 Totale Sinuosität | 33 |
| 3.2.1 Gesamtes Untersuchungsgebiet | 33 |
| 3.2.2 Tullner Becken | 36 |
| 3.2.3 Wiener Pforte | 36 |
| 3.2.4 Wien | 37 |
| 3.2.5 Nationalpark | 40 |
| 3.3 Anbindungsbreiten | 41 |
| 3.4 Zubringeranbindungen | 46 |
| 3.5 Breiten der aktiven Gerinne | 53 |
| 3.5.1 Gesamtbreiten der durchströmten Gewässer | 53 |
| 3.5.2 Gewässerbreiten und Wellenschlag | 57 |
| 3.5.3 Breiten der Schotterbänke | 60 |
| 3.6 Wasserbauten | 65 |
| 3.6.1 Lineare Wasserbauten | 65 |
| 3.6.1.1 Gesamtes Untersuchungsgebiet | 65 |
| 3.6.1.2 Wien | 69 |
| 3.6.1.3 Nationalpark | 72 |
| 3.6.2 Flächige Wasserbaumaßnahmen | 75 |
| 4. Diskussion der Ergebnisse | 79 |
| 4.1 Auswirkungen der Regulierungen | 79 |
| 4.1.1 Totale Sinuosität | 79 |
| 4.1.2 Breitenverhältnisse | 83 |
| 4.1.3 Laterale Konnektivität und Zubringer | 88 |
| 4.1.4 Hochwasserschutz und Stauräume | 89 |
| 4.1.5 Korrelation Regulierungsintensität – Flussmorphologie | 92 |
| 4.2 Synoptische Beantwortung der Forschungsfragen | 94 |
| 5. Literatur | 98 |
| 6. Kartenverzeichnis | 101 |
| 7. Tabellen und Abbildungsverzeichnis | 102 |
| 7.1 Tabellenverzeichnis | 102 |
| 7.2 Abbildungsverzeichnis | 102 |

1. Einleitung und Zielsetzung

Steigender Nutzungs- und Siedlungsdruck und die damit einhergehenden Flussregulierungsmaßnahmen, sowie das Aufkommen der Dampfschifffahrt ab der Mitte des 19. Jahrhunderts, haben das Landschaftsbild des österreichischen Donauroumes in den letzten Jahrhunderten gravierend verändert. Heute befindet sich zwischen den „Twin Citys“ Wien und Bratislava mit dem Nationalpark Donauauen die letzte große Flusslandschaft Mitteleuropas mit hohem Regenerationspotenzial. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts folgte durch die Errichtung von Wasserkraftwerken eine weitere signifikante ökomorphologische Beeinträchtigung des Flusses. Aktuell legen die Vorteile von Schifffahrt und Wasserkraft hinsichtlich ihrer CO₂-Bilanz, sowie die zunehmende wirtschaftliche Integration im Donauroum, generell eine weitere Zunahme dieses Nutzungsdrucks nahe.

Gleichzeitig sind der Schutz und die Verbesserung der Lebensräume an Fließgewässern bereits heute Teil der politischen Agenda. So zielt etwa die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) darauf ab, die natürlichen Oberflächengewässer bis zum Jahr 2015 in einen „guten ökologischen Zustand“ zu versetzen (EUROPÄISCHES PARLAMENT, 2000). Für die Praxis lässt sich daraus die Notwendigkeit eines Gewässerschutzes, der nicht bloß konservierend, sondern nach Möglichkeit und dem Stand der Forschung auch revitalisierend wirkt, ableiten. Hierbei ist es jedoch entscheidend, adäquate Maßnahmen zu setzen, d.h., die Projekte müssen unter anderem auch auf den jeweiligen natürlichen Flusstyp abgestimmt werden. Aufgrund des hohen Verbauungsgrades der meisten Fließgewässer ist dieser natürliche Referenzzustand oftmals gar nicht mehr im Detail bekannt. Vor diesem Hintergrund gewinnen gewässerökologische Leitbilder und Forschungen, welche sich auf den Gewässerzustand vor der signifikanten menschlichen Einflussnahme beziehen, zunehmend an Bedeutung (vgl. HOHENSINNER et al. 2005)

Die Diplomarbeit stellt eine Grundlagenstudie dar, welche erstmals die flussmorphologische Charakterisierung eines längeren Donauabschnittes (85 Stromkilometer) zum Ziel hat. Sie ist Teil des FWF-Forschungsprojektes „*Long-term dynamics in fish populations and ecosystems of European rivers: data, methodology and management applications*“ („DYNAFISH“, Projekt-Nr. I 450-B16 Leitung: O. Univ.Prof. Dr. Mathias Jungwirth). Im Rahmen der Diplomarbeit wird die ökomorphologische Ausformung der Donau im Tullner Feld und im Wiener Becken (Strom-km 1965 - 1880) für sechs historische Zeitsituationen untersucht. Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich dabei vom Jahr 1775 bis in die Gegenwart. Hierzu werden vor allem Kartenwerke, wie etwa die Josephinische Landesaufnahme, der Franziszeische Kataster sowie verschiedene Schifffahrtskarten (z.B. Karte de Lorenzo 1817/19) ausgewertet. Das Ziel ist die Erarbeitung quantifizierbarer flussmorphologisch-gewässerökologischer Parameter, welche Aussagen über aquatische Habitattypen, Dimension des Lebensraumes und Intensität der lateralen Vernetzung ermöglichen. Zusätzlich werden alle historisch dokumentierten Wasserbauten in einen Wasserbaukataster zusammengeführt, um den Veränderungen der Flusstrukturen die anthropogenen Eingriffe gegenüberzustellen.

1.1 Forschungsfragen

Bisherige Untersuchungen historischer flussmorphologischer Verhältnisse wurden vor allem für kürzere Donauabschnitte mit sehr hohem Detailgrad durchgeführt. Hier ist vor allem das oberösterreichische Machland zu nennen, für das bereits eine umfassende Rekonstruktion erstellt wurde (vgl. HOHENSINNER 2008). Auch für die Lobau bei Wien sowie den Nationalpark Donau-Auen wurde bereits eine Reihe von Untersuchungen vorgenommen (vgl. HERRNEGGER 2007; HOHENSINNER et al. 2008).

Angesichts des Umfangs und der Intensität der menschlichen Einflussnahme an der österreichischen Donau versprechen auch Untersuchungsmethoden, die auf längere Flussabschnitte angewandt werden können, relevante Erkenntnisse. In diesem Sinn bildet die vorliegende Arbeit eine Grundlagenstudie, da hier erstmals an der österreichischen Donau methodische Ansätze angewendet werden, welche geeignet sind, die Regulierungsgeschichte und die ökomorphologische Entwicklung noch längerer Flussabschnitte zu beschreiben.

Vor dem Hintergrund ergeben sich für die vorliegende Diplomarbeit primär folgende Forschungsfragen:

F1: Sind an der Donau vor dem Beginn der Regulierung hinsichtlich der flussmorphologischen Ausprägung und der Gewässerhabitate Unterschiede im Tullner Becken, im Bereich von Wien sowie östlich (Nationalpark) davon erkennbar?

F2: Wie stark waren die einzelnen Donauabschnitte von lotischen (durchströmten) und lenitischen (stagnierenden) Gewässerhabitaten geprägt?

F3: Inwiefern unterscheiden sich die Zeiträume und Maßnahmentypen der historischen anthropogenen Eingriffe an der Donau im näheren Umfeld der Stadt Wien von jenen in den ländlich geprägten Donauabschnitten?

F4: Zu welchem Zeitpunkt war die Donau-Flusslandschaft durch anthropogene Eingriffe so stark modifiziert, dass die Habitatbedingungen signifikant vom Referenzzustand vor der Regulierung abwichen?

F5: Wie lange und in welchem Ausmaß existierten für die rheophile Fischfauna in lotischen Flussarmen adäquate Laich- und Aufwuchshabitate, die vor dem Wellenschlag der zunehmenden Dampfschiffahrt geschützt waren?

Diese Fragen werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit anhand gewässerökologisch aussagekräftiger flussmorphologischer Parameter beantwortet.

2. Allgemeine Grundlagen und Methodik

2.1 Untersuchungsgebiet

2.1.1 Die Donau in Österreich

Die Donau, welche im Schwarzwald durch Zusammenfluss der Quellbäche Breg und Brigach entsteht, bildet mit 2783km Länge das zweitgrößte Fließgewässer Europas. 2.414km ihres Laufes gelten dabei als schiffbare Strecke. Das Gesamteinzugsgebiet der Donau umfasst eine Fläche von ca. 817.000km. Auf Österreich entfällt dabei ein Flächenanteil von etwa 10%. (<http://www.danubecommission.org>)

Das Donautal selbst hat einen Anteil von rund 15% am Staatsgebiet, jedoch entwässern 96,1% der Landesfläche zur Donau hin. Die 357 Stromkilometer der österreichischen Donau werden noch der Oberen Donau zugerechnet. In diesem Abschnitt, welcher bis zum Alpen-Karpaten Durchbruch (March-Mündung) reicht, überwindet der Fluss ein Gefälle von durchschnittlich 0,4‰. Für die österreichische Strecke liegt der Wert etwas höher bei 0,43‰. Das Abflussregime der Donau in Österreich ist nival geprägt, der mittlere jährliche Abfluss bei Wien beträgt ca. 2.000m³/sec. Das Mittelwasser an der Mündung ins Schwarze Meer, beträgt hingegen bereits 6.444m³/sec. Der Höchstwert des Abflusses (HHQ) beträgt in Österreich etwa das 5-6 fache des Mittelwassers. Auf Höhe der Drau-Einmündung sinkt dieses Verhältnis auf einen Wert von etwa 3 und bis zum Donau-Delta weiter auf 2,5 ab. Hinsichtlich der Abflussminima beträgt das Verhältnis zum Mittelwasser an der oberen Donau grob Eins zu Fünf, an der unteren Donau nur noch Eins zu Vier. Die Schwankungsbreite nimmt also mit dem Flusslauf ab (LIEPOLT 1967).

Morphologisch lässt sich der Bereich der österreichischen Donau generell als Abfolge von Engtälern und Beckenlagen, in denen die Donau breite Inundationszonen mit typischer Auenvegetation ausbildet, charakterisieren. Dementsprechend groß sind auch die Unterschiede in den Profiltiefen entlang des Flusslaufes. Abgesehen von natürlichen Engstellen sind es heute jedoch insbesondere die Regulierungsmaßnahmen, welche die Breite des Gerinnes limitieren. Von den 357km Lauflänge, welche die österreichische Donau aufweist, sind laut JUNGWIRTH et al. (2005) jedoch bereits 80% als „heavily modified“ im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie anzusehen. Diese Einstufung bedeutet, dass angesichts des Ausmaßes der anthropogenen Überprägung, eine Renaturierung nur sehr eingeschränkt möglich, wenn nicht komplett unrealistisch erscheint. Für als „heavily modified“ klassifizierte Gewässer, gilt demnach die Vorgabe der WRRL, dass diese bis 2015 den „guten ökologischen Zustand“ zu erreichen haben nur in abgeschwächter Form (sogenanntes „gute ökologische Potential“; vgl. JUNGWIRTH et al. 2005). Besonders in alluvialen Zonen gestaltet sich das Heranführen der Gewässerstruktur an einen naturnäheren Zustand als besonders schwierig. Einerseits haben die Restrukturierungsmaßnahmen in diesen Gebieten einen höheren Flächenbedarf als in Engstellen, andererseits sind die weiten Talböden oftmals wertvoller Siedlungs- Agrar- und Wirtschaftsraum. Da heute naturnahe Referenzstrecken kaum mehr

vorhanden sind, bietet die Rekonstruktion des ökomorphologischen Zustandes vor der Regulierung sowie der Auswirkungen wasserbaulicher Maßnahmen eine notwendige Grundlage für die Diskussion und Planung adäquater Rückbaumaßnahmen.

2.1.2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über eine Länge von 85 Kilometern von Tulln bis zur Thebener Pforte, vor deren nordwestlicher Gebirgsflanke die March in die Donau einmündet (Strom-km 1965 - 1880). Zur besseren Analyse und Gegenüberstellung der gewonnenen Daten, wurde das Untersuchungsgebiet in vier Abschnitte unterteilt (Abbildung 1).

Untersuchungsgebiet: Tulln bis zur March

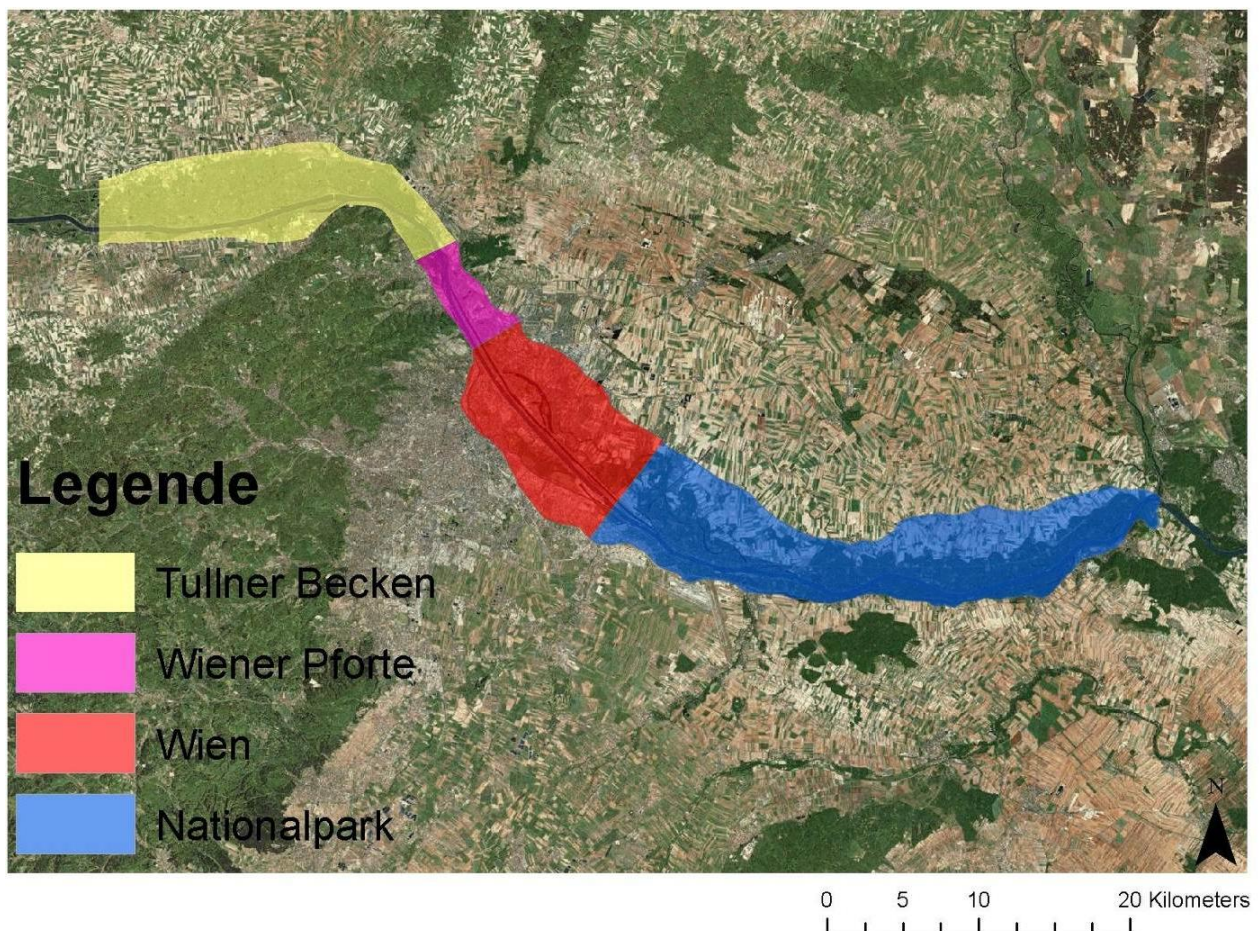


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet und dessen Abschnitte (Grundlage: Land-, forst- und wasserwirtschaftliches Rechenzentrum GmbH, BMLFUW, ca. 2010)

Die Abschnitte weisen die für den österreichischen Donaauraum charakteristischen Abfolgen von alluvialen Zonen und Engtälern auf. Die laterale Abgrenzung des Untersuchungsgebietes erfolgt nach geomorphologischen und nicht nach hydrologischen bzw. hydraulischen Gesichtspunkten – etwa der Anschlaglinie bei HQ_{100} . Im Querprofil erstreckt sich der Untersuchungsraum auf die *Zone der rezenten Mäander* (vgl. FINK et al. 1955). Dieser Bereich lässt sich als postglaziales Alluvium, welches seit dem Ende des Pleistozäns vor etwa 11.500 Jahren von der

Donau geprägt wurde, definieren. Am Südufer sind die Terrassenkanten generell mit höherer Deutlichkeit ausgeprägt als am Nordufer. Der Praterterrasse nordöstlich von Wien bzw. ihre stratigraphischen Pendant, der Niederterrasse nordwestlich des Bisamberges, kommen dabei eine wichtige Bedeutung für die laterale Abgrenzung des Untersuchungsgebietes zu. Die Deckschichten des Praterterrassenkörpers sind jedoch nicht mehr überall ungestört vorhanden, sondern sind im näheren Bereich zur Donau zusammen mit einem Teil des Schotters, fluviatil umgelagert worden. Im Längsverlauf waren die Kriterien für die Abschnittsbildung einerseits eine möglichst große flussmorphologische Homogenität innerhalb eines Abschnittes, andererseits das Vorliegen einer klar definierten und nachvollziehbaren Grenze. Diese Grenzen sind somit naturräumlich und nicht administrativ festgelegt. Die Untersuchungsabschnitte beginnen und enden dabei immer an einem (vorgegebenen) Stromkilometer. Charakteristische Kennwerte der vier Abschnitte, wie zugehörige Längen der Talachse und der Luftlinie sowie aktuelle Lauflänge der Donau, sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Untersuchungsabschnitt 1: Tullner Becken

Auf einer Lauflänge von 24km erstreckt sich dieser Abschnitt von Strom-km 1965 bis Strom-km 1941. Er beginnt also direkt flussaufwärts von Tulln, unmittelbar bei der Einmündung der großen Tulln und reicht bis zum Beginn der Wiener Pforte. Es handelt sich dabei um einen der größten alluvialen Donauabschnitte Österreichs, welcher einem sogenannten „anabranched river type“ entspricht. Nach NANSON & KNIGHTON (1996) definiert sich dieser Typ als System mehrerer Gewässerarme, welche durch relativ stabile, meist bewachsene größere Inseln, bis etwa zur Höhe des bordvollen Abflusses getrennt werden.

Besonders am orographisch linken Donauufer ist der Bereich durch ein breites Inundationsgebiet, welches sich in der Vergangenheit zu einer harten Aue hin entwickelt hat, geprägt. Die Besiedlung ist auf dieser nördlichen Uferseite eher moderat. Die südlichen Ortsränder von Stockerau und Spillern erstrecken sich jedoch bis hinein in die Zone der rezenten Mäander. Am östlichen Ende des Untersuchungsabschnittes reicht das Siedlungsgebiet der Gemeinde Korneuburg beinahe unmittelbar ans Donauufer. Der Bereich am rechten Donauufer bietet hier aufgrund der Besiedlungsdichte und der geologischen Situation weit weniger Platz für etwaige lenitische Gewässerhabitate und Auenvegetation. Das Donaukraftwerk Greifenstein, sowie ein Teil des gleichnamigen, am Nordufer verlaufenden Gießganges liegen innerhalb dieses Untersuchungsabschnittes.

Untersuchungsabschnitt 2: Wiener Pforte

Die Wiener Pforte bildet mit 7km Länge den kürzesten Teilabschnitt (Strom-km 1941 - 1934). Kennzeichnend für diese Engstelle ist die Situation als Durchbruchstal zwischen Leopoldsberg am rechten und Bisamberg am linken Donauufer, wobei sich die Donau hier entlang eines geologischen Bruchs zwischen Wienerwald und Bisamberg vor rund 350.000 Jahren ihren Weg gebahnt hat. Somit fungiert diese Schwelle stromauf- wie abwärts als relative Erosionsbasis für die angrenzenden Donauabschnitte. Der Abschnitt weist mit den Gemeinden Klosterneuburg und Langenzersdorf eine dichtere Besiedlung auf, zumal bereits ein Teil des Wiener Gemeindegebietes ebenso zu diesem Abschnitt hinzugezählt wird. Aktuell befindet sich in diesem Gebiet etwa auch das Einlaufbauwerk zur Dotation des Marchfeldkanals. Neben den steilen Hängen des Wienerwaldes am südlichen Donauufer, wirkt heute auch das Einlaufbauwerk des Entlastungsgerinnes als landschaftsprägendes Element.

Untersuchungsabschnitt 3: Wien

Der Wiener Abschnitt reicht von Strom-km 1934 bis Strom-km 1920. Wie bereits angedeutet entspricht dies nicht der gesamten Lauflänge der Donau auf Wiener Gemeindegebiet, da Teile davon zu den benachbarten Abschnitten 2 im Norden und 4 im Süden hinzugezählt wurde. Von der naturräumlichen Grundausrüstung würde der Flusstyp hier analog zum Tullner Becken sehr deutlich einem anabranched river-type entsprechen. Es ist jedoch wenig überraschend, dass innerhalb einer Millionenstadt die Ausprägung dieses Flusstyps seit dem 19. Jahrhundert unterbunden wurde. Die Flächennutzung des Umlandes war für die Untersuchung zwar kein direkt gemessener Wert, aber die jahrtausendealte Besiedlungsgeschichte Wiens am südlichen Donauufer hatte sicherlich auch Einfluss auf die Entfaltungsmöglichkeit der Donau (vgl. LAGER 2012). Der heutige Donauverlauf in diesem Untersuchungsabschnitt ist vollständig anthropogen überprägt. Allerdings ist ein ursprünglicher Flusslauf in Form der Alten Donau noch als Relikt vorhanden. Der Donaudurchstich von 1870 – 1875, die Parallelschaltung des Entlastungsgerinnes 1972 – 1987 sowie die Errichtung des Kraftwerks Freudenau in den 1990ern, stellen mit Sicherheit die markantesten wasserbaulichen Großmaßnahmen in diesem Gebiet dar.

Untersuchungsabschnitt 4: Nationalpark Donauauen

Der östlichste Untersuchungsabschnitt bildet mit 40km Länge das längste Teilgebiet (Strom-km 1920 bis Strom-km 1880). Die obere Abschnittsgrenze wurde auf Höhe des Ölhafens Lobau festgelegt, etwa dort, wo die Lobau die größte laterale Ausdehnung aufweist. Die untere Grenze wird von der Thebener Pforte gebildet. Was die laterale Abgrenzung des Abschnittes nach Norden betrifft, ist zu beachten dass sich das Gebiet im Marchfeld erstreckt, der größten Ebene Österreichs. Wie bereits einleitend erwähnt, wurde die Abgrenzung nicht anhand potentieller Hochwasser-Anschlagslinien gezogen, sondern nach geomorphologischen Gesichtspunkten definiert. Im Bereich des östlichen Wiener Abschnitts und des Nationalparks kommt jedoch hinzu, dass aufgrund einer tektonischen Absenkung, welche sich bereits während der

Akkumulation der Praterterrasse ereignet hat, die Schotterkörper von Praterterrasse und rezentem Alluvium gleichsam ineinander „verschwimmen“ (vgl. FINK et al. 1955).

Das Gebiet hat seit 1996 den Status eines Nationalparks der IUCN-Kategorie II. Bemerkenswert ist, dass auch die auf Wiener Stadtgebiet befindliche Lobau ein Teil des Nationalparks ist. Laut Nationalparkverwaltung umfasst das Schutzgebiet mehr als 9300 Hektar, davon ca. 65% Auwald-, 15% Wiesen- und ca. 20% Wasserflächen. Erweiterungen der Fläche seien geplant. Der Nationalparkabschnitt, zeichnet sich unbestritten dadurch aus, dass er einen der wenigen „frei fließenden“, also von Stauketten unbeeinflussten Flussabschnitte an der mitteleuropäischen Donau darstellt. Allerdings ist auch diese Aussage, wenn nicht aus hydrologischer Perspektive, so doch aus morphologischer Sicht, zu hinterfragen. Der Einfluss des unmittelbar stromaufwärts gelegenen Kraftwerks Freudenu ist nämlich durchaus gegeben. Der Sedimentrückhalt an dieser Stauhaltung stellt nicht den Einzigen, jedoch einen wichtigen Grund für die Eintiefung der Donausohle um 1,5-2 cm/Jahr dar (vgl. SCHMAUTZ et al. 2000).

Diese Entwicklung führte zusammen mit anderen Problemlagen aus den Bereichen Schifffahrt und Ökologie zur Ausarbeitung des „*Flussbaulichen Gesamtprojekts Donau östlich von Wien*“. Dieses Vorhaben versucht, neben der *granulometrischen Sohlstabilisierung* weitere wasserbauliche Eingriffe, wie etwa der Umgestaltung von Buhnen und Entfernung von Blockwurf zu realisieren sowie durch Gewässervernetzungen eine umfassende Problemlösung für verschiedene Interessengruppen zu erreichen.

2.2 Methodik

Die Geomorphologie dient in vielen Fällen der Beantwortung von Fragestellungen, die im historischen Kontext zu sehen sind. Auch ZEPP hebt in seiner Einführung in die Geomorphologie die historische Dimension der Disziplin hervor. Auch schriftliche oder kartographische Aufzeichnungen werden dabei oftmals berücksichtigt (vgl. ZEPP 2011).

Ökomorphologische Studien an Fließgewässern haben die Erforschung netzwerkartiger Phänomene bzw. Lebensräume zum Ziel. Neben einer longitudinalen Komponente, welche in Fließrichtung wirkt und das Gewässerkontinuum auf der Makro-Skala z.B. auf Ebene der Flussabschnitte differenziert, ist für die gegebene Habitatqualität besonders auch die laterale Dimension von entscheidender Bedeutung. Die Differenzierung bestimmter Gewässerhabitate hinsichtlich Strömungsmustern, Sohlsubstrat und Wassertemperatur wirkt besonders entlang dieser Dimension (vgl. JUNGWIRTH et al. 2003).

Die Erhebung bzw. Rekonstruktion des Ausmaßes der lateralen Ausdehnung und Vernetzung des Donaustromes bildete daher auch einen Hauptaspekt der vorliegenden Untersuchung. Die Gewässerstruktur eines verzweigten Flusses ist ein räumlich sehr heterogenes Phänomen, ebenso wie die innerhalb des Systemes wirkenden Prozesse der Erosion und Sedimentation. Typisch für ein dynamisches System setzt sich die angesprochene Heterogenität auch auf zeitlicher Ebene fort. Dem *anabranching* Flusstyp entsprechend kann sich etwa das Muster der

semi-stabilen Inseln innerhalb des Stromes in aufeinanderfolgenden Jahrhunderten grundlegend ändern.

Angesichts der Vielfalt und raumzeitlichen Ausdehnung des zu erforschenden Mosaiks, ist es naheliegend, dass eine Geländeerhebung vor Ort nicht zielführend ist. Die Methodik wäre nicht nur zu ressourcen- und kostenintensiv, sondern auch nicht besonders aussagekräftig, da kaum das gesamte Untersuchungsgebiet erfasst werden könnte. Anders verhält es sich mit fernerkundlichen Methoden. Sie scheinen grundsätzlich sehr gut geeignet, die ökomorphologische Situation zu untersuchen. Die Limitierung besteht hier allerdings vor allem in deren zeitlichen Verfügbarkeit, die nur für einen kleinen Teil des Untersuchungszeitraumes gegeben wäre.

2.2.1 Datengrundlage

Die wesentliche Grundlage für die Untersuchung bilden daher verschiedene Kartenwerke, welche das Untersuchungsgebiet oder Teile davon zu unterschiedlichen Zeitpunkten abbilden. Ziel der Arbeit, ist es, die ökomorphologische Situation mitsamt dem Regulierungsausmaß für 6 Zeitsituationen von 1775 - 2010 darzustellen.

Für den letzten und aktuellsten Zeitschnitt 2010 wurden die digitale Karte des BEV ÖK 1 : 50.000 als umgewandeltes Raster-GIS-File sowie aktuelle Orthofotos herangezogen. Weiters wurden der „Digitale angewandte Geo-Atlas der Stadt Wien“ (HOFMANN et al. 2007) und weitere geologische Kartenwerke verwendet, um das Untersuchungsgebiet der *Zone der rezenten Mäander* abzugrenzen.

Ansonsten wurde auf Kartenmaterial zurückgegriffen, welches durchwegs als „historisch“ zu bezeichnen ist. Als solches werden generell Karten bezeichnet, welche nicht mehr produziert bzw. aktualisiert werden. Im engeren Sinn werden darunter auch häufig Karten des 16. bis 19. Jahrhunderts verstanden (vgl. NELL 2009).

Diese Grundlagen wurden vom Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement der Universität für Bodenkultur Wien in großteils digitaler Form zur Verfügung gestellt. Die überwiegende Mehrheit der Karten wurde dabei im Zuge der Recherchetätigkeit von Severin Hohensinner aufgefunden. Da sich die Recherchen und Aushebungen in diversen Archiven sehr zeitaufwändig und mitunter auch kostenintensiv gestalten können, wäre die Untersuchung ohne diese Grundlagen wohl nicht als Diplomarbeit durchführbar gewesen.

Zur Rekonstruktion der Zeitsituationen wurden hauptsächlich folgende Kartenwerke verwendet (am Ende ist jeweils die historische Zeitsituation angeführt, für welche das betreffende Kartenwerk verwendet wurde):

- *Erste Landesaufnahme/Josephinische Landesaufnahme (1769-1781), M: 1 : 28.800; Östa, Kriegsarchiv (B IX a 242) → 1775/1780*
- *Franziseischer Kataster/Urmappe (in Wien: 1817-1829), M: 1 : 2.880; Archiv Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtstraße Wien → 1817*

- *de LORENZO, C. (aufgen. 1816-1817, hrsg. 1819): Nieder Oesterreichische Donau-Stromkarte, M: 1 : 7.200; Nö. Landesbibliothek Kartensammlung B II 82 → 1817*
- *KAZDA & NICOLAUS (aufgen. 1849, hrsg. 1850): Hydrotechnische Vermessung der Donau bei Wien, M: 1 : 14.400; Nö. Landesarchiv, Regierungsarchiv, Nö. Baudirection, Karton 494 → 1859*
- *PASETTI, F. (bei Wien: 1857-1859): Karte des Donau Stromes innerhalb der Grenzen des Österreichischen Kaiserstaates, M: 1 : 28.800; Kriegsarchiv (B IX b 138) → 1859*
- *Dritte Landesaufnahme/Franzisko-josephinische Landesaufnahme (1872-1875), M: 1 : 12.500 u. 1 : 25.000; Archiv Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtstraße Wien → 1875*
- *N.N. (1875): Schifffahrtskarte der Donau bei Wien, M: 1 : 14.400; Archivstandort unbekannt, Kopie von NP Donau-Auen GesmbH → 1875*
- *Militärgeographisches Institut (1903-1905): Umgebungskarte von Wien, M: 1 : 25.000; Archiv Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtstraße Wien → 1910*
- *Binnenschifffahrts-Inspektorat im Handelsministerium (ca. 1917): Karte der Österreichischen Donau, M: 10.000, 6. Teil: Höflein-Theben; Archivstandort unbekannt, Kopie von NP Donau-Auen GesmbH → 1910*
- *Militärgeographisches Institut (1925-1926): Umgebungskarte von Bruck/Leitha, M: 1 : 25.000; Archiv Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtstraße Wien → 1910*
- *Bundesministerium für Handel und Verkehr (ca. 1930, basierend auf älteren Aufnahmen): Karte der österreichischen Donau, M: 1 : 10.000, 6 Teile, KA BIX b 140-11, ÖNB Kartensammlung K. B. 100.171, UB Wien I 492405 → 1910*
- *Österreichische Karte 1:50.000 (ca. 2010, Aufnahmedatum der Kartenblätter unterschiedlich): Bundesamt für Eich und Vermessungswesen, Schiffamtstraße Wien → 2010*
- *Land-, forst- und wasserwirtschaftliches Rechenzentrum GmbH, BMLFUW (ca. 2010): Orthofotos von Geoimage Austria; <http://www.geoimage.at/geoimage> → 2010*

Zusätzlich zu den oben genannten Kartenwerken wurden noch zahlreiche weitere historische Karten herangezogen, die hier nicht im Detail angeführt werden. Diese dienten als Ergänzung der historischen flussmorphologischen Informationen bzw. zur Klärung offener Fragen in Bezug auf Wasserbaumaßnahmen. Für den Bereich Kahlenbergdorf bis Albern (Strom-km 1937 – 1918) standen zudem die besonders genaue Detailrekonstruktion von LAGER (2012) und für den Bereich Lobau bis Fischamend (Strom-km 1925 – 1907) die ebenfalls genaue Rekonstruktion von EBERSTALLER-FLEISCHANDERL & HOHENSINNER (2004) zur Verfügung.

Es liegt auf der Hand, dass historische Kartenwerke speziell hinsichtlich Lage und Höhengenaugigkeit nicht den hohen, heutigen Standards entsprechen. Für moderne Karten, ergeben sich Ungenauigkeiten hauptsächlich aufgrund der Hauptabbildungseigenschaften der Projektion (Winkel-, Flächen-, Längentreue), sowie der für die kartographische Darstellung notwendigen Generalisierungen. Im Fall von modernen großmaßstäbigen Karten ist davon auszugehen, dass die genannten „Fehlerquellen“ relativ gering sein sollten. Daher wird von Karten dieses Typs generell eine Zeichengenaugigkeit von 0,1mm bis 0,2mm erwartet. Anders verhält es sich mit historischen Karten, bei welchen der immanente Lagefehler die Zugeständnisse hinsichtlich Zeichengenaugigkeit und Generalisierung oft um ein Vielfaches übertrifft. Diese Fehler sind freilich vor allem auf die damaligen Vermessungsmethoden zurückzuführen. Besonders in unzugänglichen, gebirgigen oder von Gewässern durchzogenen Gegenden wurden Distanzen häufig lediglich geschätzt oder anhand von Wegzeiten berechnet. Des Weiteren sind auch im Lauf der Jahrhunderte Veränderungen des Zeichnungsträgers selbst nicht auszuschließen. Der durch Feuchtigkeits- und Temperatureinflüsse hervorgerufene Papierverzug kann durchaus Werte von bis zu einem Prozent im Vergleich zum Urzustand annehmen (vgl. NELL 2009).

2.2.2 Georeferenzierung und Entzerrung

Die genannten Karten, wurden in den meisten Fällen als konventionelles Rasterformat (TIFF, JPG) zur Verfügung gestellt. Als solches weisen sie weder Maßstab noch Raumbezug auf. Für den Betrachter ist es dennoch möglich, sich auf den Karten zu orientieren; das für die Untersuchung maßgebliche Kriterium, quantitative Messungen vornehmen zu können, ist unter diesen Voraussetzungen jedoch noch nicht erfüllt. Aus diesem Grund wurden die Dateien des Kartenmaterials als erstes in die Geoinformationssoftware ESRI ArcGIS 10 importiert. Dieses Programm bietet in seiner Funktionsfülle auch verschiedene Möglichkeiten der Georeferenzierung. Aufgrund der Eigenschaften der Kartengrundlagen stellte die Geokodierung mittels Passpunkten den gangbarsten Weg dar, um einen Raumbezug für die historischen Karten herzustellen.

Als Grundlage für diese Form der Geokodierung wird ein bereits verorteter Raster-Datensatz mit definiertem geodätischem Datum benötigt. Als solcher fungierte bei diesem Arbeitsschritt ein GIS-Layer der amtlichen Karte des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesens ÖK 50 (M: 1 : 50.000). Diese weist als räumliches Bezugssystem das Bundesmeldenetz (BMN) auf, welches auf einer transversalen Mercator-Projektion, also einer winkeltreuen, querständigen Zylinderprojektion, beruht. Das BMN verwendet das Referenzsystem des Militärgeografischen Instituts (MGI), welches ein für Österreich optimiertes Bessel-Ellipsoid nutzt. Das Staatsgebiet wird dabei von 3 Meridianen abgedeckt, wobei das Untersuchungsgebiet im Bereich des 3. Meridians M34 liegt. Das MGI-Referenzsystem wurde jedoch auf das im ökologisch orientierten Flussbau gebräuchlichere Gauß-Krüger Koordinatensystem bezogen auf den M34 umgerechnet. Diese Bezüge dienten in weiterer Folge als Referenz für das gesamte GIS-Projekt. Abbildung 2 zeigt eine Tabelle aus ArcGIS 10, welche die Spezifikationen des verwendeten geodätischen Datums auflistet.

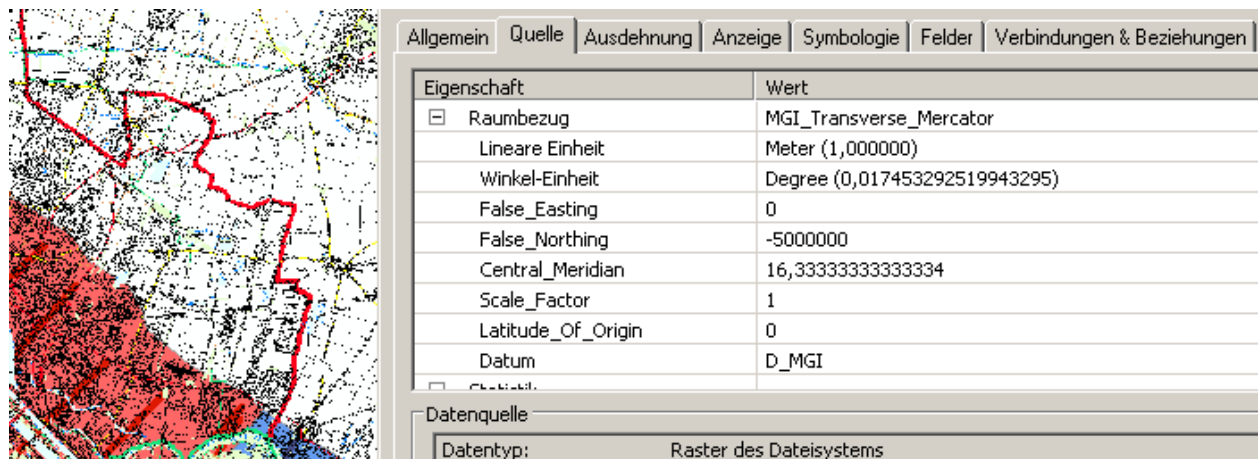


Abbildung 2: Geodätisches Datum des GIS-Projekts

Zum Referenzieren gering verzerrter Geodaten reichen im Prinzip 3 Passpunkte aus. Bei dem für die Untersuchung verwendeten historischen Kartenmaterial wäre das auf diese Weise erlangte Resultat jedoch nicht zufriedenstellend. Selbst wenn diese 3 Punkte gut verteilt sind und präzise gesetzt werden können, ist für den dazwischen liegenden Bereich mit groben Lagefehlern zu rechnen, die abhängig von der Karte, im Extremfall einige hundert Metern betragen können. Auch wenn diese Lagefehler nicht direkt mit der Messgenauigkeit der folgenden Messungen gleichgesetzt werden können, wären sie für die Untersuchung dennoch nicht tolerierbar. Daher wurde nach einer pragmatischen, wenn auch relativ aufwändigen Methode vorgegangen, welche pro Kartenblatt durchwegs um die 40 oder mehr Passpunkte, für manche Kartenwerke auch an die hundert Punkte je Kartenblatt verlangte. Ein klarer Vorteil der Methode ist, dass dabei generell genügend Passpunkte für aufwendigere Transformationsalgorithmen innerhalb von ArcGIS 10 zur Verfügung stehen. Zu ihnen zählen Polynome höherer Ordnung sowie die sogenannte Spline-Funktion. Diese Routinen sorgen nach dem Setzen der Passpunkte für die eigentliche Entzerrung des Kartenblattes. Bewährt hat sich hierbei insbesondere die Spline-Funktion. Dieses Annäherungsverfahren passt den Karteninhalt exakt an die eingegebenen Passpunkte an, während die Polynomfunktionen den globalen Kontext der Passpunkte weit stärker berücksichtigen und auf diese Weise den Karteninhalt nur bis zu einem gewissen Grad an die gesetzten Referenzpunkte heranrücken können (<http://support.esri.com/es/knowledgebase/GISDictionary/term/spline%20interpolation>).

Genau genommen handelt es sich bei dem beschriebenen Arbeitsschritt also um keine bloße Georeferenzierung, sondern bereits um eine Entzerrung, welche auf eine Korrektur der Kartenfehler abzielt.

Der allgemeine Zugang zum Thema Georeferenzierung sieht die Suche nach übereinstimmenden Punkten zwischen der bereits verorteten Grundlage und der zu referenzierenden Karte vor. Diese Vorgangsweise ist auch durchaus bei historischen Kartenwerken anzuwenden. Auch hier lassen sich Landmarken wie beispielsweise alte Kirchen, Schlösser, Befestigungsanlagen oder besonders charakteristische Straßenkreuzungen

ausmachen, welche ihre Lage über die Jahrhunderte nicht verändert haben, oder das Landschaftsbild zumindest auch heute noch in einer Form prägen, die es erlaubt, eindeutigen Rückschluss auf die ehemalige Position zu ziehen.

Wäre die Untersuchung also im flächig bebauten Gebiet vorgenommen worden, könnte man durchwegs auf derartige Passpunkte zurückgreifen. Tatsächlich wurde auch genau auf diese Weise vorgegangen, jedoch nur in einem ersten Arbeitsschritt. Wie erwähnt, befindet sich das untersuchte Gebiet in der *Zone der rezenten Mäander*, welche – in vielen Bereichen – selbst heute noch eine sehr geringe Verbauung aufweist. Hinzu kommt, dass die wenigen historischen Landmarken im Augebiet aufgrund fehlender umliegender Referenz oder Unzugänglichkeit des Gebietes auch ungenau kartiert sein mögen. Ein weiterer problematischer Aspekt liegt in der Verteilung der Siedlungen, welche kein gleichmäßig disperses, sondern eher ein an bestimmten Orten konzentriertes Muster zeigen. Würde man sich also bei der Wahl der Passpunkte nur an derartigen Strukturen orientieren, wäre eine Schiefelage in deren Verteilung die unvermeidliche Konsequenz.

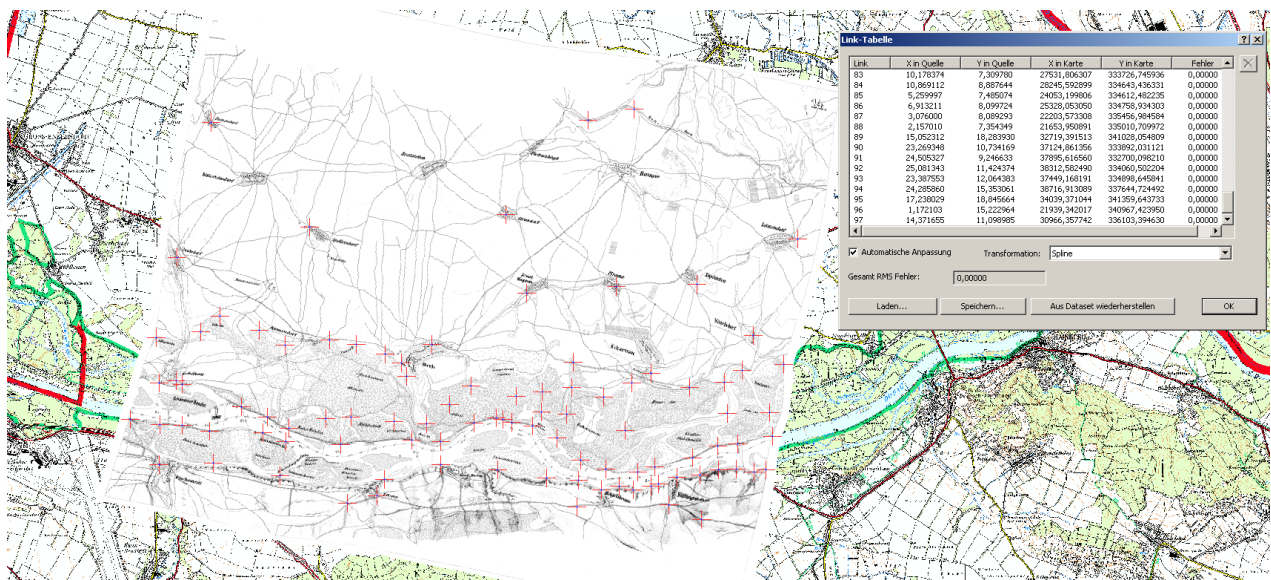


Abbildung 3: Georeferenzierung der Pasetti-Karte (1859), Blatt Haslau

Wie bereits erwähnt, wurden für die Verortung die geeigneten anthropogenen Strukturen in einem ersten Arbeitsschritt so gut wie möglich ausgeschöpft. Das somit erreichte Ergebnis war dann auch auf den ersten Blick recht überzeugend, bei genauerer Betrachtung zeigten sich allerdings die erwähnten Lagefehler bzw. Verzerrungen in den Bereichen zwischen den Passpunkten, und dies oftmals insbesondere in Gewässernähe. Hier wurde sodann mit Passpunkten entlang von Geländestructuren gearbeitet, dies jedoch unter Berücksichtigung fachlicher (flussmorphologischer) Argumente. Zeigte ein Mäanderbogen im Augebiet etwa eine seitliche Verschiebung im Vergleich zu anderen Zeitschnitten, wurde abgewogen, ob das beobachtete Phänomen tatsächlich auf laterale Erosion zurückzuführen sein kann, oder ob doch eine Verzerrung innerhalb der betreffenden Karte vorliegt. Auf Abbildung 3 ist die

Verteilung der Referenzpunkte am Blatt Haslau der Pasetti-Karte aus 1859 zu sehen. Der Fragestellung entsprechend konzentrieren sich die Passpunkte vor allem auf den gewässernahen Bereich, für welchen erhöhte Anforderungen an die Genauigkeit galten. Abbildung 4 zeigt wiederum eine Schifffahrtskarte aus 1917 mitsamt den gewählten Punkten. Im Hintergrund ist die ÖK50 eingeblendet, an der rechten oberen Bildecke ist die March-Mündung, etwas weiter westlich davon die Mündung des Rußbaches zu sehen. In der unteren Bildmitte ist Hainburg erkennbar, die Tabelle auf der linken Bildseite zeigt die Koordinaten der 62 für dieses Kartenblatt gesetzten Passpunkte, sowie die Art der Transformation (Spline-Funktion). Der rechts in der Tabelle angezeigte rms-Fehler hat den Wert Null, was jedoch nicht bedeutet, dass die referenzierte Karte eine absolute Lagegenauigkeit aufweist, sondern in der mathematischen Methode der Transformationsfunktion begründet liegt.

Die Schifffahrtskarten stellen Spezialkarten dar und decken meist nur einen relativ schmalen Bereich beiderseits des Hauptstroms ab (Abbildung 4). Ein großer Teil der *Zone der rezenten Mäander* wird von diesen Karten also nicht erfasst. Diese wurden daher zusätzlich verwendet und lieferten wertvolle Detailinformationen über den *active channel* der Donau und die damaligen Regulierungsbauten.

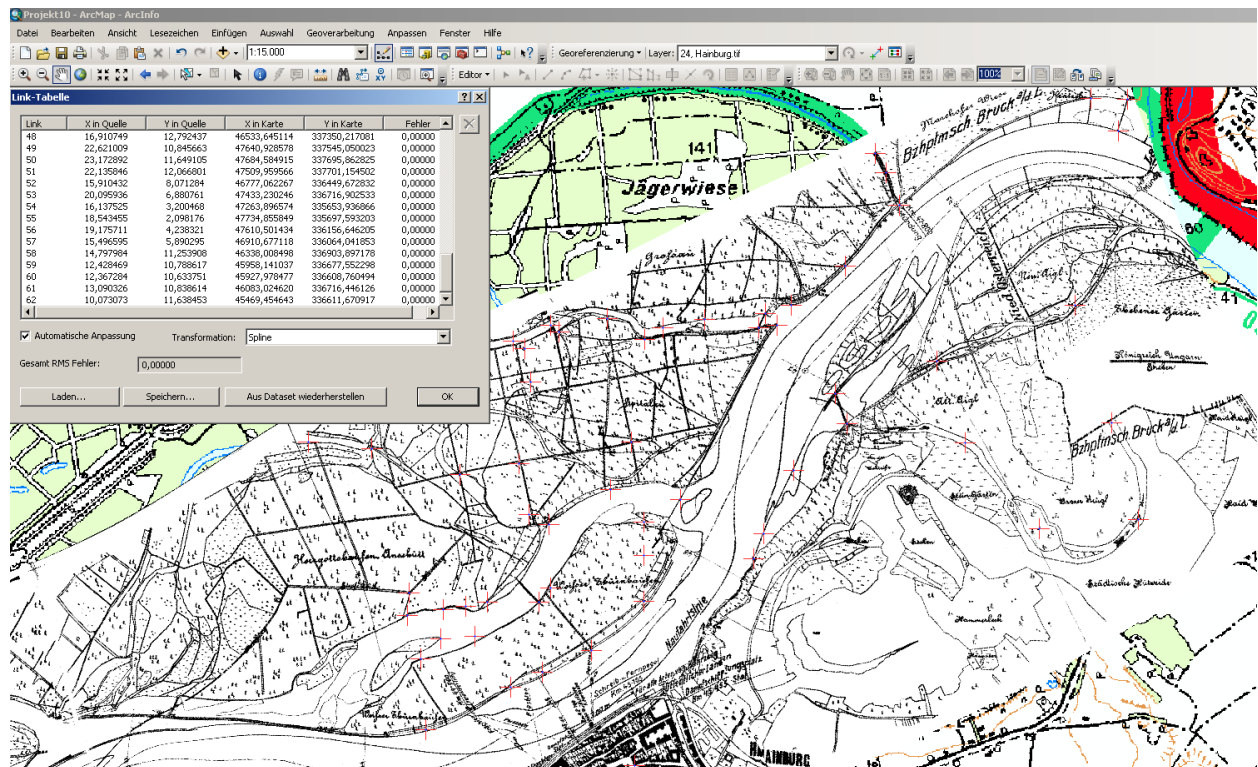


Abbildung 4: Verortung der Schifffahrtskarte 1917 im Raum von Hainburg

2.2.3 Erhebungsparameter

Die Erhebungsparameter stellen eine Schlüsselkomponente der Untersuchung dar. Es galt geeignete Parameter zu definieren, welche es – unter Berücksichtigung der Datenverfügbarkeit – erlauben, das Donauebiet von Tulln bis zur Marchmündung in Hinblick auf die Zielsetzung der Arbeit zu untersuchen. Die Parameter mussten nachvollziehbare Aussagen über die Entwicklung des Hauptstromes, dessen Vernetzung zu verschiedenen Augewässern, sowie die daraus resultierenden Habitattypen möglich machen. Die Methode sollte sowohl auf natürliche, als auch auf stark durch den Menschen beeinflusste Fließgewässer anwendbar sein, da sich der gewählte Donauabschnitt während des Untersuchungszeitraumes stark gewandelt hat. Zusätzlich zur Aufnahme der ökomorphologischen Qualität des Lebensraumes, welche menschliche Störungen implizit abbilden mag, sollte der anthropogene Einfluss auch quantifiziert werden. Durch den gewählten Ansatz können die Gewässerstrukturen und die Intensität der Regulierung im Zeitverlauf gegenübergestellt werden. Die gewählten Parameter wurden für jeden im Kapitel 2.1 beschriebenen Teilabschnitt, das Gesamtgebiet, sowie für die 6 genannten Zeitsituationen von 1775/1780, 1817, 1859, 1875, 1910 und 2010 erhoben.

Sinuosität

Dieser Parameter bezieht sich lediglich auf die Ausformung des Hauptstromes. Begradigte Fließstrecken stellen grundsätzlich keinen idealen Lebensraum dar, weil deren hydraulische Eigenschaften die Heterogenität der Fließgeschwindigkeiten oder die Sohlsubstratverteilung verringern, anstatt sie zu differenzieren. Dieses Faktum gilt selbst für rhithrale Gewässer, an potamalen Gewässern kann sich eine derartige Beeinträchtigung jedoch noch massiver auswirken. Bei von Natur aus pendelnden oder mäandrierenden Flüssen kommt es beispielsweise durch die Ausbildung von Gleit- und Prallhängen abwechselnd zu unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und Sedimentationsbedingungen zwischen linkem und rechtem Ufer. Auf diese Weise können sich Sedimentbänke und strömungsberuhigte Zonen mit hohem ökofunktionalem Wert bilden.

Die Sinuosität (P) ist ein Maß für die *Gewundenheit* bzw. die Geradlinigkeit eines Flusses. Sie stellt der Gewässerlauflänge (L) in einem bestimmten Gebiet, die Länge der Luftlinie oder die Länge der Talachse gegenüber. In der Fließgewässerökologie wird die Sinuosität bezogen auf die Talachse (T) als die zuverlässigere Maßzahl angesehen, da auf diese Weise strukturelle geologische Randbedingungen mitberücksichtigt werden und morphologische Prozesse in den Vordergrund rücken.

$$P = L (m) / T (m)$$

Während die Talachse geographisch klar verortet werden kann und deren Länge somit definiert ist, würden sich bei Verwendung der Luftlinie als Bezugsgröße je nach Anfang und Ende des zu untersuchenden Flussabschnittes verschiedene Lagen bzw. Längen ergeben. Dies führt im Besonderen dann zu Problemen, wenn man – wie in der gegenständlichen Arbeit – die Luftlinien-Längen einzelner Teilabschnitte für den gesamten Untersuchungsabschnitt summieren möchte. Wenn Letzterer gewunden ist, entspricht nämlich die Gesamt-Luftlinie dann

nicht mehr der Summe der Luftlinien der Teilabschnitte. Dadurch würden sich nur bedingt vergleichbare Sinuositätswerte ergeben.

