

Projekträger

viadonau

via donau –
Österreichische Wasserstraßen-GmbH

Kofinanzierung



Titel

Flussmorphologische Entwicklung der March und der Thaya entlang der österreichischen Staatsgrenze seit dem 18. Jahrhundert

Endbericht

ErstellerInnen

Severin Hohensinner,
Jacqueline Denzel, Oliver Rehberger, Klara Stuppacher & Fiona Schwab

Institut



IHG 

Institut für
Hydrobiologie und
Gewässermanagement

Datum

Juni 2023

Datenabgabe

GIS-Datensatz im
Esri Shape-Format

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	2
Abstract	4
1. Einleitung	6
2. Ziel der Studie	7
3. Untersuchungsgebiet	7
3.1 Lage und Ausdehnung	7
3.2 Hydromorphologische Charakteristika	9
4. Methodik	10
4.1 Grundlagendaten	10
4.2 Regressiv-iterative GIS-Rekonstruktion	17
5. Ergebnisse March	19
5.1 Beispiele für flussmorphologischen Rekonstruktionen	19
5.2 Sinuosität	32
5.3 Breite des aktiven Gerinnes	34
5.4 Gewässertypen (aquatische Makrohabitats)	35
5.5 Laterale hydrologische Konnektivität	40
5.6 Migration von Flussbögen	41
5.7 Umlagerungsdynamik (Erosion/Verlandung)	43
5.8 Regulierungsintensität	45
6. Ergebnisse Thaya	46
6.1 Beispiele für flussmorphologischen Rekonstruktionen	46
6.2 Sinuosität	56
6.3 Breite des aktiven Gerinnes	56
6.4 Gewässertypen (aquatische Makrohabitats)	57
6.5 Laterale hydrologische Konnektivität	60
6.6 Migration von Flussbögen	62
6.7 Umlagerungsdynamik (Erosion/Verlandung)	64
6.8 Regulierungsintensität	66
7. March und Thaya im Vergleich	68
7.1 Gefällsverhältnisse und Mäanderdurchbrüche	68
7.2 Stream power	71
8. Zusammenfassung	78
9. Literatur	82
10. Datenabgabe	85

Kurzfassung

Die GIS-basierte Rekonstruktion der historischen Flusslandschaft entlang der nordöstlichen österreichischen Staatsgrenze umfasst 69 km Lauflänge der March und 17,3 km der Thaya zwischen Břeclav/Bernhardsthal und Devín/Theben. Abhängig von den verfügbaren historischen Kartenwerken wurde die Flusslandschaft der March für die Zeitpunkte 1703, 1755, 1821, 1896, 1942 und 2020 rekonstruiert; jene der Thaya für 1780, 1821, 1873, 1942 und 2020.

Beide Flüsse sind entsprechend ihrer Sinuosität (Laufentwicklung) als mäßig mäandrierende Gewässer zu bezeichnen. Die donaunahe Mündungsstrecke der March wies einen vollkommen anderen Gerinnetyp auf, der als gestreckt mit geringer Verzweigungsintensität zu bezeichnen ist. Durch die Regulierung wurde die Breite des aktiven Gerinnes der March um rund 50 % reduziert, während es an der Thaya nur 9 % waren. Die March verlor seit 1703 rund 57 % ihrer natürlichen Gewässerlebensräume (aquatische Makrohabitate). Stets dominierte der Hauptarm die Flusslandschaft mit einem Flächenanteil von 50 bis 60 %. Ständig oder zumeist durchströmte Nebenarme und einseitig angebundene Altarme stellten die größten Anteile an Augewässern. Im Gegensatz zur March verringerten sich die natürlichen Gewässer der Thaya seit 1780 nur um 23 % und der Hauptarm war weniger dominant. Bis 2020 reduzierte sich an beiden Flüssen die Fläche fast aller Gewässertypen erheblich, während Totarme signifikant zunahmen. Der Verlust an (semi-)dynamischen, an den Hauptarm angebotenen Augewässern ist auch anhand der Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität nachvollziehbar. An der March wiesen vor der Regulierung zwischen 4 und 5 % aller Ufer des Hauptarms Anbindungen zu Augewässern auf. Aktuell sind es noch 1 