Für die Sinuosität wird generell die Mittellachse des aktiven Gerinnes gemessen. Dieses lässt sich nach JUNGWIRTH et al. (2003) grob als der eigentliche Bereich des Gewässerbettes definieren. Dieses ist nämlich nicht unbedingt mit der benetzten Fläche ident, da der Fluss je nach Wasserstand ausufernd oder aber auch nur einen Teil des Flussbettes ausfüllen kann. Demzufolge, soll das aktive Gerinne als der Bereich von durchströmten Wasserflächen und den angrenzenden unbewachsenen Sedimentflächen abgegrenzt werden. Für die Sinuosität wird dabei nur der *active channel* des Hauptarmes verfolgt.

Orientiert sich der Hauptstrom in seinem Lauf also exakt an der Talachse, ohne dabei zum Pendeln oder Mäandrieren zu neigen oder sich in seiner Hauptachse zu verzweigen, so beträgt der Wert der Sinuosität 1. Die Talachse definiert sich generell als die Mittellachse des Talbodens und wurde für die Untersuchung nach geologischen Grundlagen ermittelt (vgl. Abbildung 15). Diese Herangehensweise ist speziell im Wiener Becken vonnöten, da hier die Kante zur glazialen Hochterrasse weitgehend fehlt.

Aufgrund der Bezugsgrößen sind für die Sinuosität auch Werte kleiner als 1 möglich. Etwa dann, wenn ein sehr gestrecktes Gewässerbett, aus welchen Gründen auch immer, sich nicht mehr an der zentralen Talachse orientiert, sondern am Rand des Tales einen etwas kürzeren Lauf einnimmt. Letzteres könnte beispielsweise im Tullner Becken der Fall sein, da hier die nördlich angrenzende Flussterrasse höhenmäßig nicht nennenswert ausgeprägt, und damit kaum dazu geeignet ist, den Donaulauf einzuengen. Die Talachse verläuft hier auf einer weiten Strecke nördlich der heutigen Donau, muss aber schließlich an der Wiener Pforte doch nach Süden abbiegen, was sich in einer größeren Länge der Talachse niederschlägt. Im Marchfeld entfällt dieser Effekt hingegen, da die Thebener Pforte relativ weit nördlich liegt.

Für den bei *anabranched rivers* typischen Fall von Verzweigungen entlang von Inseln, bei denen oftmals gleichwertige Hauptstromarme entstehen, wurden beide Fließstrecken getrennt vermessen. Auf diese Weise konnten *longer sinuosity* und *shorter sinuosity* definiert und eine Schwankungsbreite angegeben werden.

Laterale Anbindungsbreiten des Hauptstromes

Viele Fischarten zeigen ein ausgeprägtes Wanderungsverhalten, welches etwa auf unterschiedliche Ansprüche zwischen Futter- und Laichplätzen zurückzuführen ist (vgl. JUNGWIRTH et al. 2003). Die Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität zwischen Hauptstrom(armen) und den unterschiedlichen Nebengewässern im Auegebiet ist daher von grundlegender Bedeutung für einen funktionierenden Gewässerlebensraum.

Hier wurden sämtliche Anbindungen (Verzweigungen) des Hauptstromes an andere Gewässertypen erfasst. Dabei können Seitenarme, einseitig angebundene Altarme sowie Zubringer eine direkte Anbindung an den Hauptstrom aufweisen. Die Breiten dieser Anbindungen wurden je Teilabschnitt aufsummiert und auf die Länge der Talachse bezogen.

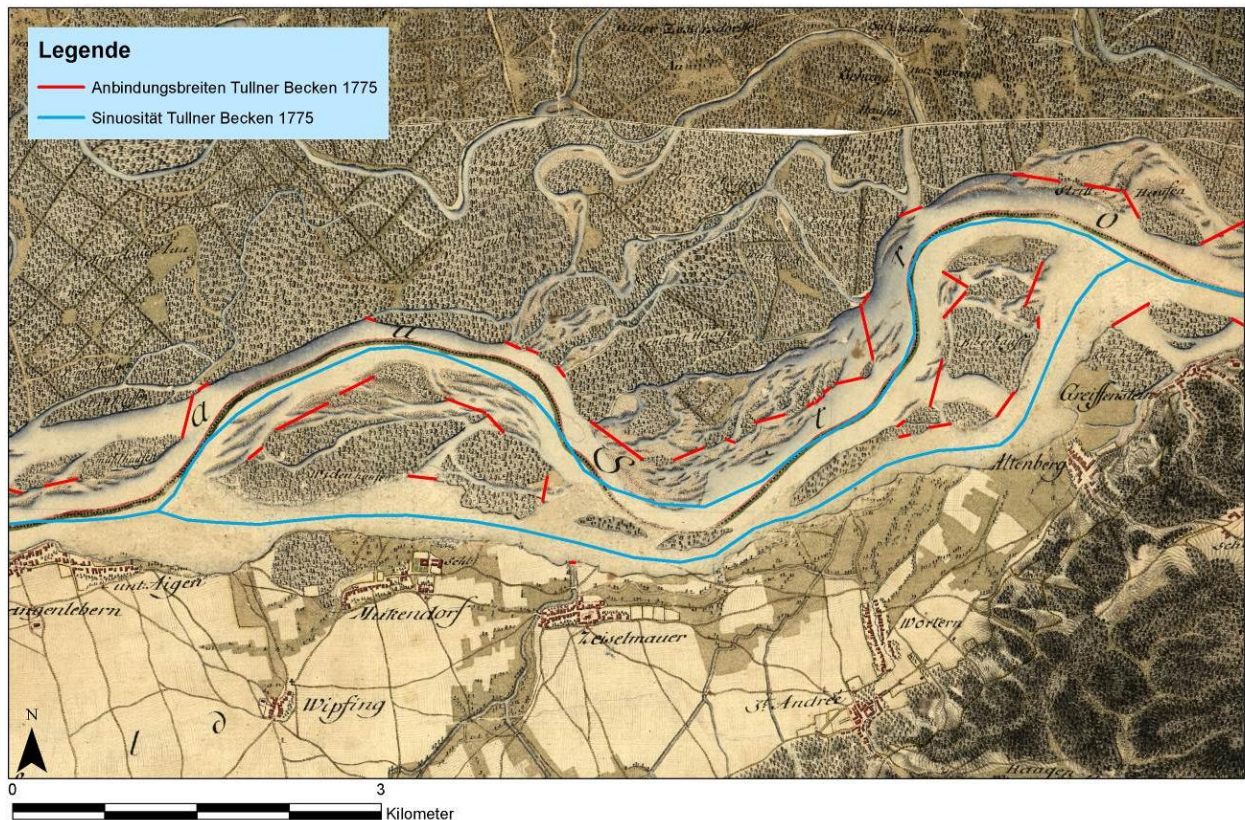


Abbildung 5: Anbindungsbreiten und Sinuosität im Tullner Becken um 1775 (Grundlage: 1. Landesaufnahme 1769-1781, Östa, Kriegsarchiv B IX a 242)

Abbildung 5 zeigt einen Kartenausschnitt östlich von Langenlebern, mit einer Zeitsituation aus 1775 basierend auf der ersten Landesaufnahme. Zu sehen sind die lateralen Anbindungen des Hauptstromes an die Nebengewässer bzw. andere Gewässertypen. Man erkennt deutlich, dass Anbindungen immer dort als solche gewertet wurden, wo Gewässer durch bewachsene Inseln voneinander getrennt wurden. Vegetation auf Sedimentflächen ist ein aus jeder Karte ablesbares Kriterium, wobei die Grenze zwischen Sediment- und Vegetationsflächen (= Begrenzung des aktiven Gerinnes) ungefähr dem Pegel des *sommerlichen Mittelwassers* entspricht (HOHENSINNER et al. 2004). Dabei ist davon auszugehen, dass nur diese Bereiche Vegetation ausbilden können, die im langjährigen Schnitt während der Vegetationsperiode weniger häufig überflutet werden. Morphologisch betrachtet ist der Bereich ein anschauliches Beispiel für einen *anabranched river*. Er zeigt einen verzweigten Lauf, wobei auch größere durch Vegetation stabilisierte Inseln von Donauarmen umflossen werden. Im vorliegenden Ausschnitt teilt sich der Hauptstrom über einen längeren Bereich in zwei getrennte Arme, welche beide etwa gleich viel zum Abflussgeschehen beitragen mögen.

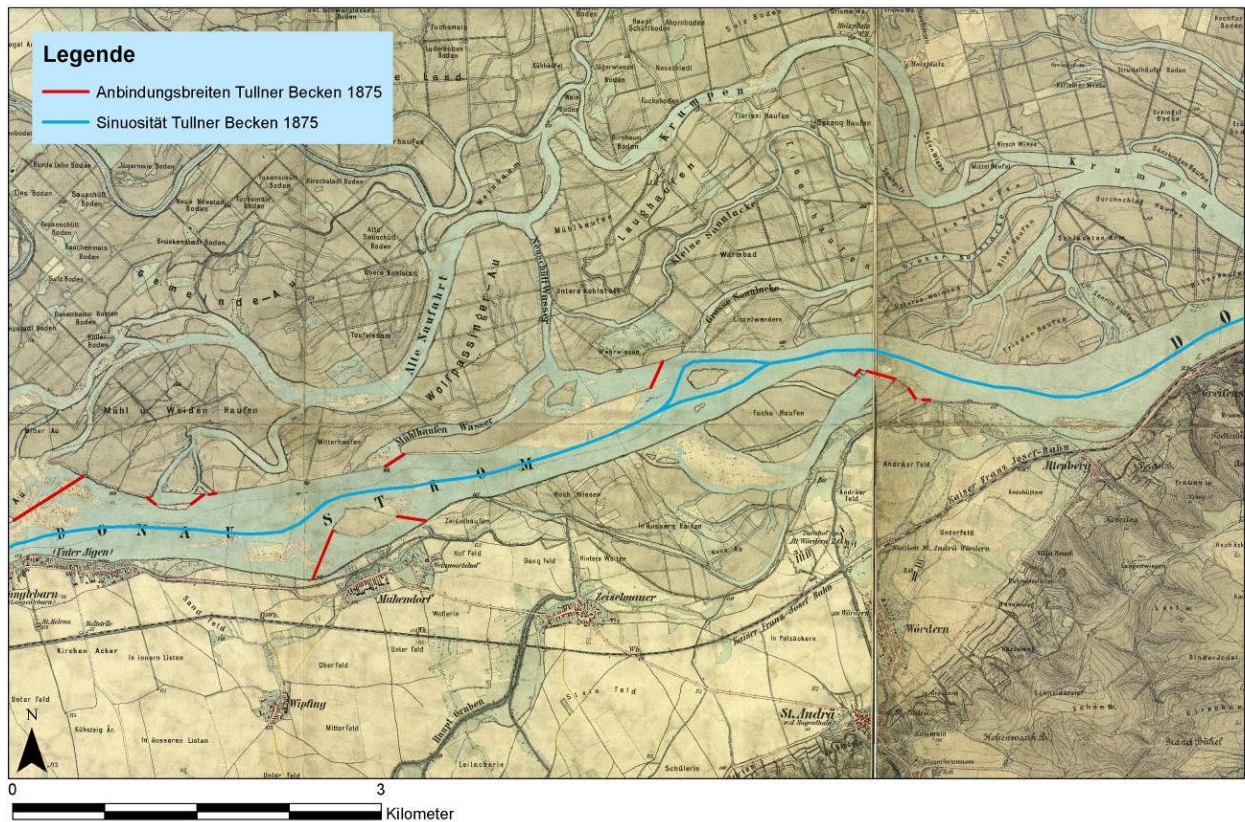


Abbildung 6: Anbindungsbreiten und Sinuosität im Tullner Becken um 1875 (Grundlage: 3. Landesaufnahme 1872-1875, Archiv BEV Wien)

Abbildung 6 zeigt das idente Gebiet, jedoch mit dem Zeitschnitt von 1875 (3. Landesaufnahme). Es ist deutlich zu erkennen, dass hier bereits weitaus weniger laterale Anbindungen bestehen. Zudem teilt sich der Hauptstrom nur auf einem kurzen Bereich, an einer einzelnen Insel, in zwei annähernd gleichwertige Arme.

Totale Sinuosität

Das Maß der totalen Sinuosität geht auf mehrere Autoren zurück (u. a. RICHARDS 1982; BRIDGE 1993; ROBERTSON-RINTOUL & RICHARDS 1993) und wurde für das gegenständliche Forschungsprojekt von S. Hohensinner weiterentwickelt bzw. für die historische Donau adaptiert. Ähnlich wie bei der bereits beschriebenen Sinuosität werden hier die Längen der Mittelachsen der Gerinne auf die Talachse bezogen. Bei der totalen Sinuosität werden jedoch nicht nur die Länge des Hauptstromes berücksichtigt, sondern sämtliche Gewässerarme miteinbezogen. Um die ökologische Aussagekraft des Parameters weiter zu steigern, werden die Arme im Fließgewässersystem nach der Art ihrer Durchströmung differenziert. Die Differenzierung der unterschiedlichen Gewässertypen basiert auf der Klassifizierung von AMOROS et al. (1987), welche von HOHENSINNER (2008) für historische

Gewässerstudien weiterentwickelt wurde. Von dem Schema werden auf diese Weise alle *Gewässersystemelemente* vom Hauptstrom bis zum Totarm hierarchisch erfasst.

Für den untersuchten Donauabschnitt wurden die Gewässertypen anhand folgenden Schemas kartiert (vgl. HOHENSINNER 2008; PILLER 2012):

| | |
|--|---|
| <i>Eupotamon A</i> (Eu A): | Hauptarm(e) des Flusses ohne Schifffahrt |
| <i>Eupotamon A mit Schifffahrt</i> (Eu A_S): | Hauptarm(e) des Flusses mit Schifffahrt (Wellenschlag!) |
| <i>Eupotamon B</i> (Eu B): | Ganzjährig durchströmte Nebenarme ohne Schifffahrt. |
| <i>Eupotamon B mit Schifffahrt</i> (Eu B_S): | Ganzjährig durchströmte Nebenarme mit Schifffahrt (Wellenschlag!) |
| <i>Parapotamon A</i> (Para A): | Durch Schotter blockierte Nebenarme. Sie werden erst ab ca. Mittelwasser oder sommerlichem Mittelwasser durchströmt. |
| <i>Parapotamon B</i> (Para B): | Einseitig angebundene Altarme. |
| <i>Plesiopotamon</i> (Ple): | Totarme ohne direkte Anbindung an den Fluss (inkludiert auch nach AMOROS et al. paläopotamale Gewässer, welche aber in vielen historischen Quellen nicht hinreichend genau von plesiopotamalen Gewässern zu unterscheiden sind). |
| <i>Größere Zubringer</i> (Tri): | Einmündende größere Bäche oder Flüsse mit eigenem Einzugsgebiet. |
| <i>Kleine Zubringer</i> (Tri_kl): | Einmündende kleine Bäche mit eigenem Einzugsgebiet |
| <i>Künstliche Gewässer</i> (Art): | z.B. Entlastungsgerinne, Teile des Donau-Oder Kanals etc.; häufig weisen diese einen Hybridcharakter auf, wodurch sich die für viele Organismen der Donau atypische Kombination von Habitatbedingungen nachteilig auf die Gewässerzönose auswirkt |

Bei den permanent durchströmten Gewässertypen (Eu A und Eu B) wurde darauf Rücksicht genommen, ob sie unter dem Einfluss der Großschifffahrt standen oder nicht. Diese verursacht aufgrund der Verdrängung der Schiffsrümpfe Wellenschlag, der sich vor allem im Uferbereich negativ auf den Fischlaich oder juvenile Stadien auswirken kann. Die Unterscheidung war

möglich, da auf vielen Karten die Naufahrtslinie, an welcher sich die Schifffahrt orientiert und die in der Regel der Linie mit der höchsten Fließgeschwindigkeit (Stromstrich) entspricht, eingezeichnet ist.

Eine weitere für die Untersuchung relevante Abwandlung des Schemas von AMOROS et al. besteht in der Unterteilung des Parapotamons in einseitig ganzjährig abgetrennte oder nur durch Sedimentbänke blockierte Nebenarme. Letztere werden ab einem Durchfluss, der etwa auf Höhe des Mittelwassers bis maximal sommerlichem Mittelwasser liegt, durchströmt. Die Unterscheidung nach der Art und Dauer der Durchströmung wurde angewandt, da die Fließgeschwindigkeit den Gewässerlebensraum auf ganz grundlegende Art prägt. Durch die Strömung wird das Habitat weiter strukturiert und Erosions- und Sedimentationsverhalten gesteuert. Ist sie nicht (ausreichend) vorhanden, kommt es automatisch zu Kolmatierungs- oder Verlandungstendenzen. Darüber hinaus, stellt die Strömung eine grundlegende Bedingung für das auftretende Fischartenspektrum dar. Besonders die donautypische Fischfauna weist aufgrund ihrer Diversität, eine hohe Variabilität hinsichtlich ihrer ökologischen Ansprüche auf (JUNGWIRTH et al. 2003).

Stagnophile Arten sind generell an die stehenden Gewässer im Fluss-Auen-System gebunden. Auch die Jungstadien rheophiler Fischarten sind in ihrer Schwimmleistung limitiert. Doch selbst die adulten Stadien strömungsliebender Arten sind auf Ruhezone und auf vor Strömung geschützte Laichplätze angewiesen (vgl. JUNGWIRTH et al. 2003). In diesem Kontext kann die totale Sinuosität als ein Indikator bzw. Maß für die generelle Habitatvielfalt betrachtet werden.

Auf

Abbildung 7 ist das hierarchische Schema der Totalen Sinuosität erkennbar. Im nordwestlichen Ausschnitt mündet ein kleinerer Zubringer (violett) in einen größeren (braun), welcher wiederum in einen bei NW blockierten Arm (gelb) mündet, der schließlich die Verbindung zu einem ganzjährig durchströmten Nebenarm (grün) herstellt. Rechts der Bildmitte ist wiederum der entlang der Insel geteilte Hauptstrom zu sehen. Der südliche (hellblaue) Arm ist jener (kurze) Teil des Hauptstromes, dessen Ufer 1875 vom Wellenschlag der Schifffahrt weitgehend unbeeinflusst verblieben.

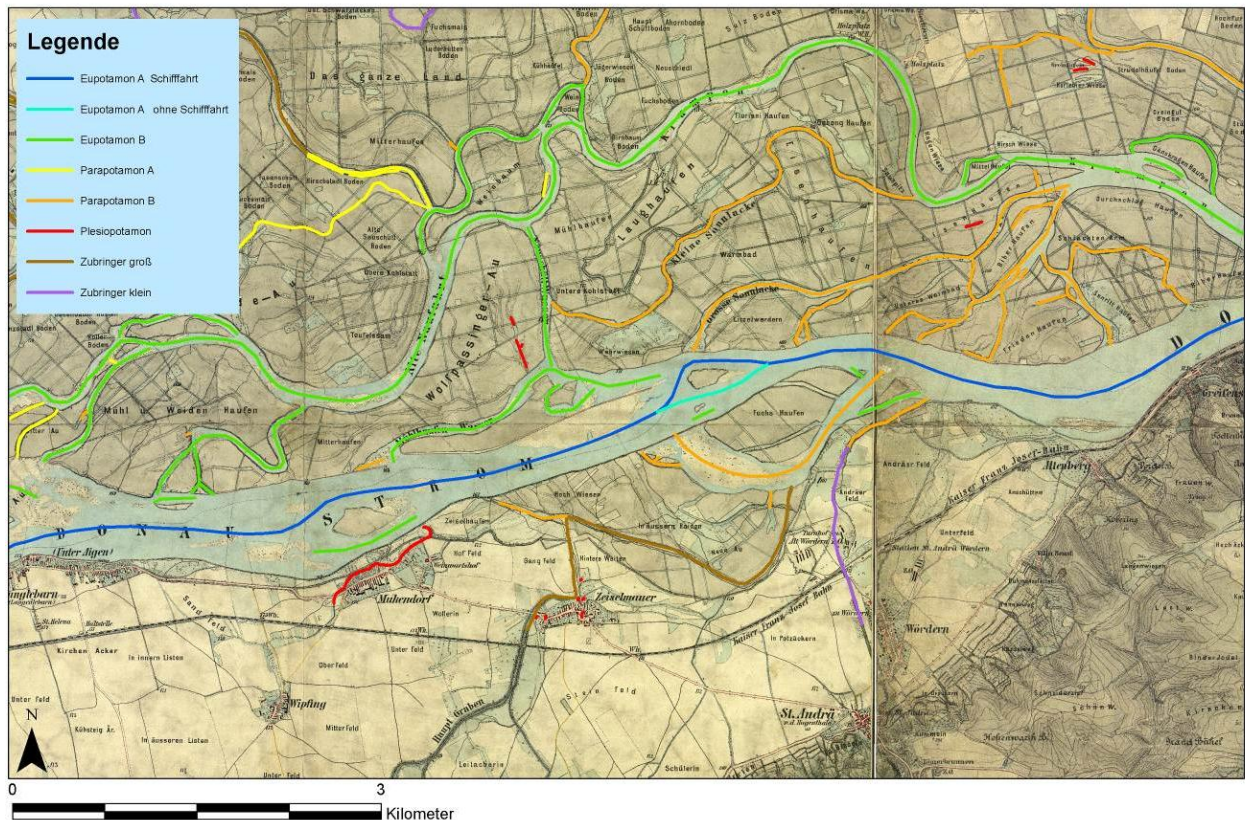


Abbildung 7: Totale Sinuosität im Tullner Becken um 1875 (Grundlage: 3. Landesaufnahme 1872-1875, Archiv BEV Wien)

Breite des aktiven Gerinnes

Um Aufschluss über die räumliche Ausdehnung des ganzjährig strömungsbeeinflussten Lebensraumes zu erhalten, wurden nach dem oben gezeigten Schema die Arme der Gewässertypen *Eupotamon A*, *Eupotamon B*, sowie *Parapotamon A* in ihrer Breite gemessen. Zur sogenannten *Breite der aktiven Gerinne* zählen dabei nicht nur die benetzte Fläche, sondern auch Schotterbänke und andere Sedimentflächen, sofern sie keinen Bewuchs aufweisen (= aktives Gerinne oder *active channel*). Zur Messung der Breiten wurden Transekte quer durch die Flusslandschaft in einem definierten Längsabstand von zwei Strom-km gezogen. Entlang dieser Transekte wurden die Breiten aller kreuzenden aktiven Flussarme normal zu deren Mittelachse gemessen. Zusätzlich wurde der genaue Gewässertyp kartiert und die gemessene Breite nach Wasser- und Sedimentfläche differenziert.

Abbildung 8 soll die Messmethodik der aktiven Breiten verdeutlichen. Entlang der im Abstand von zwei Strom-km gezogenen Transekte (violette Geraden) werden alle durchströmten Gewässer miteinbezogen. Diese sind in der totalen Sinuosität als blaue/hellblaue, grüne und gelbe Gewässermittelsachsen zu erkennen. Die rot-blauen Linien entlang der Transekte, stellen die Breitenmessung dar und markieren gleichzeitig die Verteilung von Wasser und

Schotterkörpern im Bereich des aktiven Gerinnes. Das Gebiet ist mit jenem der obigen Abbildungen ident, die Zeitsituation ist 1817 und beruht auf der Karte von de Lorenzo 1816-1819. Obwohl die Karte für heutige Verhältnisse schlecht lesbar erscheint, ist sie bei genauer Betrachtung dennoch sehr detailliert gezeichnet.

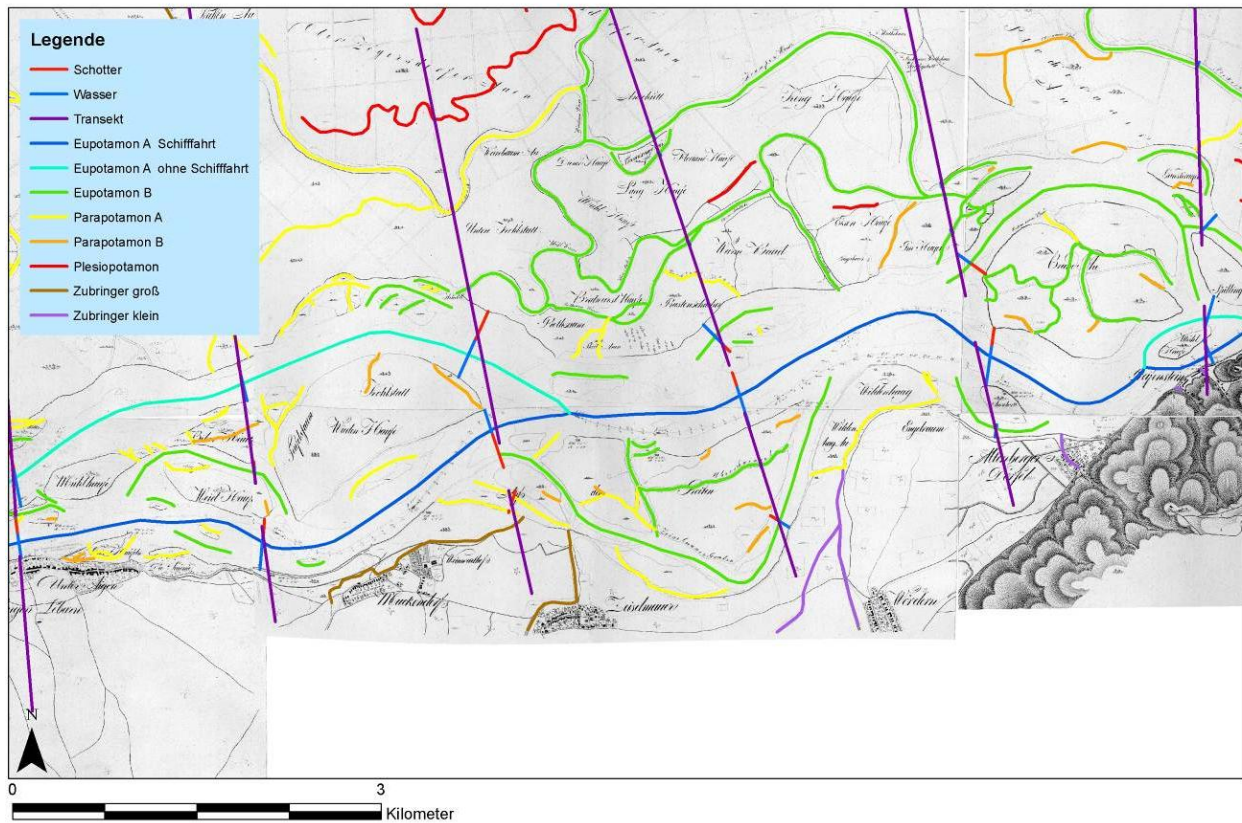


Abbildung 8: Breiten der aktiven Gerinne, Transekte durch die Flusslandschaft und totale Sinuosität im Tullner Becken um 1817 (de LORENZO 1819, Nö. Landesbibliothek Kartensammlung B II 82)

Zubringermündungen

Die Zubringer stellen ein ganz entscheidendes Element im Kontinuum des gesamten Gewässersystems dar. Durch sie wird der Lebensraum des Donausystemes entscheidend erweitert. Ist das Kontinuum nicht durch Wildbachverbauungen und Sohlstufen unterbrochen, so findet Transport von Geschiebe, sowie ein in beide Richtungen wirkender Austausch von Gewässerorganismen statt.

Für die Untersuchung wurden die Zubringer anhand des Kartenmaterials in kleinere und größere unterschieden. Während die kleineren Zubringer meist nur als feine Linie eingezeichnet wurden, sind die größeren Zubringer an einer doppelten bzw. stärkeren Linienführung erkennbar. Das heißt, es wurde nicht deren Abfluss als Kriterium herangezogen, sondern ein morphologisches Kriterium, nämlich die Breite des Zubringergerinnes. Die Zubringermündungen wurden als Punktsymbol in ArcGIS eingezeichnet und nach ihrer Anzahl

ausgewertet. Zusätzlich wurde erhoben, in welchen Gewässertyp des Donausystems ein Zubringer mündet und nach Möglichkeit die Fischregion des Zubringers angegeben. Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde die Zahl der Zubringer auf die Länge der Talachse bezogen.

Wasserbauten

Während die bisherigen Parameter vor allem dazu dienten, das Lebensraumpotential bzw. den Grad der ökomorphologischen Unversehrtheit in Bezug auf den Flusstyp zu beschreiben, soll der menschliche Einfluss auf die Flusslandschaft durch die Erhebung der Wasserbauten direkt angesprochen werden. Wie bereits einleitend erwähnt, kam es an der Donau bereits im 17. Jahrhundert zu ersten Regulierungsversuchen. Diese waren jedoch lokal begrenzt und dienten häufig der Ruderschiffahrt oder dem Schutz der Ufer vor Erosion. Ab dem 19. Jahrhundert kamen ausgedehntere Maßnahmen hinzu, welche auch auf Hochwasserschutz und Flächengewinnung ausgerichtet waren. Einen nicht zu unterschätzenden Einfluss hatte die Errichtung von Laufkraftwerken, welche an der österreichischen Donau in der Mitte des 20. Jahrhunderts einsetzte (vgl. JUNGWIRTH et al. 2005).

Wie die genannten Beispiele aufzeigen, gibt es anhand unterschiedlicher Wasserbauten eine breite Palette direkter menschlicher Einflussnahmen, die sich wiederum auch hinsichtlich ihrer intendierten- oder auch nicht intendierten Auswirkungen voneinander unterscheiden können. Diese Auswirkungen im Detail zu untersuchen, oder gar nachzuweisen, war jedoch nicht das Ziel der Untersuchung. Aus einer systemischen Sichtweise heraus betrachtet, liegt der Schluss nahe, dass kleine Regulierungsmaßnahmen nicht zwangsläufig kleine Auswirkungen auf die Flusslandschaft bewirken. Das Ursache-Wirkungsgefüge wäre jedoch zu komplex um es im Rahmen einer Diplomarbeit für historische Zeiträume und ausgedehnte Gebiete untersuchen zu können.

Die angewandte Methode zielt daher darauf ab, den Ausbaugrad bzw. das Regulierungsausmaß der Untersuchungsstrecken anhand aussagekräftiger Parameter zu erfassen. Zu diesem Zweck wurden die in den Kartenwerken verzeichneten Wasserbauten in ArcGIS vektorisiert, zu Kategorien zusammengefasst und anschließend nach ihrer Länge bzw. Fläche und in Bezug zur Länge der Flusstrecke ausgewertet. Dabei wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, das Baujahr möglichst genau einzugrenzen und die von der Maßnahme betroffenen Gewässertypen auszuweisen.

Die Unterteilung erfolgte dabei in folgende Kategorien:

Lineare Wasserbauten

- Uferschutzmaßnahmen: Jegliche kartierte Form der Ufersicherung (Holzverschalungen, Mauern, Blockwurf etc.)

- Abdämmungen: Maßnahmen die zur ein- oder beidseitigen Abtrennung eines Gewässerarmes führen. Sie wurden häufig auch gesetzt, um Verlandungsprozesse zu erzielen.
- Buhnen und Leitwerke: Wurden errichtet um die Fließgeschwindigkeit, Strömungsverhältnisse oder die Verteilung des Wassers im Gerinne zu beeinflussen.
- Niederwasserregulierungen: Gleiche Funktion wie Buhnen und Leitwerke, dienen jedoch der Konzentration des Wassers bei Niederwasser in einem schmälern Gerinne und werden bei Mittelwasser bereits überströmt.
- Lokale Hochwasserschutzdämme: Dämme die häufig nur zum Schutz bestimmter Objekte oder relativ kleinräumiger Areale errichtet wurden.
- Systematische Hochwasserschutzdämme: Wurden zum großflächigen Schutz ganzer Regionen errichtet; z.B. Hubertusdamm, Marchfeldschutzdamm, Damm beim Entlastungsgerinne.
- Hochwasserschutzdämme für Infrastruktur: In erster Linie Bahn- und Straßendämme, die meist nicht direkt einem bestimmten Gewässertyp zuzuordnen sind.
- Sohlstufen/Wehre/Kraftwerke: Eine erst im aktuellsten Zeitschnitt zu verzeichnende Maßnahme. Querbauwerke, wie die Donaukraftwerke, verändern die ökomorphologische Ausprägung des betreffenden Gewässerabschnittes grundlegend. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die gewählte Methodik Problemstellungen wie den Geschieberückhalt an Staumauern nicht explizit behandelt. Verwiesen sei jedoch auch darauf, dass diese Bauwerke ebenfalls im Rahmen der flächigen Wasserbauten (Stauräume) berücksichtigt werden.

Flächige Wasserbauten

- Durchstiche: Der Bekannteste ist wohl die große Donauregulierung bei Wien (ab 1870); hier wird der Flusslauf in ein gänzlich neu geschaffenes Bett umgelenkt.
- Stauräume: Anhand von Messungen der Wasserspiegellagen wurde die Position der Stauwurzel bestimmt und flussabwärts die Fläche bis zur Staumauer gemessen.
- Geländeabtrag: Hier ist vor allem das Inundationsgebiet bei Wien, gebaut 1870-1875, zur Verbesserung des Hochwasserabflusses zu nennen.

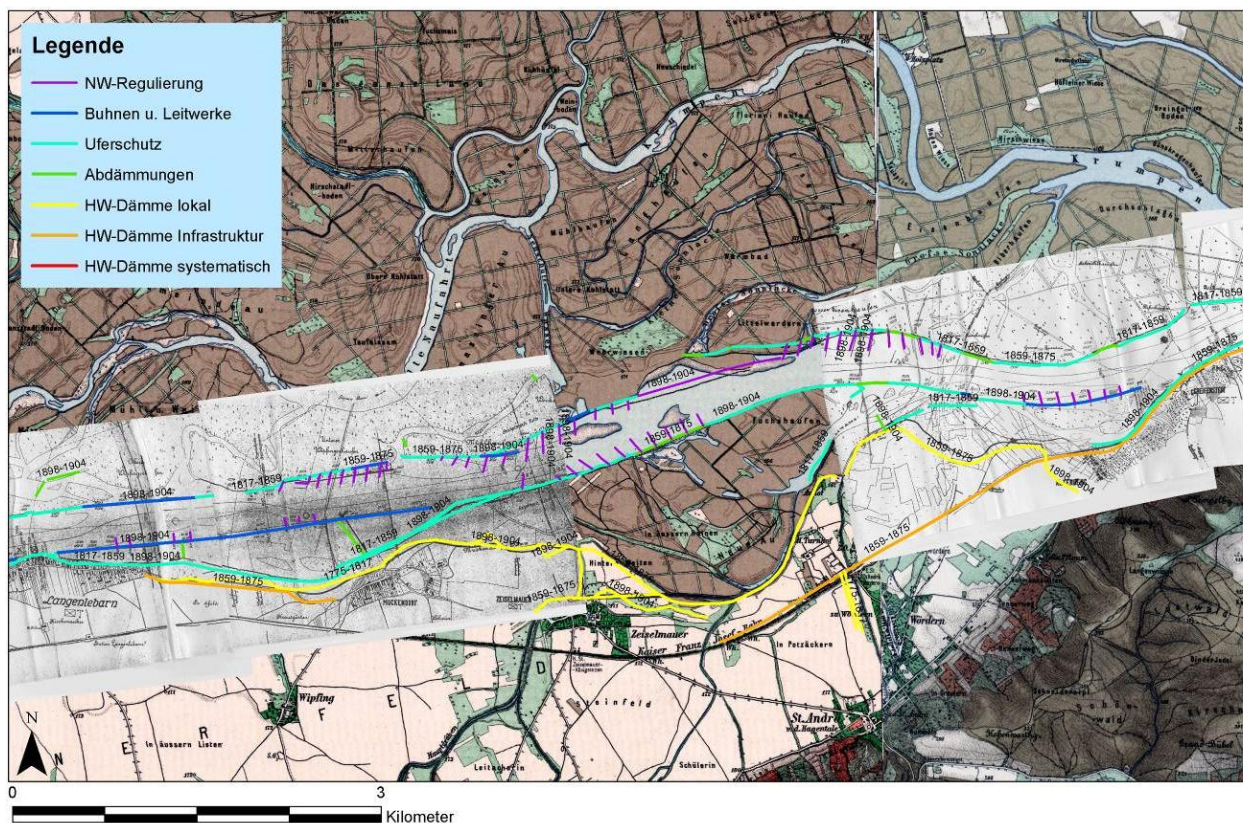


Abbildung 9: Lineare Wasserbauten im Tullner Becken um 1910 (Grundlage: Militärgeographisches Institut 1903-1905, Umgebungskarte von Wien, Archiv BEV Wien; Bundesministerium für Handel und Verkehr ca. 1920-1930, Karte der österreichischen Donau, ÖNB Kartensammlung K. B. 100.171)

Für die Erhebung der linearen Wasserbauten um 1910, welche in Abbildung 9 zu sehen sind, wurden drei verschiedene Kartengrundlagen herangezogen. Die schwarz-weiße Karte im Vordergrund ist die Schiffahrtskarte aus der Zeit um 1920, welche die Niederwasserbauten von 1898 - 1904 beinhaltet. Auf ihr sind die Wasserbauten am detailliertesten eingezeichnet. Darunter liegt die MGI-Karte „Umgebung von Wien“ aus 1903 - 1905 – der eigentliche Zeitschnitt ist 1910. Aufgrund des geringen zeitlichen Unterschiedes mussten nur kleinere Adaptierungen der den Schiffahrtskarten entnommenen Information vorgenommen werden. Weiter vom Hauptstrom entfernte Wasserbauten, beispielsweise lokale Hochwasserschutzdämme, konnten nur anhand der MGI-Karte vektorisiert werden. Da beide Kartenwerke Überlappungen und Verzerrungen aufweisen und keine absolute Lagegenauigkeit bieten, wurden die aufgenommenen Wasserbauten in weiterer Folge anhand der ÖK50 auf ihre lagerichtige Position gebracht. Das war möglich, weil der Hauptstrom um 1910 bereits einen sehr hohen Regulierungsgrad aufwies, und sich zwischen 1910 und 2010 die überwiegende Mehrheit der Wasserbauten nicht mehr entscheidend in ihrer Lage veränderte.

2.2.4 Datenauswertung

Die erhobenen Daten lagen zunächst als *Feature Class* (Shape) in ArcGIS 10 vor. Dort lassen sich über den *Attribute Table* sämtliche Eigenschaften der digitalisierten *Objekte* aufrufen. Um die Daten strukturiert auswerten zu können, mussten diese aus ArcGIS exportiert werden. Das dabei erstellte *dbf-file* wurde anschließend in MS Excel eingelesen und weiterbearbeitet.

Das maßgebliche Kriterium der Untersuchung war die zeitspezifische Erhebung. In Excel erfolgte sodann mit den gängigen Filter- und Summierungsfunktionen eine erste Aufbereitung der Daten. Danach lagen diese nach Zeitschnitt, Teilabschnitt, Untersuchungsparameter und weiteren für die einzelnen Parameter relevanten Kriterien geordnet vor. Im Zuge dieses Arbeitsschrittes erfolgten auch diverse Plausibilitätskontrollen.

Meist wurden die Resultate in Relation zu geeigneten Bezugsgrößen, wie die Länge der Talachse gesetzt, um spätere Vergleiche zwischen den einzelnen Untersuchungsabschnitten sowie mit anderen Flusssystemen zu ermöglichen (siehe Tabelle 1 für die jeweiligen Bezugsgrößen: Längen der Talachse und der Luftlinie). Danach wurden für die einzelnen Zeitsituationen Tabellen und Diagramme erstellt, welche die Resultate in räumlicher Dimension, differenziert nach Untersuchungsabschnitt oder Strom-km, zeigen. Diese Tabellen bildeten die Grundlage für die weitere Darstellung der Ergebnisse im Zeitverlauf. Diese Zeitreihen stellen den eigentlichen Hauptteil der Untersuchung dar. Sie wurden für die einzelnen Teilabschnitte sowie für das Gesamtgebiet erstellt.

Die so für das gesamte Untersuchungsgebiet gewonnenen Ergebnisse wurden einer Korrelationsanalyse nach Pearson unterzogen. Dabei handelt es sich um eine Zusammenhangsmessung, die darauf abzielt, die Stärke der Relation zwischen 2 Variablen (bivariat) durch eine einheitliche Maßzahl zu beziffern. Bei Pearson geschieht das anhand einer Normierung der Kovarianz, welche aus einer Division der Kovarianz durch das Produkt der Standardabweichung hervorgeht. Demzufolge ist der Korrelationskoeffizient (r) eine dimensionslose Kenngröße, da sich durch diese Normierung die Maßeinheiten herauskürzen (ECKEY et al. 2002).

Die Methode eignet sich bevorzugt zum Testen linearer Zusammenhänge, deren kausale Richtung muss dabei vor der Analyse nicht bekannt sein. Der Wertebereich des Korrelationskoeffizienten erlaubt nun sowohl Aussagen über die Richtung als auch über die Stärke der Relation zwischen den beiden Variablen.

Das Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten ist dabei allein von der Kovarianz abhängig, da die Standardabweichung generell positive Werte aufweist. Nimmt der Korrelationskoeffizient einen negativen Wert an, so besteht ein negativer linearer Zusammenhang, eine Erhöhung des Wertes von Variable a ergibt also eine Verringerung des Wertes von Variable b oder umgekehrt. Nimmt der Koeffizient einen positiven Wert an, so lässt dies auf einen positiv linearen Zusammenhang schließen. Ein Anstieg bei der einen Variable, führt demnach auch zu einem Anstieg bei der anderen Variable.

Theoretisch kann sich der Wertebereich des Korrelationskoeffizienten zwischen -1 und +1 bewegen. Die Stärke des linearen Zusammenhanges wird wiederum allein vom Betrag des

Koeffizienten angegeben. Werte nahe bei +/-1 deuten demnach auf einen stark positiven bzw. negativen linearen Zusammenhang hin.

Ein weiteres wichtiges Maß in diesem Zusammenhang ist der Phi-Koeffizient (ρ), welcher das Signifikanzniveau beziffert. Er wird aus dem Korrelationskoeffizienten abgeleitet und gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Zusammenhang nicht auf Zufall zurückzuführen ist. In den Naturwissenschaften wird zur Verifizierung einer Hypothese allgemein ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ gefordert. Ab diesem Wert ist davon auszugehen, dass der beobachtete Zusammenhang mindestens mit 95 prozentiger Wahrscheinlichkeit nicht auf Zufall beruht (vgl. ECKEY et al. 2002; ERNSTE 2011).

3. Ergebnisse

Nachfolgend werden die in Kapitel 2.2.3 beschriebenen Erhebungsparameter in ihrer zeitlichen Entwicklung seit 1775 dargestellt. Dabei wird zuerst der Verlauf im gesamten Donauabschnitt zwischen Tulln und Theben gezeigt, um anschließend auf die Charakteristika der einzelnen Teilabschnitte einzugehen.

3.1 Sinuosität

Angesichts des vorherrschenden Flusstyps des *anabranching rivers* ist die Sinuosität im Untersuchungsgebiet ein sich ständig verändernder Parameter. Aus diesem Grund wurde auf die anschauliche Visualisierung der erhobenen Werte mittels Liniendiagrammen verzichtet. Diese legt dem Betrachter zwangsläufig eine Interpolation zwischen den ausgewerteten Zeitsituationen nahe. Bei dem verwendeten Diagrammtyp ist die Angabe eines Schwankungsbereichs möglich, was sich im Fall der Sinuosität als vorteilhaft erweist.

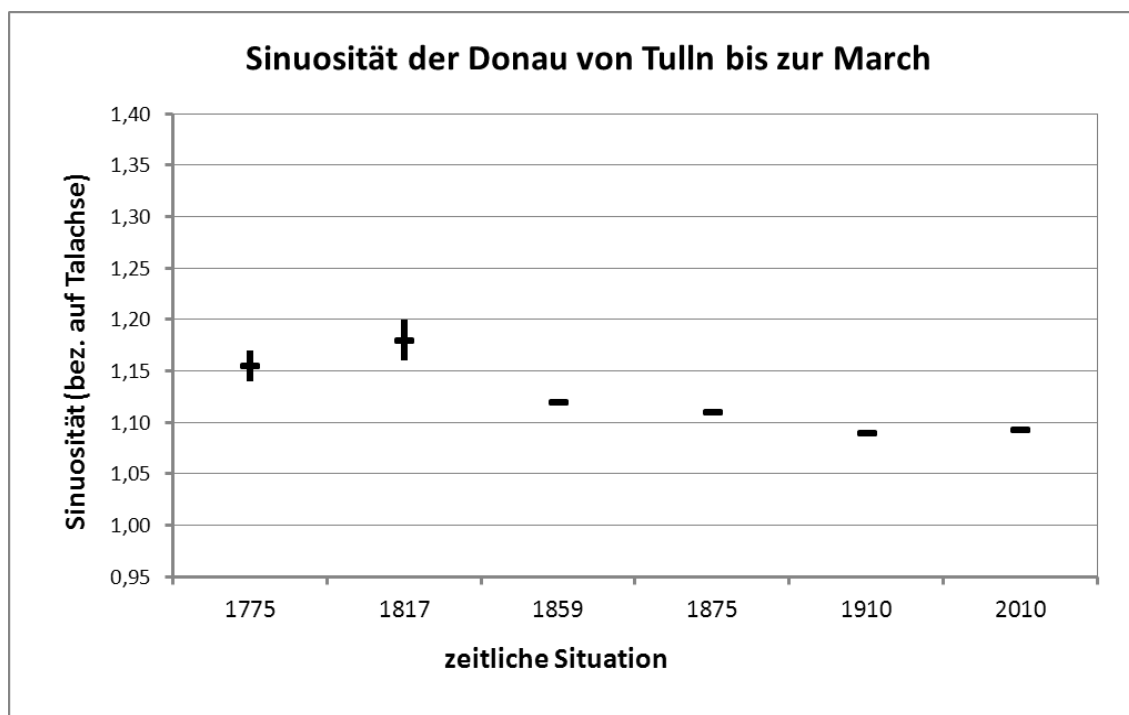


Abbildung 10: Zeitverlauf der Sinuosität im gesamten Untersuchungsgebiet 1775 – 2010 (die Skala der y-Achse wurde je Parameter aus Gründen der Vergleichbarkeit für alle Untersuchungsabschnitte gleich groß gewählt. Die Schwankungsbreiten sind angegeben; das arithmetische Mittel ist durch einen Querstrich gekennzeichnet)

Wie bereits in Kapitel 2.2.3 umrissen, wurden während des Erhebungszeitraums Situationen beobachtet, an denen sich der Hauptstrom in mehrere Arme aufteilte, welche – soweit aus dem Kartenmaterial ablesbar – in annähernd gleichem Maße zum Abflussgeschehen beitrugen. Da diese geteilten Hauptarme in der Regel eine unterschiedliche Lauflänge aufwiesen, ist die

Angabe einer Schwankungsbreite erforderlich, um nachvollziehbare Werte für die Sinuosität zu erhalten.

Die Datenreihe der Sinuosität zeigt für den gesamten Untersuchungsraum eine generelle Abnahme der Lauflänge des Donau-Hauptarmes (Abbildung 10). Dabei lässt sich diese Entwicklung in drei Phasen aufteilen. Um 1775 bzw. 1817 lagen die höchsten gemessenen Werte für die Sinuosität vor, welche in der Gesamtbetrachtung rund 1,2 betrug. Von 1775 bis 1817 fand sogar ein Anstieg statt, welcher daraus resultierte, dass die Donau nach der hochwasserintensiven Zeit des späten 18. Jhdts. in einigen Abschnitten an Stelle eines gestreckteren Hauptarmes einen stärker gewundenen Lauf entwickelte (vgl. HOHENSINNER et al., submitted b). Ab 1817 kam es jedoch als Folge der beginnenden Regulierungsarbeiten zu einer signifikanten Abnahme. 1875 ist nur noch ein Wert von 1,11 zu verzeichnen. Dieser Trend setzte sich bis 1910 fort, zu diesem Zeitpunkt ist der Hauptstrom mit einem Wert von 1,09 nur noch geringfügig länger als die Talachse. Für den restlichen Erhebungszeitraum bis 2010 sind daher keine signifikanten Änderungen mehr zu beobachten. Entsprechend des Klassifikationssystems nach LEOPOLD & WOLMAN (1957) ist die Donau als gewundener (*sinuous*) Fluss einzustufen, anhand der erhobenen Werte kann dies bezogen auf das Gesamtgebiet jedoch nur bis 1875 bestätigt werden.

Beachtenswert sind dabei die genannten Schwankungsbreiten. Diese sind ausschließlich für den Zustand von 1775 und 1817 zu verzeichnen. Danach ist für das Gesamtgebiet keine weitere nennenswerte Aufgabelungen des Hauptstromes mehr zu beobachten. Um 1817 waren nicht nur die gemessenen Lauflängen der Hauptarme am größten, sie waren auch sehr unterschiedlich ausgeprägt, was sich in der großen Schwankungsbreite niederschlägt.

Die von 1775 auf 1817 zu verzeichnende Erhöhung der Sinuosität ist ein Phänomen, welches lediglich in den Teilräumen Wien und Nationalpark stattfindet, sich dabei dennoch deutlich im Gesamtbild niederschlägt.

Der Wiener Abschnitt wies vor Beginn der großen Donauregulierung 1870 die höchste Sinuosität im gesamten Untersuchungsgebiet auf. Mit 1875 änderte sich dieses Bild jedoch deutlich, nach dem erfolgten Donaudurchstich war zudem bereits das heutige Niveau dieses Parameters erreicht (Abbildung 11).

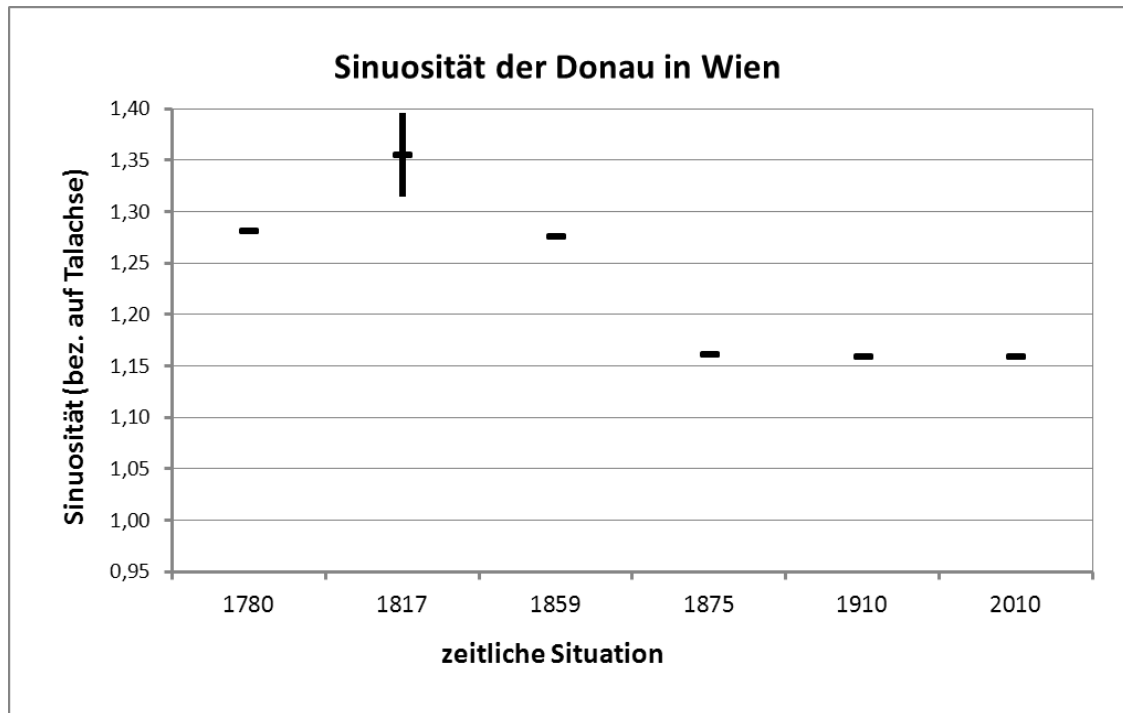


Abbildung 11: Zeitverlauf der Sinuosität bei Wien 1780 – 2010

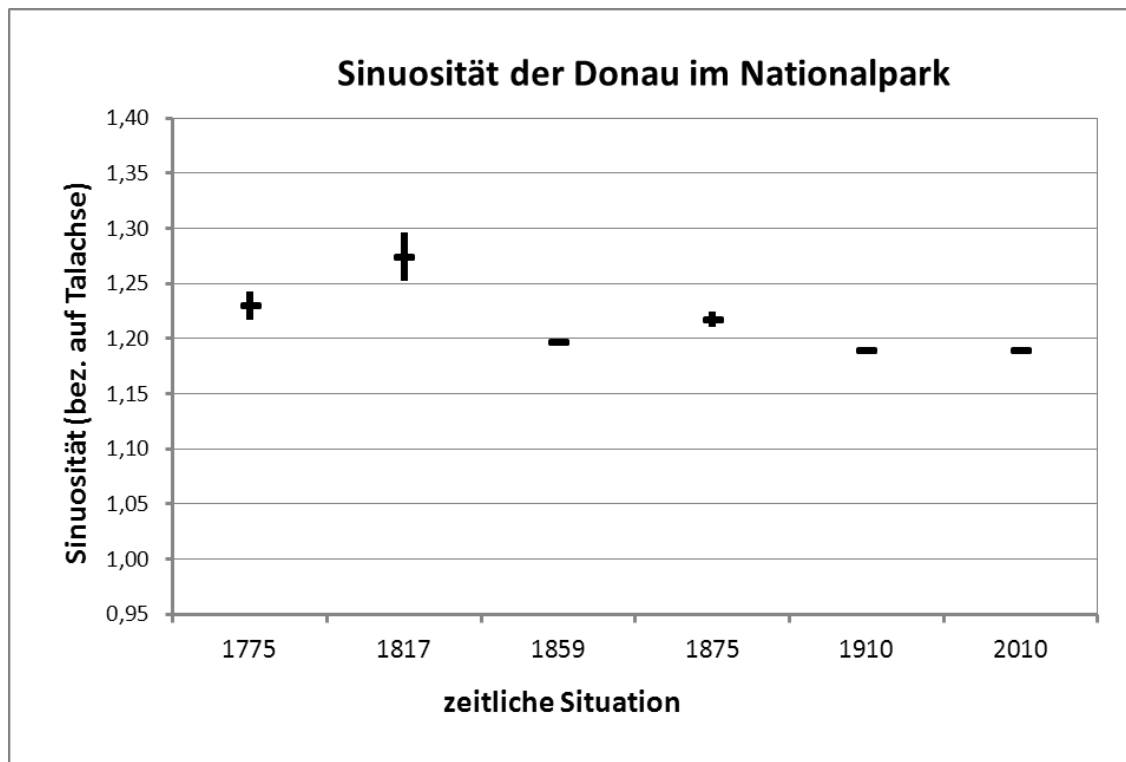


Abbildung 12: Zeitverlauf der Sinuosität im Nationalpark Donau-Auen 1775 – 2010

Aktuell ist hingegen im Bereich des Nationalparks die höchste Sinuosität zu beobachten. Die Werte, haben sich hier zudem seit 1859 nicht mehr signifikant geändert. Sie liegen nach wie vor

annähernd bei 1,2. Eine Verzweigung des Hauptarmes ist jedoch auch in diesem Abschnitt seit 1875 nicht mehr aufgetreten (Abbildung 12).

Zum Abschnitt der Wiener Pforte ist anzumerken, dass hier trotz der Kürze des Abschnittes keine abrupten Änderungen zu beobachten sind, sondern hinsichtlich der Sinuosität eine relativ homogene Situation über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg vorherrscht. 1775 ist noch eine Aufgabelung des Hauptarmes vorhanden. Die Werte liegen generell um oder knapp über 1, wodurch die Donau hier nach LEOPOLD & WOLMAN (1957) als gestreckter (straight) Fluss anzusprechen ist. Die Lauflänge entspricht also annähernd der Talachse. Insofern ist in diesem Abschnitt von vorn herein wenig Spielraum für etwaige anthropogen induzierte Abnahmen (Abbildung 13). Da der kurze Talabschnitt gestreckt ist, ist hier die Länge der Talachse annähernd gleich der Länge der Luftlinie (Luftlinie: 6.920m, Talachse: 7000m).

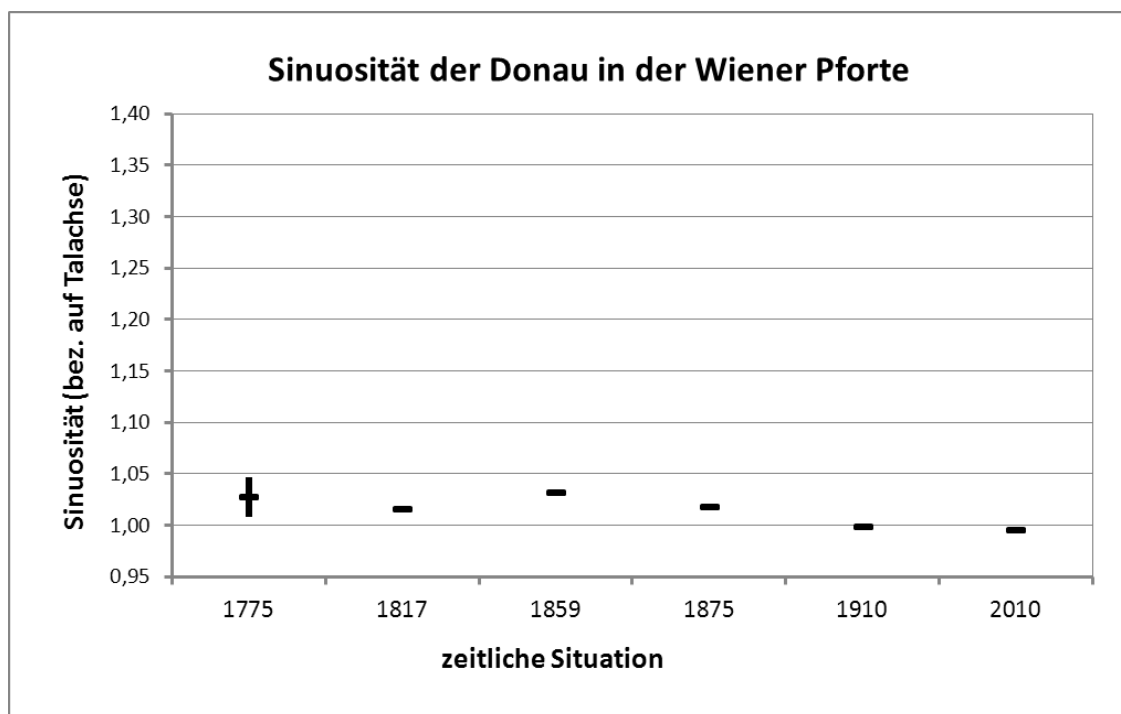


Abbildung 13: Zeitverlauf der Sinuosität an der Wiener Pforte 1775 – 2010

Die niedrigste Sinuosität im untersuchten Gebiet weist überraschenderweise der Abschnitt im Tullner Becken auf. Der allgemeine Abnahmetrend zeichnet sich auch in diesem Gebiet ab. Die Werte schwanken hier um 1775 und 1817 knapp über eins und liegen ab 1859 sogar darunter. Rein auf den Hauptstrom bezogen, wäre demnach auch die Donau im Tullner Becken als gestreckter Fluss anzusprechen. Dies ist überraschend, denn das Tullner Becken stellt an sich einen alluvialen Abschnitt dar. Die Flussbögen und die Verzweigungen des Hauptstromes sind hier aber weniger stark ausgeprägt, als es etwa in Wien vor dem Donaudurchstich oder im Nationalpark der Fall ist. Der aktuelle Wert liegt nur bei 0,96 (Abbildung 14).

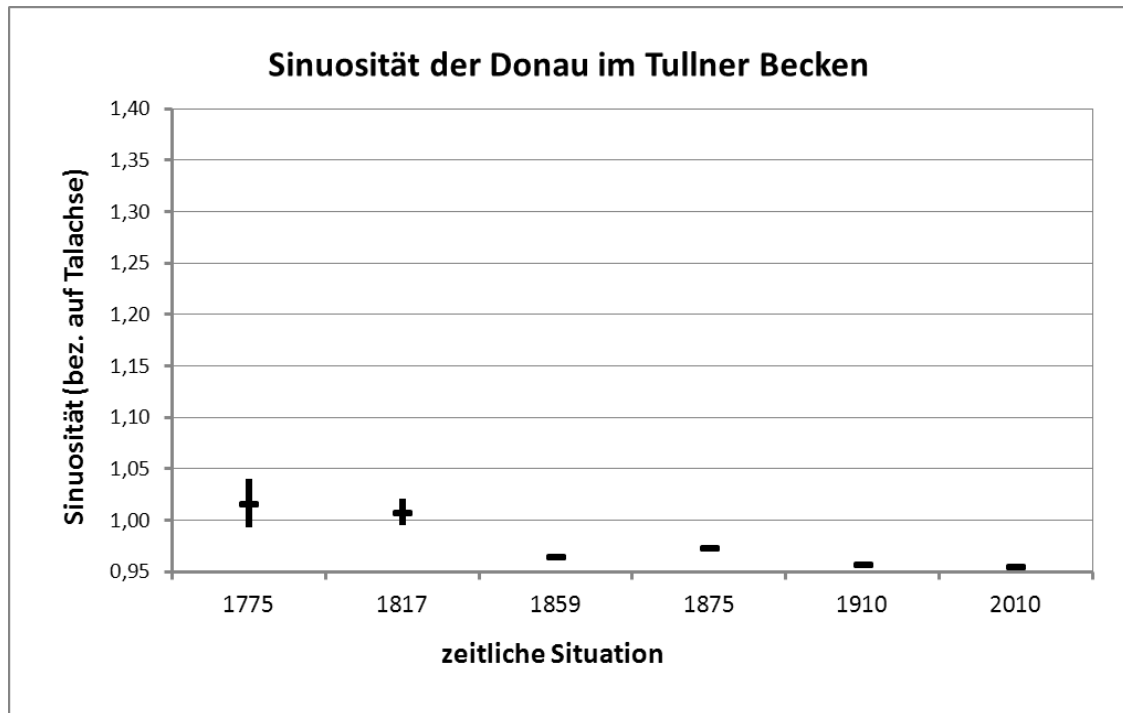


Abbildung 14: Zeitverlauf der Sinuosität im Tullner Becken 1775 - 2010

Abbildung 15 soll noch einmal den Verlauf der Talachse veranschaulichen. Diese verläuft der Mittelachse der Talebene folgend, zumeist nördlich des heutigen Donaustromes. Diese Abweichung führt jedoch in den einzelnen Untersuchungsabschnitten zu unterschiedlichen Effekten in Bezug auf die Sinuosität des Hauptstromes. Es zeigt sich, dass die Sinuosität per Definition immer auch eine Funktion des Bezugsparameters – wie hier der Talachse – ist (Tabelle 1). Insofern hat die in Relation zum Flusslauf etwas längere Talachse im Tullner Abschnitt zwangsläufig einen dämpfenden Einfluss auf die Größe der Sinuosität (vgl. dazu methodische Überlegungen zur Verwendung der Talachse bzw. Luftlinie als Bezugsgröße in Kapitel 2.2.3)

Der beschriebene Effekt ist dennoch nicht die Hauptursache für die niedrigen Werte im Tullner Becken und die vergleichsweise hohen Werte in Wien und im Nationalpark. Entsprechend der Wasserspiegellagen-Messungen von de LORENZO (1819) war das Gefälle der Donau im östlichen Tullner Becken vor der Regulierung um 1817 tatsächlich überraschend hoch (Abbildung 16), wodurch die Ausbildung eines gestreckteren Hauptstromes begünstigt wurde.

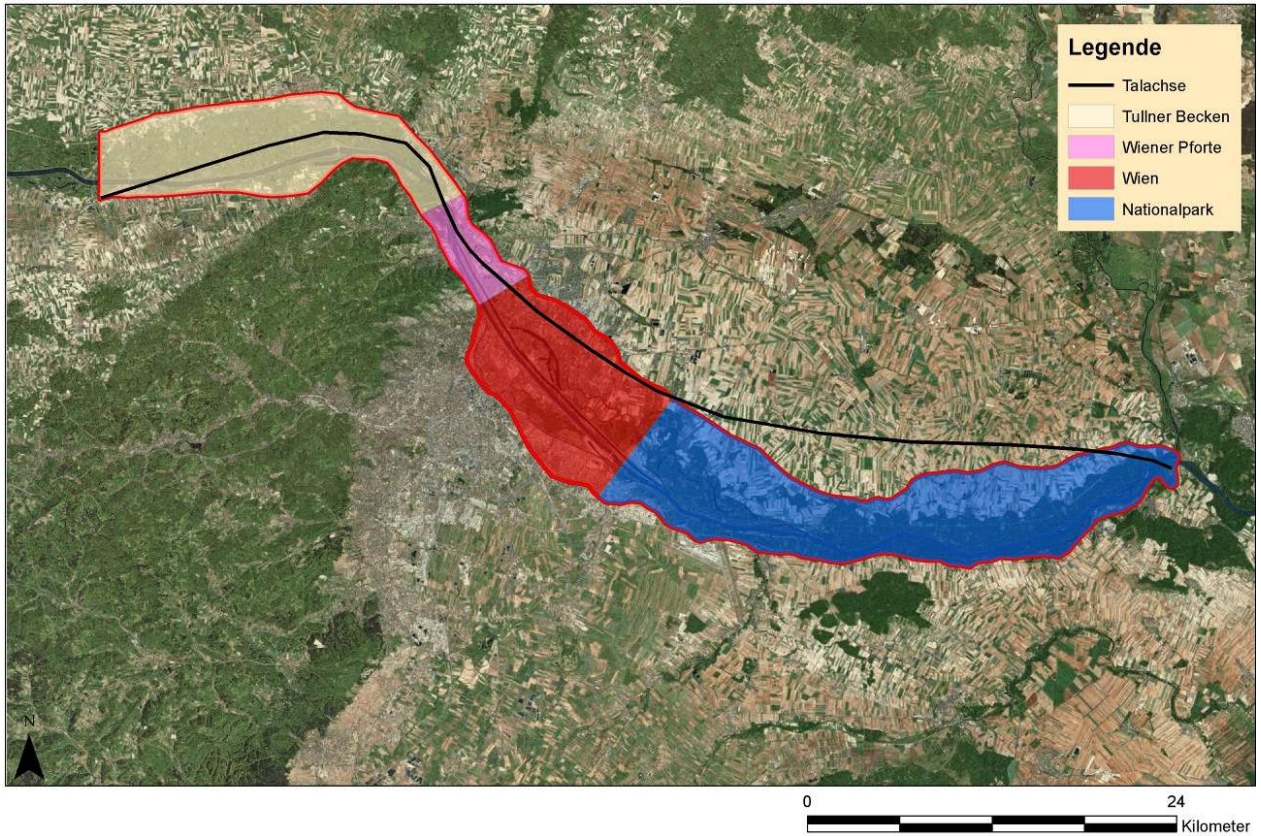


Abbildung 15: Verlauf der Talachse der Donauebene im Untersuchungsgebiet (Grundlage: Land-, forst- und wasserwirtschaftliches Rechenzentrum GmbH, BMLFUW, ca. 2010)

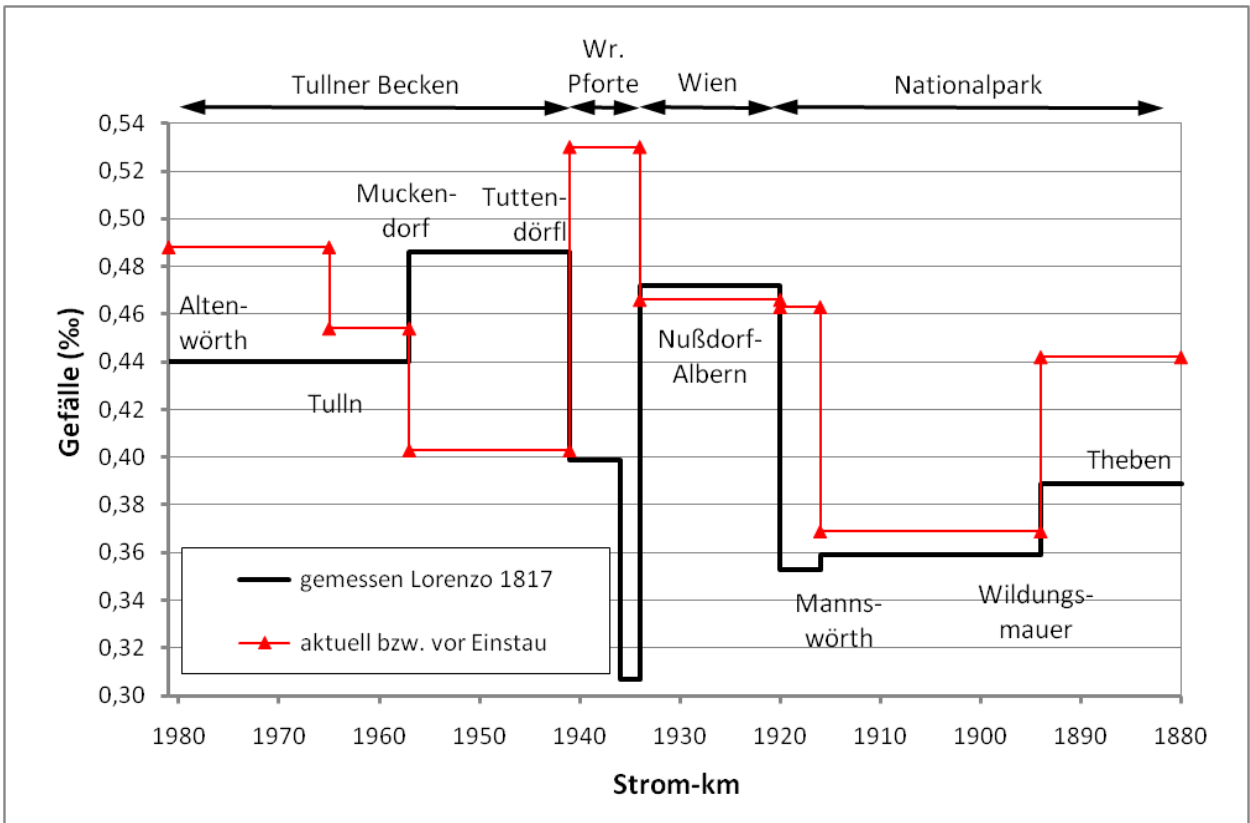


Abbildung 16: Gefällswerte des Niederwasserspiegels um 1817 (rot) und aktuell (schwarz) (basierend auf DE LORENZO, aufgenommen 1816-1817, hrsg. 1819; HOHENSINNER, nicht publiziert)

Abbildung 16 zeigt das von S. Hohensinner ermittelte Gefälle des Donau-Wasserspiegels bei Niederwasser (Nullwasser) zwischen Altenwörth und Theben. Zu sehen sind zwei Zeitsituationen: Vor Beginn der Regulierung um 1817 (schwarze Linie) bzw. vor Einstau in der zweiten Hälfte des 20. Jhdts. (rote Linie). Das geringe Gefälle in der Wiener Pforte 1817 ist durch den Rückstau flussauf der Einengungswerke bei Nußdorf anthropogen bedingt.

Tabelle 1 zeigt eine Auflistung der Sinuositäten für 2010. Zu sehen sind die Längen der Luftlinien, Talachsen und der jeweiligen Sinuositäten. Auch die Sinuositäts-Werte mit Bezug zur Luftlinie zeigen das gleiche grundlegende Muster wie bei Verwendung der Talachse. Der dämpfende bzw. erhöhende Einfluss der Talachsenlänge ist ebenfalls herauszulesen.

Tabelle 1: Maßeinheiten der Sinuosität, Zeitsituation 2010

| Abschnitt Strom-km | | Tullner Becken 1965 - 1941 | Wiener Pforte 1941 - 1934 | Wien 1934 - 1920 | Nationalpark 1920 - 1880 | Wien + NP 1934 - 1880 | gesamt 1965 - 1880 |
|------------------------------------|--------|-------------------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Lauflänge (m) | Min | 24.020 | 6.970 | 13.990 | 40.500 | 54.490 | 85.480 |
| | Max | 24.020 | 6.970 | 13.990 | 40.500 | 54.490 | 85.480 |
| Luftlinie (m) | | 22.900 | 6.920 | 13.880 | 36.060 | 46.380 | 72.570 |
| Sinuosität (bez. auf Luftlinie) | Min | 1,05 | 1,01 | 1,01 | 1,12 | 1,17 | 1,18 |
| | Mittel | 1,05 | 1,01 | 1,01 | 1,12 | 1,17 | 1,18 |
| | Max | 1,05 | 1,01 | 1,01 | 1,12 | 1,17 | 1,18 |
| Talachse (m) | | 25.150 | 7.000 | 12.050 | 34.000 | 46.050 | 78.200 |
| Sinuosität (bez. auf Talachse) | Min | 0,96 | 1,00 | 1,16 | 1,19 | 1,18 | 1,09 |
| | Mittel | 0,96 | 1,00 | 1,16 | 1,19 | 1,18 | 1,09 |
| | Max | 0,96 | 1,00 | 1,16 | 1,19 | 1,18 | 1,09 |

3.2 Totale Sinuosität

3.2.1 Gesamtes Untersuchungsgebiet

Betrachtet man die Lauflängen aller Gewässertypen in Bezug zur Länge der Talachse im **Donauabschnitt Tulln – March**, so zeigt sich in quantitativer Hinsicht ein geringfügiger langsamer Rückgang (Abbildung 17). Zu Beginn der Untersuchungsperiode wies das Donausystem etwa 9,5 Meter Gewässer pro Meter Talachse auf (vereinfacht formuliert: sämtliche Gewässer waren 9,5 Mal so lange wie die Talachse). Beim kleinen Anstieg bis 1817 ist unklar, ob dieser morphologisch begründet ist, oder nur den für 1817 verwendeten genaueren historischen Karten geschuldet ist. Zwischen 1859 und 1910 waren es noch immer etwas über 8 Meter und aktuell weist der untersuchte Donauabschnitt durchschnittlich noch rund 7,3 Meter Gewässer je Meter Talachse auf.

Die qualitative Betrachtung mit Augenmerk auf die Verteilung bzw. Zusammensetzung der verschiedenen Gewässertypen ist ebenfalls in Abbildung 17 abzulesen und lässt auf weitaus größere Veränderungen im Flusssystem schließen als es durch die quantitative Betrachtung nahegelegt wird. Zu Beginn der Zeitreihe wies der Gewässerlebensraum fast 70% dynamische Gewässertypen (Eupotamon A, Eupotamon B, Parapotamon A) auf. Aktuell sind es hingegen

nur mehr unter 30%. Die Abnahme des Eupotamon A (Hauptstromarme) über den Zeitverlauf ist augenscheinlich, im Vergleich zur Entwicklung der anderen Gewässertypen aber noch eher moderat und wurde in Kapitel 3.1 anhand der Sinuosität bereits dargelegt. An dieser Stelle sei noch das Aufkommen der Großschifffahrt erwähnt, welches in die Periode zwischen 1817 und 1859 fällt. Danach ist praktisch die gesamte Uferlänge des Hauptstromes vom Wellenschlag der motorbetriebenen Schiffe betroffen, was sich im Säulendiagramm am Verschwinden der hellblauen Signatur des Eupotamon A (ohne Schifffahrt) ausdrückt.

Darüber hinaus fällt bereits zwischen 1775 und 1817 eine erste weitreichende Veränderung der dynamischen Flussarme auf. In diesem Zeitraum kommt es nämlich zu einer recht massiven Verlagerung vom permanent durchströmten Nebenarmen (Eupotamon B) hin zu periodisch durchflossenen Altarmen (Parapotamon A). Der Anstieg des Parapotamon A beträgt zwischen den beiden ersten Zeitschnitten in der Gesamtbetrachtung 194%. Das Phänomen lässt sich darüber hinaus in sämtlichen untersuchten Teilabschnitten deutlich erkennen. Am stärksten ist der Anstieg des Parapotamon A jedoch in den verzweigten alluvialen Abschnitten bei Wien und im Nationalpark ausgeprägt; hier beträgt die Zunahme in Beiden Fällen rund 490%. Da sich der Anstieg des Parapotamon A in dieser Deutlichkeit besonders in den beiden genannten Gebieten bemerkbar macht, sei hier vorerst auf die nähere Beschreibung der Teilabschnitte weiter unten verwiesen. Sieht man von der Verlagerung vom Eupotamon B hin zum Parapotamon A ab, so erweist sich die Zusammensetzung der übrigen Gewässerstruktur zwischen 1775 und 1817 als relativ konstant.

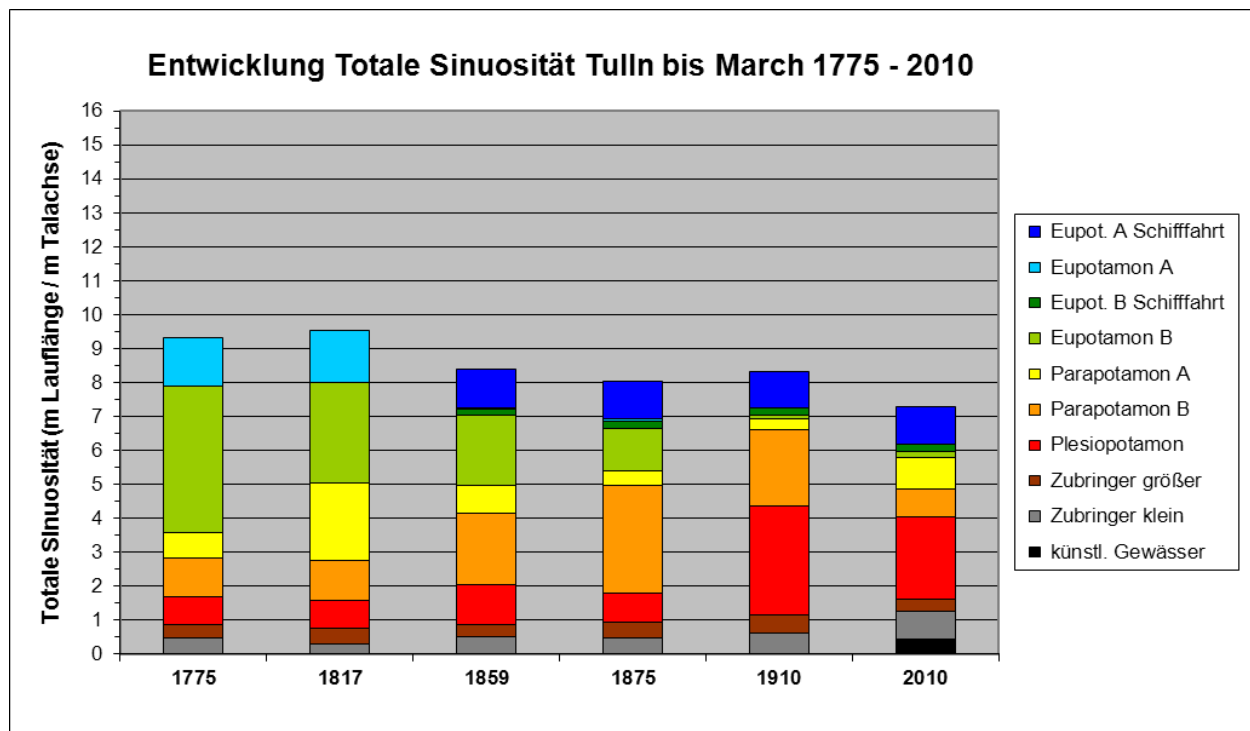


Abbildung 17: Zeitverlauf der Totalen Sinuosität im Untersuchungsgebiet 1775 – 2010

1859 sank der Anteil des Eupotamon B weiter, doch auch das im Zeitschnitt um 1817 sehr ausgeprägte Parapotamon A nahm bereits um 64% ab. Das stagnierende, einseitig angebundene Parapotamon B erfährt hingegen eine 78-prozentige Zunahme. Auch das isolierte, zumeist nur von Grundwasserzustrom gespeiste Plesiopotamon erfährt um 1859 eine erste deutliche Steigerung (40%). 1875 setzt sich der Anstieg des Parapotamon B zu Lasten von Eupotamon B und Parapotamon A weiter fort. Die Hauptursache dafür ist seit 1817 im Aufkommen von abdämmend wirkenden Uferverbauungen zu sehen, welche Nebenarme nicht nur abtrennen, sondern auch Verlandungsprozesse begünstigen.

Um 1910 gehen jedoch auch diese einseitig angebundenen Gewässer merklich zurück und werden in großem Ausmaß vom lenitischen Plesiopotamon abgelöst. Die Zunahme dieses oberirdisch hydrologisch isolierten Gewässertyps beträgt rund 270%. Beinahe noch einschneidender ist das fast völlige Verschwinden des Eupotamon B, welches vor allem noch vom durch die Schifffahrt beeinträchtigten Donaukanal repräsentiert wird. Erst 2010 kommt es auch zur Reduktion der stagnierenden Gewässertypen, welche auf das allgemeine Schrumpfen des Gewässerlebensraumes bzw. auf Trockenlegungsmaßnahmen zurückzuführen ist. Einen leichten Anstieg zeigen hingegen die kleinen Zubringer und naheliegender Weise die künstlichen Gewässer, welche erst mit der aktuellen Situation von 2010 in Erscheinung treten. Letzteres ist großteils durch das Entlastungsgerinne (Neue Donau) in Wien begründet. Die Zunahme kleiner Zubringer ergibt sich primär daraus, dass diese durch das Verschwinden der Augewässer nun längere Distanzen im Auegebiet bis zur Donau zurücklegen müssen. Positiv zeigt sich in der aktuellen Betrachtung ein signifikanter Anstieg des Parapotamon A, welcher auf Revitalisierungs- bzw. Dotierungsmaßnahmen vor allem im Nationalpark Donau-Auen zurückzuführen ist. Aktuell sind 87% der verbliebenen eupotamalen Gewässer durch schifffahrtsbedingten Wellenschlag beeinflusst.

3.2.2 Tullner Becken

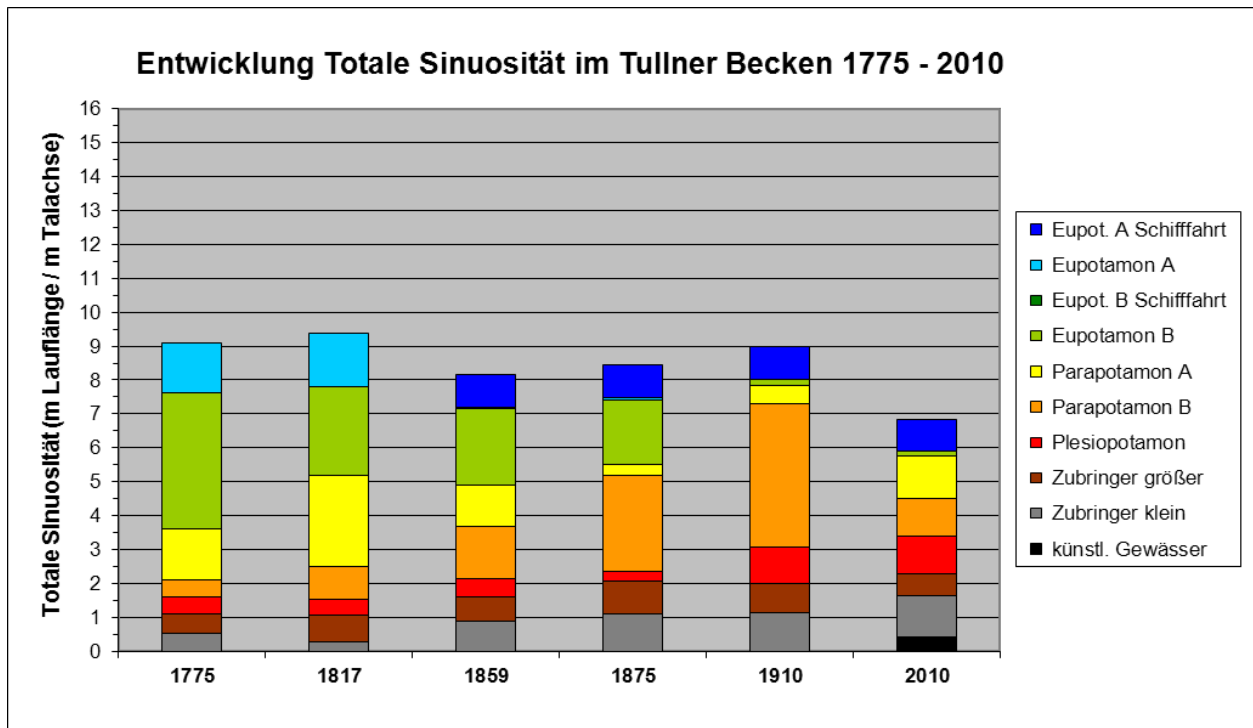


Abbildung 18: Zeitverlauf der Totalen Sinuosität im Tullner Becken 1775 – 2010

Dass der Flussabschnitt im **Tullner Becken** trotz des vergleichsweise gestreckten Laufes seines Hauptarmes durchaus raumgreifende Verbindungen mit dem Umland ausgebildet hat, ist gut anhand der totalen Sinuosität zu erkennen (Abbildung 18). Zwischen 1775 und 1910 schwankt die gesamte Gewässerlänge zwischen 8 und 9,3 Meter je Meter Talachsenlänge. Erst 2010 wird der Wert von 7 Meter unterschritten, wofür teilweise der Bau des Donau-Kraftwerkes Greifenstein 1981-1985 verantwortlich ist, in dessen Zuge mehrere Augewässer verschwunden sind. Bis 1817 ist der Abschnitt stark von dynamischen Flussarmen geprägt; 1859 liegt deren Wert noch knapp über 50% aller Gewässer. Weiters fällt auf, dass das oberirdisch isolierte Plesiopotamon hier bis in die aktuellsten Zeitsituationen relativ schwach ausgeprägt ist, da der Großteil der Gewässer zumindest eine einseitige Anbindung behalten hat, bzw. durch den 1984 erbauten Gießgang Greifenstein wieder angebunden wurde. Auch ist der Abschnitt recht stark von Zubringern geprägt, welche aufgrund der großen Breite des Auegebietes eine auffallend hohe Lauflänge in der Zone der rezenten Mäander aufweisen, bevor sie sich mit einem der Donaugewässer vereinigen. Wie bereits für den gesamten Donauabschnitt beschrieben, nahmen die Zubringer besonders im Tullner Becken durch die Regulierung zu, da sie seither weitere Strecken im breiten Auegebiet zurücklegen müssen.

3.2.3 Wiener Pforte

Die totale Sinuosität der Donau in der **Wiener Pforte** spiegelt anschaulich die topografischen Eigenheiten dieses Abschnittes mit seiner seitlichen Einengung durch den Leopoldsberg und

den Bisamberg wider – besser als es die einfache Sinuosität des Hauptstromes vermag (Abbildung 19). Zudem handelt es sich bei der Wiener Pforte um einen sehr kurzen Abschnitt, wo sich bereits kleinere anthropogene Eingriffe verhältnismäßig stark auswirken können. Anders als bei der Sinuosität des Hauptarmes, zeigt sich bei der totalen Sinuosität ein fluktuierendes Bild im Zeitverlauf. Der Ausgangswert ist mit ca. 6 Meter Gesamtlauflänge je Meter Talachse bereits sehr niedrig. Ein ähnlich niedriger Wert ist selbst während des gesamten untersuchten Zeitraumes in keinem anderen Teil des Untersuchungsgebietes auszumachen. Dabei schwanken die Werte der Gewässertypen recht stark; um 1875 wird das Minimum von 3,6 Meter erreicht. Aktuell liegt die totale Sinuosität bei 4,7 Meter. Auffällig ist hier bereits um 1859 der vergleichsweise hohe Anteil isolierter Altwässer (Plesiopotamon), welche im Zuge der ersten Regulierungsphase entstanden. Das Plesiopotamon in den Zeitschnitten 1775/1780 und 1817 beruht großteils auf den hinter dem Hubertusdamm abgetrennten Donauarmen. Die etwas überraschend anmutende leichte Zunahme von Eupotamon B ohne Einfluss der Schifffahrt nach 1859 hängt mit dem um 1875 errichteten Klosterneuburger Durchstich zusammen. 2010 fällt der hohe Anteil von Eupotamon B nochmals verstärkt auf, was durch den Oberlauf des Marchfeldkanals begründet ist.

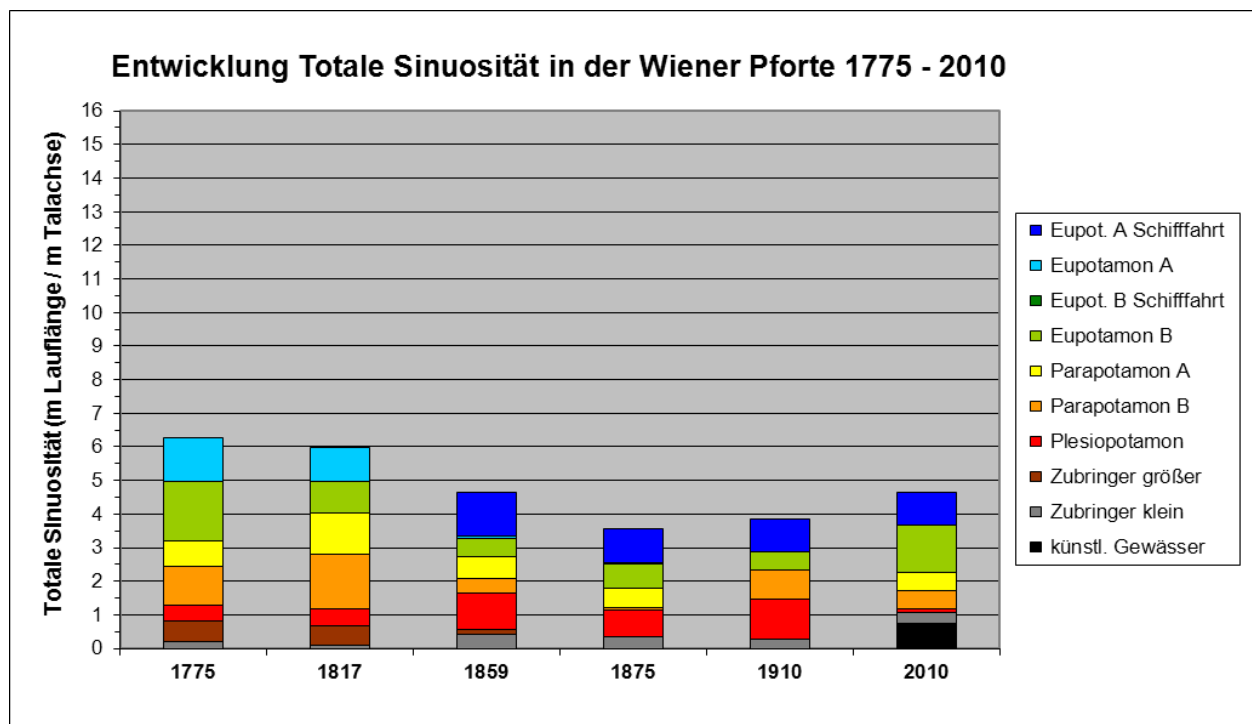


Abbildung 19: Zeitverlauf der Totalen Sinuosität in der Wiener Pforte 1775 – 2010

3.2.4 Wien

Betrachtet man die Gewässertypen bei **Wien** im Zeitverlauf, so fällt zunächst der rein quantitative Aspekt sehr stark ins Auge (Abbildung 20). Ein Wert von über 15 Metern totaler Sinuosität wurde an keiner anderen Stelle der Untersuchung ermittelt. Trotz eines deutlichen

Abnahmetrends der Lauflängen, sind diese selbst nach der großen Donauregulierung 1870 – 1875 noch höher als in den anderen Teilabschnitten. Erst die verstärkten Trockenlegungsmaßnahmen im Stadtgebiet ändern die quantitative Struktur ab 1875 nachhaltig und damit sogar stärker, als es die große Donauregulierung vermochte. Um 1910 weist die Donau bei Wien durch die fortschreitende Verfüllung bzw. Verlandung von Gewässern bereits eine geringere totale Sinuosität als im Tullner Becken oder im Nationalpark auf. Heute liegen die Werte in Wien bei 7,3 Meter und sind damit noch etwas höher als im Tullner Becken. Es ist aber zu berücksichtigen, dass die für den Wiener Abschnitt zugrunde liegenden historischen Karten und GIS-Rekonstruktionen (von LAGER 2012) generell etwas detaillierter sind, als jene für die anderen Donauabschnitte. Dadurch ergeben sich vermutlich für die Zeitschnitte 1780 bis 1859 geringfügig höhere Werte als flussauf/flussab von Wien (bezogen auf alle Gewässertypen vermutlich um 1 – 1,5m je Meter Talachsenlänge).

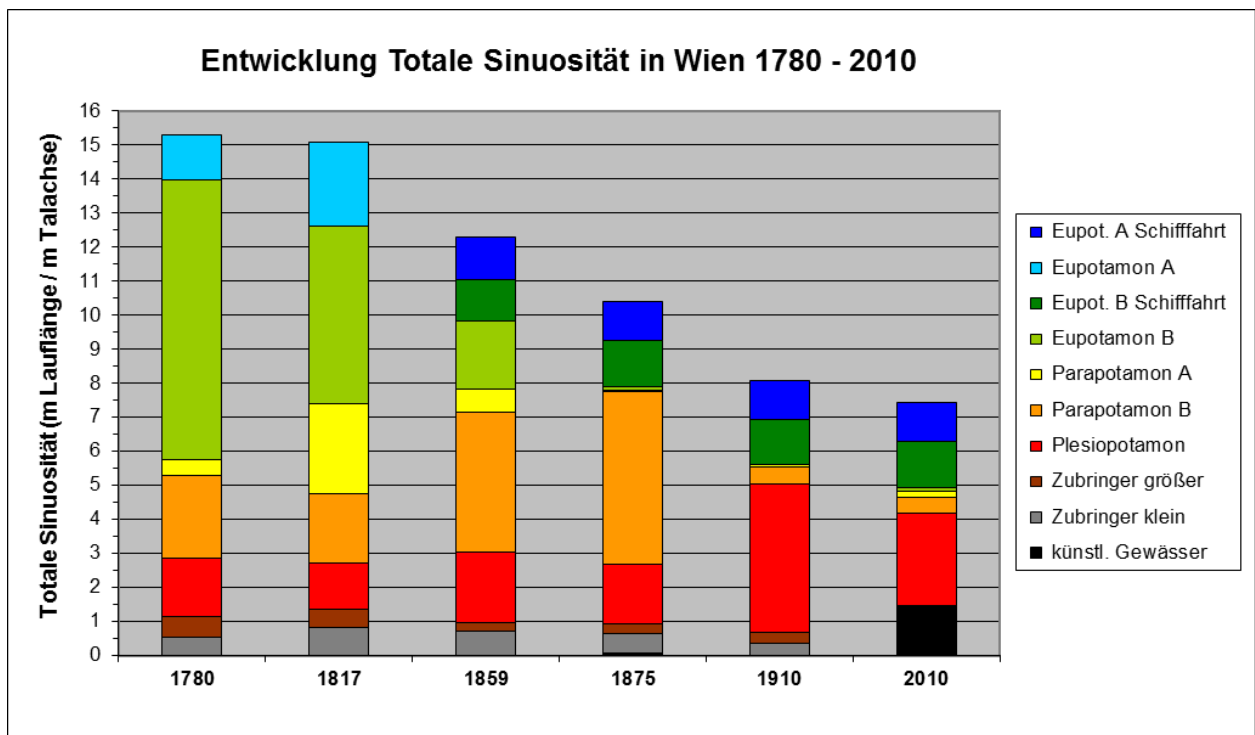


Abbildung 20: Zeitverlauf der Totalen Sinuosität bei Wien 1780 – 2010

Qualitativ gesehen wurden zu Beginn der Untersuchungsperiode gut zwei Drittel der Gewässerlängen von dynamischen Armen (Eupotamon A, Eupotamon B, Parapotamon A) gebildet. Dabei nimmt das ständig durchströmte Eupotamon B eine besonders ausgeprägte Rolle ein und weist auf ein stark verzweigtes Gewässersystem hin. Der Hauptarm selbst erscheint um 1780 etwas gestreckter als 1817, was sich auch in seinem Anteil an der totalen Sinuosität niederschlägt. Auch das Plesiopotamon ist in der Ausgangssituation etwas stärker ausgeprägt als 1817. Für den hohen Anteil des Plesiopotamons um 1780 sind erste Hochwasserschutz- und Verlandungsmaßnahmen nördlich der Donau, in der Brigittenau und in Leopoldstadt anzusehen, wodurch ehemals dynamischere Arme zu Altwässern umgewandelt

wurden. Bis 1817 ist der Verlandungsprozess bereits fortgeschritten, wodurch das Plesiopotamon verringert wurde. Mit den darauffolgenden neuerlichen Regulierungsmaßnahmen nahm es hingegen wieder zu.

Der markante, bereits thematisierte Rückgang des Eupotamon B zugunsten des Parapotamon A zwischen 1780 und 1817 steht sehr wahrscheinlich im Zusammenhang mit Hochwässern, die zwischen 1768 und 1790 verstärkt auftraten. Um 1780 war das Flusssystem vermutlich bereits an den verstärkten Hochwasserabfluss angepasst und wies mehr permanent durchströmte Nebenarme (Eupotamon B) auf. Unter den darauffolgenden, ruhigeren hydrologischen Bedingungen ist von einer Verlandungstendenz zahlreicher Nebenarme auszugehen, wodurch sich diese in Parapotamon A umgewandelt haben. Für den ungewöhnlich starken Anstieg des Parapotamon A bis 1817 lässt sich zumindest teilweise auch eine weitere Erklärung heranziehen. Um 1775/80 wurde das Donau-Gebiet bei Wasserständen zwischen Niederwasser und Mittelwasser aufgenommen. Später erfolgten die Kartierungen jedoch bei ungefährem Niederwasser. Aufgrund des unterschiedlichen Aufnahmewasserstandes ist es möglich, dass bei Gewässern, welche 1775/80 als Eupotamon B zu werten sind, 1817 durch den niedrigeren Wasserstand offene Sedimentflächen zutage kamen, wodurch diese nun als Parapotamon A einzustufen sind. Dieser Effekt ist jedoch im Rahmen dieser Arbeit kaum quantifizierbar. Der Anstieg des Parapotamon A zwischen 1775 und 1817 ist, wie in Kapitel 3.2.1 schon erwähnt, in allen Untersuchungsabschnitten auszumachen, erreicht jedoch nur in Wien und im Nationalpark ein so ungewöhnlich hohes Ausmaß von beinahe 500%. Vermutlich werden beide Gründe – hydrologisch-morphologische und methodische – für den beobachteten Wandel von Eupotamon B zu Parapotamon A verantwortlich sein.

Ungeachtet dieser Überlegungen kommt es auch in Wien nach 1817 bereits zu einem starken regulierungsbedingten Rückgang der dynamischen Gewässertypen. Auch die einsetzende Großschifffahrt am Donaukanal ist in Abbildung 20 abzulesen. Um 1859 verbleibt dennoch ein Anteil von 60% der durchströmten Nebenarme vom Wellenschlag der Schiffe unbeeinflusst. Diese Situation ändert sich jedoch durch die große Donauregulierung 1870 – 1875, wodurch nun sämtliche durchströmten Arme vom Wellenschlag betroffen waren. Die Donauregulierung zeigt sich bereits im Zeitschnitt 1875 durch einen Rückgang der gesamten Sinuosität auf ca. 10,5m und einer Zunahme einseitig angebundener Altarme (Parapotamon B). Nach der Regulierung setzt sich diese Entwicklung bis 1910 fort, indem weitere Gewässer zugeschüttet wurden oder verlandeten. Die um 1875 vorhandenen Gewässer vom Typ Parapotamon B wandelten sich großteils in plesiopotamale Gewässer um. Dabei ist zu erwähnen, dass viele isolierte Altwässer aus den vorangegangenen Zeitsituationen bis 1910 gänzlich verschwunden sind und die betreffenden Flächen einer anderen Nutzung unterliegen. Dafür sind fast alle Gewässerbiotope abseits des Hauptstromes oberirdisch hydrologisch isoliert. Die Ausnahmen bilden neben den Zubringern nur der Donaukanal, ein Arm im Inundationsgebiet sowie der Winterhafen Freudenau.

Im aktuellen Zeitschnitt von 2010 ist vor allem eine Ausdünnung des grundwassergespeisten Plesiopotamons zu beobachten. Daneben tritt mit den künstlichen Gewässern, welche vor allem durch das Entlastungsgerinne repräsentiert werden, eine neue Gewässerkategorie in

Erscheinung. Aufgrund der begleitenden Maßnahmen beim Bau des Kraftwerks Freudenu (Umgehungsgerinne) sowie anderer kleinerer Eingriffe am Hauptstrom (Stauraumbiotope) treten erstmals seit 1859 wieder kleinere Gewässer vom Typ Eupotamon B (ohne Wellenschlag) und Parapotamon A auf.

3.2.5 Nationalpark

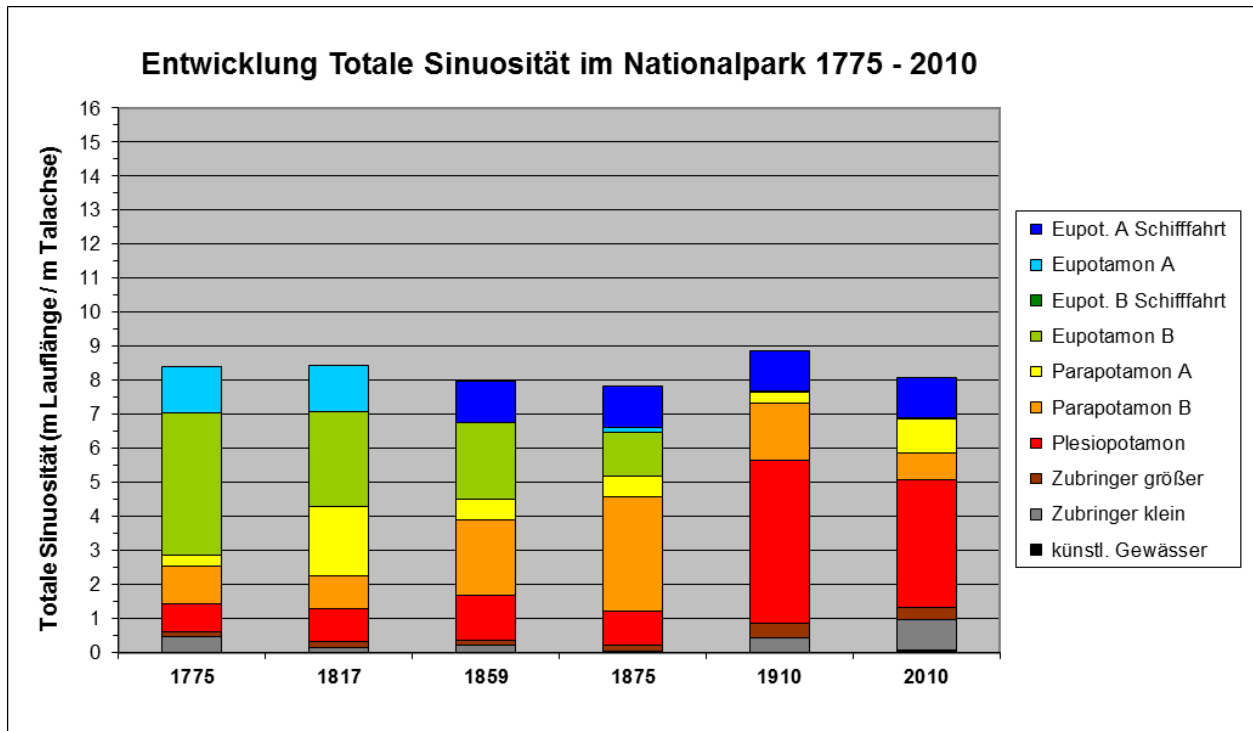


Abbildung 21: Zeitverlauf der Totalen Sinuosität im Nationalpark 1775 – 2010

In quantitativer Hinsicht lässt sich die Situation im **Nationalpark** noch als relativ konstant charakterisieren (Abbildung 21). Dies hängt wohl auch damit zusammen, dass sich in diesem Abschnitt weder ausgedehnte Ballungsräume, noch Wasserkraftnutzungen befinden. Auf qualitativer Ebene sind jedoch auch am Hauptstrom und im Auegebiet des Nationalparks ganz ähnliche Trends wie im restlichen Untersuchungsgebiet zu beobachten. Klar ersichtlich ist der Trend von den dynamischen, eupotamalen Gewässern hin zu isolierten, stagnierenden Altwässern. Die bereits umrissene Zunahme des Parapotamon A von 1775 auf 1817 ist hier mit 490% sogar noch stärker ausgeprägt, als es in Wien der Fall ist. Daneben lässt sich noch anmerken, dass der Anstieg des Plesiopotamons von 1875 auf 1910 beinahe einer Verfünffachung entspricht. Dabei wurden einseitig angebundene Altarme (Parapotamon B) in isolierte Gewässer (Plesiopotamon) umgewandelt und zugleich die verbliebenen Nebenarme (Eupotamon B) zumeist in Parapotamon B. Bis 2010 ist ein Rückgang der totalen Sinuosität von rund 8,9m auf 8,1m je Meter Talachsenlänge zu verzeichnen, wobei viele ehemalige

Augewässer nach wie vor als Fragmente vorhanden sind. Der Anstieg von Parapotamaon A beruht auf jüngeren Gewässervernetzungsmaßnahmen.

3.3 Anbindungsbreiten

Die Breiten der Verzweigungen zwischen dem Hauptstrom und den diversen Nebengewässern (kurz Anbindungsbreiten) hängen eng mit der Intensität der totalen Sinuosität zusammen. Demzufolge wird die Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität durch zwei Parameter – totale Sinuosität und Anbindungsbreiten – beschrieben. Als Bezugsgröße für die Anbindungsbreiten dient dabei einerseits die Talachse und andererseits die Gesamtlänge der beiden Ufer des Hauptstromes (Hauptstromuferlänge).

Zu Beginn der Untersuchung, wies der **gesamte Donauabschnitt** zwischen Tulln und der March insgesamt Anbindungsbreiten im Ausmaß von 65% der Talachsenlänge bzw. 23% der Hauptstromuferlänge auf (Abbildung 22). Das bedeutet, dass annähernd auf einem Viertel der damaligen Hauptstromufer Verbindungen zu den diversen Nebenarmen, Altarmen und Zubringern vorhanden waren. Die weitere zeitliche Entwicklung der Anbindungsbreiten ist im Gesamtgebiet für beide Maßzahlen sehr ähnlich. Der leichte Rückgang der Anbindungsbreiten bezogen auf die Hauptstrom-Ufer bis 1817 ist primär dadurch begründet, dass die Donau nach der hochwasserintensiven Phase 1768-1790 in einigen Teilabschnitten zwei Hauptstromarme ausbildete, wodurch auch die relativ dazu gemessenen Anbindungsbreiten zurückgingen. Ab 1817 kommt es bis 1910 zu einer deutlichen Abnahme. Während die Abnahme von 1817 auf 1859 bezogen auf die Talachse -24% ausmacht, beträgt sie in Relation zu den Hauptstrom-Ufern für diesen Zeitschritt nur -3,4%. Hier ist klar der Zusammenhang erkennbar, dass die Uferlänge durch die Regulierung selbst eine Reduktion erfährt, während die Talachse klarerweise unverändert bleibt. Um 1910 erreicht die Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität mit 9,3% Anbindungslänge bezogen auf die Talachse bzw. 4,2% bezogen auf die Hauptstromufer bereits das Minimum. Die größte Entkoppelung vom restlichen Gewässersystem, hat der Hauptstrom zwischen 1859 und 1875 sowie 1875 und 1910 erfahren. Zwischen 1775 und 1910 gehen die Anbindungsbreiten für beide Bezugsgrößen auf 14% (Talachse) bzw. 18% (Hauptstromufer) ihres Ausgangswertes zurück. Danach gibt es keine ausgeprägten Änderungen mehr. Die geringfügige Zunahme bis 2010 geht auf die Gewässervernetzungsmaßnahmen im Nationalpark und Stauraumbiotop im Stauraum Freudenau zurück.

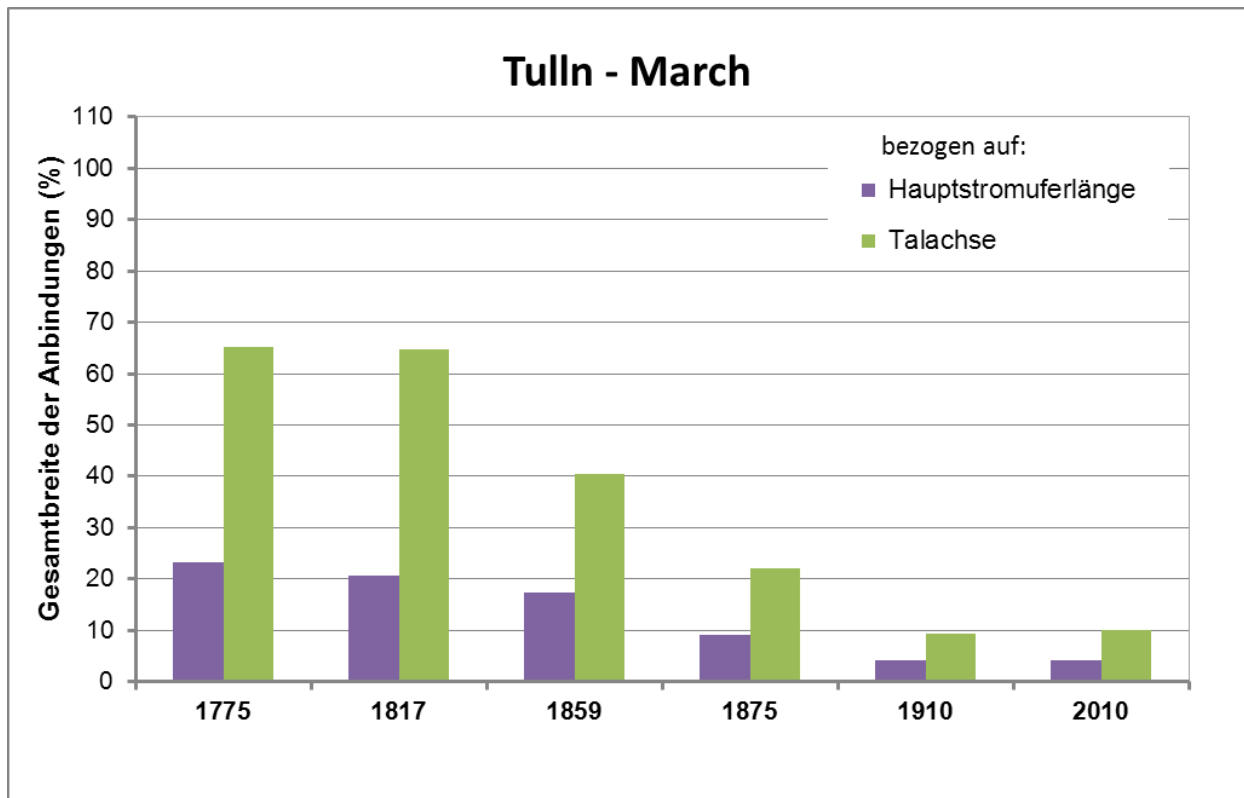


Abbildung 22: Anbindungsbreiten von Tulln bis zur March 1775 – 2010

Die Situation im **Tullner Becken** spiegelt eigentlich sehr klar die Entwicklung im Gesamtgebiet wider. Zu Beginn der Untersuchung wies der Abschnitt im Tullner Becken Anbindungsbreiten im Ausmaß von 63% der Talachsenlänge und 21% der Hauptstromuferlänge (also rund einem Fünftel der Hauptstromufer) auf.

Wie Abbildung 23 zeigt, verläuft die Abnahme dabei geringfügig stetiger als im Gesamtgebiet und beträgt von 1775 bis 2010 -93% bezogen auf die Talachsenlänge bzw. -90% bezogen auf die Hauptstrom-Uferlänge. Damit wurde der Hauptstrom im Tullner Becken noch umfassender, als dies durchschnittlich im gesamten Untersuchungsgebiet der Fall war, von den Augewässern entkoppelt. Auffällig ist dabei, dass es auch noch zwischen 1910 und 2010 zu einer weiteren Abnahme kommt, was primär auf den Bau des Kraftwerkes Greifenstein zurückzuführen ist.

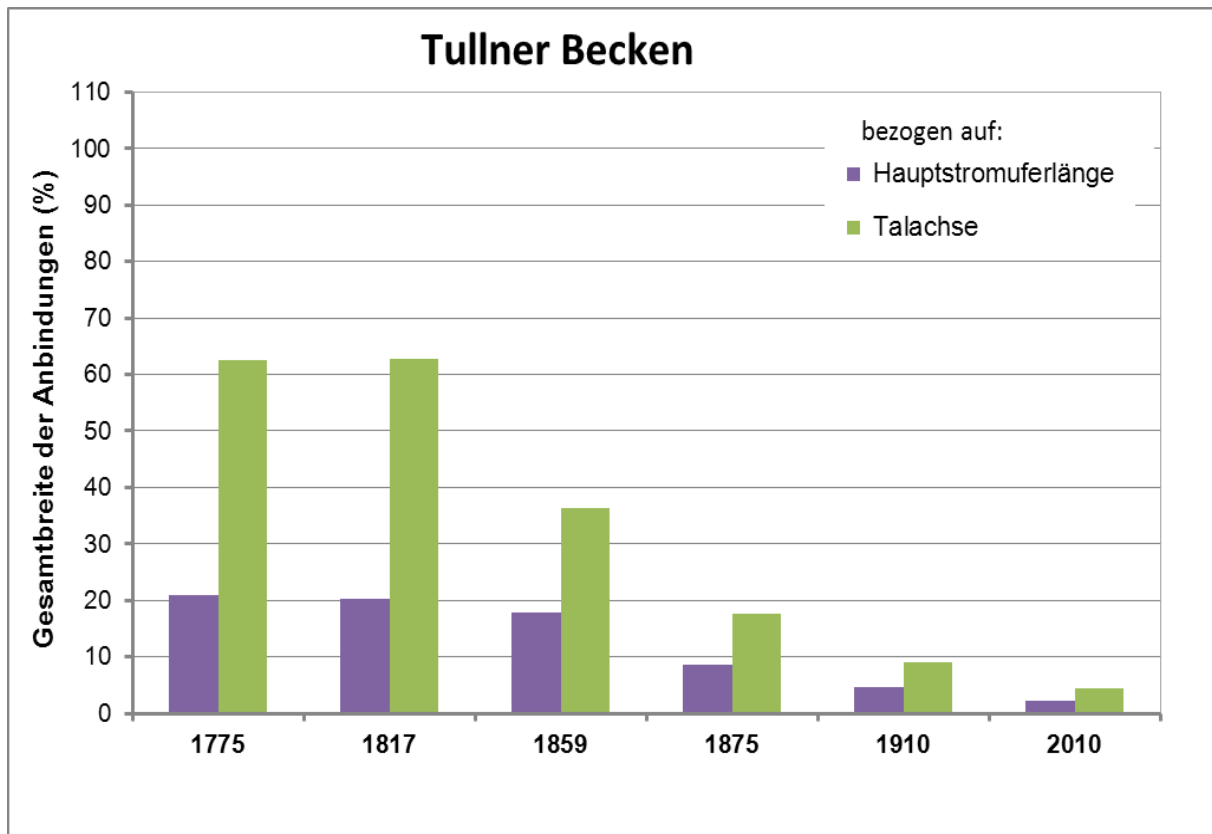


Abbildung 23: Anbindungsbreiten im Tullner Becken 1775 - 2010

Die Entwicklung der Anbindungsbreiten in der **Wiener Pforte** verläuft hingegen vergleichsweise un stetig, wobei sich Phasen von deutlicher Ab- und leichter Zunahme abwechseln (Abbildung 24). Dabei kommt es zu merklichen Unterschieden zwischen den Breiten bezogen auf die Talachsen- und Hauptstromuferlängen. Aufgrund der Lage im Donaudurchbruch sind hier die Anbindungsbreiten 1775 von Natur aus signifikant kleiner als in den Donaubecken. So betrug diese damals nur ca. 44% der Talachse beziehungsweise 17% bezogen auf die Hauptstromufer. Bis 1817 nahm sie bereits ab, was mit dem Bau des Hubertusdammes und daran anschließenden Wasserbaumaßnahmen zusammenhängen dürfte. Von 1817 auf 1859 kam es zu einer weiteren Abnahme aufgrund verschiedener Regulierungsmaßnahmen. Der leichte Anstieg der Anbindungsbreiten bis 1875 hängt mit kleineren Inseln zusammen, die im Zuge der Regulierungsarbeiten im Hauptstrom neu entstanden, wodurch sich neue Nebenarme gebildet haben. Danach folgt eine Phase einer sehr ausgeprägten Abnahme auf ein Minimum von 3% (Talachse) bzw. 1,5% (Hauptstromufer). Bis 2010 ist hingegen wieder eine leichte Zunahme zu verzeichnen, welche auf den Bau des Klosterneuburger Durchstiches, des Entlastungsgerinnes (Neue Donau), diverser Hafenanlagen und der Stauraumbiotope zurückzuführen ist. Über den gesamten Untersuchungszeitraum berechnet, kam es zu einer Abnahme von -82% bezogen auf die Talachse und -79% bezogen auf die Hauptstromufer.

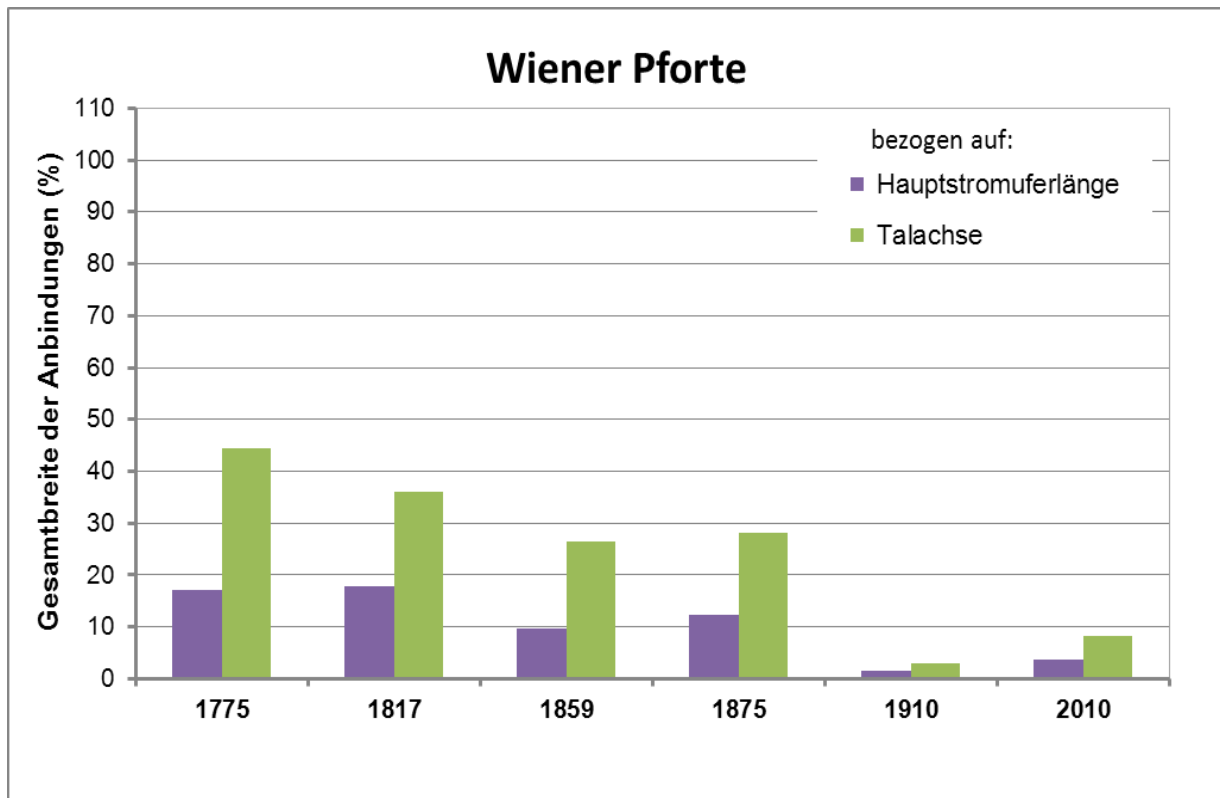


Abbildung 24: Anbindungsbreiten in der Wiener Pforte 1775 - 2010

In **Wien** sind die Auswirkungen der Verwendung unterschiedlicher Bezugsmaße auf das Ergebnis der Anbindungsbreiten besonders gut zu sehen. Der Grund dafür ist, dass die Wiener Donau im Untersuchungszeitraum zwischen 1780 und 1817 zwei Hauptstromarme ausgebildet hat, die bis 1859 wieder auf einen Arm reduziert wurden. Dies drückt sich je nach zugrundeliegendem Bezugsmaß in unterschiedlichen Ergebnissen der Anbindungsbreiten aus (Abbildung). Dadurch ist es schwer, anhand der dargestellten Ergebnisse die zwischen 1780 und 1859 natürlicher Weise stattgefundenen Entwicklung von den Auswirkungen der Regulierungsmaßnahmen zu unterscheiden. Zu Beginn der Beobachtungsperiode machten die summierten Anbindungsbreiten 80% der Talachse beziehungsweise 30% der Hauptstromufer, als beinahe ein Drittel, aus. Damit wies die Wiener Donau die höchste Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität im gesamten Untersuchungsgebiet auf. Generell ist eine geringfügige Abnahme der Anbindungsbreiten nach der hochwasserintensiven Phase 1768-1790 zu beobachten, welche sich auch schon in den bereits zuvor beschriebenen Parametern wiederfindet. Dies bedeutet, dass sich die Anbindungsbreiten bis 1817 bezogen auf die Hauptstromufer, durch Verlandungsprozesse etwas verringert haben (der Anstieg der Werte bezogen auf die Talachse erklärt sich aus der erwähnten Ausbildung eines zweiten Hauptstromarmes). Obwohl die genaue Analyse der historischen Grundlagen zeigt, dass zwischen 1817 und 1859 bereits zahlreiche Neben-/Altarme abgedämmt wurden, lässt sich dies nicht so einfach im Diagramm ablesen. Grund dafür ist die Rückbildung von einem zweiarmigen Hauptstrom zu einem einzelnen Hauptstrom.

Ab 1859 ist die Entwicklung der lateralen Anbindungen jedenfalls klar ersichtlich. Die große Donauregulierung 1870-1875 führte zu einer erheblichen Reduktion der Anbindungen, welche sich bis 1910 noch verschärft hat. Der leichte Anstieg bis 2010 beruht auf den ökologisch orientierten Maßnahmen im Zuge der Errichtung des Kraftwerkes Freudenu (Stauraumbiotope, Umgehungsgerinne bei Kraftwerk). Dadurch erreichen die Anbindungsbreiten heute wieder 10% (Talachse) bzw. 12% (Hauptstromufer) ihres ursprünglichen Ausmaßes von 1780 (Tabelle 2).

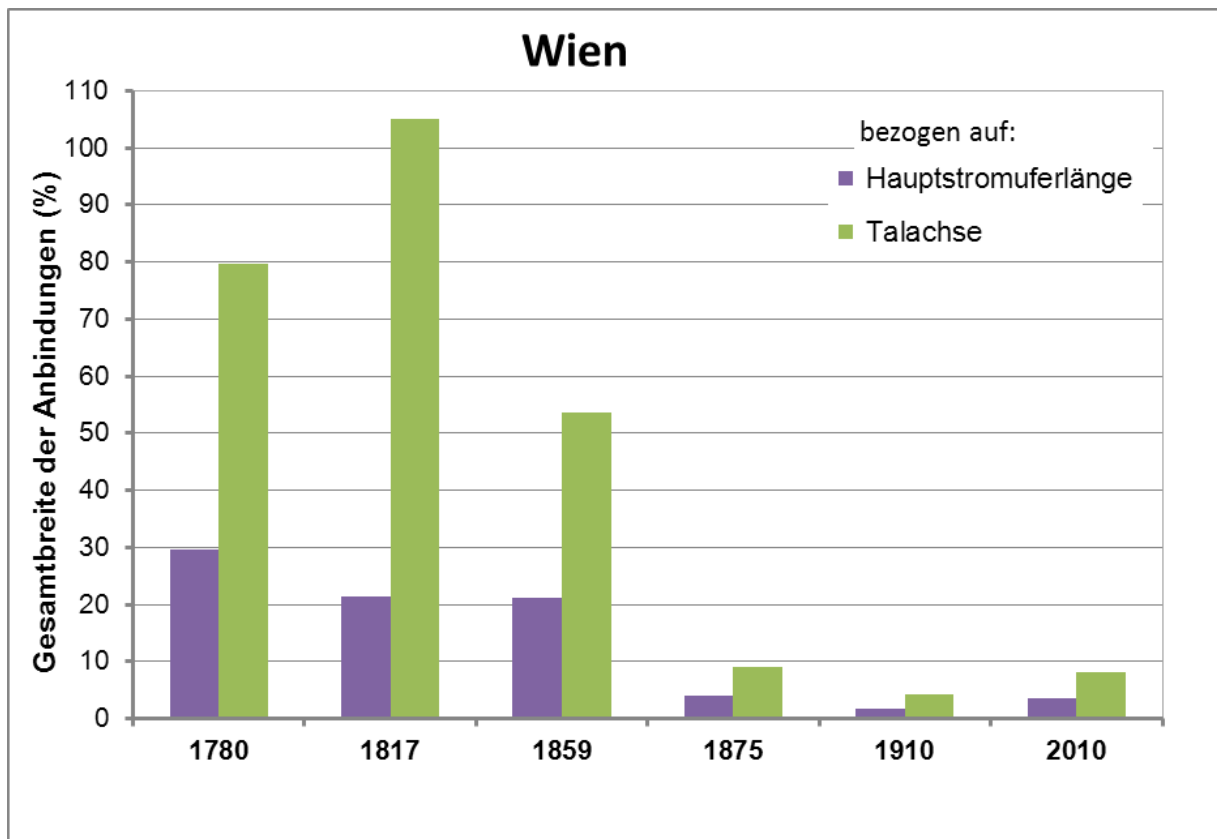


Abbildung 25: Anbindungsbreiten in Wien 1780 – 2010

Tabelle 2: Entwicklung der Anbindungsbreiten in Wien 1780 – 2010

| | 1780 | 1817 | 1859 | 1875 | 1910 | 2010 | 1780-2010 |
|--|------|-------|------|------|------|------|-----------|
| in % der Talachsenlänge | 79,8 | 105,0 | 53,5 | 9,2 | 4,3 | 8,2 | |
| Veränderung zur vorherigen Situation (%) | | 32% | -49% | -83% | -53% | 92% | -90% |
| in % der Hauptstrom-Uferlängen | 29,6 | 21,3 | 21,1 | 3,9 | 1,8 | 3,6 | |
| Veränderung zur vorherigen Situation (%) | | -28% | -1% | -81% | -53% | 95% | -88% |

Die Situation im **Nationalpark** zeigt seit 1775 einen kontinuierlichen Abnahmetrend, ohne weitere besondere Auffälligkeiten (Abbildung 25). Um 1775 betragen die Anbindungsbreiten mit 66% bezogen auf die Talachse und 24% bezogen auf die Hauptstromufer etwas geringere Werte als in Wien, jedoch etwas mehr als im Tullner Becken. Zwischen 1875 und 1910 war der

Rückgang prozentuell gesehen am höchsten. Danach ist wie in allen Teilgebieten (mit Ausnahme des Tullner Beckens), ein Anstieg auf niedrigem Niveau zu verzeichnen, welcher nur zum Teil durch die zwischenzeitlich erfolgten Gewässervernetzungsmaßnahmen begründet ist. Teilweise hängt dies auch damit zusammen, dass sich aus den in der regulierten Donau neu entstandenen Schotterbänken bewachsene Inseln entwickelten. Die dadurch ebenso neu entstandenen Neben-/Altarme hinter den Inseln trugen ebenso zur Vermehrung der Anbindungsbreiten bei. Heute beträgt die Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität im Nationalpark noch 22% des Ausmaßes um 1775 (sowohl bezogen auf die Talachse als auch auf die Hauptstromufer). Damit ist sie heute noch wesentlich höher als im Tullner Becken oder in Wien.

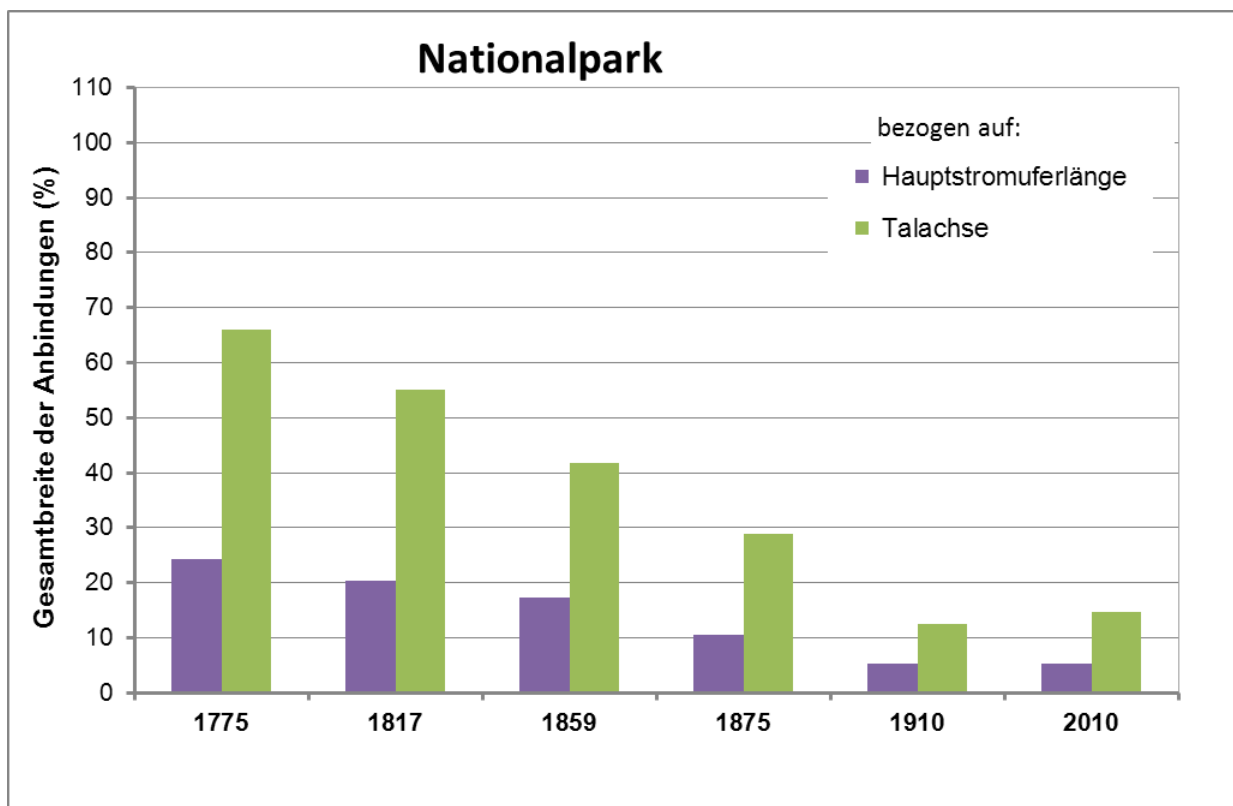


Abbildung 26: Anbindungsbreiten im Nationalpark 1775 – 2010

3.4 Zubringeranbindungen

Die Zubringer entlang des untersuchten Flussabschnittes bilden bereits einen Teilaspekt der totalen Sinuosität, sollen jedoch an dieser Stelle noch einmal eine weiterführende Analyse erfahren. Da die Mündungen der Zubringer im Donausystem als Verbindung unterschiedlicher aquatischer Lebensräume von besonderem gewässerökologischem Interesse sind, wurden diese gesondert ausgewertet. Dabei wurde auch ermittelt, in welchen Gewässertyp des Donausystems die Zubringer einmünden. Durch Änderungen in den Gewässertypen der Donau kann sich auch ohne strukturelle Änderungen der Zubringer selbst, deren qualitative Bedeutung

innerhalb des Gewässerkontinuums ändern. So zum Beispiel, wenn ein größerer Zubringer ursprünglich in einen Altarm vom Typ Parapotamon A mündet, später aber gleich direkt in den Hauptstrom (Eupotamon A). Dadurch weist der Mündungsbereich jeweils unterschiedliche Habitatbedingungen auf, die für verschiedene aquatische Organismen besser oder schlechter geeignet sind. Zusätzlich können sich Änderungen im Einzugsgebiet des betreffenden Zubringers und direkte Eingriffe, wie Kanalisierungen, ebenfalls auf die Öko-Funktionalität der Mündungshabitate auswirken.

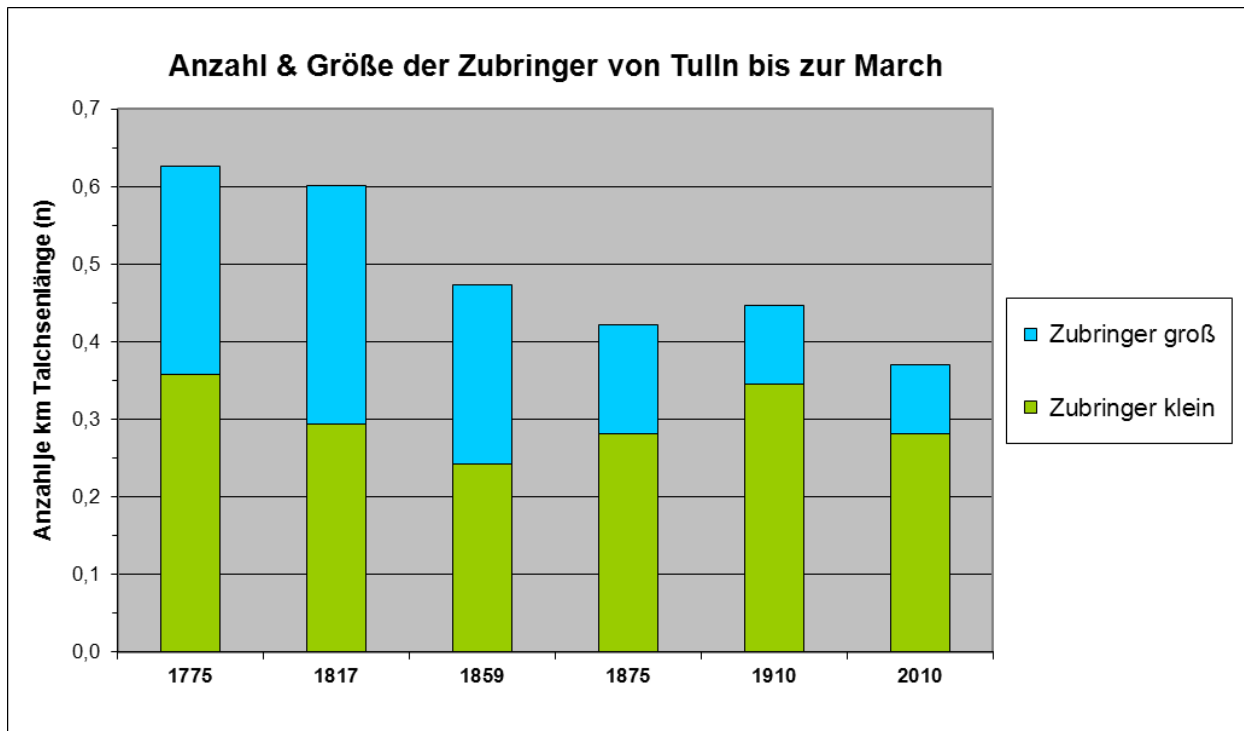


Abbildung 27: Talachsenbezogene Länge und Größentyp der Zubringer 1775 – 2010

Abbildung 27 zeigt die zeitliche Entwicklung der Zubringeranzahl bezogen auf die Talachsenlänge für das Gesamtgebiet. Dabei ist ein klarer Abnahmetrend erkennbar, der besonders zwischen 1817 und 1859 hervortritt. Um 1775 kommen auf einen Kilometer Talachse insgesamt 0,63 Mündungen von Zubringern, was bedeutet, dass durchschnittlich rund alle 1600 Meter ein Zubringer einmündete. 2010 mündet mit 0,37 Zubringern pro Kilometer Talachse hingegen nur noch alle 2700 Meter ein Zubringer in das Flusssystem. Der Anstieg zwischen 1875 und 1920 hängt mit der Zunahme der kleinen Zubringer, hervorgerufen durch verstärkte Drainagierung des Umlandes, zusammen. Die Talachse wurde hier als Bezugswert herangezogen, um die Entwicklung der Mündungen unbeeinflusst von anderen dynamischen Größen darzustellen. Es sei an dieser Stelle daran erinnert, dass in Kapitel 3.2 ein Anstieg der Zubringerlängen im Untersuchungsgebiet festgestellt wurde, der auf die regulierungsbedingt zunehmende Distanz zwischen Donau-Hauptstrom und der Eintrittsstelle der Zubringer in das Auegebiet zurückzuführen ist. Während sich bis 1859 große und kleine Zubringer noch ungefähr die Waage halten, dominieren ab 1875 die kleinen Zubringer, deren absolute Zahl im Gesamtzeitraum jedoch ebenfalls etwas zurückgeht. Diese Entwicklung hängt vor allem damit

zusammen, dass die großen Zubringer frühzeitig vermehrt von Kanalisierungsmaßnahmen betroffen waren, wodurch sich auch deren Zahl reduzierte. Einerseits weil die ehemals breiten Gerinne der Zubringer stark eingeeengt wurden und dementsprechend nicht mehr als größere Zubringer gewertet wurden (vgl. Methodik in Kapitel 2.2.3), andererseits weil mehrere Zubringer(arme) vor der Mündung in das Donausystem zu einem Gerinne zusammengeführt wurden. Aufgrund der Kanalisierung der Zubringer, ist von einer „Rhithralisierung“ besonders bei den großen Zubringern auszugehen.

Je nachdem in welchen Gewässertyp der Donau ein Zubringer mündet, ergeben sich unterschiedliche Zusammensetzungen bzw. Überschneidungen aquatischer Habitats (Ökotope) im Mündungsbereich. Im Extremfall münden kleinere Zubringer selten aber doch in isolierte Altwässer (Plesiopotamon), wodurch das Kontinuum zwischen Donau und dem Zubringer nur bei Hochwässern gegeben ist. Es besteht ebenfalls ein Unterschied, ob ein Zubringer in einen durchströmten Nebenarm (Eupotamon B) mündet, wo die Strömungen von Zubringer und Nebenarm direkt ineinander übergehen, oder ob ein großer Altarm dazwischengeschaltet ist, in dem die Strömung des Zubringers verpufft. Im letzteren Fall kann es zu einer Unterbrechung der Lockströmung aus dem Zubringer kommen, wodurch die Auffindbarkeit des Zubringers für rheophile Wanderfische erschwert ist. Diese komplexen biotischen Zusammenhänge, waren jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

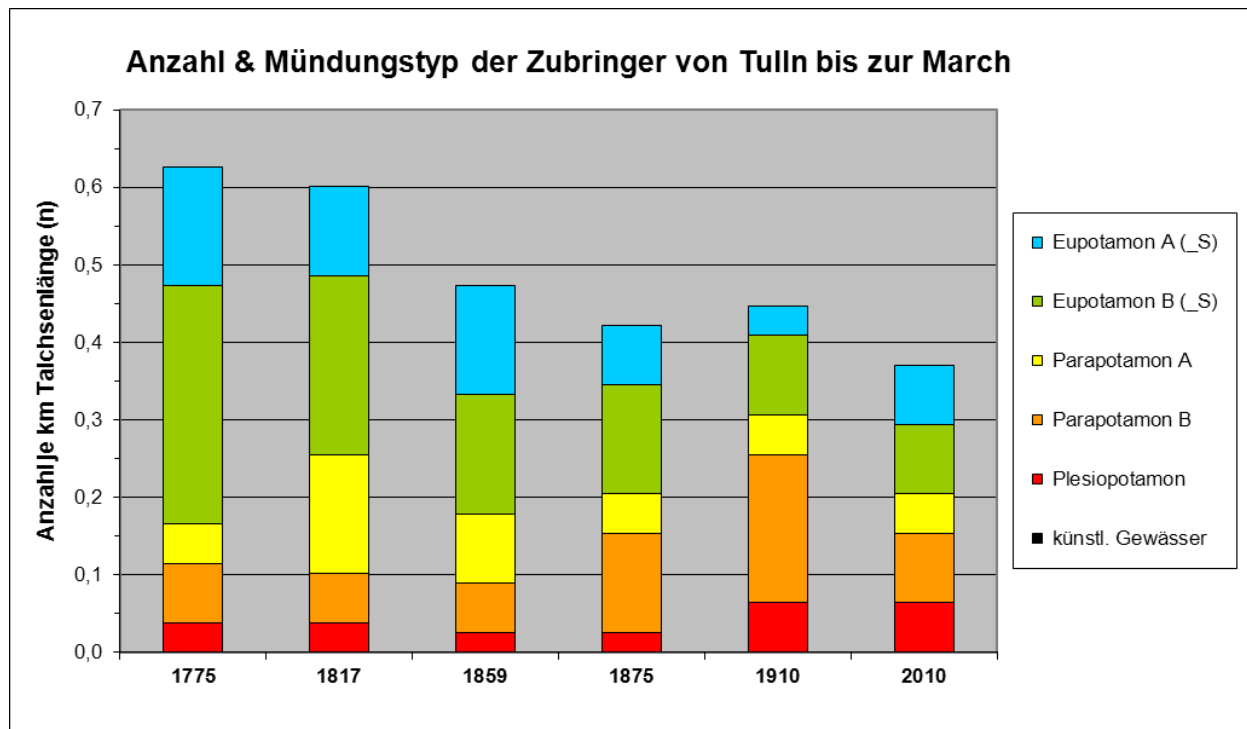


Abbildung 28: Anzahl der Zubringer bezogen auf die Talachse und Gewässertyp des Donau-Systems in den die Zubringer münden 1775 – 2010. (_S) bedeutet mit oder ohne Einfluss der Großschifffahrt)

Die Verteilung der Gewässertypen, in welche Zubringer im Untersuchungsgebiet einmünden (Abbildung 28), lässt zum Teil das Muster der totalen Sinuosität erkennen (vgl. Abbildung 17 und Tabelle 3). Teilweise gibt es jedoch auch deutliche Abweichungen. Obwohl etwa das Eupotamon A um **1775** nur 15% aller Gewässerslängen einnimmt, münden zu diesem Zeitpunkt 24% der Zubringer in diesen Gewässertyp. Die Relation ist in Tabelle 3 dargestellt. Auch das Eupotamon B ist mit 49% der Zubringermündungen im Vergleich zu seinem Anteil mit 46% aller Gewässerslängen leicht überrepräsentiert. Zusammenfassend mündeten somit um 1775 rund 73% aller Zubringer in eupotamale (lotische) Gewässer ein, während 18% in stagnierenden Gewässern, wie Parapotamon B und Plesiopotamon, mündeten. Obwohl **1817** der Anteil des Eupotamon A in der totalen Sinuosität minimal ansteigt, sinken die Mündungen in diesem Gewässertyp deutlich. Ebenso münden 1817 auch weniger Zubringer in durchströmte Nebenarme (Eupotamon B) ein, sondern stattdessen vermehrt in dynamische Altarme des Typs Parapotamon A. Analog zur Interpretation der totalen Sinuosität stellt sich für 1817 die Frage, inwiefern diese Verschiebung auf Verlandungsvorgänge nach der hochwasserintensiven Phase 1768-1790 zurückzuführen ist, wodurch nun mehr Zubringer in verlandende Flussarme einmünden, oder auf methodische Inkonsistenzen aufgrund unterschiedlicher Aufnahmewasserstände beruht. Um 1775 und 1817 münden hingegen vergleichsweise wenige Zubringer (18% bzw. 17%) in stagnierende Gewässer (Parapotamon B und Plesiopotamon).

Tabelle 3: Vergleich der totalen Sinuosität (TS) je Donau-Gewässertyp (%) und der Anzahl der Zubringer, die in den jeweiligen Gewässertyp münden (M.Typ = Mündungstyp) für das gesamte Untersuchungsgebiet

| Gewässertyp | 1775 | | 1817 | | 1859 | | 1875 | | 1910 | | 2010 | |
|-------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| | TS | M.Typ | TS | M.Typ | TS | M.Typ | TS | M.Typ | TS | M.Typ | TS | M.Typ |
| Eupotamon A (S) | 15% | 24% | 16% | 19% | 14% | 30% | 15% | 18% | 13% | 9% | 15% | 21% |
| Eupotamon B (S) | 46% | 49% | 31% | 38% | 27% | 32% | 19% | 33% | 4% | 23% | 6% | 24% |
| Parapotamon A | 8% | 8% | 24% | 26% | 10% | 19% | 5% | 12% | 4% | 11% | 13% | 14% |
| Parapotamon B | 12% | 12% | 12% | 11% | 25% | 14% | 39% | 30% | 27% | 43% | 11% | 24% |
| Plesiopotamon | 9% | 6% | 9% | 6% | 14% | 5% | 11% | 6% | 39% | 14% | 33% | 17% |
| künstl. Gewässer | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 6% | 0% |

Tabelle 3 bietet einen Vergleich zwischen dem prozentuellen Anteil der Gewässertypen an der Totalen Sinuosität und dem prozentuellen Anteils der Zubringer, die in die jeweiligen Gewässertypen münden.

Wenn auch die Anzahl der Mündungen bis **1859** bereits reduziert wurde, liegen diese zumeist noch in dynamischen Gewässern. Parapotamon B und Plesiopotamon sind bei den Mündungstypen hingegen noch klar unterrepräsentiert. Beinahe ein Drittel der Zubringer mündete damals in den Hauptstrom (Eupotamon A), obwohl dieser nur 14% aller Gewässer eingenommen hat.

Bis **1875** steigt der Anteil der Zubringer, welche in die stagnierenden Gewässer Parapotamon B und Plesiopotamon münden, bereits auf 36%, und damit auf das Doppelte des ursprünglichen Ausmaßes, zu Ungunsten der anderen Gewässertypen an. Um **1910** münden überhaupt nur mehr 9% der Zubringer in den Hauptstrom bzw. 23% in durchströmte Nebenarme (Eupotamon B). Auffallend ist hier nun die Bedeutung von Parapotamon B und Plesiopotamon als Mündungsgewässer: mit 57% mündet nun mehr als die Hälfte aller Zubringer in stagnierende Augewässer. Dadurch ergibt sich eine Umkehrung des Verhältnisses vor der Regulierung, als noch die meisten Zubringer in eupotamalen Gewässern mündeten. Dies liegt am Gewässernetzwerk, welches sich in den Randbereichen der Zone der rezenten Mäander um **1910** bevorzugt aus Parapotamon B und zum Teil auch Plesiopotamon zusammensetzt.

2010 verteilen sich die Mündungen relativ gleichmäßig auf alle Gewässertypen. Eine leichte Ausnahme bildet dabei das Parapotamon A mit einem Anteil von nur 14%. Die Bedeutung des Hauptstromes als Mündungsgewässer nahm wieder zu, da einige Zubringer direkt bis zum Hauptstrom verlängert wurden. Zudem münden einige Zubringer heute noch in künstliche Nebenarme wie den Klosterneuburger Durchstich. Bis 2010 ging auch die Bedeutung von Parapotamon B als Mündungsgewässer durch deren fortschreitende Verlandung zurück, während jene des Plesiopotamons konstant geblieben ist.

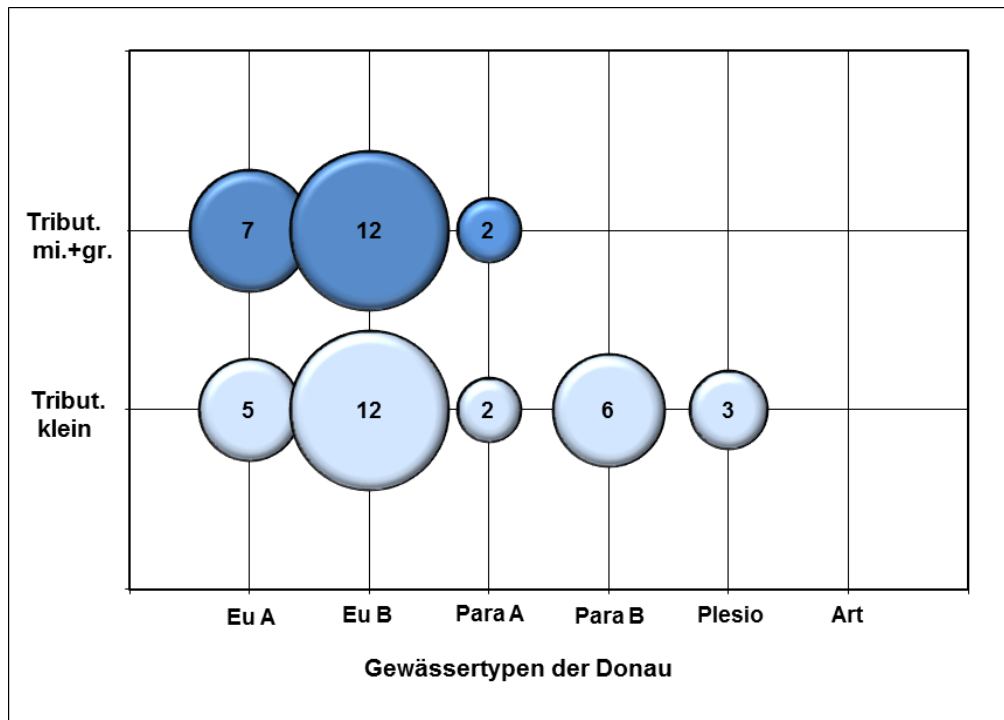


Abbildung 29: Verteilung der Mündungen mittlerer/großer und kleiner Zubringer auf die unterschiedlichen Gewässertypen der Donau um 1775/80

Abbildung 29 illustriert die Verteilung der Zubringermündungen bezogen auf die jeweiligen Gewässertypen der Donau. Klar ersichtlich ist die Bedeutung der eupotamalen Gewässer als Mündungshabitate zu Beginn des Untersuchungszeitraumes um 1775.

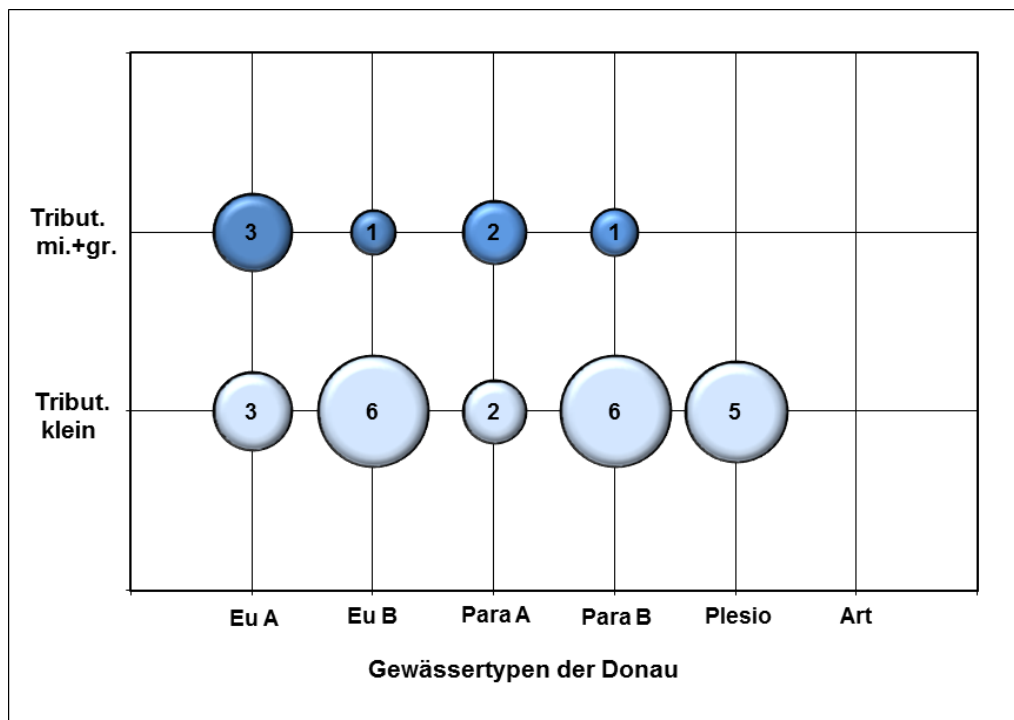


Abbildung 30: Verteilung der Mündungen mittlerer/großer und kleiner Zubringer auf die unterschiedlichen Gewässertypen der Donau um 2010

Im Vergleich zu 1775/80 gibt es heute nicht nur weniger Zubringermündungen, sondern wie Abbildung 30 zeigt, sind diese aktuell auch gleichmäßiger über die verschiedenen Gewässertypen des Donaustromes verteilt.

Analoge Auswertungen wurden auch für die nach biozönotischen Regionen (Fischregionen) differenzierten Zubringer vorgenommen. Da diese Regionen nur für wenige große Zubringer im Untersuchungsgebiet ausgewiesen sind und deren Entwicklung ähnlich wie oben angeführt verläuft, wird hier auf eine gesonderte Analyse verzichtet.

3.5 Breiten der aktiven Gerinne

3.5.1 Gesamtbreiten der durchströmten Gewässer

Die Gesamtbreiten umfassen Wasser- und Schotterflächen der permanent durchströmten Gewässer (Eupotamon A und Eupotamon B) sowie der zeitweise bei Mittelwasser oder sommerlichem Mittelwasser durchströmten Neben-/Altarme (Parapotamon A). Dabei wurden die Breiten sämtlicher, entlang eines Transektes vorkommenden Gerinne summiert (= Gesamtbreite je Transekt) und anschließend der Medianwert der summierten Gerinnebreiten für alle Transekte berechnet (Abbildung 31; vgl. Kapitel 2.2.3). Dieses Maß, das zwischen den untersten und obersten 50% Perzentilen liegt, ist gegenüber „Ausreißerwerten“ unempfindlicher als das arithmetische Mittel. Für den gesamten Donauabschnitt ist der langfristige Abnahmetrend klar ablesbar, wobei der größte Rückgang zwischen 1859 und 1910 stattgefunden hat. Betrug die Breite von Wasser- und Schotterflächen 1775 noch rund 910 Meter, so lag sie ab 1910 nur noch bei etwa 350 Metern, was der wasserbaulich angestrebten Regulierungsbreite entspricht. Dieser Minimalwert im Jahr 1910 weist darauf hin, dass die ständig/zeitweise durchströmten Nebengewässer damals bereits vollständig vom Hauptstrom abgetrennt waren. Bis 2010 haben sich die Hauptstrombreiten durch Verlandungen im Flussbett weiter verringert. Dieser Trend zeichnet sich im Medianwert nicht ab, da die Breite des Hauptstromes andernorts durch die Stauhaltungen wieder vergrößert wurde.

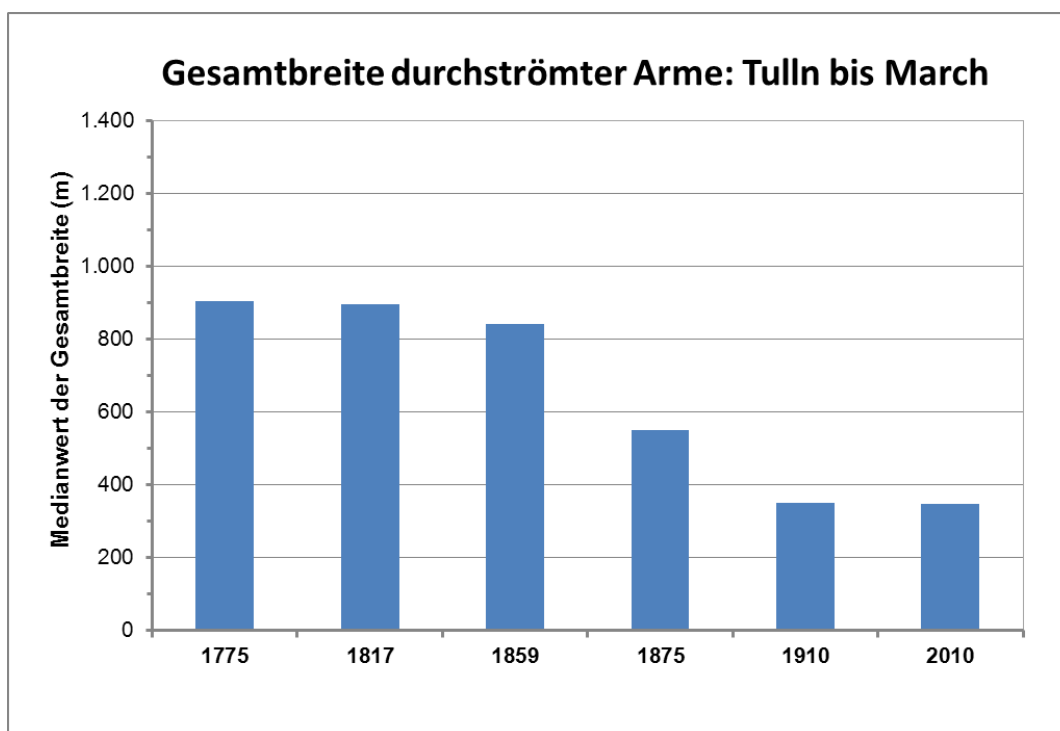


Abbildung 31: Medianwerte der Gesamtbreiten der durchströmten Arme (m) im gesamten Untersuchungsgebiet 1775 – 2010

Der Abnahmetrend in Wien ist noch ausgeprägter als jener im Gesamtgebiet (Abbildung 32). Dies liegt vor allem daran, dass das Ausgangsniveau in Wien 1780 mit rund 1240 Meter

Gesamtbreite deutlich höher lag, als in jedem anderen Teilabschnitt. Am nächsten kommt dem Wiener Abschnitt mit rund 1100 Meter noch das Tullner Becken. Gleichzeitig ist in Wien der aktuelle Wert mit 328 Meter der zweitniedrigste im gesamten Untersuchungsgebiet nach der Wiener Pforte mit 326 Metern. Bereits 1875 wies der *active channel* in Wien nur noch eine Breite von 340 Metern auf, was durch den hier bereits erfolgten Donaudurchstich bedingt ist. Die Reduktion zwischen 1859 und 1875 entspricht genau einer Abnahme um 50%, wodurch die erhebliche Einengung des Flussbettes im Zuge der Donauregulierung klar dokumentiert ist. Doch auch im Zeitschritt zuvor (1817 – 1859) war bereits eine Abnahme um 37% der Gesamtbreite zu verzeichnen.

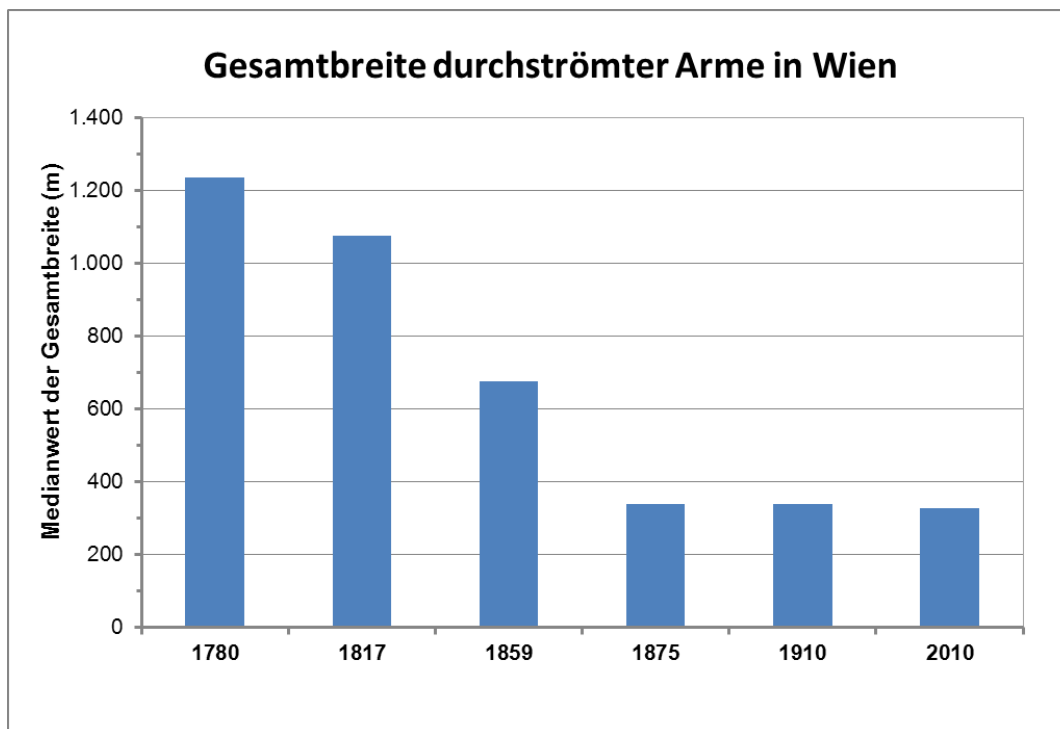


Abbildung 32: Medianwerte der Gesamtbreiten der durchströmten Arme (m) in Wien 1780 – 2010

Im Nationalpark zeigen die Breiten der aktiven Gerinne ein etwas atypisches Bild (Abbildung 33). Hier setzt der Abnahmetrend erst 1859 ein, gleichzeitig markiert dieser relativ späte Zeitpunkt mit ca. 920 Metern den Maximalwert im Nationalpark. Dennoch ist auch hier schon um 1910 beinahe das aktuelle Niveau erreicht, welches mit 338 Metern auch nur knapp über den Wiener Werten liegt.

In den frühen Zeitschnitten zeigt sich eine interessante Entwicklung, die gewissermaßen das Gegenstück zu der Situation im Tullner Becken darstellt. Der Hauptstrom der Donau im Nationalpark, welcher aufgrund der topografischen Lage im Wiener Becken mit geringerem Gefälle (siehe Abbildung 16, Wasserspiegellagen) vor der Regulierung als *sinuous* klassifiziert werden kann, wies generell keine besonders großen Gesamtbreiten auf. Um 1775 liegen diese bei nur 770 Meter. Allein die Wiener Pforte weist hier mit 705 Meter noch schmalere Gerinnebreiten auf. Das Augebiet ist im Tullner Becken zwar sehr breit ausgebildet, die

Sinuosität des Hauptstromes spiegelt das, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, jedoch nicht wider und legt eigentlich einen gestreckten Flusstyp nahe. Die Donau im Tullner Becken wies mit 1100 Meter um 1775 jedoch im Unterschied zum Nationalpark vergleichsweise hohe Breiten der aktiven Gerinne auf. Das relativ hohe Gefälle im Tullner Becken (vgl. Abbildung 16) dürfte somit zur Ausbildung von gestreckteren, dafür aber breiteren Hauptstrom-Armen geführt haben, während das geringe Gefälle im Nationalpark gewundene Hauptstrom-Arme mit geringeren Breiten begünstigte.

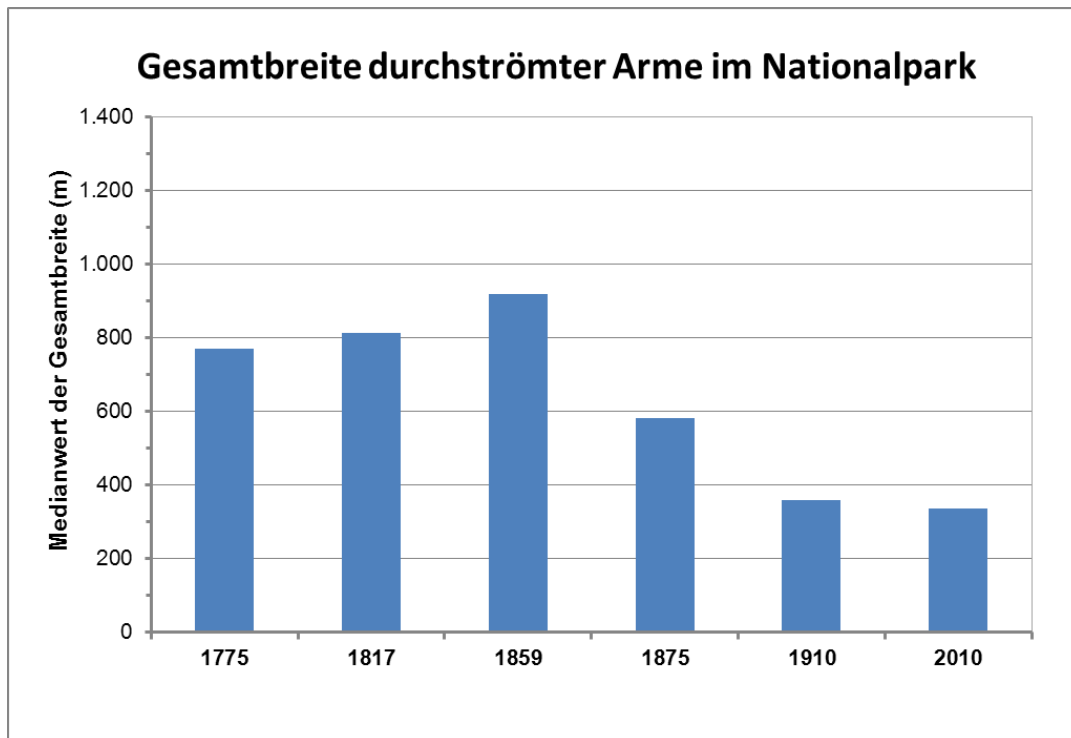


Abbildung 33: Medianwerte der Gesamtbreiten der durchströmten Arme (m) im Nationalpark 1775 – 2010

Der zwischen 1775 und 1859 überraschende Anstieg der Gesamtbreiten im Nationalpark ist höchstwahrscheinlich zumindest teilweise durch die ab den 1780ern verstärkt durchgeführten Regulierungs- und Hochwasserschutzmaßnahmen in der Wiener Pforte und bei Wien zurückzuführen. Dadurch wurden vermutlich Sedimente in den noch nicht verbauten Uferbereichen mobilisiert und weiter flussab im Nationalpark wieder abgelagert. Ähnliche Auswirkungen auf die Donau im Nationalpark, ausgelöst durch die Regulierungsmaßnahmen flussauf davon, wurden ebenfalls im späten 19. Jahrhundert beobachtet (z.B. WILETAL 1897). Ebenfalls dürfte die beginnende Regulierung im Nationalpark dazu beigetragen haben. Die genauere Analyse der historischen Grundlagen legt den Schluss nahe, dass die Errichtung von ersten Wasserbauten zu einer verstärkten Dynamik in den noch nicht verbauten Abschnitten geführt hatte (Ähnliches ist auch für die Donau im Machland und die Untere Salzach belegt; HOHENSINNER et al. 2011; PILLER 2012). Nach 1859 kam die Regulierung auch im Nationalpark voll zu tragen, wodurch sich die Gesamtbreite der aktiven Gerinne erheblich verringerte.

Der Längsverlauf der Gesamtbreiten über den gesamten untersuchten Flussabschnitt hinweg ist in Abbildung 34 und Abbildung 35 dargestellt. Der Übersichtlichkeit halber sind die 6 Zeitsituationen auf zwei Diagramme aufgeteilt. Im Längsverlauf der Donau sind die für jedes einzelne Transekt dargestellten Breitenwerte sehr variabel. Besonders im langen Abschnitt des Nationalparks zeigt sich um 1775 eine sehr unterschiedliche Breitenentwicklung. Vor Beginn der umfassenden Regulierung (1775 – 1817) kam es aber in fast allen Abschnitten zu einer Verlagerung maximaler und minimaler Breiten im Längsverlauf. Lediglich gegen Ende des Tullner Beckens, in Teilen der Wiener Pforte und am Beginn des Wiener Abschnittes waren die Breiten vergleichsweise konstant. In den beiden letztgenannten Abschnitten waren dafür sicherlich die bereits umgesetzten Wasserbaumaßnahmen ausschlaggebend. Auffallend sind im Längsverlauf mit bis zu 1750 Meter die großen Breiten am Übergang von Wien zum Nationalpark (Lobau). Dies mag mit einer verstärkten Umlagerungsdynamik beim Gefällsknick der Donau in diesem Bereich zusammenhängen (Abbildung 16). Ebenfalls ist historisch belegt, dass sich hier Eisstöße entwickelt bzw. festgesetzt haben, die wahrscheinlich zusätzlich zur Umlagerungsintensität und damit zur Breitenentwicklung beitrugen (HOHENSINNER unpubl.).

Der Einfluss der Regulierungsarbeiten zwischen 1817 und 1859 ist im Längsverlauf ebenfalls klar ersichtlich. Dies betrifft Teile des Tullner Beckens, die Lobau im Nationalpark und vor allem Wien, wo zuerst mit größeren Maßnahmen begonnen wurde. Der teilweise Anstieg der Gesamtbreiten zu Beginn der Wiener Pforte und gegen Ende des Nationalparks ist vermutlich durch Mobilisierung von Sedimenten im Zuge von Regulierungsarbeiten flussauf davon begründet.

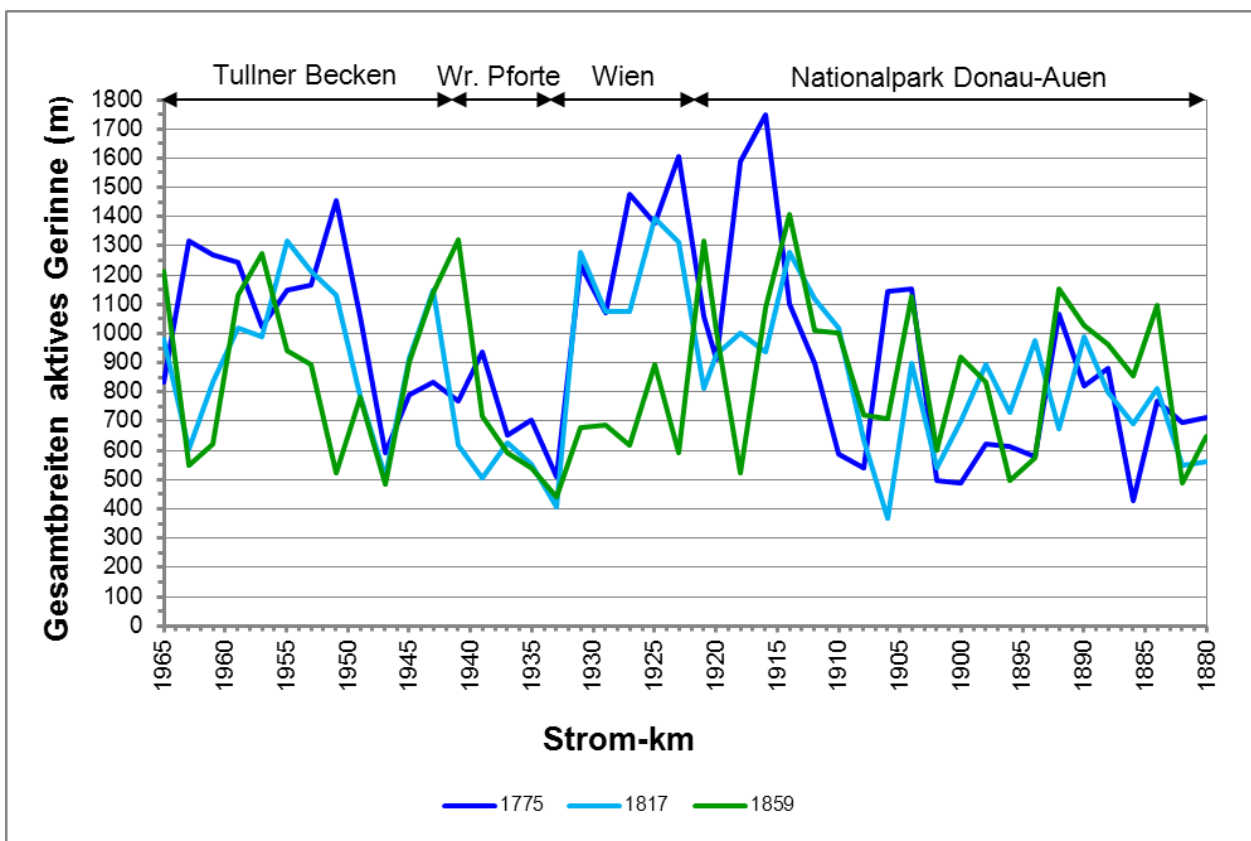


Abbildung 34: Längsverlauf der Gesamtbreiten (m) im gesamten Untersuchungsgebiet 1775 – 1859

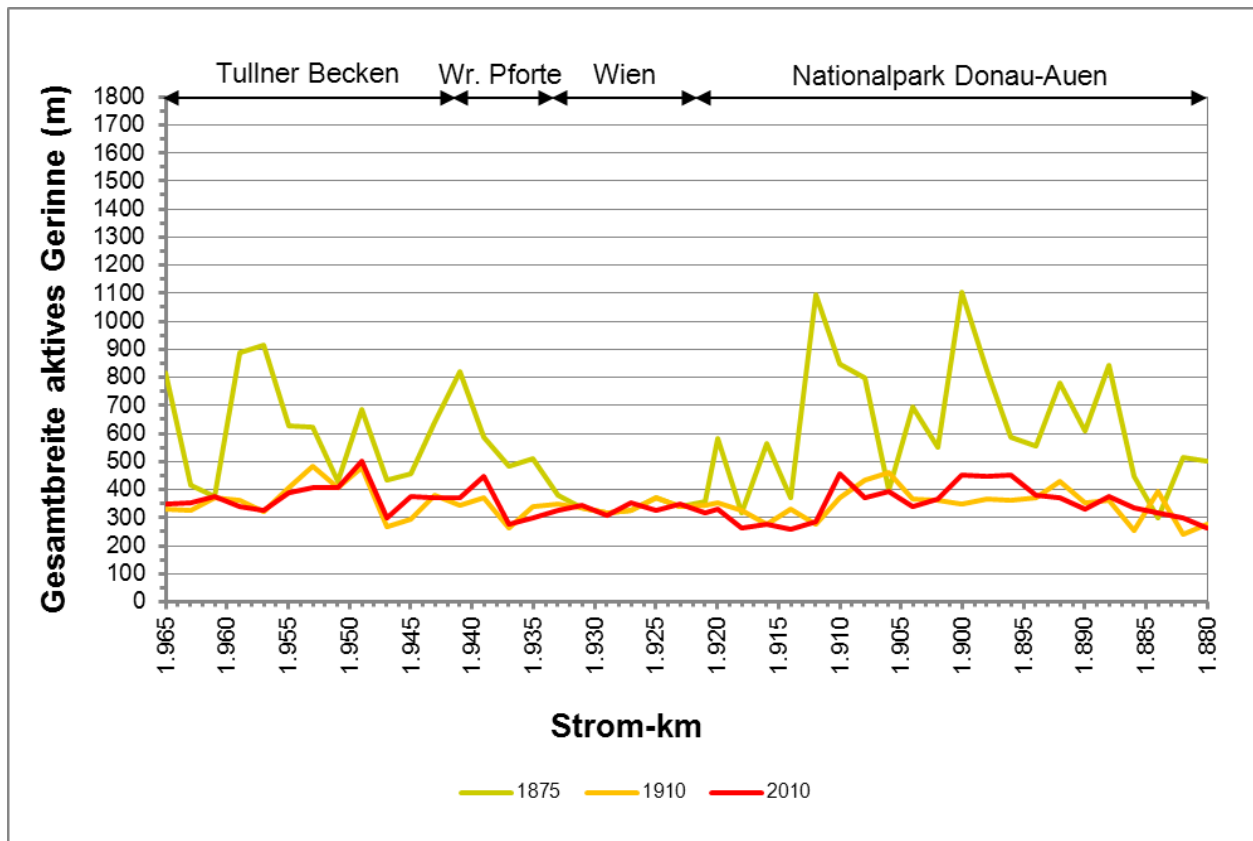


Abbildung 35: Längsverlauf der Gesamtbreiten (m) im gesamten Untersuchungsgebiet 1875 – 2010

Die weiteren Regulierungsmaßnahmen bis 1875 machen sich durch generell verringerte Gesamtbreiten bemerkbar (vgl. 1859 in Abbildung 34 und 1875/1910 in Abbildung 35). Am meisten betraf dies Wien, wo damals bereits die heutigen Breitenwerte erreicht wurden. Mit Ausnahme seines oberen Endes (Lobau) war der Nationalpark davon aber vergleichsweise wenig betroffen und wies um 1875 noch relativ große Breiten auf. Durch die Vollregulierung verringerten sich die Breiten bis 1910 in allen Bereichen annähernd auf das heutige Maß. Lediglich im Nationalpark ist 2010 eine geringfügig größere Gesamtbreite zu beobachten, die nicht auf Stauhaltungen zurückgeht.

3.5.2 Gewässerbreiten und Wellenschlag

Wie schon eingangs in Kapitel 2.2.3 erwähnt, wurde für die totale Sinuosität bei den schiffbaren Gewässern (Eupotamon A und B) zwischen Armen mit Schifffahrt und solchen ohne differenziert. Der von der Schifffahrt verursachte Wellenschlag hat besonders auf den in Ufernähe auf Kiesgrund abgelegten Fischlaich sowie auf die juvenilen Stadien der Fischfauna negative Auswirkungen (SCHIEMER et al. 2001). Insofern stellt der Wellenschlag also ein Qualitätskriterium der durchströmten Gewässerhabitate hinsichtlich ihrer fischökologischen Funktionsfähigkeit dar. Abbildung 36 zeigt den Anteil der vom Wellenschlag unberührten dynamischen Gewässerarme im Gesamtgebiet. Das Parapotamon A fließt hier auch in die Berechnung der Prozentwerte mit ein, obwohl es generell nicht vom Wellenschlag beeinflusst

wurde, da diese nur zeitweise durchströmten Neben-/Altarme normalerweise nicht für die Schifffahrt genutzt wurden.

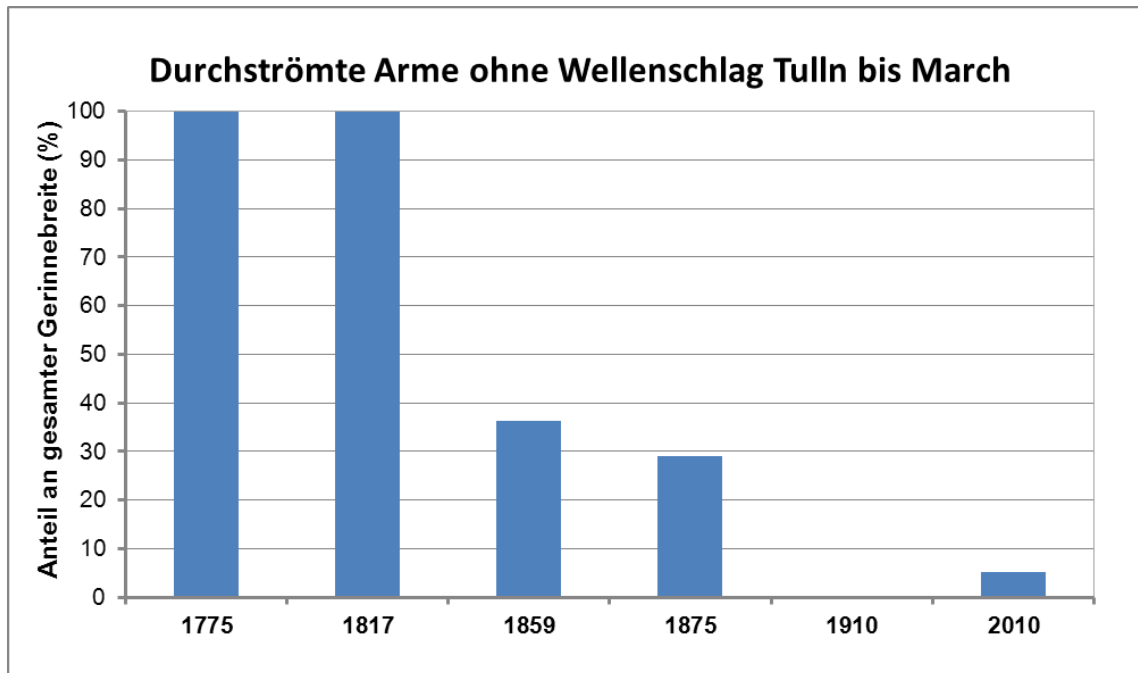


Abbildung 36: Anteil der Gewässer ohne Schifffahrt an der Gesamtbreite (%) im gesamten Untersuchungsgebiet 1775 – 2010

Die von der Schifffahrt unbeeinflussten Gewässer erfuhren (gemessen an deren Gesamtbreiten) im Untersuchungszeitraum seit 1817 eine rapide Abnahme (Abbildung 36). Dabei waren zwei unterschiedliche Prozesse ausschlaggebend. 1775 und 1817 zeigt sich die Situation vor dem Aufkommen der motorbetriebenen Schifffahrt. Nachdem diese um 1859 an der Donau bereits Einzug gehalten hat, sank der Anteil der vom Wellenschlag ungestörten Gewässer schlagartig auf 45% der Gesamtbreite ab. Danach führte die regulierungsbedingte Ausdünnung des Eupotamon B dazu, dass 1910 der Anteil der ungestörten durchströmten Gewässerbreiten im Gesamtgebiet nur noch 2% der Gesamtbreite ausmachte. Erst die in jüngerer Zeit errichteten Umgehungsgerinne, Vernetzungs- und Dotierungsmaßnahmen bewirkten in der aktuellen Zeitsituation einen geringfügigen Anstieg der nicht von der Schifffahrt betroffenen Gewässer vom Typ Eupotamon B und primär Parapotamon A. Dies lässt sich an der Entwicklung bis 2010 ablesen, wo die ungestörten Gewässerbreiten im Mittel einen Anteil von 9% der Gesamtbreite ausmachen. Dieser Wert erscheint auf den ersten Blick vergleichsweise groß, dabei ist aber zu bedenken, dass es sich nur um einen relativen Wert handelt, der auf die zum jeweiligen Zeitpunkt vorhandenen durchströmten Gewässer Bezug nimmt. Da sich zugleich seit 1817 die durchströmten Gewässer (Eupotamon A und B, Parapotamon A) bis heute um 64% verringert haben (bezogen auf ihre Länge bzw. totale Sinuosität), ist der Anteil der von der Schifffahrt nicht gestörten Gewässer absolut gesehen tatsächlich verschwindend gering.

In Wien verlief die beschriebene Abnahme der von Wellenschlag ungestörten Gewässerbreiten noch dramatischer, zumal das Aufkommen der Großschifffahrt und die regulierungsbedingte Abnahme der durchströmten Gewässer zeitlich noch enger zusammenfallen (Abbildung 37). Schon 1859 sind nur mehr 40% der lotischen Gewässer vom Wellenschlag unbeeinflusst und 1875 weist der Abschnitt keine derartigen ungestörten Habitate mehr auf. Die im Stauraum Freudenau durchgeführten ökologischen Begleitmaßnahmen (Stauraumbiotope) sind zu kurz bzw. zu weit verteilt, als dass sie bei der Berechnung dieses Parameters merklichen Einfluss hätten.

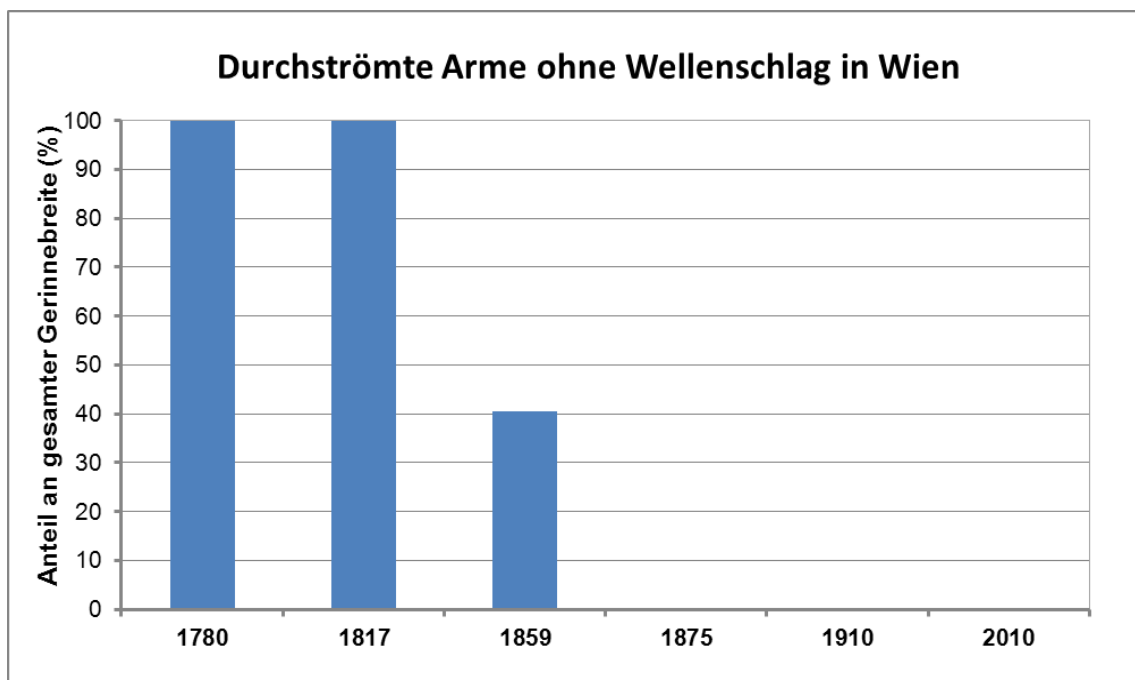


Abbildung 37: Anteil der Gewässer ohne Schifffahrt an der Gesamtbreite (%) bei Wien 1780 – 2010

Die Entwicklung im Tullner Becken, in der Wiener Pforte und im Nationalpark verlief ähnlich wie bereits für das gesamte Untersuchungsgebiet beschrieben, weshalb hier auf eine nähere Beschreibung verzichtet wird. Generell ist zu bemerken, dass an der Donau seit ca. 1830 lotische Habitate nicht nur in erheblichem Ausmaß reduziert wurden, sondern sich die verbliebenen Gewässer auch qualitativ hinsichtlich ihrer fischökologischen Funktionalität verändert haben, indem es nur mehr sehr wenige, von der Großschifffahrt unbeeinflusste Bereiche gibt.

3.5.3 Breiten der Schotterbänke

Eine weitere im *active channel* zu beobachtende Entwicklung betrifft die Verringerung der Schotterflächen. Im Zeitverlauf nehmen nicht nur die Breiten der dynamischen Gewässer, sondern auch die Breiten der Schotterbänke in diesen Gerinnen deutlich ab. Abbildung 38 illustriert dies erneut anhand der Medianwerte der mittleren, über die Transekte summierten Schotterbankbreiten (vgl. Abbildung 31).

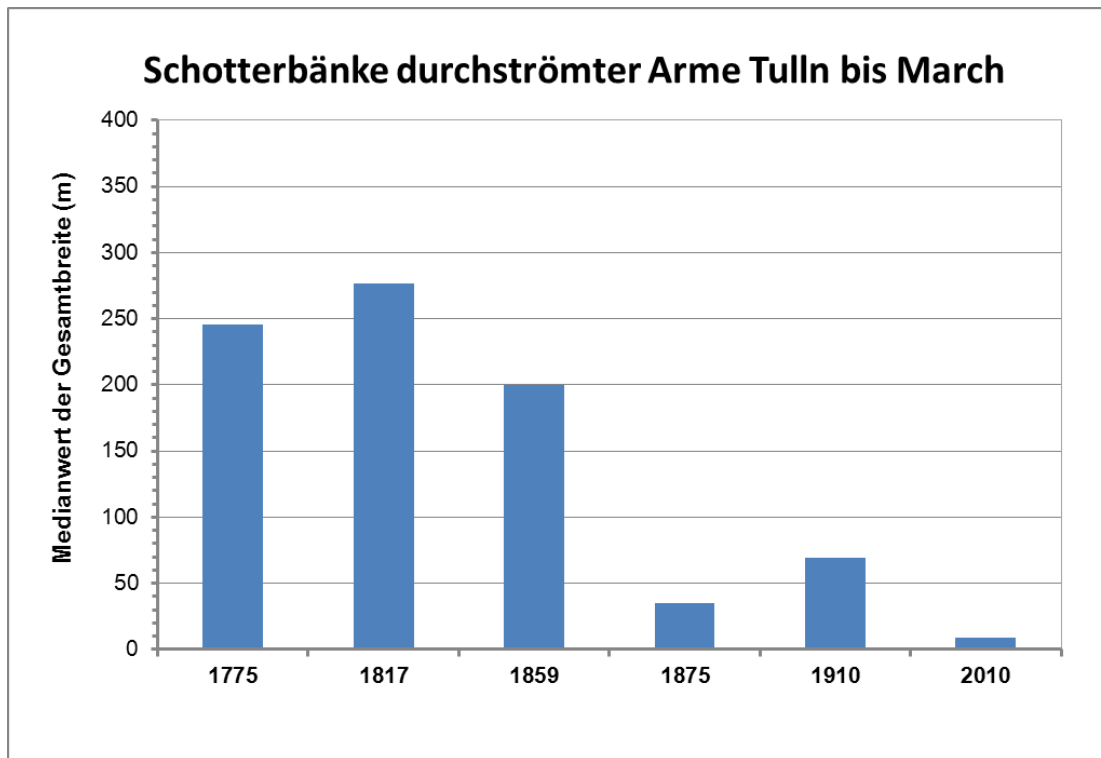


Abbildung 38: Medianwerte der Gesamtbreiten der Schotterbänke in lotischen Gewässern (Eupotamon A, Eupotamon B und Parapotamon A) im Gesamtgebiet 1775 – 2010

Beim Vergleich der Zeitschnitte 1775 und 1817 fällt ein leichter Anstieg der Breite auf, welche hier jedoch primär methodisch begründet ist. Der Aufnahmewasserstand der 1. Landesaufnahme (Grundlage für Zeitschnitt 1775/80) lag zwischen Niederwasser und Mittelwasser, wodurch offene Sedimentflächen nicht vollständig aufgenommen werden konnten. Ab 1817 erfolgte die Vermessung bei Niederwasser, weshalb hier auch die Breitenwerte mit ca. 280 m größer erscheinen. Der Rückgang zwischen 1817 und 1859 ist jedoch bereits größtenteils auf Regulierungsmaßnahmen zurückzuführen. Bis 1875 nahmen Schotterbänke drastisch ab, wobei auch hier kartografische Ungenauigkeiten zumindest teilweise eine Rolle spielen können. Der vergleichsweise hohe Wert von 70 m für 1910 ergibt sich dadurch, dass sich nach der um 1900 durchgeführten Niederwasser-Regulierung mittels Bühnen und Leitwerken in den Bühnenfeldern an den Innenufern von Flussbögen neue Schotterbänke entwickelt haben. Diese anthropogen induzierten Schotterhabitate verlandeten nach 1910 allmählich und entwickelten sich größtenteils zu bewachsenen Inseln, wozu auch die regulierungsbedingte Eintiefung der Donausohle und damit Absenkung des Donau-Wasserspiegels beigetragen hat.

Wien stellt auch die Schotterbreiten betreffend eine Art Extremfall dar (Abbildung 39). 1780 liegen diese noch im Durchschnitt des Gesamtgebietes bei 250 Meter, während sie bis 1817 auf annähernd 400 Meter ansteigen. Dieser Anstieg beruht einerseits auf die bereits zuvor erwähnten unterschiedlichen Aufnahmewasserstände, wodurch die Breiten von 1780 geringer erscheinen. Andererseits entwickelte hier die Donau nach der intensiven Hochwasserperiode gegen Ende des 18. Jahrhunderts bis 1817 zwei Hauptarme, wodurch über die Transekte gerechnet wahrscheinlich auch tatsächlich mehr Schotterflächen vorhanden waren. Ausgehend von den hohen Werten um 1817 liegen die Schotterbreiten in Wien mit 210 Meter 1859 noch leicht über dem Medianwert der gesamten Strecke. Ab 1875 weist der Abschnitt jedoch keinerlei Schotter im aktiven Gerinne mehr auf. Dies hängt mit den nach 1875 wiederholt ausgeführten Sohlbaggerungen in der Wiener Donau zusammen, aber auch mit den Niederwasser-Regulierung um 1900. Es ist aber anzunehmen, dass sich einige Jahre nach 1900 in den neu geschaffenen Bühnenfeldern wieder Sedimente abgelagert haben. Entweder lagen diese zu tief und traten nur bei extremem Niederwasser hervor, oder sie waren für die damalige Donaukartografie zu unbedeutend, um extra aufgezeichnet zu werden. Beim Einstau des Kraftwerkes Freudenu 1996 – 1997 wurden die zwischenzeitlich neu entstandenen Schotterbänke überstaut. Es wurden zwar zeitgleich neue Schotterhabitate im Stauraum angelegt, diese sind aber zu kurz und zu verteilt, als dass sie im Vergleich mit den historischen Situationen bemerkbar wären.

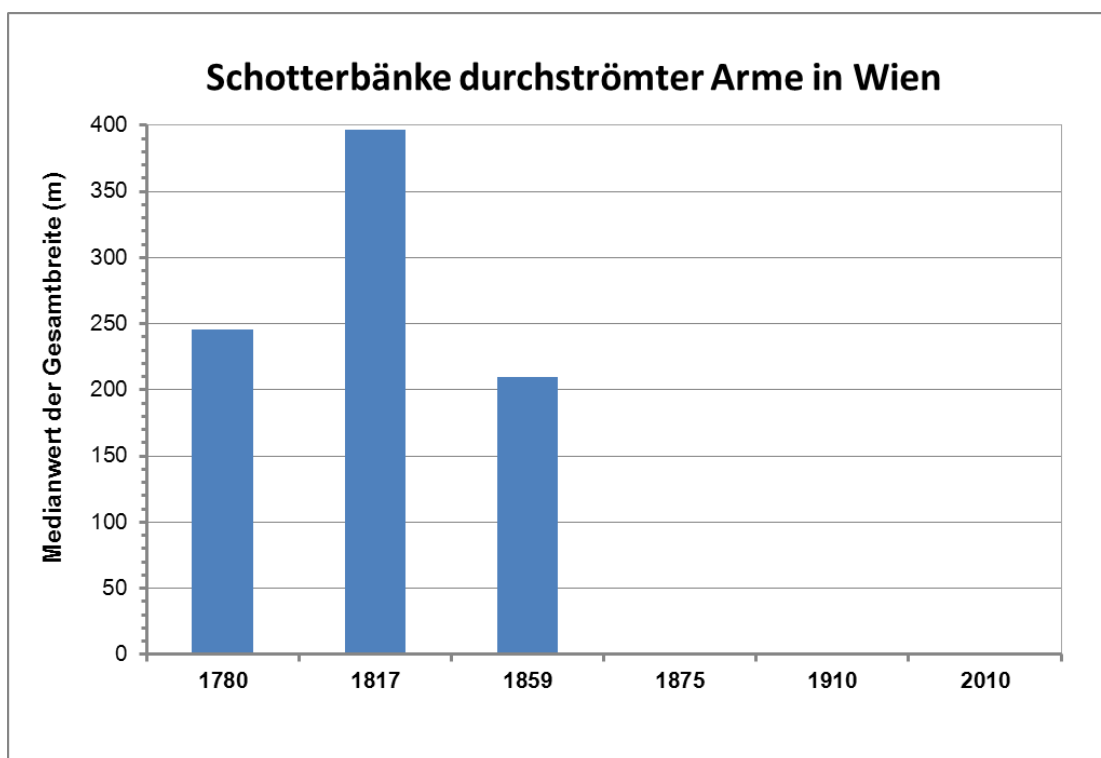


Abbildung 39: Medianwerte der Gesamtbreiten der Schotterbänke in lotischen Gewässern (Eupotamon A, Eupotamon B und Parapotamon A) bei Wien 1780 – 2010

Auch im Nationalpark wird das Maximum der Schotterbreiten um 1817 erreicht, was wahrscheinlich durch die kartografischen Ungenauigkeiten der 1. Landesaufnahme begründet ist (Abbildung 40). Die Zunahme liegt jedoch mit 280 Meter im Jahr 1817 auf niedrigerem Niveau als bei Wien. Die Auswirkungen der Regulierungsarbeiten nach 1817 auf die Breiten der lotischen Schotterhabitats sind zwar klar ersichtlich, aber im Gegensatz zu Wien ist hier kein endgültiger Verlust zu verzeichnen. Ein wesentlicher Grund für den Rückgang nach 1910 liegt wohl auch in der zuvor und in Kapitel 3.3 bereits angesprochenen Inselbildung auf den neu entstandenen Schotterbänken im regulierten Hauptstrom, welche durch die Eintiefung der Donausohle noch zusätzlich verstärkt wurde.

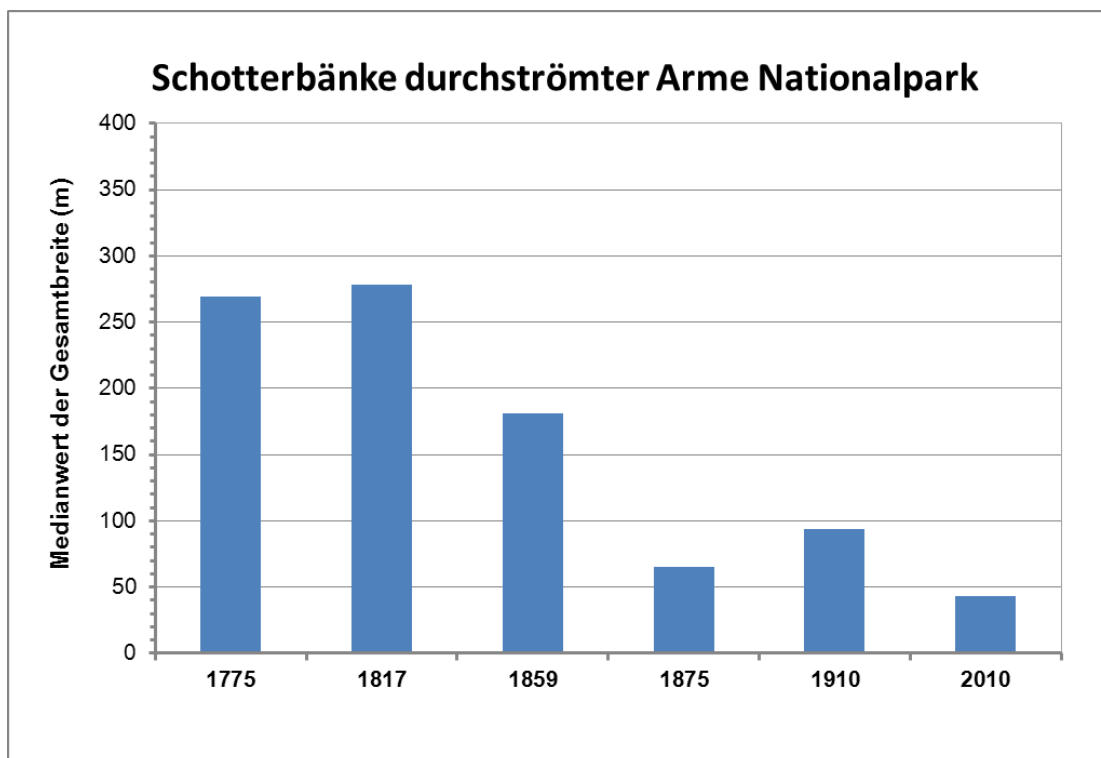


Abbildung 40: Medianwerte der Gesamtbreiten der Schotterbänke in lotischen Gewässern (Eupotamon A, Eupotamon B und Parapotamon A) im Nationalpark 1775 – 2010

Die Situation im Tullner Becken bezüglich der Schotterbänke in durchströmten Donau-Armen ist sehr ähnlich zu jener im gesamten Untersuchungsgebiet oder im Nationalpark. Um 1817 lagen hier die Gesamtbreiten der Schotterbänke noch bei 290 Meter und wurden bis 1910 auf unter 100 Meter reduziert. Der wesentliche Unterschied liegt jedoch darin, dass es 2010 keine derartigen Habitats mehr gibt, da diese im Zuge der Errichtung des Kraftwerkes Greifenstein 1981 – 1985 überstaut wurden.

In der Wiener Pforte lagen die Breitenwerte vor der Regulierung mit 75 – 150 Meter signifikant unter jenen in den anderen Abschnitten, was auch aufgrund der Lage im Durchbruchstal zu erwarten ist. Überraschenderweise steigt der Medianwert der Schotterbankbreite bis 1859 jedoch auf beinahe 250 Meter an, was auf den ersten Blick unverständlich erscheint. Wie bereits zuvor bei den Gesamtbreiten der aktiven Gerinne zuvor erwähnt, dürfte dies auf die Mobilisierung von Sedimenten durch Regulierungsarbeiten flussauf hervorgerufen worden sein;

Ebenso durch Wasserbaumaßnahmen direkt in der Pforte, wodurch andere, noch nicht verbaute Bereiche verstärkt umgelagert wurden. Bis 1910 wurde hier die Breite der Schotterbänke auf rund 30 Meter beschränkt.

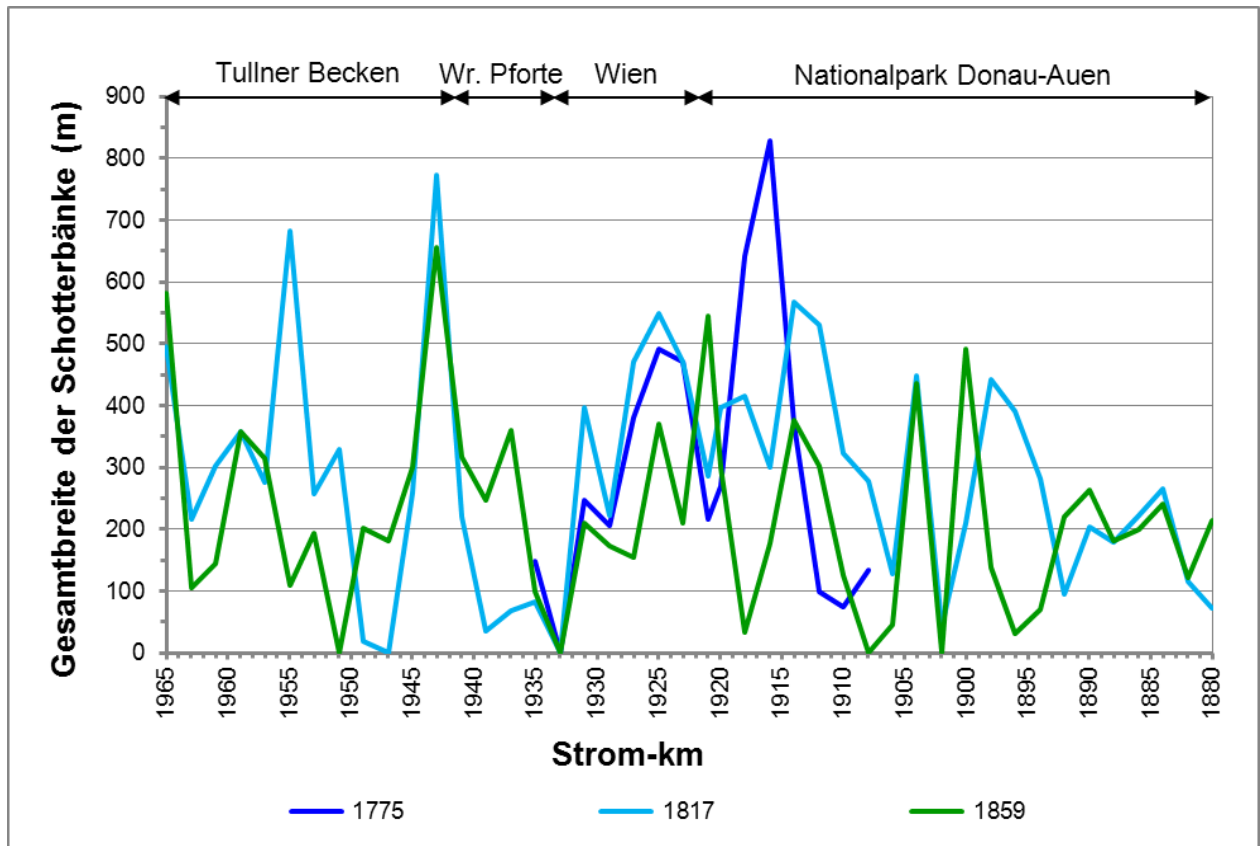


Abbildung 41: Längsverlauf der Gesamtbreiten (m) der Schotterbänke im gesamten Untersuchungsgebiet 1775 – 1859 (Tullner Becken 1775: keine Werte da Grundlagen zu ungenau)

Betrachtet man die über die Transekte summierten Breiten der Schotterbänke im Längsverlauf (Abbildung 41), stechen die Maxima im Tullner Becken mit 700 Meter, gegen Ende des Beckens bei Korneuburg mit 770 Meter und vor allem am Beginn des Nationalparks (Lobau) mit 830 Meter hervor. In allen Fällen sind die großen Schotterflächen auf starke Verlagerungen der Hauptstromarme zurückzuführen. Im Längsverlauf sind auch analog zu den Gesamtbreiten der lotischen Gewässer die generell größeren Schotterbreiten am Übergang vom Wiener Abschnitt zum Nationalpark erkennbar.

Die regulierungsbedingte Verringerung der Schotterflächen zwischen 1875 und 1910 in Abbildung 42 folgt demselben Muster, wie jene der Gesamtbreiten der Gewässer (vgl. Abbildung 35). In Wien sind bereits 1875 kaum mehr lotische Schotterhabitate vorhanden. Während die Breiten der Gewässer 1910 und 2010 weitgehend ident sind, existierten bei den Schotterflächen um 1910 noch erheblich mehr als heute. Infolge von Verlandungen, Sohlintiefungen bzw. Wasserspiegelabsenkungen und Einstau verschwanden diese bis 2010 weitgehend. Im gesamten Untersuchungsraum existieren heute nur mehr im Nationalpark Schotterhabitate nennenswerter Breite.

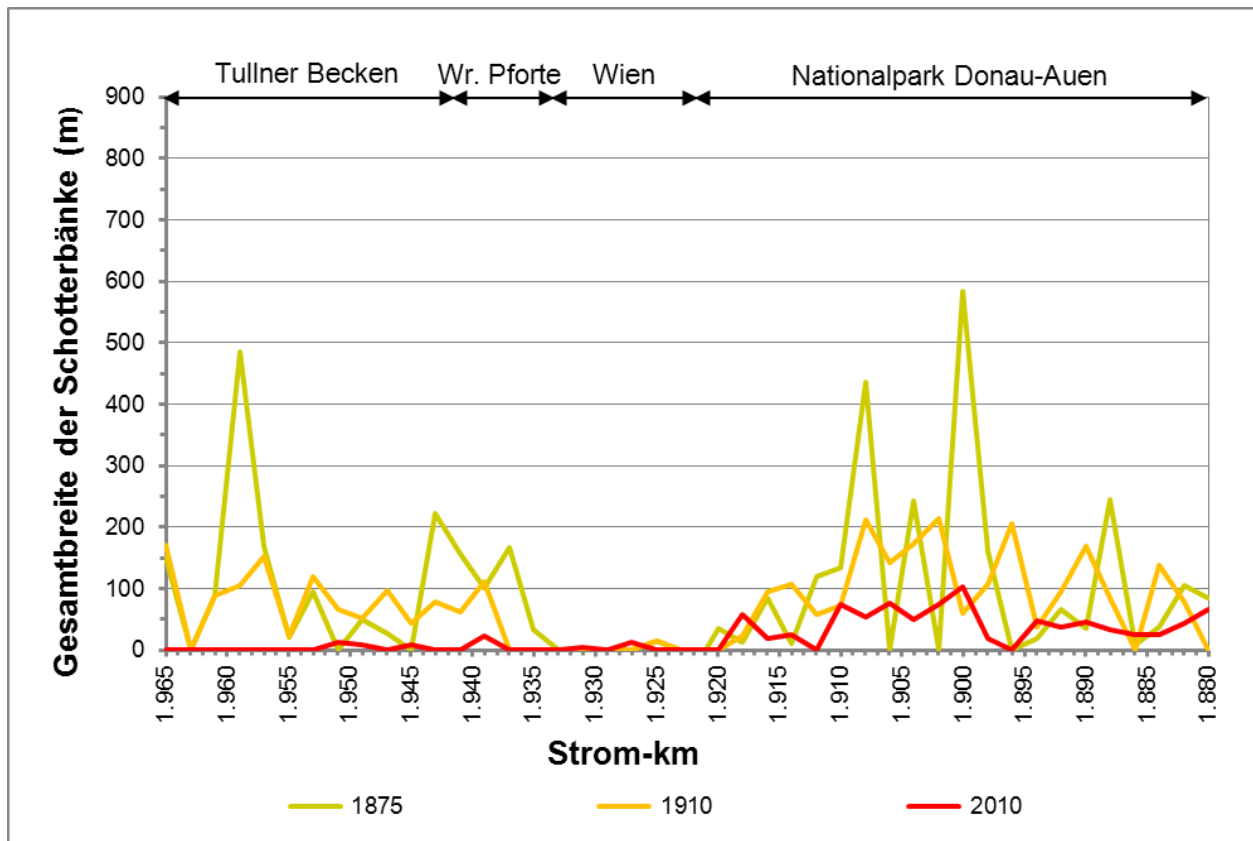


Abbildung 42: Längsverlauf der Gesamtbreiten der Schotterbänke (m) im gesamten Untersuchungsgebiet 1875 – 2010

Generell folgt die Entwicklung (Reduktion) der Schotterhabitate jener der lotischen Gewässer. Während bei den Gewässern zumindest der Hauptstrom (wenn auch durch Wellenschlag beeinflusst) bis heute erhalten geblieben ist, sind die lotischen Schotterhabitate größtenteils verschwunden (Abbildung 42).

Analog zu den in Kapitel 3.5.2 besprochenen Gewässern, waren die Schotterhabitate und die damit assoziierten Flachwasserhabitate seit ca. 1830 ebenfalls zunehmend vom Wellenschlag der Großschifffahrt betroffen. Der Prozentsatz jener Schotterflächen, die davon nicht betroffen waren, verhielt sich seit 1817 sehr ähnlich zu jenem der durchströmten Gewässer, weshalb hier auf eine eigene Darstellung verzichtet und auf Abbildung 36 (Gesamtbreiten ohne Wellenschlag) verwiesen wird.

3.6 Wasserbauten

Als letzter Erhebungsparameter wird in diesem Kapitel die anthropogene Einflussnahme in Form von Wasserbaumaßnahmen im untersuchten Donauabschnitt dargestellt. Hierfür werden die linearen und die flächigen Wasserbauten getrennt voneinander behandelt.

3.6.1 Lineare Wasserbauten

3.6.1.1 Gesamtes Untersuchungsgebiet

Abbildung 43 illustriert die Zusammensetzung und zeitliche Entwicklung der linearen Wasserbauten im Donauabschnitt zwischen Tulln und Theben. Wenig überraschend weist das Untersuchungsgebiet um **1775/80** den niedrigsten Ausbaugrad auf. Dennoch erreichten bereits damals alle Wasserbauten zusammen eine Gesamtlänge von 55km, was 70% der Talachsenlänge entspricht. Dieses Ausmaß mag auf den ersten Blick hoch erscheinen, es ist allerdings auch im Kontext der Erhebungsmethodik zu sehen, welche sämtliche, d.h. auch parallel oder nebeneinander bestehende wasserbauliche Strukturen, mit einschließt. Im Vergleich mit späteren Zeitsituationen ist allerdings das Ausmaß der Wasserbauten sehr klein. Es muss jedoch eingeräumt werden, dass auch im frühesten Zeitschnitt die Intensität menschlicher Eingriffe an manchen Flussabschnitten bereits sehr hoch war. Besonders das linke Donauufer in der Wiener Pforte, der Bereich bei Nußdorf sowie das Ufer bei der Leopoldstadt und vor allem der Donaukanal in Wien waren 1775/80 bereits stark wasserbaulich geprägt (vgl. LAGER, 2012).

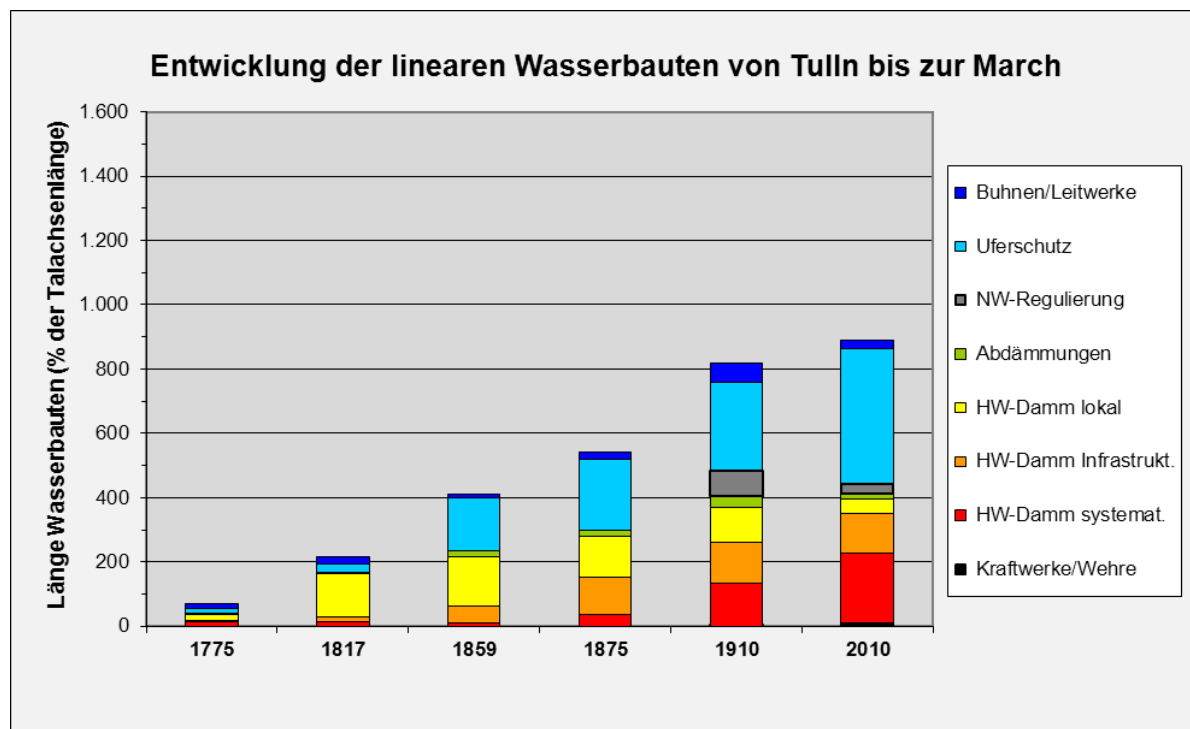


Abbildung 43: Lineare Wasserbauten bezogen auf die Länge der Talachse (%) im gesamten Untersuchungsgebiet 1775 – 2010

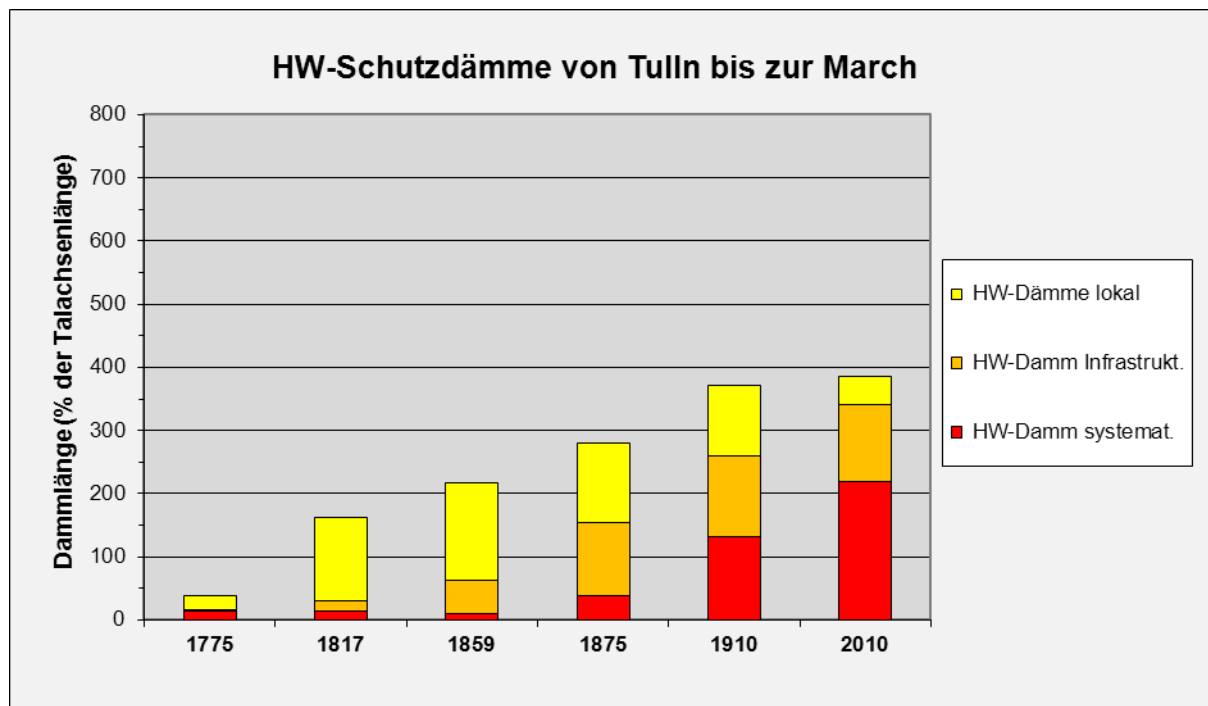


Abbildung 44: Entwicklung und Bautypen der Hochwasserschutzdämme (% der Talachsenlänge) im gesamten Untersuchungsgebiet 1775 – 2010

Betrachtet man die Wasserbauten um 1775/80 näher, so zeigt sich, dass nur etwas weniger als die Hälfte (mit einer Gesamtlänge von 25,5km = ca. 32% der Talachsenlänge) Regulierungsbauten im engeren Sinn waren (Tabelle 4). Darunter fallen Uferschutzbauten, Leitwerke, Sporne/Buhnen und Abdämmungen.

Tabelle 4: Länge der Wasserbauten (km) im Gesamtgebiet (1775 – 2010)

| Wasserbau-Typ | 1775 | 1817 | 1859 | 1875 | 1910 | 2010 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Uferschutz/-verbauung | 13 | 22 | 128 | 172 | 213 | 329 |
| Buhnen / Leitwerke | 11 | 15 | 8 | 17 | 48 | 20 |
| Abdämmungen | 1 | 3 | 15 | 15 | 28 | 13 |
| Niederwasser-Regulier. | 0 | 0 | 0 | 0 | 62 | 25 |
| HW-Damm lokal | 17 | 103 | 120 | 98 | 86 | 36 |
| HW-Damm systematisch | 12 | 11 | 8 | 30 | 104 | 172 |
| HW-Damm Infrastruktur | 1 | 13 | 41 | 90 | 100 | 94 |
| Kraftwerke / Wehre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| MW-Regulierungen | 25,5 | 41 | 151 | 202 | 289 | 362 |
| HW-Dämme | 29,5 | 127 | 169 | 218 | 290 | 302 |
| gesamt | 55 | 168 | 321 | 420 | 640 | 696 |

Mit 29,5km Länge (= ca. 38% der Talachsenlänge) stellten Hochwasserschutzdämme die Mehrheit der Wasserbauten dar. Neben den in Bau befindlichen größeren Hochwasserdämmen in der Wiener Pforte (Hubertusdamm) und bei Wien handelte es sich ansonsten größtenteils um

lokale Schutzmaßnahmen. Diese befanden sich meist im Hinterland und sollten Objekte wie Schlösser, größere Bauernhöfe oder Ortskerne sichern. Diese lokalen Dämme entstanden stückweise im Laufe des 18. Jahrhunderts ohne systematische Planung. Vermutlich beschleunigten die seit 1768 vermehrt aufgetretenen Hochwässer den Aus-Bau solcher Dämme. Der direkte ökomorphologische Effekt dieser Bauten ist dabei noch als gering zu bezeichnen, da sie einerseits nur lokal wirksam waren und bei größeren Hochwässern überflutet wurden, und andererseits die systematisch errichteten Dämme bei Wien unvollendet blieben bzw. 1787 durch ein Hochwasser teilweise wieder zerstört wurden.

Die verbreitetste Verbauungsmethode an den Ufern der durchströmten Gewässer bestand im 18. und frühen 19. Jahrhundert in der Errichtung von Spornen/Buhnen und Leitwerken. Diese Bautypen erreichten im Gesamtgebiet um 1775 bereits ein Ausmaß von rund 11 km Länge (= 14% der Talachsenlänge) und sind zum überwiegenden Teil auf die damalige Situation in der Wiener Pforte zurückzuführen, wo von Langenzersdorf bis gegenüber Nußdorf um 1775/80 der Hubertusdamm errichtet wurde. Um diesen vor seitlicher Erosion durch die Donau zu schützen, wurde er mit über 50 Spornen zur Donau hin abgesichert. Seit jeher bestand hier eine ausgeprägte Ausuferungstendenz der Donau Richtung Nordosten ins Marchfeld, welche man damals mit einer Kombination von Buhnen und Hochwasserschutzdämmen hintan zu halten versuchte.

Bis **1817** kam es im Gesamtgebiet zu einem sehr ausgeprägten Anstieg bei den lokalen Hochwasserdämmen, welcher auf die besonderen hydrologischen Bedingungen gegen Ende des 18. Jahrhunderts zurückzuführen ist (die Entwicklung der Hochwasserschutzbauten ist in Abbildung 44 gesondert im Detail dargestellt). Um 1817 existierten bereits Wasserbauten mit einer Länge von insgesamt 168km, was 215% der Talachsenlänge entspricht. Neben den zahlreichen lokalen Maßnahmen entstanden bereits auch erste hochwassersichere Straßendämme. Es kam auch zu Zuwächsen bei den Uferverbauungen sowie den Buhnen und Leitwerken. Um 1817 traten zunehmend stabile Längsbauwerke in Form steinerner Ufersicherung an die Stelle von Querbauwerken (Sporne/Buhnen) aus Holz (HOHENSINNER et al., submitted a).

Der Anstieg der Wasserbauten auf über 400% der Talachsenlänge um **1859** ist in erster Linie den Zuwächsen bei den Uferverbauungen geschuldet, welche in der Periode 1817 – 1859 erstmals im größeren Stil errichtet wurden. Es waren somit insgesamt bereits so viele Wasserbauten vorhanden, dass sie hintereinander gereiht vier Mal so lang wie der gesamte Donauabschnitt waren. Auch wurden bis 1859 zahlreiche Dämme für eine hochwassersichere Verkehrsinfrastruktur (Straßen, Eisenbahnlinien) errichtet. Des Weiteren kann man 1859 Abdämmungsmaßnahmen an den Verzweigungen zu Neben- und Altarmen im Ausmaß von 19% der Talachsenlänge beobachten.

1875 bestanden bereits lineare Wasserbauten im Ausmaß von rund 540% der Talachsenlänge (= 420km). In diesem Zeitschritt kam es vor allem zu einer Ausweitung der Ufersicherungen und der Dämme für Verkehrsinfrastruktur im Wiener Abschnitt. Letztere erreichten um 1875 mit 115% der Talachsenlänge bereits fast das heutige Niveau. Ebenfalls tauchen erste

Teilabschnitte der auch heute noch in veränderter Form bestehenden, systematisch errichteten Hochwasserschutzdämme auf (vgl. Abbildung 44).

Die Periode zwischen 1875 und **1910** lässt sich hinsichtlich der Regulierungsbemühungen als eine besonders intensive Phase charakterisieren. Damals wurden besonders viele Abdämmungen vorgenommen, wie auch Uferverbauungen, Leitwerke und Sporne. Der systematische Ausbau der Hochwasserdämme schritt vor allem flussab von Wien zügig voran, wodurch die zahlreichen lokalen Schutzdämme im Hinterland allmählich an Bedeutung verloren. Im Zeitschnitt 1910 taucht erstmals auch ein neuer Bautyp auf: zwischen 1898 und 1904 wurden in weiten Strecken tiefliegende Bühnen und Leitwerke für die Niederwasserregulierung eingebaut. Zweck dieser Maßnahmen war es, der Schifffahrt auch bei Niederwasser ausreichend Fahrwassertiefe zu sichern. Um 1910 bestanden bereits ca. 62km solcher Bauten. Mit rund 820% bezogen auf die Talachsenlänge (= 640km) erreichte die gesamten linearen Wasserbauten damals bereits annähernd das heutige Niveau.

Bis **2010** kam es noch besonders im Bereich des systematischen Hochwasserschutzes zu größeren Zuwächsen, wodurch sich diese seit 1910 annähernd verdoppelten. Heute erreichen diese Dämme ein Ausmaß von ca. 220% der Talachsenlänge, was etwas plakativ dargestellt bedeuten würde, dass das Umland der Donau im Untersuchungsgebiet auf beiden Seiten abgedämmt ist (tatsächlich sind die Dämme bei Wien stärker konzentriert, während es z.B. im Nationalpark am rechten Ufer größtenteils keine Dämme gibt). Bis 2010 gab es auch nochmals einen signifikanten Anstieg der Uferverbauungen auf insgesamt 329km (ca. 420% der Talachse). Im Gegensatz dazu haben sich die Bauten der Niederwasserregulierung etwas verringert. Die meisten Bauten von 1910 sind zwar immer noch vorhanden, wurden aber stark überstaut, wodurch sie ihren ursprünglichen Zweck und ihre flussmorphologische Funktion verloren haben. Deshalb wurden die davon betroffenen NW-Werke für 2010 nicht gewertet. Aktuell machen die linearen Wasserbauten im gesamten Untersuchungsgebiet 696km beziehungsweise 890% der Talachsenlänge aus. Zugleich ist ein struktureller Wandel in der Zusammensetzung der Bauten zu beobachten: Abdämmungen und lokale Hochwasserdämme haben aufgrund bereits verlandeter Gewässer bzw. wegen des bereits erfolgten systematischen Hochwasserschutzes an Bedeutung verloren.

Als Maß für die Intensität der wasserbaulichen Eingriffe in den Gewässerlebensraum wurde die sogenannte „**Regulierungsintensität**“ berechnet. Diese gibt an, wieviel Prozent der Ufer des Hauptstromes bzw. der Hauptstrom-Arme durch Bauten der Mittelwasserregulierung (Uferschutz, Leitwerke, Sporne/Bühnen, Abdämmungen) morphologisch beeinflusst und stabilisiert wurden. Nicht berücksichtigt werden dabei Hochwasserschutzmaßnahmen und Niederwasserwerke. Abbildung 45 illustriert die Regulierungsintensität an Ufern aller lotischen Gewässer (Eupotamon A und B). In den sehr frühen und späten Zeitsituationen verläuft dabei der Verbauungsgrad am Hauptstrom (Eupotamon A) und bezogen auf alle durchströmten Gewässer gleich. 1910 und 2010 hängt dies damit zusammen, dass es außer dem Hauptstrom und dem Donaukanal kaum noch andere durchströmte Gewässer vom Typ Eupotamon B gibt. Am Beginn der Zeitreihe waren nur rund 3% der genannten Ufer verbaut. Bis 1817 hat sich dieser Wert auf rund 5% bzw. 6% verdoppelt, wodurch man – auf das gesamte

Untersuchungsgebiet bezogen – nur von einer marginalen Beeinträchtigung der naturgemäß dynamischen Uferbereiche sprechen kann. Zwischen 1817 und 1910 ist jedoch ein weites Auseinanderklaffen bzw. eine verstärkte Regulierungstätigkeit am Hauptstrom zu beobachten. Waren 1859 bereits 55% der Hauptstromufer befestigt, so betraf dies nur 27% aller lotischen Gewässer. Am Ende der Wiener Donauregulierung waren bereits 65% des Hauptstromes reguliert, während die Regulierung der anderen durchströmten Arme noch hinterher hinkte. Heute sind 91,5% der Hauptstrom-Arme beziehungsweise 91,1% aller durchströmten Arme verbaut. Wie bereits erwähnt ist dabei zu beachten, dass es heute kaum mehr andere durchströmten Arme außer den Hauptstrom gibt. Der leichte Rückgang seit 1910 beruht einerseits auf ökologisch orientierten Rückbaumaßnahmen, andererseits sind Uferschutzbauten stellenweise durch Erosion oder unter mächtigen Sedimentschichten verschwunden.

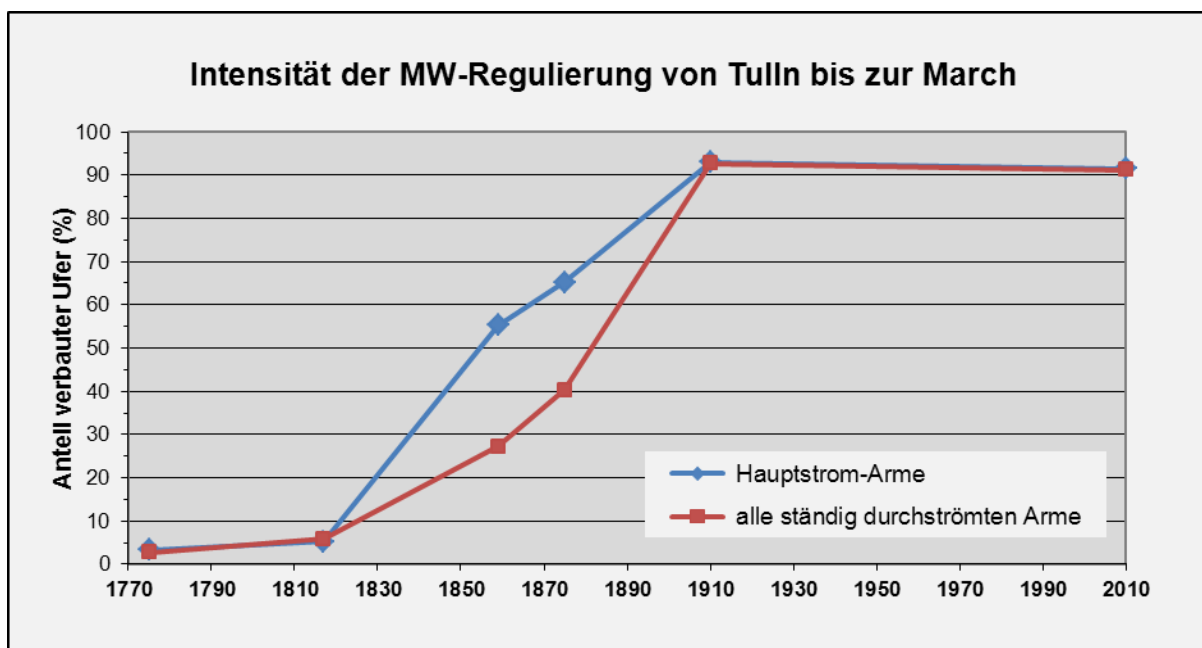


Abbildung 45: Intensität der MW-Regulierung (% verbauter Ufer) im gesamten Untersuchungsgebiet 1775 – 2010

3.6.1.2 Wien

Der Wiener Abschnitt zeigt über den gesamten Zeitverlauf hinweg die mit Abstand intensivste Wasserbautätigkeit im Vergleich zu den anderen Teilabschnitten (Abbildung 46). Lediglich um 1780 ist der talachsenbezogene Wert der Wiener Pforte um rund 30% höher. Diese Ausnahme lag an der bereits beschriebenen Bautätigkeit am Hubertusdamm zwischen Langenzersdorf und ungefähr Jedlese, um der damaligen Ausuferungstendenz der Donau nach Nordosten Herr zu werden (welche im Übrigen dem natürlichen Verlauf der Talachse folgte; vgl. Abbildung 15).

Mit linearen Wasserbauten von rund 24km Länge (= 200% der Talachsenlänge) wies der Wiener Abschnitt bereits um **1780** deutliche Zeichen menschlicher Einflussnahme auf die Gewässer auf. Diese konzentrierten sich großteils auf den Bereich um den oberen und mittleren Donaukanal. Hier bestanden auch schon in dieser frühen Situation ausgeprägte, längere

Uferverbauungen, welche um 1775/80 sonst nur unmittelbar vor den Stadtgebieten von Tulln und Hainburg existierten. Der Zeitschnitt zeigt in Wien insgesamt bereits ein heterogenes Bild an Bautypen: im Stadtgebiet zwischen Donaukanal und Hauptstrom gab es mehrere lokale Hochwasserschutzdämme, zahlreiche Buhnen und Leitwerke sowie bereits erste vereinzelte Abdämmungsmaßnahmen (siehe auch Entwicklung der Hochwasserbauten in Abbildung 47).

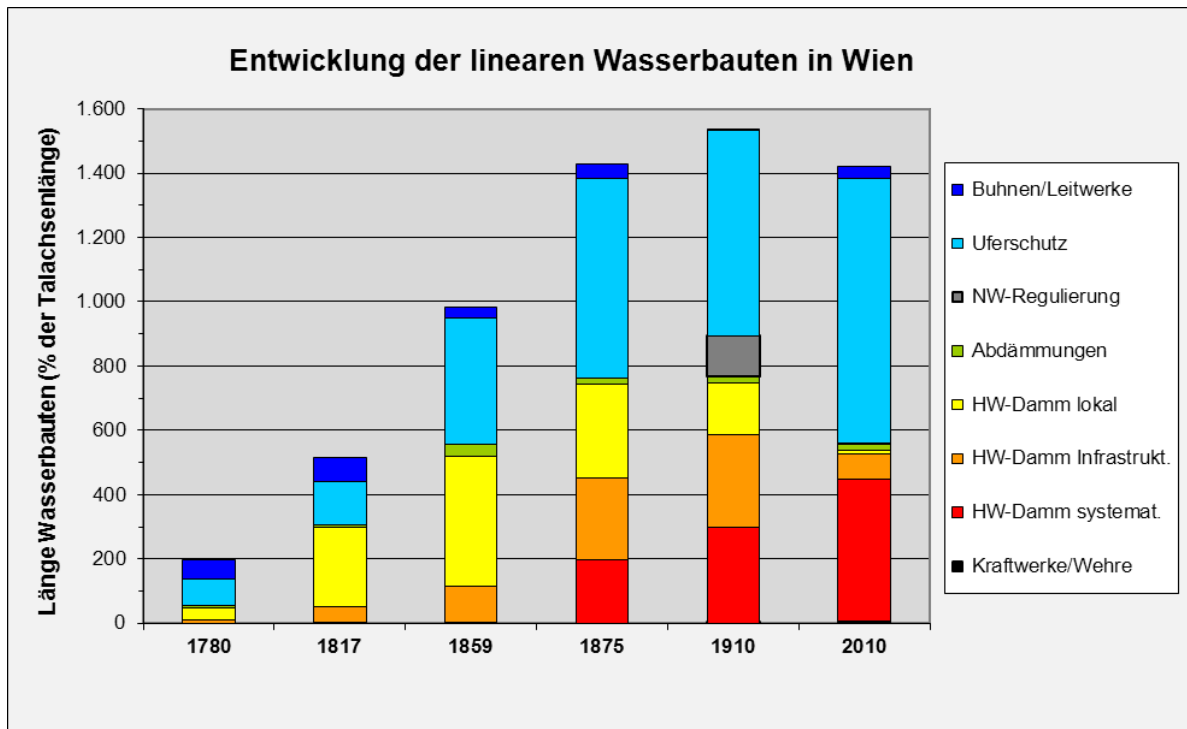


Abbildung 46: Lineare Wasserbauten bezogen auf die Länge der Talachse (%) in Wien 1780 – 2010

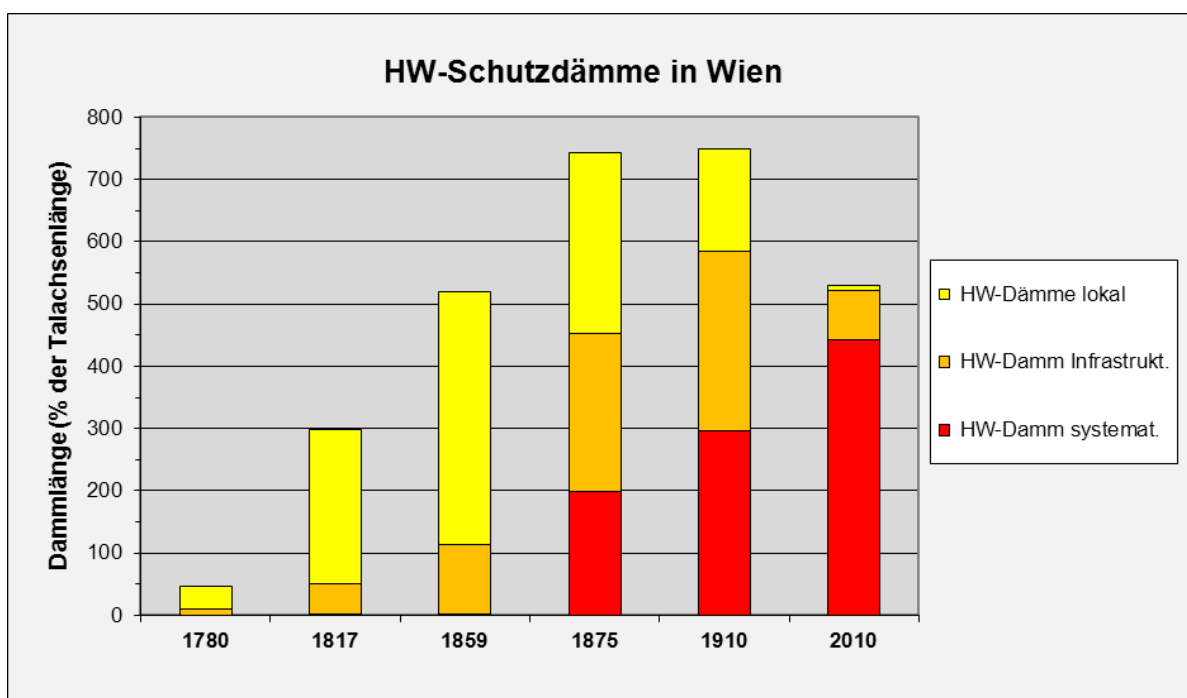


Abbildung 47: Entwicklung und Bautypen der Hochwasserschutzdämme (% der Talachsenlänge) in Wien 1780 – 2010

Bis **1817** kam es vorrangig zur Errichtung weiterer lokaler Dämme, viele davon auch am nördlichen Donauufer; zudem wurden Uferschutzmaßnahmen am Donaukanal weiter intensiviert. Eine rege Bautätigkeit herrschte auch bei Nußdorf, wo das Einlaufbauwerk (Nußdorfer Vorkopf) und der Gegensporn am gegenüberliegenden Ufer mehrmals umgebaut wurden (vgl. HOHENSINNER et al. submitted b; LAGER, 2012).

1859 war der Uferschutz des Donaukanals annähernd komplett, wobei auch der Hauptstrom bereits umfassende Uferverbauungen aufwies. Im Prinzip war er bereits vollständig reguliert, da alle Pralluferabschnitte und auch einige Gleituferebereiche befestigt wurden. Daneben lassen sich deutliche Anstiege der lokalen Hochwasserschutzdämme und Dämme für Verkehrsinfrastruktur, sowie zahlreiche, am nördlichen Donauufer lokalisierte Abdämmungen beobachten. Die Gesamtlänge der Maßnahmen betrug damals mit 119km bereits annähernd 1000% der Talachse, d.h. die zehnfache Länge des Donautal-Abschnittes.

Die große Donauregulierung zwischen 1870 und **1875** in Wien spiegelt sich in der signifikanten Zunahme der meisten Wasserbautypen wider. Neben einer vollständigen Befestigung der neu geschaffenen Ufer wurden auch systematisch Hochwasserschutzdämme an beiden Ufern geschaffen. Demnach machten diese Dämme 200% der Talachsenlänge aus. Hingegen gingen abdämmend wirkenden Maßnahmen zurück, da viele Neben-/Altarme ohnehin zugeschüttet wurden. Alle Wasserbauten zusammen kamen 1875 auf die 14fache Länge der Talachse.

Für die Situation um **1910** ist das Höchstmaß an Wasserbauten zu verzeichnen. Dies geht besonders auf die das gesamte Nordufer des Hauptstromes abdeckenden Niederwasserregulierungen, sowie einen weiteren Anstieg bei den systematischen Dämmen zurück. In Summe kommen so alle Wasserbauten auf eine Gesamtlänge von ca. 185km oder rund 1530% der Talachsenlänge.

Aktuell ist im Vergleich zu 1910 ein leichter Rückgang auf etwa 1400% zu verzeichnen. Diese Reduktion ist vor allem auf die Überstauung der Niederwasserregulierungen im Zuge der Errichtung des Kraftwerkes Freudenu, sowie das Obsoletwerden lokaler Hochwasserdämme und mehrerer Infrastrukturdämme zurückzuführen. Es gab andererseits aber auch einen markanten Anstieg der Uferverbauungen. Diese resultiert aus der Errichtung des Entlastungsgerinnes (Neue Donau), wodurch sich dieser Bautyp parallel zum Hauptstrom praktisch verdoppelte.

Der nach Haupt- und Nebenarmen differenzierte Verlauf der Regulierungsintensität zeigt in Wien einen ungewöhnlichen Verlauf, da sich die Kurven zweimal schneiden (Abbildung 48). Dies liegt einerseits am Einfluss des Donaukanals mit seiner signifikanten Länge als stark verbauter Nebenarm, welcher schon sehr früh eine relativ hohe Regulierungsintensität aufwies (siehe 1817 im Diagramm). Andererseits liegt es daran, dass der Donaukanal um 1875 bereits vollständig reguliert war, während am Ende der großen Donauregulierung die Ufer am Hauptstrom noch nicht ganz befestigt waren. Da im Zuge der Regulierung weite Bereiche des Umlandes von der Donau abgedämmt wurden, wurden zunächst noch einige Abschnitte am nördlichen Ufer zur Entwässerung des Umlandes und der verbliebenen Restgewässer offen

gelassen. Bis 1910 wurden auch die letzten Uferbereiche verbaut. Seit 1910 beträgt die Regulierungsintensität der durchströmten Gewässer in Wien annähernd 100%.

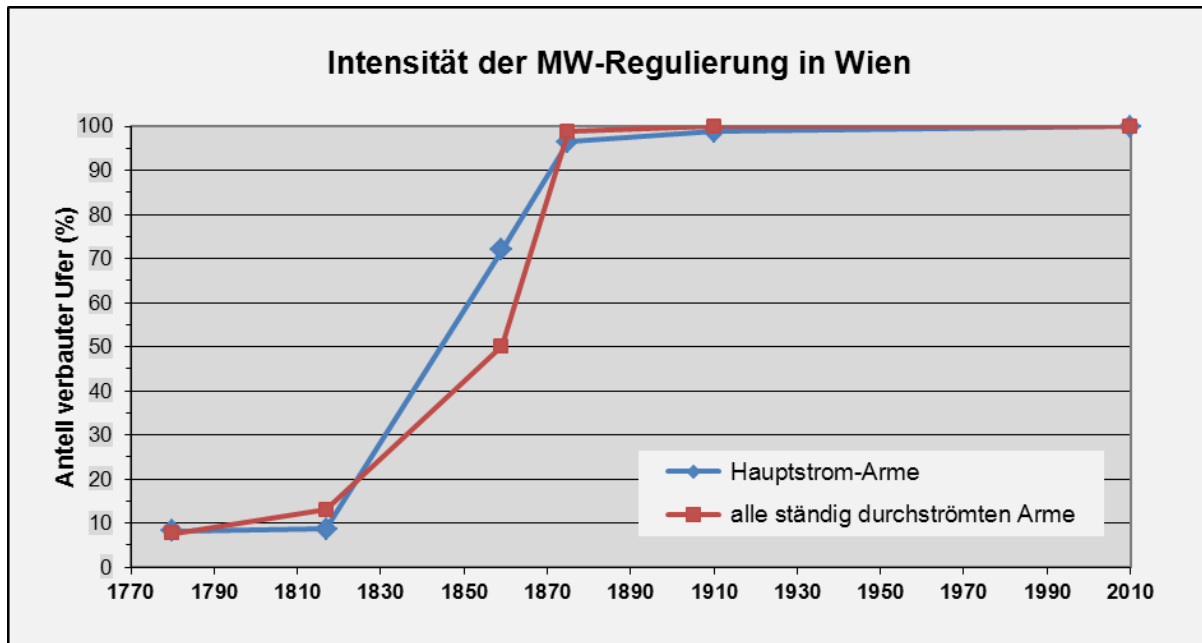


Abbildung 48: Intensität der MW-Regulierung (% verbauter Ufer) in Wien 1780 – 2010

3.6.1.3 Nationalpark

In einem städtisch geprägten Gebiet wie in Wien ist es naheliegend, dass aufgrund des erhöhten Nutzungsdruckes die Wasserbaumaßnahmen seit jeher umfangreicher waren als in ländlichen Gebieten. Der Vergleich des Wiener Abschnittes mit jenem im Nationalpark Donau-Auen hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes der Wasserbautätigkeit bringt dies klar zum Vorschein. Mit den rund 260km langen Wasserbauten (= 770% bezogen auf die Talachsenlänge) ist der Umfang der Bauten aktuell zwar wesentlich geringer als in Wien oder in der Wiener Pforte, liegt aber nur geringfügig unter jenem im Tullner Becken (Abbildung 49). 1875 war dies jedoch noch anders: damals hinkte die Regulierungstätigkeit im Nationalpark noch jener aller anderen Donauabschnitte hinterher.

Interessanterweise war das Ausmaß der Wasserbauten im Nationalpark zwischen 1775 und 1859 bereits größer als im Tullner Becken. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bereits um **1775** zahlreiche lokale Hochwasserschutzdämme bestanden, welche ausschließlich am nördlichen Donauufer im Marchfeld lagen, wo sie Ortskerne, Jagdschlösser bzw. oftmals auch Ackerflächen und Bauernhöfe schützen sollten (Abbildung 50). Die ökomorphologischen Auswirkungen dieser Bauten waren aber eher gering; zudem wurden die Bauten bei größeren Hochwässern überflutet oder zerstört. In der Lobau gab es jedoch ein paar längere Dämme nahe an Gewässern, welche im Hochwasserfall wohl dazu geeignet waren, die natürliche morphologische Entwicklung stärker zu beeinflussen.

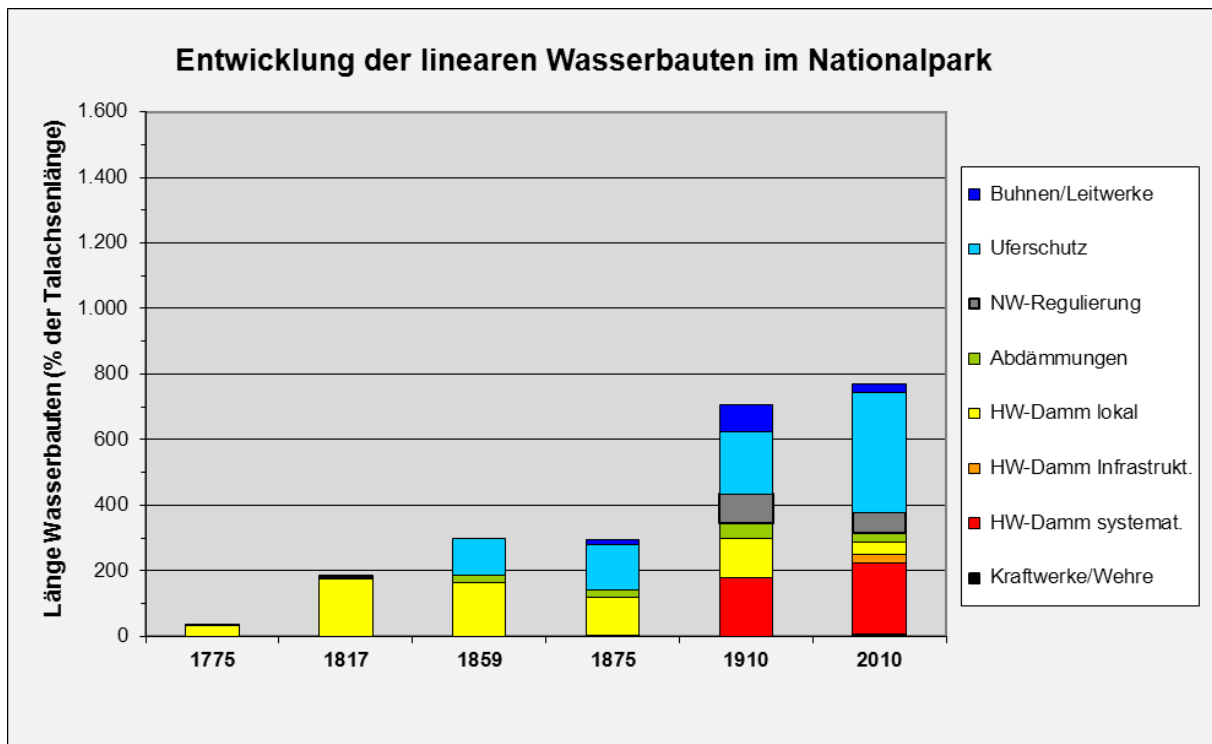


Abbildung 49: Lineare Wasserbauten bezogen auf die Länge der Talachse (%) im Nationalpark 1775 – 2010

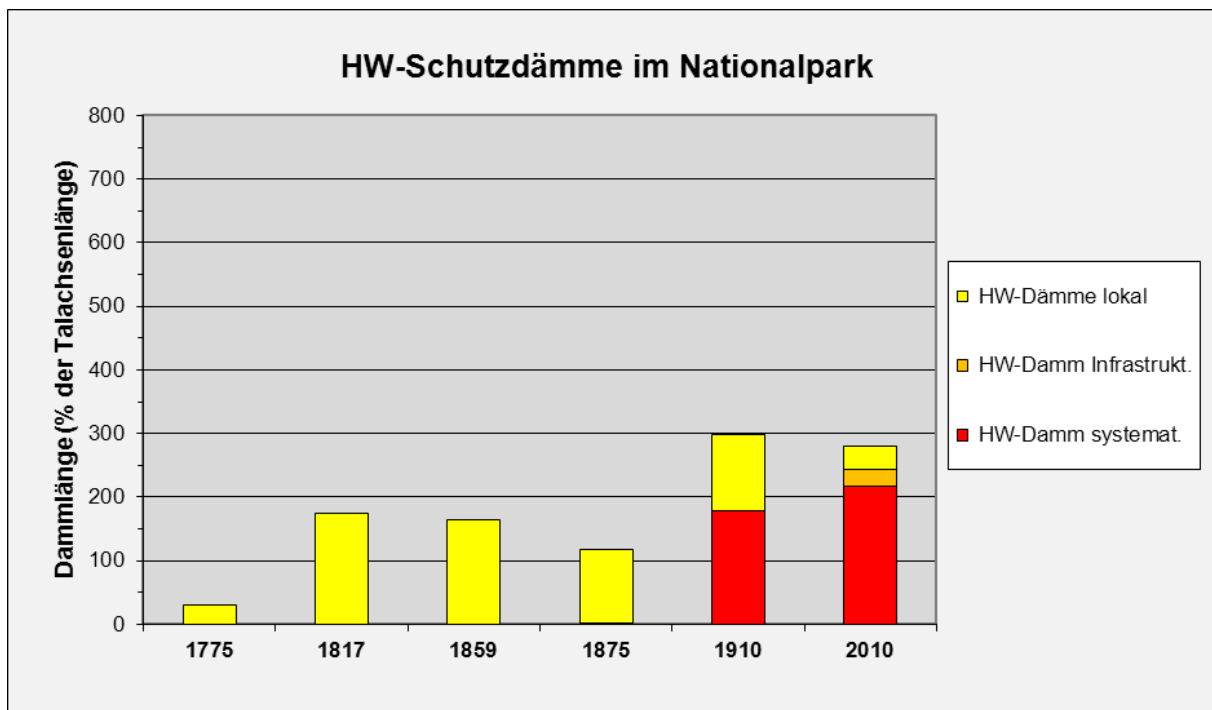


Abbildung 50: Entwicklung und Bautypen der Hochwasserschutzdämme (% der Talachsenlänge) im Nationalpark 1775 – 2010

Bis 1817 kam es zu einem erheblichen Zuwachs an lokalen Dämmen, von denen manche nun auch am südlichen Donauufer errichtet wurden. Über 90% der Wasserbauten fallen 1817 unter die Kategorie der lokalen Hochwasserschutzdämme. Grund für den starken Zuwachs der

Dämme seit 1775 war vermutlich die Zunahme der Hochwässer am Ende des 18. Jahrhunderts. Aufgrund ihrer Länge von insgesamt 59km beziehungsweise 174% der Talachse war in Hinblick auf die Häufigkeit der Überflutungen bereits ein signifikanter menschlicher Einfluss gegeben. Die meisten der Dämme lagen jedoch am Rande oder außerhalb des rezenten Auegebietes nördlich der Donau und dienten dem Schutz landwirtschaftlich genutzter Flächen und kleiner Siedlungen.

Bis **1859** entstanden auch im Nationalpark längere gesicherte Uferbereiche sowie zahlreiche Abdämmungen, welche in Summe auf 45km oder 134% der Talachsenlänge kamen. Zusammen mit den Hochwasserschutzdämmen bestanden damit bereits rund 100km an Bauten (ca. 300% der Talachse).

Zwischen 1859 und **1875** kam die Regulierungstätigkeit anscheinend zum Erliegen, da sich das Ausmaß der Bauten kaum änderte. Bei genauerer Betrachtung ist aber zu erkennen, dass einige Hochwasserdämme verschwanden, während neue Ufersicherungen, Buhnen und Leitwerke errichtet wurden. Im Nationalpark begann erst nach 1875 eine rege Bautätigkeit.

Am auffallendsten ist um **1910** das erstmalige Auftreten von systematischen Hochwasserdämmen, in diesem Fall des Marchfeldschutzdammes und des Schönauer Rückstaudammes. Mit der zwischen 1898 und 1904 vorgenommenen Niederwasserregulierung taucht 1910 ein weiterer neuer Bautyp auf. Auch wurden bis zu diesem Zeitpunkt besonders viele Neben-/Altarme abgedämmt (Abdämmungslänge = ca. 50% der Talachsenlänge). Zusätzlich wurden zwischen 1875 und 1910 die Ufersicherungen weitergeführt und neue Leitwerke und Buhnen errichtet. Damit erreichten alle Wasserbauten zusammen beinahe das aktuelle Ausmaß.

Die Situation um **2010** zeigt zwar eine Reduktion vor allem der lokalen Hochwasserdämme aber auch der Niederwasserwerke, die Ufersicherungen nahmen aber seit 1910 weiterhin stark zu. Der leichte Rückgang an Abdämmungen, Buhnen und Leitwerken erklärt sich dadurch, dass diese durch die Verlandung dahinter liegender Gewässer nunmehr die Funktion von Ufersicherungen übernahmen. Insgesamt ergeben heute alle Wasserbauten zusammen eine Länge von ca. 260km, was ca. 770% bezogen auf die Talachsenlänge entspricht. Dieses hohe Ausmaß mag etwas überraschend erscheinen angesichts der Tatsache, dass es sich hierbei um einen Nationalpark handelt. Es darf dabei aber nicht vergessen werden, dass dieser Donauabschnitt bis in die jüngere Vergangenheit genau derselben Regulierungstätigkeit unterlag, wie andere alluviale Abschnitte der Donau auch.

Betrachtet man die Regulierungsintensität der durchströmten Arme im Nationalpark, so nimmt diese von 1817 bis 1859 signifikant zu (Abbildung 51). Um 1859 waren bereits rund 48% der Hauptstromufer reguliert, während dies nur 18% aller durchströmte Arme betraf (Eupotamon A und B). Interessanterweise wurde bis 1875 anscheinend nicht viel gebaut: die Regulierungsintensität blieb weitgehend gleich. Dafür stieg jene an den Nebenarmen stärker an. Mit der Vollregulierung bis 1910 änderte sich dies schlagartig. Es gab nun keine durchströmten Nebenarme mehr, weshalb beide Werte mit 87% an verbauten Ufern gleich sind. Bis 2010 verringerte sich die Regulierungsintensität etwas. Dies ist auf die mittlerweile

vorgenommenen Rückbaumaßnahmen und auf das Verschwinden von Uferschutzbauten durch Erosion bzw. starker Überlagerung mittels Sedimenten zurückzuführen.

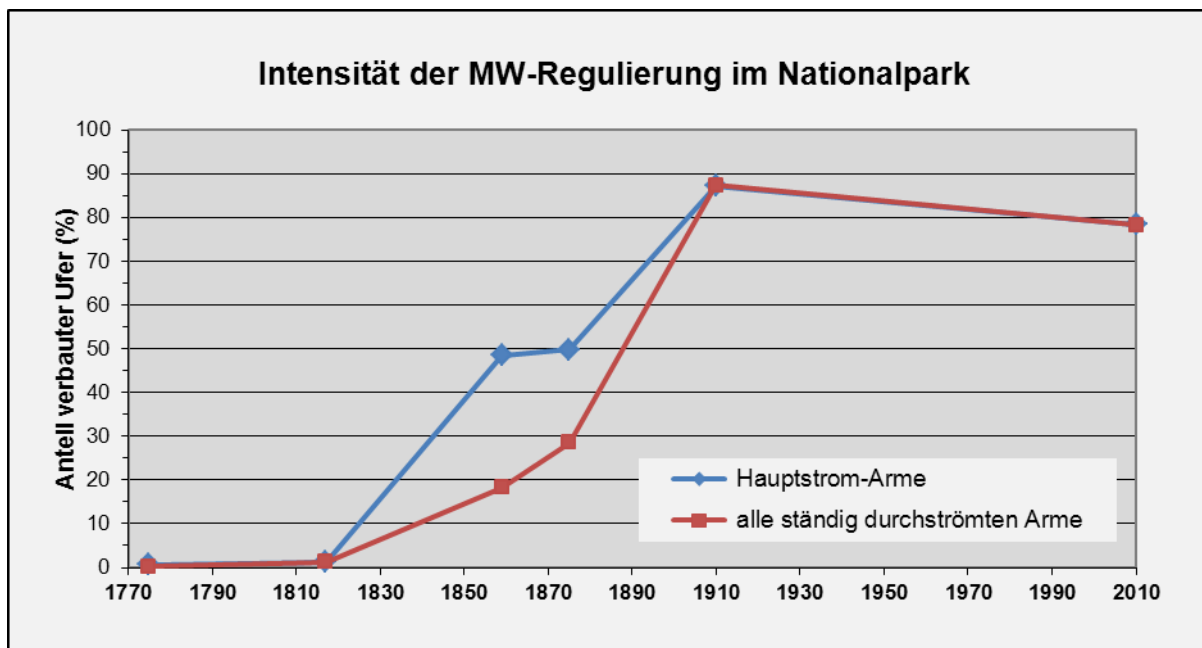


Abbildung 51: Intensität der MW-Regulierung (% verbauter Ufer) im Nationalpark 1775 – 2010

3.6.2 Flächige Wasserbaumaßnahmen

Die Entwicklung der flächigen Wasserbaumaßnahmen wie Durchstiche, Geländeabtragungen oder Errichtung von Stauräumen setzte im Vergleich zu den linearen Maßnahmen in vollem Umfang deutlich später ein (Abbildung 52). Erst mit der großen Wiener Donauregulierung 1870 – 1875 kam es zu großflächigen Durchstichen und Geländeabtragungen. Doch bereits zuvor gab es für die Geschichte der Donau bedeutende flächige Eingriffe, wenngleich sie in der Gesamtbetrachtung marginal erscheinen. Diese frühen Maßnahmen betreffen großteils den Wiener Donauabschnitt. Zwischen 1700 und 1703 wurde südlich von Nußdorf ein ca. 1,3km langer Durchstich vorgenommen, wodurch der Wiener Arm am Oberlauf einen neuen Lauf erhielt (HOHENSINNER et al. submitted b). Seither wurde der Wiener Arm als Donaukanal bezeichnet. In den Jahren 1716 und 1726 wurden am Donaukanal beim Erdberger Mais zwei große Mäanderschlingen mittels zweier Durchstiche begradigt. Diese Maßnahmen dienten auch dazu, eine drohende Vereinigung von Donaukanal und der Donau (späteres Heustadelwasser) zu verhindern. Alle Durchstiche zusammen kamen im Zeitschnitt 1775/80 auf rund 23 ha, was 0,3ha pro Kilometer Talachsenlänge entspricht. Bis **1817** hat sich dieser Wert kaum verändert (siehe Abbildung 52 und Abbildung 53). Lediglich am oberen Ende der Wiener Pforte musste im Zuge der Errichtung des Hubertusdammes zwischen 1777 und 1783 der Donaugarben westlich von Langenzersdorf mittels Durchstich verlegt werden, da er dem Damm im Wege stand.

Ein erster Anstieg bei den flächigen Wasserbaumaßnahmen ist zwischen 1817 und **1859** erkennbar. In den Jahren 1832/33 wurde die Mündung des Donaukanales mittels eines 2,5km

langen Durchstiches begradigt und verlängert. Im Nationalpark wurde noch ein größerer Durchstich vorgenommen: 1836 wurde östlich von Schönau/Fischamend ein großer Flussbogen des Hauptstromes durch einen ca. 1,5km langen Durchstich begradigt.

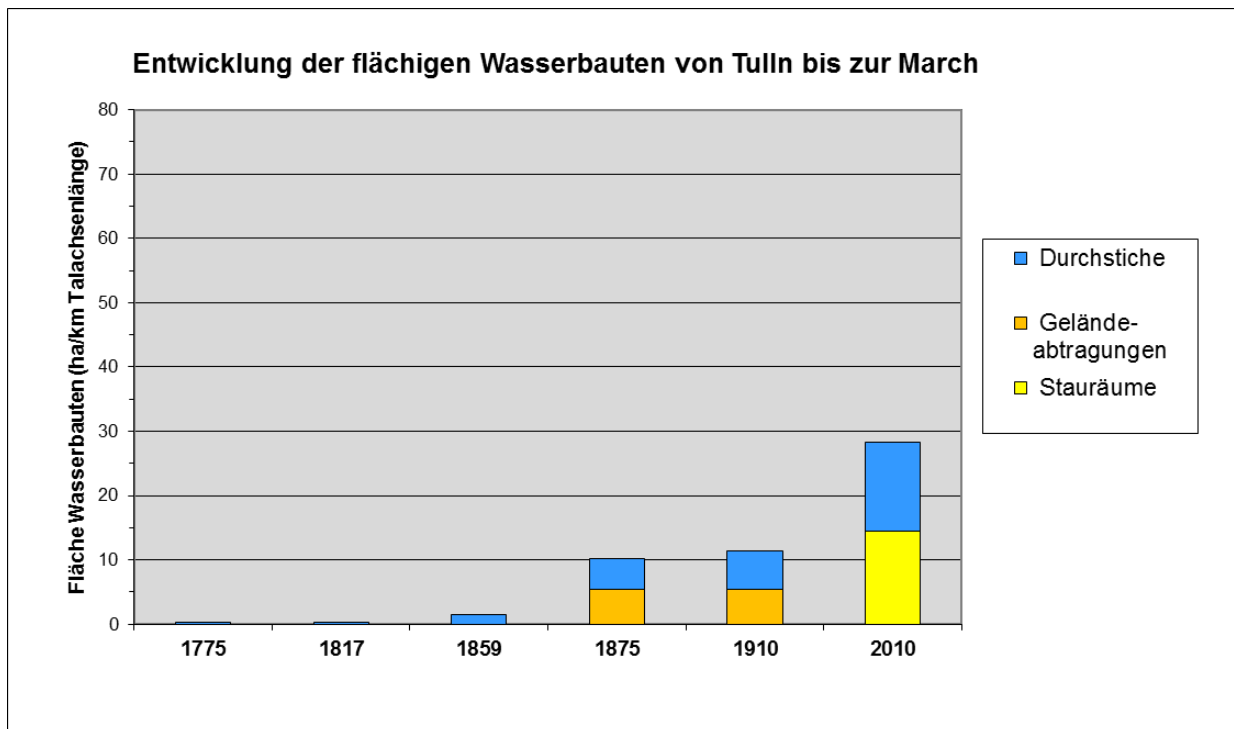


Abbildung 52: Flächige Wasserbaumaßnahmen (ha/km Talachsenlänge) im gesamten Untersuchungsgebiet 1775 – 2010 (bei den flächigen Wasserbauten 2010 ist zu beachten, dass diese in Summe etwas überhöht dargestellt sind, weil sich der Donau-Durchstich flussauf vom Kraftwerk Greifenstein und der Stauraum etwas überschneiden)

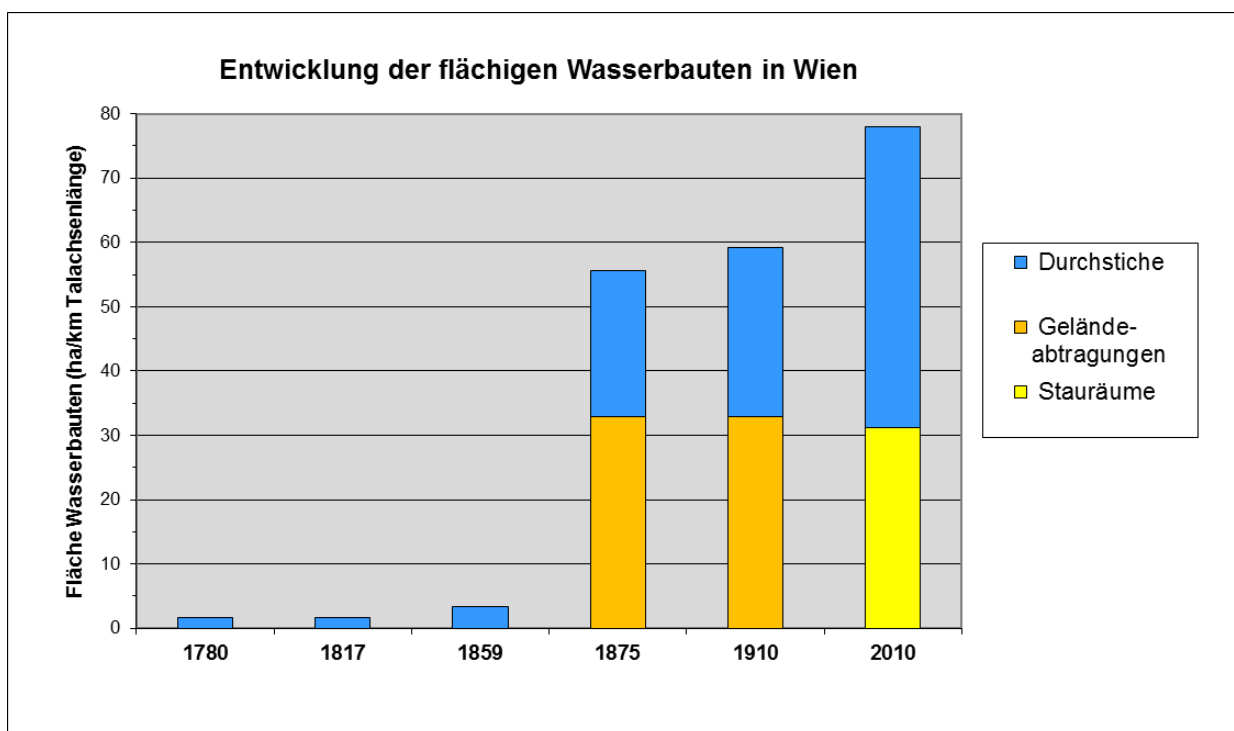


Abbildung 53: Flächige Wasserbaumaßnahmen (ha/km Talachsenlänge) in Wien 1780 – 2010

Bereits seit dem 18. Jahrhundert wurde auch versucht, großflächig Schotterbänke und Altarme mittels Weidenpflanzungen und Flechtzäunen zur Verlandung zu bringen, jedoch zumeist ohne nennenswerten Erfolg. Großflächige Auswirkungen auf die Donau hatten erst die umfangreichen Arbeiten im Zuge der großen Wiener Donauregulierung 1870 bis **1875**. Damals wurden nicht nur zwei große Durchstiche für den Hauptstrom vorgenommen, sondern linksufrig auch noch ein breites Inundationsgebiet für den Hochwasserabfluss geschaffen. Der obere Durchstich war 6,64km lang und 386m breit, wobei 12,3 Mio. m³ Material ausgehoben wurden. Der untere Durchstich wurde zunächst nur in Form einer 2,85km langen und 170m breiten Künette entlang des rechten Ufers ausgehoben, wobei ca. 4,1 Mio. m³ Material entnommen wurden (DONAU-REGULIRUNGS-COMMISSION, 1886). Die Donau hat danach in kurzer Zeit ihr Bett selbständig weiter ausgeschürft. Das linksufrige ca. 470m breite Inundationsgebiet wurde durch Abtragung des Geländes bis ungefähr auf die Höhe des 1-jährlichen Hochwassers geschaffen. Zwischen 1859 und 1875 wurde auch noch ein neues 2,5km langes Gerinne für den Rußbach zwischen Stopfenreuth und der Marchmündung ausgehoben. Bis dahin mündete er noch in die March, mit dem Durchstich jedoch gleich direkt in die Donau. Alle flächigen Wasserbaumaßnahmen zusammen machten 1875 im gesamten Untersuchungsgebiet ca. 800ha beziehungsweise 10,2ha je km Talachsenlänge aus. Dabei sind auch alle davor entstandenen Maßnahmen inkludiert, sofern sie 1875 noch vorhanden waren.

Bis **1910** erhöhten sich die flächigen Maßnahmen noch geringfügig auf insgesamt 885ha (11,3ha/km Talachse). Hinzugekommen sind noch einige weitere Durchstiche, wie z.B. der bereits Anfang der 1870er angefangene Klosterneuburger Kanal und die Umleitung des Schwechatflusses in den Kalten Gang zwischen 1883 und 1885. Ebenso wurde durch den Bau des Marchfeldschutzdammes östlich von Orth zwischen 1887 und 1898 der Aushub von 5 Durchstichen erforderlich, um den Fadenbach an der Außenseite des Dammes weiterzuführen.

In der **aktuellen Situation** schlagen sich die Stauräume der beiden im Projektgebiet liegenden Laufkraftwerke Greifenstein (Tullner Becken) und Freudenau (Wien) deutlich in der Bilanz nieder. Für den Bau des Kraftwerkes Greifenstein 1981 – 1985 wurde ein neues rund 137ha großes und ca. 3km langes Flussbett für die Donau ausgehoben. Ebenfalls fließen bei den für 2010 ermittelten Durchstichflächen die Aushubarbeiten für Hafenanlagen mit ein, wie jene die in den späten 1930ern und frühen 1940ern für die Häfen bei Korneuburg, in der Lobau und bei Albern vorgenommen wurden. Alle Durchstiche bzw. Aushubarbeiten zusammen kommen so aktuell im gesamten Untersuchungsgebiet auf rund 1.080ha (= 13,9ha/km Talachse). Bis 2010 verschwinden die 1870 – 1875 vorgenommenen Geländeabtragungen wieder, da im linksufrigen Inundationsgebiet in Wien und in der Wiener Pforte zwischen 1972 und 1988 das 21,1km lange Hochwasser-Entlastungsgerinne (Neue Donau) ausgehoben und mit dem Aushubmaterial (fast 30 Mio. m³) die Donauinsel aufgeschüttet wurde.

Mit den Stauhaltungen taucht 2010 erstmals auch ein neuer Typus flächiger Wasserbaumaßnahmen auf. Klarerweise existierten bereits zuvor kleinere Stauhaltungen am Wienfluss, Alserbach und anderen Zubringern, die zwar für das einzelne Gewässer aus gewässerökologischer Sicht sicherlich signifikante Veränderungen des aquatischen Lebensraumes bewirkten, auf der Ebene des Untersuchungsgebiets betrachtet aber nur

marginale Auswirkungen hatten. Mit dem Einstau des Kraftwerkes Greifenstein um 1985 und des Kraftwerkes Freudenu 1996 – 1997 beträgt seither die Fläche der Stauhaltungen im Untersuchungsgebiet ca. 1.130ha oder 14,4ha bezogen auf einen Kilometer Talachsenlänge. Umgerechnet auf die Lauflänge der Donau im gesamten Untersuchungsgebiet bedeutet dies, dass 39,5% des Laufes erheblich vom Einstau geprägt sind (dabei wurden Stauwurzelbereiche nicht mitberechnet). Die genannten Zahlen verdeutlichen sehr gut, dass die Donau nicht nur in morphologischer Hinsicht stark anthropogen verändert wurde, sondern auch in hydrologischer Hinsicht durch den hohen Anteil gestauter Abschnitte.

4. Diskussion der Ergebnisse

Die Diskussion der Ergebnisse gliedert sich in zwei Teile. Zuerst wird untersucht, inwiefern sich die einzelnen flussmorphologischen Parameter im Zusammenhang mit der fortschreitenden Mittelwasserregulierung (Regulierungsintensität) entwickelt haben. Im zweiten Teil werden die einleitend angeführten Forschungsfragen basierend auf den Ergebnissen diskutiert. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich durchwegs auf den gesamten untersuchten Donauabschnitt von Tulln bis Theben.

4.1 Auswirkungen der Regulierungen

4.1.1 Totale Sinuosität

Betrachtet man die zeitliche Entwicklung der totalen Sinuosität, in der sämtliche Gewässer unabhängig vom Typ einfließen, zeigt sich generell ein negativer Zusammenhang mit der Regulierungsintensität (berechnet als Prozentsatz der verbauten Hauptstromufer). Während die verbauten Ufer besonders zwischen 1817 und 1910 zunehmen, kam es jedoch nur bis 1875 zu einer Reduktion der Gewässerlängen (Abbildung 54). Zwischen 1875 und 1910 stieg die totale Sinuosität entgegen dem Trend wieder an, wobei die Regulierungsintensität in dieser Periode ebenfalls markant zunahm. Dies deutet für einen kurzen Zeitraum auf eine Ausweitung des Gewässerlebensraumes durch die fortschreitende Regulierung hin. Diese Zunahme beruhte freilich in erster Linie auf einem deutlichen Anstieg der para- und plesiopotamalen Altarme, welche im Zuge der Vollregulierung aus den ehemals lotischen (eupotamalen) Gewässern hervorgingen. Da zeitgleich in einigen Abschnitten ein neuer Hauptstrom geschaffen wurde, erhöhte sich die totale Sinuosität über einige Jahrzehnte hinweg, obwohl der Grad der Regulierung zugenommen hat. Durch das zeitgleiche Auftreten bereits bestehender und neu geschaffener Gewässer wurde aber nicht mehr die Ausdehnung des Gewässerlebensraumes zu Beginn der Regulierung, sondern lediglich jene von 1859 erreicht (siehe dazu auch Abbildung 17). Im 20. Jahrhundert reduzierten sich die Gewässer allerdings langfristig wieder. Trotz dieser unsteten Entwicklung, weist die Pearson-Korrelation mit einem Wert von $-0,899$ auf einen ausgeprägten negativen Zusammenhang zwischen Regulierungsintensität und totaler Sinuosität hin (p -Wert = $0,0015$).

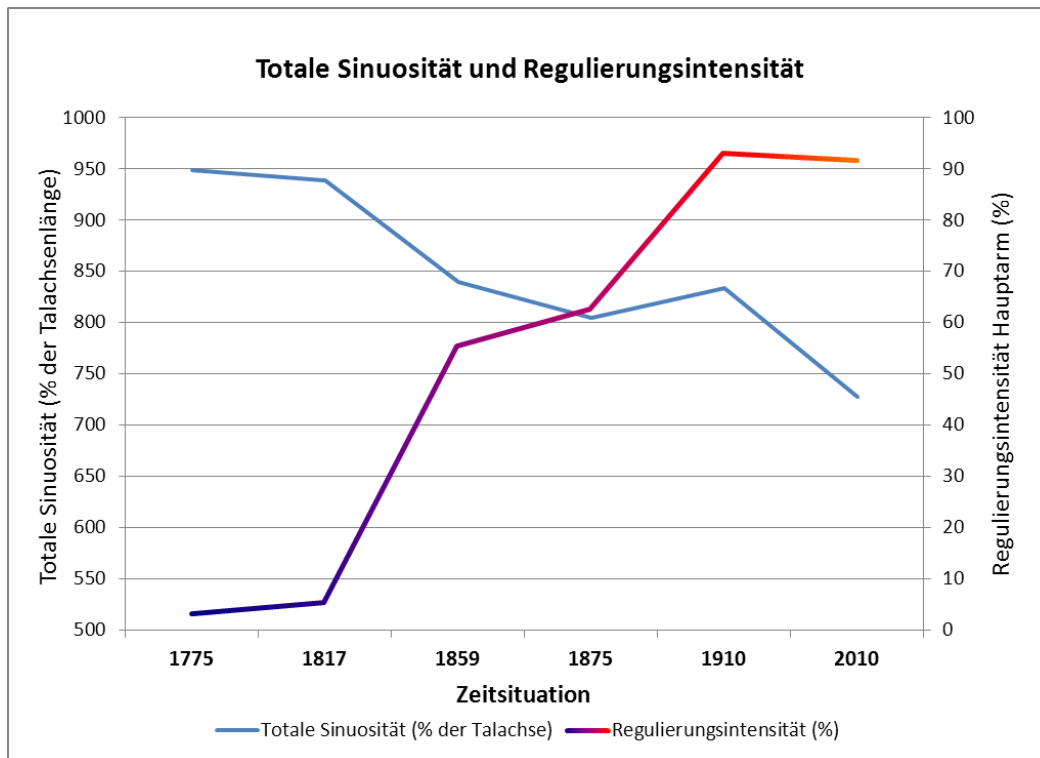


Abbildung 54: Totale Sinuosität und Regulierungsintensität 1775 – 2010

Betrachtet man ausschließlich die Entwicklung der lotischen Gewässer (Eupotamon A und Eupotamon B) im Zusammenhang mit der Regulierungsintensität, wird der Einfluss der zwischen 1875 und 1910 zunehmenden Altarme auf das Ergebnis ausgeblendet (Abbildung 55). Es zeigt sich, dass die permanent durchströmten Gewässer von der Regulierung am stärksten betroffen waren, indem sie auf rund ein Viertel ihres ursprünglichen Ausmaßes (1775/80) reduziert wurden. Berücksichtigt man, dass der Anteil der eupotamalen Gewässer durch den vergleichsweise hohen Aufnahmewasserstand um 1775 vermutlich etwas zu hoch bemessen ist und legt die totale Sinuosität von 1817 als Referenzwert zugrunde, so ergibt sich daraus immer noch eine Reduktion auf rund ein Drittel.

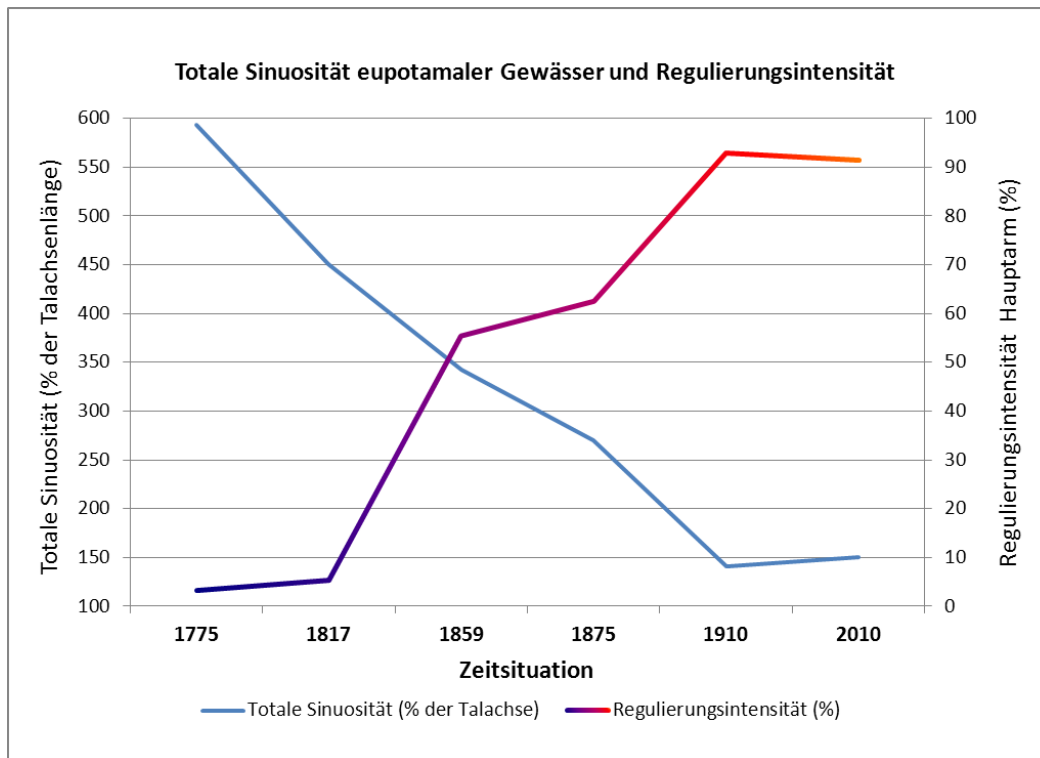


Abbildung 55: Totale Sinuosität permanent durchströmter Gewässer (Eupotamon A und B) und Regulierungsintensität 1775 – 2010

Der negative Zusammenhang zwischen der Länge eupotamaler Gewässer und der Regulierung der Hauptstromufer ist mit $-0,967$ besonders hoch (p -Wert = $0,002$). Dieser Zusammenhang ist sogar für den Zeitraum zwischen 1910 und 2010 gegeben, obwohl damals die Regulierungsintensität wieder geringfügig abnahm. Im Gegenzug stieg die totale Sinuosität der eupotamalen Gewässer leicht an. Dabei spiegeln sich die in Kapitel 3 mehrfach erwähnten ökologischen Begleit- und Renaturierungsmaßnahmen wider.

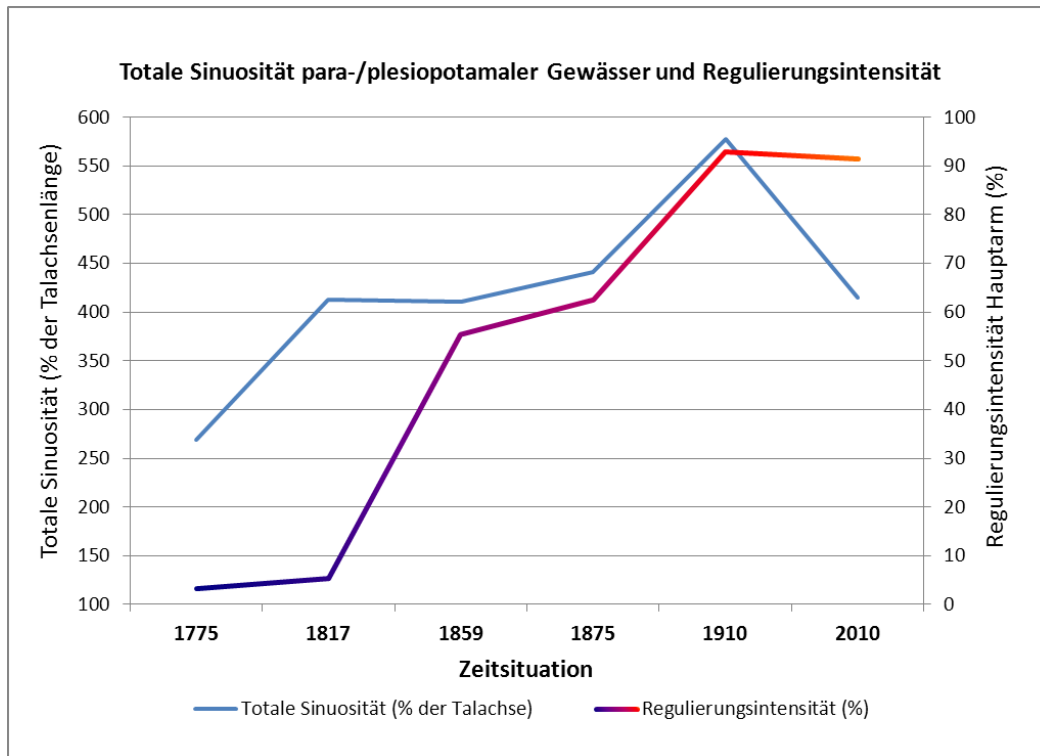


Abbildung 56: Totale Sinuosität aller Altarme (Parapotamon A und B, Plesiotamam) und Regulierungsintensität 1775 – 2010

Auch zwischen der totalen Sinuosität para-/plesiotamaler Gewässer und der Regulierungsintensität besteht ein deutlicher Zusammenhang. Dieser ist jedoch positiver Art und mit einem Koeffizienten von 0,723 nicht besonders hoch ausgeprägt. Auch ist die Korrelation weniger signifikant ausgeprägt (p-Wert = 0,104 bei einem Signifikanz-Niveau von 95%). Die Gründe dafür zeigen sich bei genauerer Betrachtung von Abbildung 56. Während sich die Regulierungsintensität zwischen 1775 und 1817 nur geringfügig erhöhte, nahm die Länge der verschiedenen Altarmtypen stark zu. Dies ist teilweise durch die unterschiedlichen Aufnahmewasserstände begründet, vermutlich zum Teil aber auch durch verstärkte Verlandungstendenzen in Nebenarmen nach der hochwasserintensiven Phase gegen Ende des 18. Jahrhunderts (vgl. Kapitel 3.2.4). Zwischen 1817 und 1859 lässt sich hingegen die umgekehrte Entwicklung verfolgen: nun blieben die para-/plesiotamalen Gewässer annähernd gleich, während die Regulierungsintensität stark zunahm. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass in diesem Zeitraum dynamische Altarme vom Typ Parapotamon A vermehrt durch einseitig angebunden Altarme (Parapotamon B) abgelöst wurden. Qualitativ erfolgte zwar eine Verschiebung zu mehr stagnierenden Gewässern, dies lässt sich jedoch bei der rein quantitativen Betrachtung aller Altarmtypen nicht erkennen (vgl. dazu Abbildung 17).

Im Zuge der Vollendung der Donauregulierung verliefen sowohl Regulierungsintensität als auch totale Sinuosität der Altarme synchron, da fast alle der verbliebenen eupotamalen Arme zumindest einseitig vom Hauptstrom abgetrennt wurden. Das große Ausmaß dieser Gewässertypen um 1910 spiegelt sich dabei in der totalen Sinuosität aller Gewässer wider (vgl. Abbildung 54 und Abbildung 56).

Nach 1910 kam es durch Verlandung der abgetrennten Gewässer und im städtischen Bereich teilweise durch deren Verfüllung langfristig zu einem starken Rückgang.

Vom Hauptstrom abgetrennte Nebenarme verlieren nicht nur an Dynamik, sie sind auch zwangsläufig der Verlandung preisgegeben. Diese kann durch die Ansammlung autochthonen organischen Materials oder durch den Input allochthonen und vorrangig geogenen Sediments zumeist während Hochwässern erfolgen. Außerdem wurden viele Abdämmungen und Uferbauten bewusst so geplant, dass sie bei Wasserständen zwischen erhöhtem Mittelwasser und ca. 1-jährlichem Hochwasser überströmt wurden, und so der Input an Sediment verstärkt und damit die Verlandung gefördert wurde.

4.1.2 Breitenverhältnisse

Betrachtet man die Gesamtbreite sämtlicher permanent und zeitweise durchströmter Gewässer (Eupotamon A und B, Parapotamon A) im Vergleich zur Regulierungsintensität, ergibt sich mit einem Pearson-Koeffizienten von -0,916 ein starker negativ gerichteter Zusammenhang (p-Wert = 0,010; Abbildung 57).

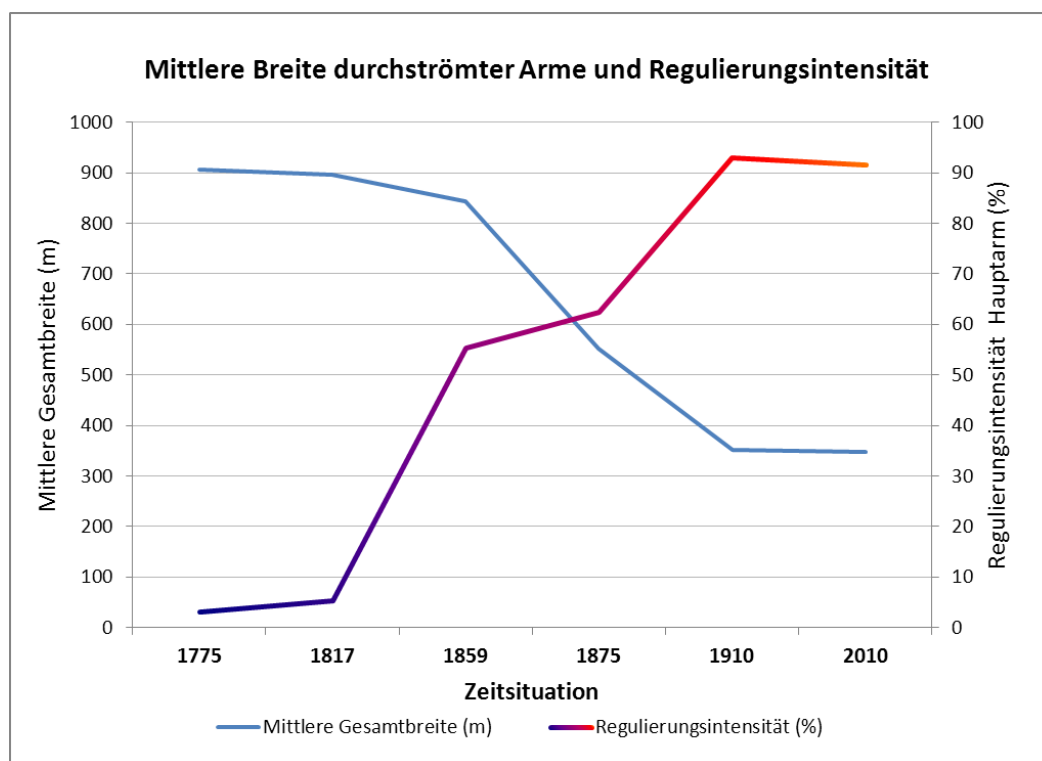


Abbildung 57: Mittlere Gesamtbreite* sämtlicher permanent/zeitweise durchströmter Gewässer und Regulierungsintensität 1775 – 2010 (* Summenwert aus allen parallel verlaufenden Gewässern vom Typ Eupotamon A und B sowie Parapotamon A)

Dennoch ist eine gewisse Verzögerung in der Entwicklung beider Parameter festzustellen, da die mittlere Gesamtbreite der Gewässer erst ab 1859 eine rapide Abnahme zeigt. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Regulierungsintensität bereits rund 55%, wobei sie gerade in den

Jahrzehnten zuvor stark angestiegen war. Dies erklärt sich unter anderem dadurch, dass die Donau im Zuge der ersten Regulierungsmaßnahmen verstärkt in andere, noch nicht geschützte Bereiche der Flusslandschaft ausgebrochen ist, und sich so zumindest teilweise ihre alte Breite des Flussbettes zurückeroberte (vgl. dazu die Donau im Machland in HOHENSINNER et al. 2011). Erst als diese Ausweichmöglichkeit durch die fortschreitende Regulierung unterbunden wurde, kam es zu einem starken Rückgang der Gewässerbreiten. Die Situation um 1875 spiegelt dabei auch bereits den Endzustand der Donauregulierung in Wien wider. Ab 1910 ist schlussendlich das Niveau der wasserbaulich angestrebten Regulierungsbreite gegeben.

Untersucht man nur jene (semi-)lotischen Gewässer, die vom Wellenschlag durch die Schifffahrt unbeeinflusst waren, zeigt sich die Veränderung bis heute noch drastischer (Abbildung 58). Der äußerst hohe Wert des Pearson-Korrelationskoeffizienten mit $-0,989$ ($p = 0,00019$) täuscht dabei einen direkten Zusammenhang mit der Regulierungsintensität vor.

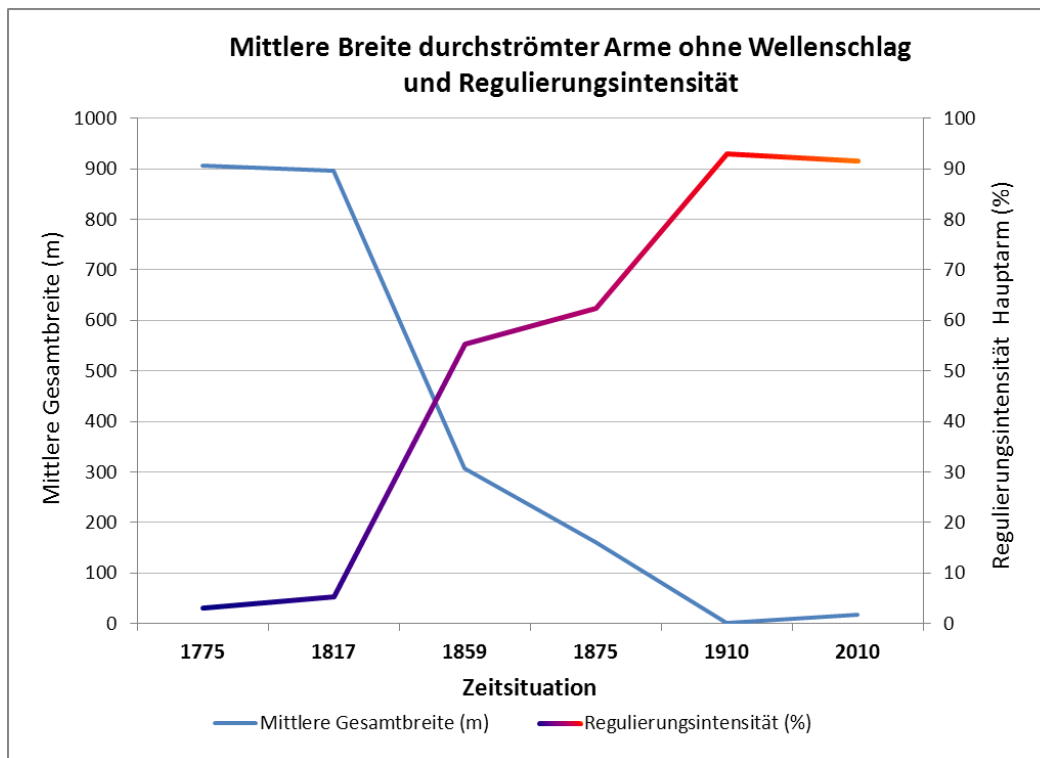


Abbildung 58: Mittlere Gesamtbreite* sämtlicher permanent/zeitweise durchströmter Gewässer ohne Schifffahrt und Regulierungsintensität 1775 – 2010 (* Summenwert aus allen parallel verlaufenden Gewässern vom Typ Eupotamon A und B sowie Parapotamon A)

Fakt ist aber, dass hier neben der Regulierungstätigkeit noch ein weiterer Prozess am Wirken ist, nämlich das Aufkommen der motorbetriebenen Schifffahrt. Dies führte dazu, dass die vom Wellenschlag unberührten (semi-)lotischen Gewässer mit der Verbreitung dieses Verkehrsmittels sehr rasch abnahmen. Aus den beiden oben dargestellten Diagrammen lässt sich in der Zusammenschau der Anteil der Regulierung und der Schifffahrt an der quantitativen

und qualitativen Veränderung des (semi-)lotischen Gewässerlebensraumes bezogen auf die verfügbare Breite ablesen.

Abbildung 59 zeigt dies nochmals im Detail, wobei der gelb markierte Bereich jener Breitenreduktion entspricht, die der Regulierung zuzuordnen ist. Der grün markierte Bereich stellt den Anteil des Gewässerlebensraumes dar, der durch die Großschifffahrt (Wellenschlag) beeinträchtigt ist und der blaue Bereich den verbliebenen unbeeinträchtigten Anteil.

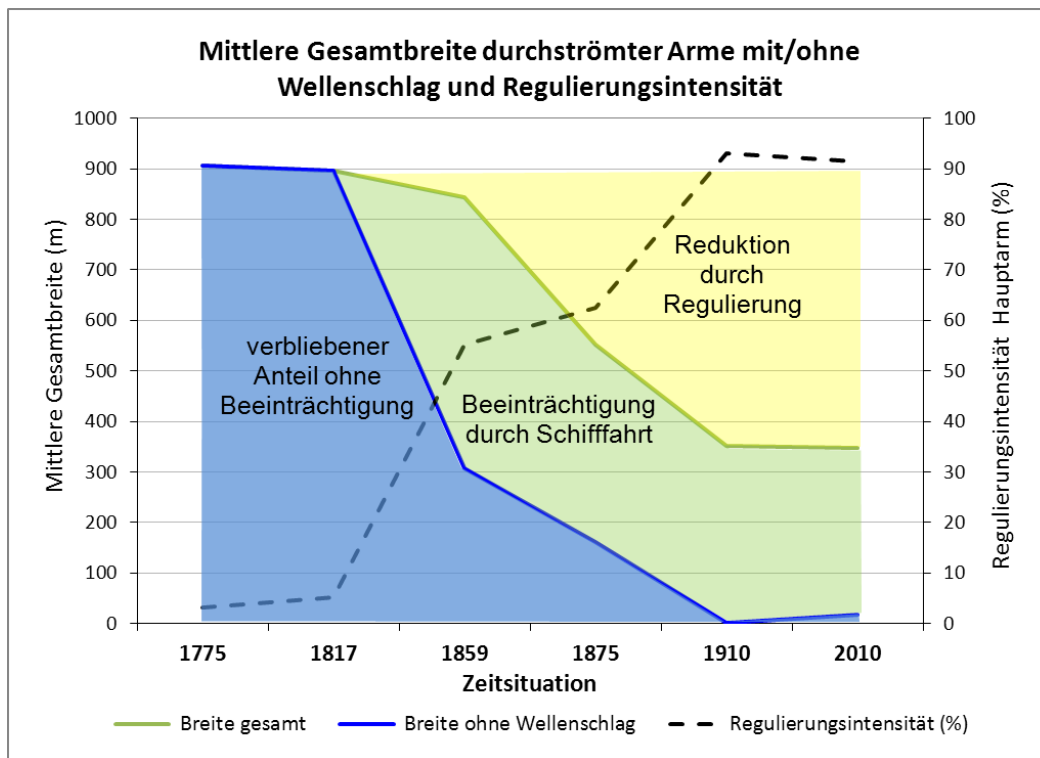


Abbildung 59: Mittlere Gesamtbreite* sämtlicher permanent/zeitweise durchströmter Gewässer und Regulierungsintensität 1775 – 2010: gelber Bereich = Breitenreduktion durch Regulierung, grün = Anteil der durch Wellenschlag beeinträchtigten Gewässerbreiten, blau = verbliebener Anteil ohne Wellenschlag (* Summenwert aus allen parallel verlaufenden Gewässern vom Typ Eupotamon A, Eupotamon B und Parapotamon A; HOHENSINNER & HOLUB, unpubliziert)

Klar erkennbar ist, dass um 1910 keine (semi-)lotischen Gewässer ohne Beeinflussung durch Wellenschlag mehr zur Verfügung standen. Der leichte Anstieg bis 2010 ist das Ergebnis ökologisch orientierter Rückbaumaßnahmen wie die Gewässervernetzungen im Nationalpark Donau-Auen, der Gießgang Greifenstein und das Umgehungsgerinne beim Kraftwerk Freudenu. Dabei ist aber anzumerken, dass einige der durch diese Maßnahmen entstandenen Gewässer eher zeitweise durchströmten Gewässern vom Typ Parapotamon A (dynamischer Altarm) und nicht einem permanent durchströmten Arm (Eupotamon B) entsprechen.

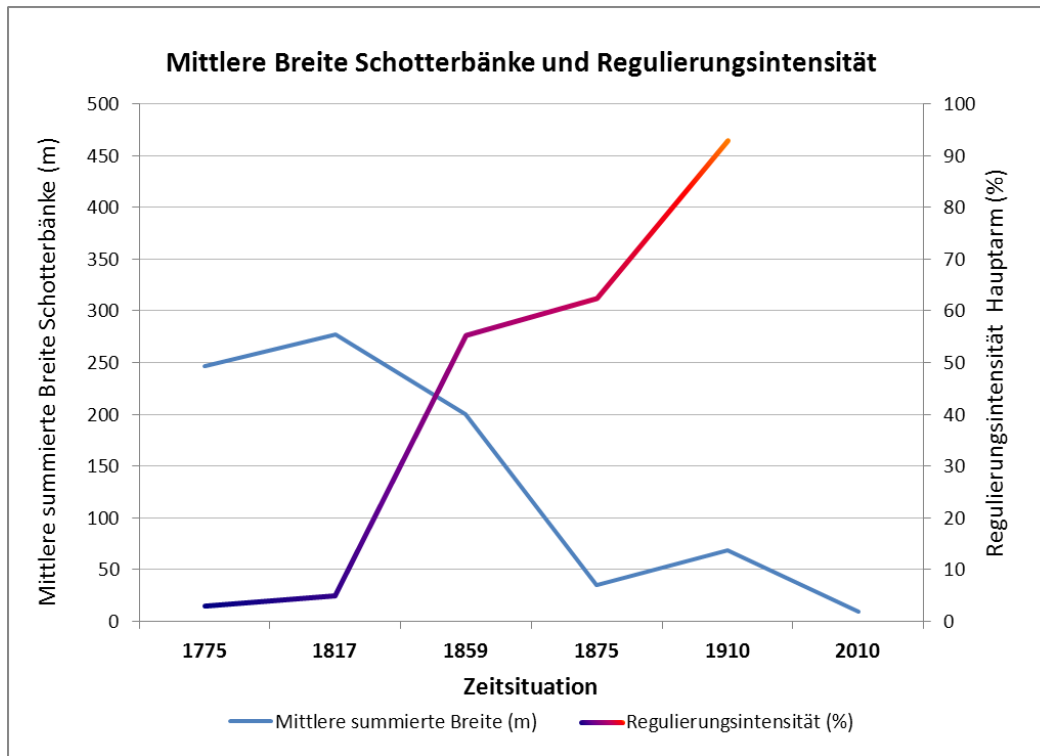


Abbildung 60: Mittlere Gesamtbreite der Schotterbänke* in sämtlichen permanent/zeitweise durchströmten Gewässern und Regulierungsintensität 1775 – 2010 (* Summenwert der Schotterbankbreiten in allen parallel verlaufenden Gewässern vom Typ Eupotamon A und B sowie Parapotamon A)

Der in Abbildung 60 dargestellte Zusammenhang zwischen den mittleren summierten Breiten der Schotterbänke in (semi-)lotischen Gewässern und der Regulierungsintensität ist trotz des unsteten Verlaufs der Schotterbankbreiten deutlich erkennbar ($r = -0,893$, p -Wert = $0,016$). Für den Anstieg der Schotterbreiten am Beginn der Untersuchungsperiode ist primär der vergleichsweise hohe Aufnahmewasserstand der 1. Landesaufnahme verantwortlich, wodurch die Schotterflächen um 1775 schmaler erscheinen (siehe Kapitel 3.5.3).

Davon abgesehen ist auffällig, dass sowohl die Schotterbankbreiten als auch die Wasserbauten zwischen 1875 und 1910 einen Anstieg zeigen. Der Grund dafür ist vermutlich in der Verlandung der um 1900 eingebauten Bühnenfelder zu suchen. In Kombination mit der regulierungsbedingten Sohleintiefung und Wasserspiegelabsenkung vergrößerten sich diese allmählich, bevor sie sich zu bewachsenen Inseln weiterentwickelten.

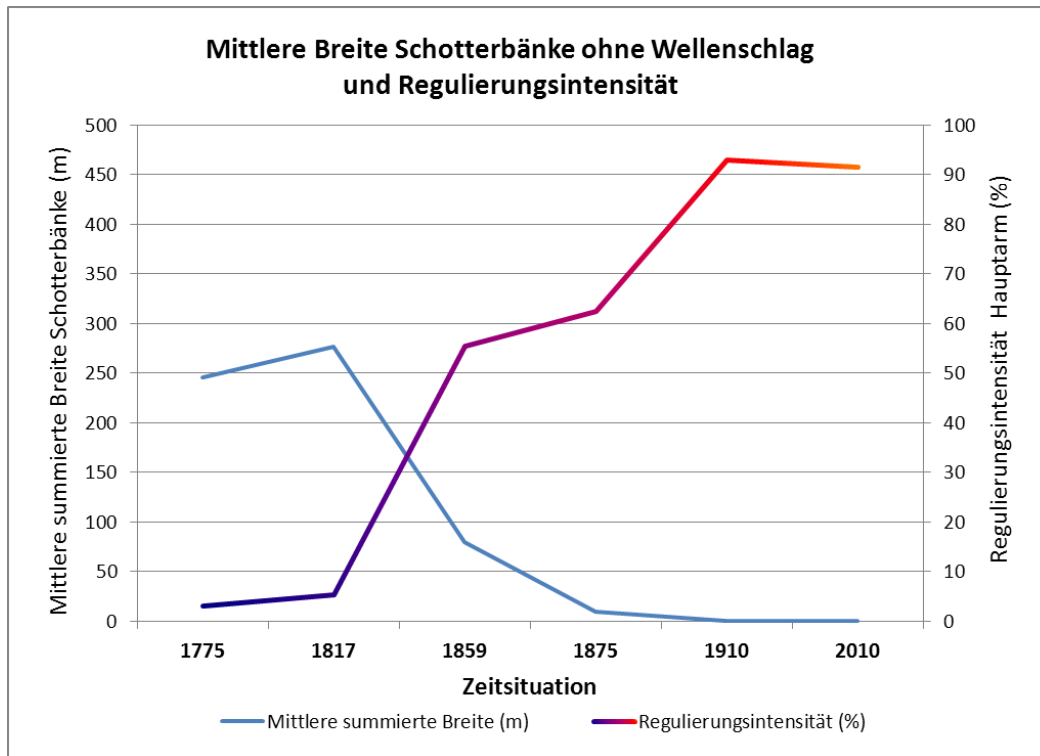


Abbildung 61: Mittlere Gesamtbreite der Schotterbänke* in sämtlichen permanent/zeitweise durchströmten Gewässern ohne Schifffahrt (Wellenschlag) und Regulierungsintensität 1775 – 2010 (* Summenwert der Schotterbankbreiten in allen parallel verlaufenden Gewässern vom Typ Eupotamon A und B sowie Parapotamon A)

Die vom Wellenschlag unberührten Schotterhabitate zeigen – da neben den Regulierungseffekten auch die qualitative Beeinflussung durch die Schifffahrt berücksichtigt wird – seit 1817 einen noch stärkeren Rückgang ($r = -0,964$, p -Wert = 0,002; Abbildung 61). Ab 1875 sind kaum mehr vom Wellenschlag unberührte Schotterbänke und damit assoziierte Flachwasserhabitate in (semi-)lotischen Gewässern verfügbar.

4.1.3 Laterale Konnektivität und Zubringer

Betrachtet man die summierten Anbindungsbreiten der Nebengewässer an den Hauptstrom zusammen mit der Regulierungsintensität, zeigt sich ebenfalls ein starker negativer Zusammenhang (Abbildung 62; $r = -0,956$, p -Wert = $0,003$). Die gegenseitige Abhängigkeit dieser beiden Variablen ist klar ersichtlich, da die Regulierung der Hauptstromufer direkt mit einer Verringerung der lateralen hydrologischen Konnektivität einherging. Boten ursprünglich rund 25% der Ufer der Hauptarme Verbindungen zu den verschiedenen Nebengewässern im Augebiet, so war dies seit 1910 nur mehr in rund 4% der Fall. Damit verringerten sich die Möglichkeiten für den lateralen Austausch von Wasser, Nährstoffen und Biomasse sowie die verfügbaren Migrationspfade zwischen Hauptstrom und Augewässern für aquatische Organismen erheblich.

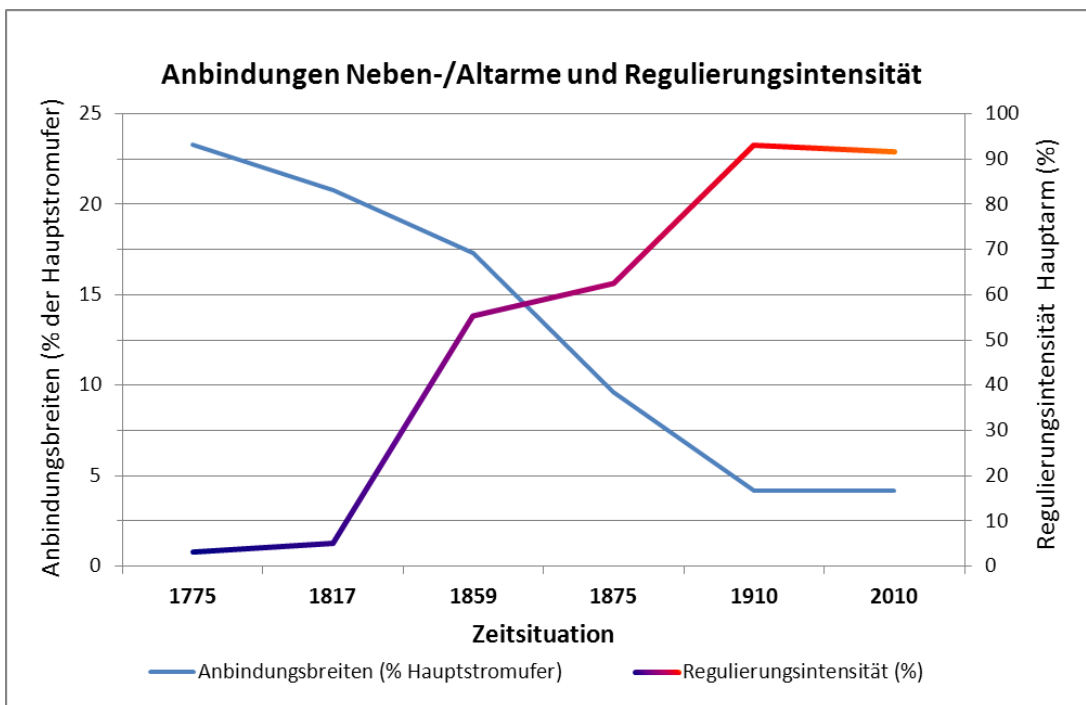


Abbildung 62: Breite der Anbindungen an den Hauptstrom und Regulierungsintensität 1775 – 2010

Auch die Anzahl der in das Donauesystem einmündenden Zubringer steht in einem engen ursächlichen Zusammenhang mit der Regulierungsintensität des Hauptstromes (Abbildung 63). Obwohl sich die Verbauung am Hauptstrom meist nicht direkt auf den Zubringer selbst auswirkte, da die Zubringer oft weit entfernt vom Hauptstrom ins Gewässersystem der Donau einmündeten, waren sie doch indirekt davon betroffen. So zum Beispiel, wenn mehrere verstreut im Augebiet einmündende Zubringer infolge der fortschreitenden Verlandung der Augewässer allmählich zu einem Gerinne zusammengefasst wurden um sie der Donau zuzuführen. Der seit 1775 bestehende Trend der Abnahme an Zubringermündungen ($r = -0,934$, p -Wert = $0,006$) wurde um 1910 für einige Jahrzehnte unterbrochen. Dies ist offensichtlich auf die damaligen Drainagierungsmaßnahmen im Umland der Donau

zurückzuführen, wodurch die Zahl der kleinen entwässernden Bäche und Rinnsale entgegen dem allgemeinen Trend deutlich angestiegen ist.

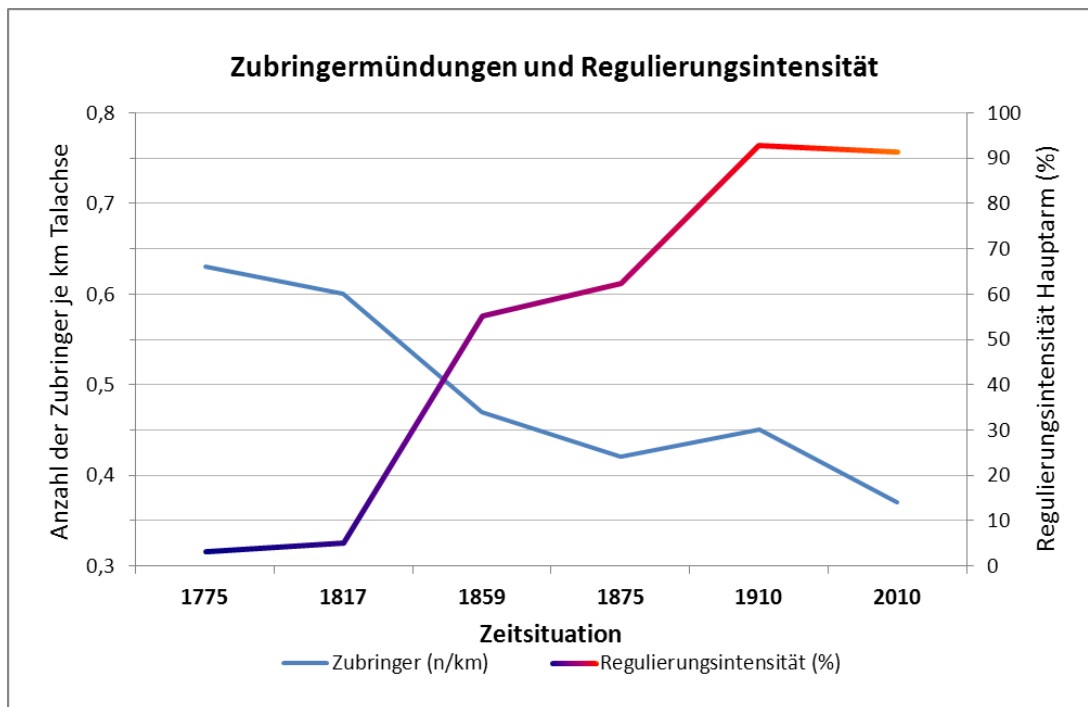


Abbildung 63: Anzahl der Zubringermündungen und Regulierungsintensität 1775 – 2010

4.1.4 Hochwasserschutz und Stauräume

Abschließend soll an dieser Stelle auch noch auf die Auswirkungen von Hochwasserschutzmaßnahmen und Stauhaltungen auf das Donausystem eingegangen werden. In Abbildung 64 ist die Zunahme der Hochwasserschutzdämme im Untersuchungszeitraum dem Ausmaß der Mittelwasserregulierung gegenüber gestellt. Daraus geht hervor, dass um 1775 beide ungefähr das gleiche Ausmaß aufgewiesen haben. Bis 1817 nahm aber die Länge der Hochwasserschutzbauten jedoch auf mehr als das Dreifache zu, während die Regulierungsbauten nur einen vergleichsweise geringen Zuwachs zeigten. Die starke Zunahme der Schutzbauten zwischen 1775 und 1817 erscheint angesichts der Phase mit vermehrten und intensiveren Hochwässern Ende des 18. Jahrhunderts logisch (HOHENSINNER et al. submitted b). Besonders bei Wien, in der Wiener Pforte aber auch nördlich des Nationalparks entstanden um diese Zeit zahlreiche Dämme.

Bis 1859 holten die Regulierungsbauten stark auf, aber auch die Hochwasserschutzmaßnahmen wurden weiter intensiviert. Zwischen 1859 und 1910 wurde anscheinend gleich viel in beide Wasserbautypen investiert: beide zeigen eine fast idente Entwicklung (Abbildung 64). Erst nachdem die Errichtung systematischer Schutzdämme abgeschlossen wurde,

verringerte sich deren Zuwachs bis 2010 erheblich. Dessen ungeachtet nahmen die verschiedenen Bautypen der Mittelwasserregulierung weiterhin stetig zu.

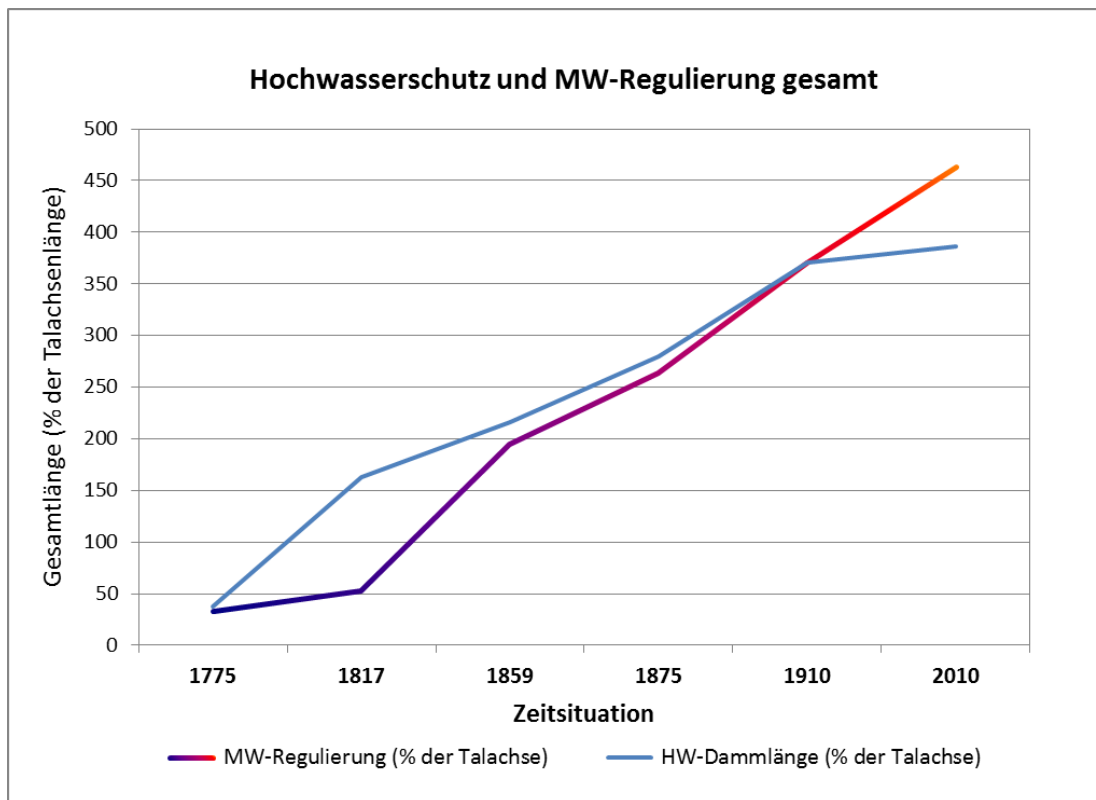


Abbildung 64: Gesamtlängen der Mittelwasser-Regulierungsbauten an allen Gewässern und der Hochwasserschutzdämme (% der Talachsenlänge) 1775 – 2010

Je mehr die Schutzbauten gegen Hochwässer gebaut wurden, desto stärker wurde das Überschwemmungsgebiet eingeengt. Abbildung 65 zeigt die Breitenreduktion des Raumes, der bei kleineren, 1-2-jährlich auftretenden Hochwässern überschwemmt wurde. Um 1817 existierten zwar bereits zahlreiche Schutzbauten, da aber viele davon nur lokal errichtet und räumlich regellos angeordnet waren, hatten sie insgesamt noch keinen starken Einfluss auf das Überschwemmungsgebiet. Erst durch den Ausbau des systematischen Hochwasserschutzes, wie den neu errichteten Hubertusdamm und den Marchfeldschutzdamm, verstärkte sich ab 1870 die Einengung des Hochwasserraumes für kleinere Hochwässer erheblich. Die weitere Abnahme zwischen 1910 und 2010 erfolgte im Zuge der Errichtung des Kraftwerkes Greifenstein in den 1980ern oder beim Bau der Donauinsel 1972 – 1988. Heute weist das Überflutungsgebiet für kleinere Hochwässer im gesamten untersuchten Donauabschnitt nur mehr rund ein Drittel der ursprünglichen Breite auf (HOHENSINNER, unpubliziert). Damit gingen weitläufige Überschwemmungsflächen verloren, auf die verschiedene aquatische Organismen, wie z.B. krautlaichende Fischarten, angewiesen sind.

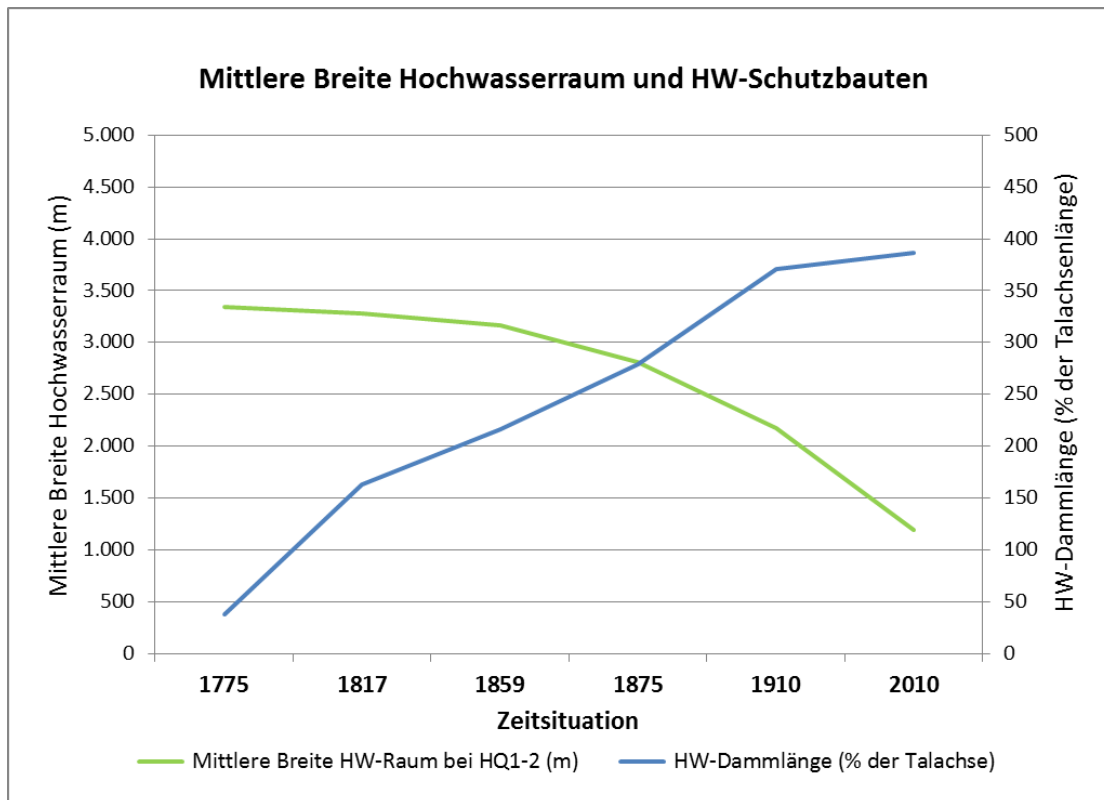


Abbildung 65: Längen aller Hochwasserschutzdämme (% der Talachsenlänge) und mittlere Breite des Überschwemmungsraumes bei kleineren Hochwässern (ca. HQ₁₋₂) 1775 – 2010 (inklusive der Donau; HOHENSINNER, unpubliziert).

Wenn auch nicht direkt mit der Regulierung der Donau in Verbindung, soll hier der Vollständigkeit halber auch auf eine vergleichsweise „junge“ Eingriffsform Bezug genommen werden. Durch die beiden im 20. Jahrhundert errichteten Donaukraftwerke Greifenstein und Freudenu sind heute rund 40% des untersuchten Donauabschnittes eingestaut, wobei hier Stauwurzelbereiche nicht mitgerechnet sind (Abbildung 66). Die Donau ist in den Stauräumen nahe beim Wehr streng genommen keinem historisch vergleichbaren Gewässer des Typs Eupotamon A mehr zuzuordnen, da Fließgeschwindigkeit, Sedimente und zum Teil auch Wassertemperatur merklich davon abweichen.

Im Zuge der Kraftwerkserrichtungen wurden die bereits im 19. Jahrhundert regulierten Uferbereiche in weiten Teilen der Stauräume noch weiter ausgebaut, wodurch generell von einer weiteren Abkoppelung der Donau vom Auegebiet auszugehen ist. Dies betrifft vor allem den Austausch von Fluss- bzw. Grundwasser zwischen Hauptstrom und Augewässern. Da die Intensität der lateralen Anbindung (bezogen auf die Oberflächengewässer) im Untersuchungsgebiet durch die Regulierung schon sehr stark reduziert war, hat sich diese durch den Kraftwerksbau kaum mehr verändert. Mit der Kraftwerkserrichtung einhergehende ökologische Begleitmaßnahmen, wie der im Untersuchungsgebiet liegende Teil des Gießgangs Greifenstein, das Umgehungsgerinne Freudenu und die Stauraumbiotope Freudenu weisen zwar in die richtige (leitbildkonforme) Richtung, schlagen sich aber aufgrund ihrer geringen Dimension bzw. ihrer Ausformung kaum in den hier diskutierten Ergebnissen nieder.

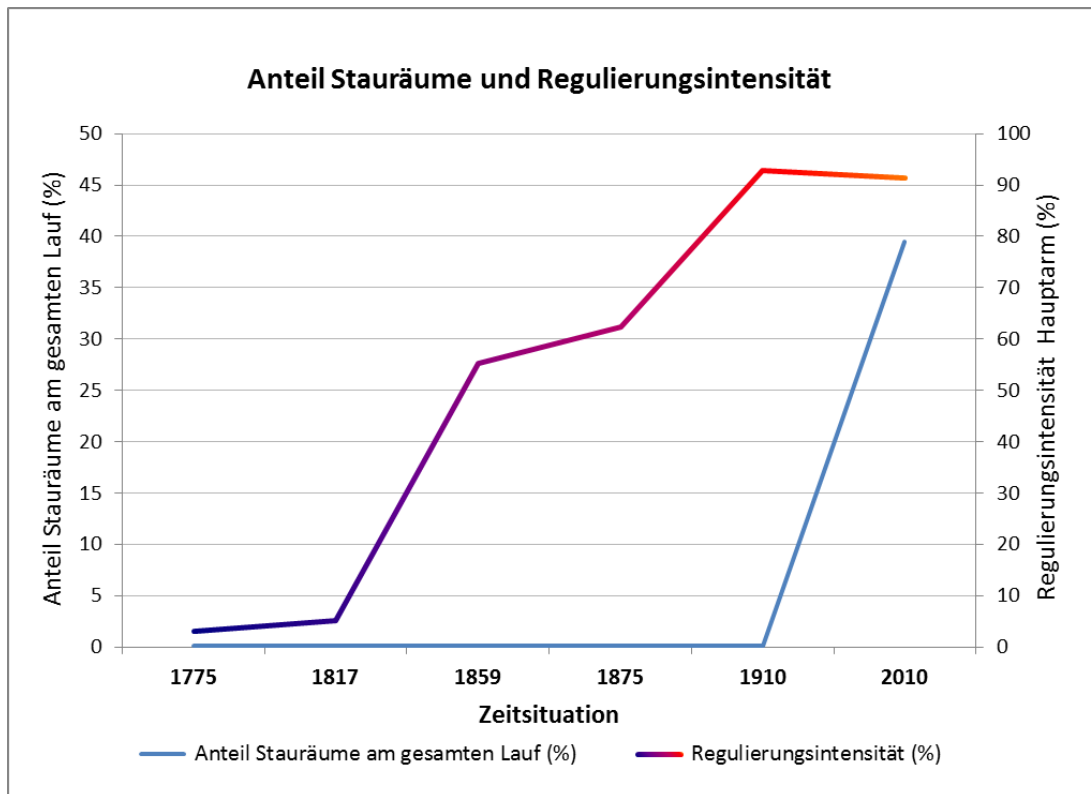


Abbildung 66: Stauräume und Regulierungsintensität 1775 – 2010

4.1.5 Korrelation Regulierungsintensität – Flussmorphologie

Tabelle 5 zeigt die Werte des Pearson Korrelationskoeffizienten der diskutierten Parameter in wechselseitiger Beziehung zueinander (Kreuzkorrelation). Die in vorliegender Arbeit diskutierten Zusammenhänge zwischen Regulierungsintensität des Hauptstromes und den anderen flussmorphologischen Parametern sind gelb markiert. Wird in der Kreuztabelle ein Wert sich selbst gegenübergestellt, so beträgt der Koeffizient genau 1. Die Vorzeichen der Werte geben die Richtung des Zusammenhanges an (vgl. Kapitel 2.2.4). Gut zu erkennen ist, dass lediglich die Länge (totale Sinuosität) der para-/plesiotamalen Gewässer einen positiven Zusammenhang mit der Regulierungsintensität aufweist. Zugleich ist hierbei die Korrelation aufgrund der unsteten zeitlichen Entwicklung mit $r = 0,723$ am geringsten ausgeprägt. Alle übrigen Parameter erfahren mit zunehmender Regulierungsintensität des Hauptstromes eine signifikante Abnahme.

Betrachtet man die Korrelationen der flussmorphologischen Parameter untereinander, so zeigt sich, dass mit Ausnahme der bereits genannten para-/plesiotamalen Gewässer (Altarme) und zum Teil auch der Breite des Hochwasserraumes alle anderen Korrelationen ebenfalls sehr hoch und signifikant ausgeprägt sind. Daraus geht hervor, dass einerseits die Regulierungsintensität des Hauptstromes gemessen als Prozentsatz der verbauten Hauptstromufer ein fachlich und statistisch gut abgesichertes Bezugsmaß für die Degradierung verzweigter Flusssysteme darstellt. Andererseits, dass anthropogen verursachte Veränderungen eines strukturellen Elements der Flusslandschaft zwangsläufig zahlreiche andere Elemente stark mitbeeinflussen.

Tabelle 5: Kreuzkorrelation der in Kapitel 4.1 untersuchten Parameter

| Variable | Regulierungsintensität Hauptarm (% verbaute Ufer) | Totale Sinuosität gesamt (% der Talachse) | Sinuosität Hauptarm (% der Talachse) | Totale Sinuosität eupotamaler Gewässer (% der Talachse) | Totale Sinuosität para-/plesiopotamaler Gewässer (% der Talachse) | mittlere Gesamtbreite der Gewässer (m) | mittlere Gesamtbreite der Gewässer ohne Schifffahrt (m) | mittlere summierte Breite Schotterbänke (m) | mittlere summierte Breite Schotterbänke ohne Schifffahrt (m) | Anbindungen Hauptarm-Nebengew. (% der Hauptarmufer) | Zubringer-Mündungen (Anzahl/km Talachse) | mittlere Breite Hochwasser-raum (m) |
|--|---|---|--------------------------------------|---|---|--|---|---|--|---|--|-------------------------------------|
| Regulierungsintensität Hauptarm (% verbaute Ufer) | 1 | -0,899 | -0,955 | -0,967 | 0,723 | -0,917 | -0,989 | -0,893 | -0,964 | -0,956 | -0,934 | -0,821 |
| Totale Sinuosität gesamt (% der Talachse) | -0,899 | 1 | 0,856 | 0,872 | -0,446 | 0,821 | 0,910 | 0,908 | 0,906 | 0,867 | 0,982 | 0,850 |
| Sinuosität Hauptarm (% der Talachse) | -0,955 | 0,856 | 1 | 0,855 | -0,568 | 0,870 | 0,958 | 0,895 | 0,966 | 0,890 | 0,884 | 0,751 |
| Totale Sinuosität eupotamaler Gewässer (% der Talachse) | -0,967 | 0,872 | 0,855 | 1 | -0,817 | 0,921 | 0,951 | 0,868 | 0,908 | 0,969 | 0,917 | 0,822 |
| Totale Sinuosität para-/plesiopotam. Gewässer (% der Talachse) | 0,723 | -0,446 | -0,568 | -0,817 | 1 | -0,687 | -0,707 | -0,532 | -0,644 | -0,744 | -0,571 | -0,433 |
| mittlere Gesamtbreite der Gewässer (m) | -0,917 | 0,821 | 0,870 | 0,921 | -0,687 | 1 | 0,885 | 0,933 | 0,861 | 0,987 | 0,833 | 0,896 |
| mittlere Gesamtbreite der Gewässer ohne Schifffahrt (m) | -0,989 | 0,910 | 0,958 | 0,951 | -0,707 | 0,885 | 1 | 0,909 | 0,991 | 0,937 | 0,958 | 0,757 |
| mittlere summierte Breite Schotterbänke (m) | -0,893 | 0,908 | 0,895 | 0,868 | -0,532 | 0,933 | 0,909 | 1 | 0,926 | 0,940 | 0,918 | 0,822 |
| mittlere summierte Breite Schotterbänke ohne Schifffahrt (m) | -0,964 | 0,906 | 0,966 | 0,908 | -0,644 | 0,861 | 0,991 | 0,926 | 1 | 0,910 | 0,955 | 0,714 |
| Anbindungen Hauptarm-Nebengew. (% der Hauptarmufer) | -0,956 | 0,867 | 0,890 | 0,969 | -0,744 | 0,987 | 0,937 | 0,940 | 0,910 | 1 | 0,894 | 0,874 |
| Zubringer-Mündungen (Anzahl/km Talachse) | -0,934 | 0,982 | 0,884 | 0,917 | -0,571 | 0,833 | 0,958 | 0,918 | 0,955 | 0,894 | 1 | 0,785 |
| mittlere Breite Hochwasser-raum (m) | -0,821 | 0,850 | 0,751 | 0,822 | -0,433 | 0,896 | 0,757 | 0,822 | 0,714 | 0,874 | 0,785 | 1 |

gelb markiert: Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen Regulierungsintensität und flussmorphologischer Parameter; fett gedruckt: besonders signifikant mit p-Werten < 0,05 bei Alpha = 95%

4.2 Synoptische Beantwortung der Forschungsfragen

Nachfolgend werden die eingangs in Kapitel 1.1 erwähnten Forschungsfragen basierend auf den Ergebnissen und der zuvor erfolgten Diskussion zusammenfassend beantwortet.

F1: Sind entlang der Donau vor dem Beginn der Regulierung hinsichtlich der flussmorphologischen Ausprägung und der Gewässerhabitate Unterschiede im Tullner Becken, im Bereich von Wien sowie östlich davon erkennbar?

Obwohl es sich bei allen drei Untersuchungsabschnitten um alluviale Beckenlandschaften handelt, wiesen diese vor Beginn der umfassenden Regulierungsmaßnahmen um 1775/80 unterschiedliche Ausprägungen hinsichtlich der Sinuosität, der Breitenverhältnisse sowie der totalen Sinuosität auf. Betrachtet man zunächst nur die Sinuosität der Hauptstrom(arme), so fällt auf, dass die Donau in Wien am stärksten gewunden war, während sie im Tullner Becken und in der Wiener Pforte nach diesem Kriterium als gestreckter Flusstyp zu bezeichnen wäre (sofern man vom verzweigten Charakter absieht). Im Nationalpark Donau-Auen war sie etwas weniger stark gewunden als in Wien.

Im Tullner Becken wies die Donau mit einer mittleren Gesamtbreite der (semi-)lotischen Gewässer von 1000 – 1100 Meter (über Transekte summiert) im Unterschied zum Nationalpark (ca. 800 Meter) vergleichsweise breite aktive Gerinne auf. Das hohe Gefälle im Tullner Becken (vgl. Abbildung 16) dürfte somit zur Ausbildung von gestreckteren, dafür aber breiteren Armen geführt haben, während das geringe Gefälle im Nationalpark stärker gewundene Arme mit geringeren Breiten begünstigte. Der Wiener Abschnitt fällt dabei etwas aus dem Rahmen, da mit rund 1150 – 1200 Meter die größten Gesamtbreiten ermittelt wurden und hier zudem zeitgleich die Sinuosität am höchsten war. Der spezielle Charakter der Wiener Donau hängt vermutlich mit den besonderen geologischen Rahmenbedingungen mit relativ hohem Gefälle direkt flussab der Wiener Pforte und einem geringerem Gefälle am Beginn des Nationalparks (Lobau) zusammen. Im Bereich dieses „Gefällsknicks“ erreichte die Donau mit bis zu 1700 Meter auch die größte Gesamtbreite (vgl. Abbildung 34; eventuell ist dieser Gefällswechsel in Zusammenhang mit der hier befindlichen tektonischen Absenkzone des „Schwechater Tiefs“ zu sehen).

Betrachtet man die Lauflängen aller Gewässer des Donauesystems (= totale Sinuosität), dann sticht die Wiener Donau ebenfalls stark hervor. Während hier die totale Sinuosität ca. 1500% bezogen auf die Länge der Talachse erreichte, waren es im Tullner Becken knapp über 900% und im Nationalpark knapp ca. 850%. In der Durchbruchstrecke der Wiener Pforte erreichten sämtliche Gewässer immerhin noch rund 600% bezogen auf die Länge der Talachse.

F2: Wie stark waren die einzelnen Donauabschnitte von lotischen (durchströmten) und lenitischen (stagnierenden) Gewässerhabitaten geprägt?

Zwischen 1775 und 1817 waren alle vier untersuchten Abschnitte primär von durchströmten Gewässern geprägt. Bei den Gewässertypen nahmen Eupotamon A und B (permanent durchströmte Arme) sowie Parapotamon A (dynamische zeitweise durchströmte Altarme) im

Tullner Becken und im Nationalpark mit 70 – 77% die weitaus höchsten Anteile ein (bezogen auf die totale Sinuosität; vgl. Abbildung 18 bis Abbildung 21). In Wien betragen ihre Anteile am gesamten Gewässersystem nur 65 – 68%. Die etwas geringeren Anteile dürften teilweise die in Wien bereits früher begonnene Regulierung widerspiegeln (ebenso wie in der Wiener Pforte). Wertet man hingegen die Gewässer flächig aus, kommen die (semi-)lotischen Gewässer in Wien zwischen 1780 und 1817 zusammen auf ca. 94% (LAGER 2012). Diese Flächenwerte wären demnach im Tullner Becken und im Nationalpark noch etwas höher. Der Unterschied der Gewässeranteile bei linienhafter Betrachtung (Längen, totale Sinuosität) und bei flächiger Auswertung hängt damit zusammen, dass die lotischen Gewässer als die aktiveren Flussarme generell größere Breiten als die Altwässer aufwiesen. In der Gesamtbetrachtung fällt zudem der generell hohe Stellenwert der bei Niederwasser durchströmten Nebenarme auf (Eupotamon B). Zusammen mit den unterschiedlichen Typen an Altwässern ist die Donau nicht als typischer verzweigter Fluss, sondern am ehesten als *anabranched river* zu beschreiben, welcher Merkmale von verzweigten und mäandrierenden Flüssen aufweist.

F3: Inwiefern unterscheiden sich die Zeiträume und Maßnahmentypen der historischen anthropogenen Eingriffe an der Donau im näheren Umfeld der Stadt Wien von jenen in den ländlich geprägten Donauabschnitten?

Der untersuchte 85 Kilometer lange Flussabschnitt war räumlich wie zeitlich durch unterschiedliche wasserbauliche Entwicklungen geprägt. Generell wurden bei Wien und in der Wiener Pforte größere wasserbauliche Maßnahmen früher in Angriff genommen als in den anderen Abschnitten. So bestanden bereits um 1775/80 in Wien und in der Wiener Pforte ausgedehnte Regulierungs- und Hochwasserschutzbauten, während im Tullner Becken kaum und im Bereich des heutigen Nationalparks sehr wenige Wasserbauten bestanden. Im letztgenannten Abschnitt setzten diese sich überwiegend aus lokalen Hochwasserschutzdämmen nördlich des Augebietes zusammen. In der Wiener Pforte waren damals systematisch errichtete Dämme und Bühnen dominierend (Hubertusdamm), während in Wien auch bereits längere Ufersicherungen vorhanden waren (siehe Abbildung 46). Alle vier Donauabschnitte hatten gemeinsam, dass bis 1817 vor allem die Hochwasserschutzbauten zunahmen. Dies hing wahrscheinlich mit einer Phase verstärkter Hochwasseraktivität zwischen 1768 und ca. 1790 zusammen, wodurch Schutzdämme vor allem flussab des Tullner Beckens verstärkt errichtet wurden (HOHENSINNER et al. submitted b).

Auch in den folgenden Jahrzehnten wurde der Ausbau der Donau bzw. der Schutzdämme vor allem in Wien aber auch in der Wiener Pforte vorangetrieben. Dabei wurden sowohl Wasserbauten für die Mittelwasserregulierung als auch für den Hochwasserschutz vorgenommen. Im Nationalpark hingegen blieb das Bauvolumen bis 1875 weiterhin sehr gering (vgl. Wien in Abbildung 46 und Nationalpark in Abbildung 49). Zu diesem Zeitpunkt war die Wiener Donau bereits vollständig reguliert und mit einem umfassenden Hochwasserschutz versehen. Von Wien flussauf- und flussabwärts ausgehend erstreckten sich die wasserbaulichen Maßnahmen in den folgenden Jahrzehnten auf alle Donauabschnitte. Nach Einbau der Niederwasserregulierung um 1900 war die Regulierung der Donau abgeschlossen.

Die wenigsten Wasserbauten sind heute sowohl im Tullner Becken als auch im Nationalpark zu finden: in beiden Fällen erreichen sie inklusive der Niederwasserbauten jeweils knapp die achtfache Länge der Talachse (in Wien die 14fache Länge). Der Ausbau der Donau für die Energiegewinnung und die damit notwendige Errichtung von Kraftwerken und Stauräumen kommt in der vorliegenden Untersuchung erst im aktuellen Zeitschnitt zum Tragen. Ohne Berücksichtigung der dynamischeren Stauwurzelbereiche sind aktuell rund 40% des untersuchten Donauabschnittes hydromorphologisch stark durch Stauhaltungen beeinflusst. Zwischen 1910 und 2010 zeigen ein paar der untersuchten flussmorphologischen Parameter aufgrund jüngerer Restrukturierungs- und Gewässervernetzungsmaßnahmen wieder eine geringfügige Tendenz in Richtung eines dynamischeren Gewässercharakters.

F4: Zu welchem Zeitpunkt war die Donau-Flusslandschaft durch anthropogene Eingriffe so stark modifiziert, dass die Habitatbedingungen signifikant vom Referenzzustand vor der Regulierung abwichen?

Generell ist über den ganzen Untersuchungszeitraum hinweg eine Entwicklung vom ausgedehnten lotischen hin zum eingegengten lenitisch geprägten Gewässerlebensraum festzustellen. Betrachtet man die Zusammensetzung der Gewässertypen genauer, treten bereits um 1859 signifikante Unterschiede zur Situation um 1775/80 zutage. Am auffälligsten ist dabei die Verdoppelung lenitischer Gewässer, im Besonderen der einseitig angebundenen Altarme (Parapotamon B). Damit verbunden ist eine erste quantitative Reduktion des Gewässerlebensraumes, welche im Nationalpark damals aber noch kaum ausgeprägt war. Wie schon unter F3 ausgeführt, war die Donau bei Wien und in der Wiener Pforte von diesen Entwicklungen früher und stärker betroffen als in den anderen Abschnitten. Um 1859 betrug die Regulierungsintensität der Donau (gemessen als Prozentsatz der verbauten Hauptstromufer) im gesamten Untersuchungsgebiet bereits 55%. Jene der Donau im Nationalpark betrug 1859 auch schon 48%, wobei hier ebenfalls eine Verdoppelung der lenitischen Gewässer zu beobachten ist. Die flächige Auswertung der Wiener Gewässer um 1849 ergibt bei einer Regulierungsintensität von 42% ebenfalls schon signifikante Veränderungen (LAGER 2012). Um 1817 wies die Wiener Pforte mit 25% die höchste Regulierungsintensität auf (Abbildung 19). Dies ging bereits mit einem leichten Anstieg der lenitischen Gewässer einher. Demnach wäre der Grad der Regulierung, ab dem mit einer markanten Änderung des Gewässerlebensraumes zu rechnen ist, zwischen 25% und 42% Regulierungsintensität, im Mittel bei ca. 33%, anzusetzen. Die Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität (Anbindungsbreiten) spiegelt diese Entwicklung wider und zeigte 1859 ebenfalls stärkere Einbußen (Abbildung 22).

Betrachtet man die Breitenausdehnung der (semi-)lotischen Gewässer, dann ist im gesamten Donauabschnitt erst um 1875 (65% Regulierungsintensität) ein stärkerer Rückgang zu beobachten. Grund dafür mag der bereits mehrfach beobachtete Effekt sein, dass die Donau während der Regulierung in andere, noch nicht geschützte Bereiche der Flusslandschaft ausgewichen ist und auf diese Weise wieder ein breiteres Bett schaffen konnte

(HOHENSINNER et al. 2011). Erst als sie bei fortschreitender Regulierung am Ausweichen gehindert wurde, kam es zu einer signifikanten Einengung des Bettes.

F5: Wie lange und in welchem Ausmaß existierten für die rheophile Fischfauna in lotischen Flussarmen adäquate Laich- und Aufwuchshabitate, die vor dem Wellenschlag der zunehmenden Dampfschiffahrt geschützt waren?

Schotter- und Flachwasserhabitate in (semi-)lotischen Gewässern erfuhren nach dem Beginn der motorbetriebenen Schifffahrt in den 1830ern eine drastische Reduktion (vgl. Abbildung 36 und Abbildung 61). Dies geschah einerseits durch die generelle Reduktion der durchströmten Arme im Zuge der fortschreitenden Regulierung, andererseits wurden die verbliebenen durchströmten Arme für die Dampfschiffahrt genutzt (siehe Abbildung 59). Der Prozess vollzog sich zudem sehr schnell. Im Mittel über Transekte durch die Flusslandschaft gemessen wies der Strom 1859 nur mehr Schotterhabitate mit einer Gesamtbreite von 80 Meter ohne Beeinträchtigung durch Wellenschlag auf. Bereits um 1875 verringerte sich die verfügbare Gesamtbreite solcher Habitate auf nur mehr 10 Meter. 1910 waren auch die letzten von Wellenschlag geschützten Schotterbänke in lotischen und semilotischen Gewässern (Eupotamon A und B, Parapotamon A) verschwunden, da sich die in Frage kommenden Habitate ausschließlich im durchgehend von der Schifffahrt genutzten Hauptstrom befanden. Diese Situation hat sich bis heute nur sehr geringfügig gebessert, da die wenigen lotischen Schotterhabitate, welche durch Rückbaumaßnahmen entstanden sind, nicht stärker in der Bilanz des Gewässersystems aufscheinen.

Es spielt aber auch die Störungsfrequenz eine wesentliche Rolle, d.h. wie viele Schiffe täglich das jeweilige Gewässer befahren, und ebenso welcher Schiffstyp bzw. welche Antriebsart verwendet wurden. Seit den 1830ern nahm die Dampfschiffahrt bis Ende des 19. Jahrhunderts rasant zu. So wurden 1850 bereits 270.000 Passagiere von Wien flussabwärts und 129.000 von Wien nach Linz befördert, dazu kam noch ungefähr 350.000t Fracht (N.N. 1853). Bei der Diskussion der durch die Dampfschiffahrt verursachten Auswirkungen auf die Qualität (semi-)aquatischer Habitate muss allerdings auch eingeräumt werden, dass es bereits vor Beginn der motorbetriebenen Schifffahrt durch die Ruderschiffahrt Beeinträchtigungen gab. In der eisfreien Jahreszeit bewegten sich täglich mehrere Schiffszüge – die größeren davon mit bis zu 60 besonders kräftigen Schiffspferden – entlang der Donauarme flussaufwärts. Da für die Gegenfahrt flussauf oft Innenufer mit geringerer Gegenströmung genutzt wurden, waren besonders Schotter- und Flachwasserhabitate von der sogenannten Treidelschiffahrt betroffen (HOHENSINNER 2010). Davon war aber immer nur ein durchströmter Arm der Donau betroffen, wodurch die Beeinträchtigungen nicht so stark ins Gewicht fielen, solange noch mehrere andere lotische Gewässer vorhanden waren.

5. Literatur

- AMOROS C., ROUX A.L., REYGROBELLET J.L., BRAVARD J.P., PAUTOU G. (1987): A method for applied ecological studies of fluvial hydrosystems. *Regulated Rivers: Research and Management* 1: 17-36.
- BRIDGE J. (1993): The interaction between channel geometry, waterflow, sediment transport, erosion and deposition in braided rivers. *In Braided Rivers*, Best J., Bristow C. (eds). Geological Society of London: Special Publication 75: 13-72
- DONAU-REGULIRUNGS-COMMISSION (1886): Die Arbeiten der Donau-Regulierung bei Wien von Nussdorf bis Fischamend (begonnen im Jahre 1869, vollendet im Jahre 1884) und die Fortführung der Donau-Regulierungs-Arbeiten in den übrigen Donaustromstrecken in Niederösterreich durch die Donau-Regulierungs-Commission (vom Jahre 1882 bis inclusive 1885). Denkschrift hrsg. aus Anlass des II. Internationalen Binnenschiffahrts-Congresses in Wien im Jahre 1886. Wien, 33 S.
- ERNSTE H. (2011): Angewandte Statistik in Geografie und Umweltwissenschaften, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich
- ECKEY H., KOSFELD R., DREGER C. (2002): Statistik Grundlagen – Methoden – Beispiele, Betriebswirtschaftlicher Verlag DR. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden
- EUROPÄISCHES PARLAMENT (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 23.Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der europäischen Union. Aufgerufen am 2. Oktober 2012 von: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0060:20090625:DE:PDF>
- FINK J., GRILL R., KÜPPER H. (1955): Beiträge zur Pleistozänforschung in Österreich - Exkursionen zwischen Salzach und March. *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, Sonderheft D: 82-88
- HERNEGGER M. (2007): Historische Hydromorphologie und Geländetopographie der Wiener Donau-Auen. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien
- 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 Research and Applications*, 20 (1), 5-41.
- HOHENSINNER S. (2008): Rekonstruktion ursprünglicher Lebensraumverhältnisse der Fluss-Auen-Biozönose der Donau im Machland auf Basis der morphologischen Entwicklung von 1775-1991. PhD at the University of Natural Resources and Life Sciences Vienna, 307 S. u. 27 Kartenbeilagen.

HOHENSINNER S. (2010): "Wie viele Fahrzeuge liegen in den Schottermassen begraben?" - Die Schifffahrt auf der unregulierten Donau. In: Winiwarter, V., Schmid, M. (Hrsg.), *Umwelt Donau: Eine andere Geschichte*. Katalog zur Ausstellung des NÖ Landesarchivs "Donau - Fluch & Segen" in Ardagger Markt, 5. Mai - 7. Nov. 2010, NÖ Institut für Landeskunde, St. Pölten.

HOHENSINNER S., JUNGWIRTH M., MUHAR S., HABERSACK H. (2005): Historical analysis: a foundation for developing and evaluating river-type specific restoration programs. *Int. Journal for River Basin Management* Vol 3, NO. 2 (2005): 87-96

HOHENSINNER S., EBERSTALLER-FLEISCHANDERL D., HAIDVOGL G., HERNEGGER M., WEISS M. (2008): Die Stadt und der Strom – Historische Veränderungen der Wiener Donau-Auen seit dem 18. Jahrhundert. *Abh. Geol. B.-A.* Band 62: 87-93

HOHENSINNER S., LAGER B., SONNLECHNER CH., HAIDVOGL G., GIERLINGER S., SCHMID M., KRAUSMANN F. & WINIWARTER V. (submitted): Changes in water and land: the reconstructed Viennese riverscape 1500 to the present. *International Journal of Water History*.

JUNGWIRTH M., HAIDVOGEL G. MOOG O., MUHAR S., SCHMUTZ S. (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern, 547 S.; UTB Uni-Taschenbücher Bd. 2113

JUNGWIRTH M., HAIDVOGL G., HOHENSINNER S., MUHAR S., SCHMUTZ S., WAIDBACHER H. (2005): Leibild-specific measures for the rehabilitation of the heavily modified Austrian Danube River. *Large Rivers* Vol. 15, No.1-4: 17-36

LAGER B. (2012): Historische morphologische Veränderungen der Wiener Donau-Flusslandschaft 1529-2010. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien

LEOPOLD L., WOLMAN M. (1957): River Channel Patterns – Braided Meandering and Straight. United States Geological Survey, Professional Paper 282 B.

LIEPOLT L. (Hrsg.). (1967): Limnologie der Donau: eine monographische Darstellung. Im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Donauforschung der Societas Internationales limnologiae. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, 648 Seiten, Mit Tafel I-III, 3 mehrfarbige Kartenbeilagen 87 Abbildungen und 68 Tabellen im Text sowie auf 14 Beilagen

NANSON G., KNIGHTON A. (1966): Anabranching Rivers: Their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landforms* 21: 217-239

NELL D. (2009): Methoden der Genauigkeitsanalyse historischer Karten am Beispiel der Gradkartenblätter 1:25.000 Innsbruck und Lienz der Dritten Österreichischen Landesaufnahme. Diplomarbeit an der Universität Wien

N. N. (1853): Geschichte der Entwicklung der österreichischen Dampfschiffahrt auf der Donau. Als ein Beitrag zu unserer Zeitgeschichte. Deutsche Vierteljahres Schrift. 2. Heft, Jg. 1853, Stuttgart u. Tübingen.

PILLER J. (2012): Rekonstruktion der historischen hydromorphologischen Eingriffe an der Salzach. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien

RICHARDS K. (1982): Rivers: Form and Process in Alluvial Channels. Methuen: London

ROBERTSON-RINTOUL M., RICHARDS K. (1993): Braided-channel pattern and paleohydrology using an index of total sinuosity. In *Braided Rivers*, Best J., Bristow C., Geological Society of London: Special Publication 75: 113-119

SCHIEMER F., BARTL E., HIRZINGER V., WEISSENBACHER A., ZORNIG H. (2001): Der Einfluss des schiffahrtsbedingten Wellenschlags auf die Entwicklung der Fischfauna der Donau. Studie in Auftrag gegeben vom Fischereiverband II Korneuburg

SCHMAUTZ M. (2000): Wissenschaftliche Untersuchung der Geschiebe- und Eintiefungsproblematik der österreichischen Donau – Endbericht

WILETAL J. (1897): Die Veränderung des Donau-Laufes im Wiener Becken. In: STIEBÖCK L. (Hrsg.): Alt-Wien. Wienbibliothek Rathaus

ZEPP H. (2011): Geomorphologie Eine Einführung. 5. durchgesehene Auflage, Ferdinand Schöningh, Paderborn

Internetquellen:

<http://www.donauauen.at/?area=nationalpark&subarea=numbers>; Aufgerufen am 10.10.2012

<http://www.danubecommission.org>; Aufgerufen am 12.10.2012

<http://support.esri.com/es/knowledgebase/GISDictionary/term/spline%20interpolation>;

Aufgerufen am 17. 10. 2012

6. Kartenverzeichnis

- *N.N. (1769-1781): Erste Landesaufnahme: Josephinische Landesaufnahme, M: 1 : 28.800; Östa, Kriegsarchiv (B IX a 242)*
- *N.N. (1817-1861): Franziszeischer Kataster, M: 1 : 2.880; Archiv Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtstraße Wien*
- *de Lorenzo, C. (1816-1817): Nieder Oesterreichische Donau-Stromkarte, M: 1 : 7.200; ÖNB Kartensammlung K II 98.555*
- *Kazda (1849): Vermessung der Donauauen bei Wien, M: 1 : 14.400; NÖLA Regierungsarchiv*
- *PASETTI, F. (1859): Karte des Donau Stromes innerhalb der Grenzen des Österreichischen Kaiserstaates, M: 1 : 28.800; Kriegsarchiv (B IX b 138)*
- *N.N. (1872-1875): Franzisko-josephinische Landesaufnahme (III. LA), M: 1 : 25.000; Archiv Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtstraße Wien*
- *Leporello (1875): Schifffahrtskarte der Donau, M:?*
- *N.N. Militär-geographisches Institut (1910): Österreich-Karte, M: 1 : 25.000?*
- *N.N. Binnenschifffahrts-Inspektorat im Handelsministerium (1917):Karte der Österreichischen Donau, M: ?, 6. Teil: Höflein-Theben*
- *N.N.(ca. 1930 basierend auf älteren Aufnahmen): Karte der österreichischen Donau, Bundesministerium für Handel und Verkehr, M: 1 : 10.000, 6 Teile, (vgl. Macho, E. 1978), KA BIX b 140-11, ÖNB Kartensammlung K. B. 100.171, UB Wien I 492405*
- *Österreichische Karte 1:50.000 (2010): Bundesamt für Eich und Vermessungswesen*
- *FUCHS W., GRILL, R. (1984): Geologische Karte von Wien und Umgebung 1:200.000 1 Bl., Farbdruck*

7. Tabellen und Abbildungsverzeichnis

7.1 Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| TABELLE 1: MABEINHEITEN DER SINUOSITÄT, ZEITSITUATION 2010 | 33 |
| TABELLE 2: ENTWICKLUNG DER ANBINDUNGSBREITEN IN WIEN 1780 – 2010..... | 45 |
| TABELLE 3: VERGLEICH DER TOTALEN SINUOSITÄT (TS) JE DONAU-GEWÄSSERTYP (%) UND DER ANZAHL DER ZUBRINGER, DIE IN DEN JEWELIGEN GEWÄSSERTYP MÜNDEN (M.TYP = MÜNDUNGSTYP) FÜR DAS GESAMTE UNTERSUCHUNGSGBIET..... | 50 |
| TABELLE 4: LÄNGE DER WASSERBAUTEN (KM) IM GESAMTGBIET (1775 – 2010) | 66 |
| TABELLE 5: KREUZKORRELATION DER IN KAPITEL 4.1 UNTERSUCHTEN PARAMETER | 93 |

7.2 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| ABBILDUNG 1: UNTERSUCHUNGSGBIET UND DESSEN ABSCHNITTE (GRUNDLAGE: LAND-, FORST- UND WASSERWIRTSCHAFTLICHES RECHENZENTRUM GMBH, BMLFUW, CA. 2010) | 4 |
| ABBILDUNG 2: GEODÄTISCHES DATUM DES GIS-PROJEKTS..... | 11 |
| ABBILDUNG 3: GEOREFERENZIERUNG DER PASETTI-KARTE (1859), BLATT HASLAU | 12 |
| ABBILDUNG 4: VERORTUNG DER SCHIFFFAHRTSKARTE 1917 IM RAUM VON HAINBURG | 13 |
| ABBILDUNG 5: ANBINDUNGSBREITEN UND SINUOSITÄT IM TULLNER BECKEN UM 1775 (GRUNDLAGE: 1. LANDESAUFNAHME 1769-1781, ÖSTA, KRIEGSARCHIV B IX A 242) | 16 |
| ABBILDUNG 6: ANBINDUNGSBREITEN UND SINUOSITÄT IM TULLNER BECKEN UM 1875 (GRUNDLAGE: 3. LANDESAUFNAHME 1872-1875, ARCHIV BEV WIEN) | 17 |
| ABBILDUNG 7: TOTALE SINUOSITÄT IM TULLNER BECKEN UM 1875 (GRUNDLAGE: 3. LANDESAUFNAHME 1872-1875, ARCHIV BEV WIEN) | 20 |
| ABBILDUNG 8: BREITEN DER AKTIVEN GERINNE, TRANSEKTE DURCH DIE FLUSSLANDSCHAFT UND TOTALE SINUOSITÄT IM TULLNER BECKEN UM 1817 (DE LORENZO 1819, NÖ. LANDESBIBLIOTHEK KARTENSAMMLUNG B II 82) | 21 |
| ABBILDUNG 9: LINEARE WASSERBAUTEN IM TULLNER BECKEN UM 1910 (GRUNDLAGE: MILITÄRGEOGRAPHISCHES INSTITUT 1903-1905, UMGEBUNGSKARTE VON WIEN, ARCHIV BEV WIEN; BUNDESMINISTERIUM FÜR HANDEL UND VERKEHR CA. 1920-1930, KARTE DER ÖSTERREICHISCHEN DONAU, ÖNB KARTENSAMMLUNG K. B. 100.171) | 24 |
| ABBILDUNG 10: ZEITVERLAUF DER SINUOSITÄT IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGBIET 1775 – 2010 (DIE SKALA DER Y-ACHSE WURDE JE PARAMETER AUS GRÜNDEN DER VERGLEICHBARKEIT FÜR ALLE UNTERSUCHUNGSABSCHNITTE GLEICH GROß GEWÄHLT. DIE SCHWANKUNGSBREITEN SIND ANGEZEIGT; DAS ARITHMETISCHE MITTEL IST DURCH EINEN QUERSTRICH GEKENNZEICHNET) | 27 |
| ABBILDUNG 11: ZEITVERLAUF DER SINUOSITÄT BEI WIEN 1780 – 2010..... | 29 |
| ABBILDUNG 12: ZEITVERLAUF DER SINUOSITÄT IM NATIONALPARK DONAU-AUEN 1775 – 2010..... | 29 |
| ABBILDUNG 13: ZEITVERLAUF DER SINUOSITÄT AN DER WIENER PFORTE 1775 – 2010 | 30 |
| ABBILDUNG 14: ZEITVERLAUF DER SINUOSITÄT IM TULLNER BECKEN 1775 - 2010 | 31 |
| ABBILDUNG 15: VERLAUF DER TALACHSE DER DONAUEBENE IM UNTERSUCHUNGSGBIET (GRUNDLAGE: LAND-, FORST- UND WASSERWIRTSCHAFTLICHES RECHENZENTRUM GMBH, BMLFUW, CA. 2010) | 32 |
| ABBILDUNG 16: GEFÄLLSWERTE DES NIEDERWASSERSPIEGELS UM 1817 (ROT) UND AKTUELL (SCHWARZ) (BASIEREND AUF DE LORENZO, AUFGENOMMEN 1816-1817, HRSG. 1819; HOHENSINNER, NICHT PUBLIZIERT)..... | 32 |
| ABBILDUNG 17: ZEITVERLAUF DER TOTALEN SINUOSITÄT IM UNTERSUCHUNGSGBIET 1775 – 2010 | 34 |
| ABBILDUNG 18: ZEITVERLAUF DER TOTALEN SINUOSITÄT IM TULLNER BECKEN 1775 – 2010 | 36 |
| ABBILDUNG 19: ZEITVERLAUF DER TOTALEN SINUOSITÄT IN DER WIENER PFORTE 1775 – 2010..... | 37 |
| ABBILDUNG 20: ZEITVERLAUF DER TOTALEN SINUOSITÄT BEI WIEN 1780 – 2010 | 38 |
| ABBILDUNG 21: ZEITVERLAUF DER TOTALEN SINUOSITÄT IM NATIONALPARK 1775 – 2010 | 40 |
| ABBILDUNG 22: ANBINDUNGSBREITEN VON TULLN BIS ZUR MARCH 1775 – 2010 | 42 |
| ABBILDUNG 23: ANBINDUNGSBREITEN IM TULLNER BECKEN 1775 - 2010 | 43 |
| ABBILDUNG 24: ANBINDUNGSBREITEN IN DER WIENER PFORTE 1775 - 2010..... | 44 |
| ABBILDUNG 25: ANBINDUNGSBREITEN IM NATIONALPARK 1775 – 2010..... | 45 |
| ABBILDUNG 26: ANBINDUNGSBREITEN IM NATIONALPARK 1775 – 2010..... | 46 |
| ABBILDUNG 27: TALACHSENBEZOGENE LÄNGE UND GRÖßENTYP DER ZUBRINGER 1775 – 2010 | 47 |

| | |
|---|-----------|
| ABBILDUNG 28: ANZAHL DER ZUBRINGER BEZOGEN AUF DIE TALACHSE UND GEWÄSSERTYP DES DONAU-SYSTEMS IN DEN DIE ZUBRINGER MÜNDEN 1775 – 2010. (_S) BEDEUTET MIT ODER OHNE EINFLUSS DER GROBSCHIFFFAHRT)..... | 49 |
| ABBILDUNG 29: VERTEILUNG DER MÜNDUNGEN MITTLERER/GROßER UND KLEINER ZUBRINGER AUF DIE UNTERSCHIEDLICHEN GEWÄSSERTYPEN DER DONAU UM 1775/80 | 51 |
| ABBILDUNG 30: VERTEILUNG DER MÜNDUNGEN MITTLERER/GROßER UND KLEINER ZUBRINGER AUF DIE UNTERSCHIEDLICHEN GEWÄSSERTYPEN DER DONAU UM 2010 | 51 |
| ABBILDUNG 31: MEDIANWERTE DER GESAMTBREITEN DER DURCHSTRÖMTEN ARME (M) IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGEBIET 1775 – 2010 | 53 |
| ABBILDUNG 32: MEDIANWERTE DER GESAMTBREITEN DER DURCHSTRÖMTEN ARME (M) IN WIEN 1780 – 2010 | 54 |
| ABBILDUNG 33: MEDIANWERTE DER GESAMTBREITEN DER DURCHSTRÖMTEN ARME (M) IM NATIONALPARK 1775 – 2010 | 55 |
| ABBILDUNG 34: LÄNGSVERLAUF DER GESAMTBREITEN (M) IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGEBIET 1775 – 1859..... | 56 |
| ABBILDUNG 35: LÄNGSVERLAUF DER GESAMTBREITEN (M) IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGEBIET 1875 – 2010..... | 57 |
| ABBILDUNG 36: ANTEIL DER GEWÄSSER OHNE SCHIFFFAHRT AN DER GESAMTBREITE (%) IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGEBIET 1775 – 2010 | 58 |
| ABBILDUNG 37: ANTEIL DER GEWÄSSER OHNE SCHIFFFAHRT AN DER GESAMTBREITE (%) BEI WIEN 1780 – 2010 | 59 |
| ABBILDUNG 38: MEDIANWERTE DER GESAMTBREITEN DER SCHOTTERBÄNKE IN LOTISCHEN GEWÄSSERN (EUPOTAMON A, EUPOTAMON B UND PARAPOTAMON A) IM GESAMTGBIET 1775 – 2010 | 60 |
| ABBILDUNG 39: MEDIANWERTE DER GESAMTBREITEN DER SCHOTTERBÄNKE IN LOTISCHEN GEWÄSSERN (EUPOTAMON A, EUPOTAMON B UND PARAPOTAMON A) BEI WIEN 1780 – 2010 | 61 |
| ABBILDUNG 40: MEDIANWERTE DER GESAMTBREITEN DER SCHOTTERBÄNKE IN LOTISCHEN GEWÄSSERN (EUPOTAMON A, EUPOTAMON B UND PARAPOTAMON A) IM NATIONALPARK 1775 – 2010..... | 62 |
| ABBILDUNG 41: LÄNGSVERLAUF DER GESAMTBREITEN (M) DER SCHOTTERBÄNKE IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGEBIET 1775 – 1859 (TULLNER BECKEN 1775: KEINE WERTE DA GRUNDLAGEN ZU UNGENAU)..... | 63 |
| ABBILDUNG 42: LÄNGSVERLAUF DER GESAMTBREITEN DER SCHOTTERBÄNKE (M) IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGEBIET 1875 – 2010 | 64 |
| ABBILDUNG 43: LINEARE WASSERBAUTEN BEZOGEN AUF DIE LÄNGE DER TALACHSE (%) IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGEBIET 1775 – 2010..... | 65 |
| ABBILDUNG 44: ENTWICKLUNG UND BAUTYPEN DER HOCHWASSERSCHUTZDÄMME (% DER TALACHSENLÄNGE) IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGEBIET 1775 – 2010 | 66 |
| ABBILDUNG 45: INTENSITÄT DER MW-REGULIERUNG (% VERBAUTER UFER) IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGEBIET 1775 – 2010 .. | 69 |
| ABBILDUNG 46: LINEARE WASSERBAUTEN BEZOGEN AUF DIE LÄNGE DER TALACHSE (%) IN WIEN 1780 – 2010 | 70 |
| ABBILDUNG 47: ENTWICKLUNG UND BAUTYPEN DER HOCHWASSERSCHUTZDÄMME (% DER TALACHSENLÄNGE) IN WIEN 1780 – 2010 | 70 |
| ABBILDUNG 48: INTENSITÄT DER MW-REGULIERUNG (% VERBAUTER UFER) IN WIEN 1780 – 2010..... | 72 |
| ABBILDUNG 49: LINEARE WASSERBAUTEN BEZOGEN AUF DIE LÄNGE DER TALACHSE (%) IM NATIONALPARK 1775 – 2010 | 73 |
| ABBILDUNG 50: ENTWICKLUNG UND BAUTYPEN DER HOCHWASSERSCHUTZDÄMME (% DER TALACHSENLÄNGE) IM NATIONALPARK 1775 – 2010 | 73 |
| ABBILDUNG 51: INTENSITÄT DER MW-REGULIERUNG (% VERBAUTER UFER) IM NATIONALPARK 1775 – 2010 | 75 |
| ABBILDUNG 52: FLÄCHIGE WASSERBAUMAßNAHMEN (HA/KM TALACHSENLÄNGE) IM GESAMTEN UNTERSUCHUNGSGEBIET 1775 – 2010 (BEI DEN FLÄCHIGEN WASSERBAUTEN 2010 IST ZU BEACHTEN, DASS DIESE IN SUMME ETWAS ÜBERHÖHT DARGESTELLT SIND, WEIL SICH DER DONAU-DURCHSTICH FLUSSAUF VOM KRAFTWERK GREIFENSTEIN UND DER STAUHAUM ETWAS ÜBERSCHNEIDEN) | 76 |
| ABBILDUNG 53: FLÄCHIGE WASSERBAUMAßNAHMEN (HA/KM TALACHSENLÄNGE) IN WIEN 1780 – 2010 | 76 |
| ABBILDUNG 54: TOTALE SINUOSITÄT UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010 | 80 |
| ABBILDUNG 55: TOTALE SINUOSITÄT PERMANENT DURCHSTRÖMTER GEWÄSSER (EUPOTAMON A UND B) UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010 | 81 |
| ABBILDUNG 56: TOTALE SINUOSITÄT ALLER ALTARME (PARAPOTAMON A UND B, PLESIOPOTAMON) UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010 | 82 |
| ABBILDUNG 57: MITTLERE GESAMTBREITE* SÄMTLICHER PERMANENT/ZEITWEISE DURCHSTRÖMTER GEWÄSSER UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010 (* SUMMENWERT AUS ALLEN PARALLEL VERLAUFENDEN GEWÄSSERN VOM TYP EUPOTAMON A UND B SOWIE PARAPOTAMON A)..... | 83 |
| ABBILDUNG 58: MITTLERE GESAMTBREITE* SÄMTLICHER PERMANENT/ZEITWEISE DURCHSTRÖMTER GEWÄSSER OHNE SCHIFFFAHRT UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010 (* SUMMENWERT AUS ALLEN PARALLEL VERLAUFENDEN GEWÄSSERN VOM TYP EUPOTAMON A UND B SOWIE PARAPOTAMON A)..... | 84 |
| ABBILDUNG 59: MITTLERE GESAMTBREITE* SÄMTLICHER PERMANENT/ZEITWEISE DURCHSTRÖMTER GEWÄSSER UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010: GELBER BEREICH = BREITENREDUKTION DURCH REGULIERUNG, GRÜN = ANTEIL DER DURCH WELLENSCHLAG BEEINTRÄCHTIGTEN GEWÄSSERBREITEN, BLAU = VERBLIEBENER ANTEIL OHNE WELLENSCHLAG (* | |

| | |
|---|----|
| SUMMENWERT AUS ALLEN PARALLEL VERLAUFENDEN GEWÄSSERN VOM TYP EUPOTAMON A, EUPOTAMON B UND PARAPOTAMON A; HOHENSINNER & HOLUB, UNPUBLIZIERT) | 85 |
| ABBILDUNG 60: MITTLERE GESAMTBREITE DER SCHOTTERBÄNKE* IN SÄMTLICHEN PERMANENT/ZEITWEISE DURCHSTRÖMTEN GEWÄSSERN UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010 (* SUMMENWERT DER SCHOTTERBANKBREITEN IN ALLEN PARALLEL VERLAUFENDEN GEWÄSSERN VOM TYP EUPOTAMON A UND B SOWIE PARAPOTAMON A) | 86 |
| ABBILDUNG 61: MITTLERE GESAMTBREITE DER SCHOTTERBÄNKE* IN SÄMTLICHEN PERMANENT/ZEITWEISE DURCHSTRÖMTEN GEWÄSSERN OHNE SCHIFFFAHRT (WELLENSCHLAG) UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010 (* SUMMENWERT DER SCHOTTERBANKBREITEN IN ALLEN PARALLEL VERLAUFENDEN GEWÄSSERN VOM TYP EUPOTAMON A UND B SOWIE PARAPOTAMON A) | 87 |
| ABBILDUNG 62: BREITE DER ANBINDUNGEN AN DEN HAUPTSTROM UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010 | 88 |
| ABBILDUNG 63: ANZAHL DER ZUBRINGERMÜNDUNGEN UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010 | 89 |
| ABBILDUNG 64: GESAMTLÄNGEN DER MITTELWASSER-REGULIERUNGSBAUTEN AN ALLEN GEWÄSSERN UND DER HOCHWASSERSCHUTZDÄMME (% DER TALACHSENLÄNGE) 1775 – 2010 | 90 |
| ABBILDUNG 65: LÄNGEN ALLER HOCHWASSERSCHUTZDÄMME (% DER TALACHSENLÄNGE) UND MITTLERE BREITE DES ÜBERSCHWEMMUNGSRAUMES BEI KLEINEREN HOCHWÄSSERN (CA. HQ ₁₋₂) 1775 – 2010 (INKLUSIVE DER DONAU; HOHENSINNER, UNPUBLIZIERT) | 91 |
| ABBILDUNG 66: STAU-RÄUME UND REGULIERUNGSINTENSITÄT 1775 – 2010 | 92 |

Erklärung

Ich versichere

- dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe,
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, November 2012

Curriculum Vitae

Christoph Holub

Persönliche Daten

Geburtsdatum: 24. Mai 1983
Geburtsort: Wien
Staatsbürgerschaft: Österreich
E-Mail: c.holub@gmx.net

Ausbildung

1993 – 2001 Bundesgymnasium Wien 1220 Bernoullistrasse
Matura u.a. in Englisch, Mathematik, Physik und Geographie

2002 - 2003 Studium der „Kulturtechnik und Wasserwirtschaft“ an der Universität für Bodenkultur

2003 - 2012 Studium der „Theoretischen und Angewandten Geographie“ an der Universität Wien:
vertiefende Schwerpunktfächer: „Angewandte Hydrologie und Hydrobiologie“,
„Landschaftsökologie und Naturraumanalyse“ sowie „Regionalentwicklung“

Jänner. 2002 bis Sept. 2002
Ableistung des Präsenzdienstes

Berufliche Erfahrung und praktische Kenntnisse

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Universität für Bodenkultur

Technischer Mitarbeiter: abiotisches Monitoring zum Flussbaulichen Gesamtprojekt Donau östlich von Wien.

Institut für Angewandte Geologie, Universität für Bodenkultur

Projektassistent im Bereich Ermittlung von Naturgefahrenpotential und Erstellung von Gefahrenzonenplänen.

Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Wien

Tutor für die „Übungen zur Hydrogeographie“

Ingenieurbüro für Geologie Mag. Weixelberger

Geländeerhebungen und Mitwirkung bei der Erstellung diverser Gutachten

Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement

Diplomarbeit im Rahmen des FWF-Forschungsprojekts „DYNAFISH“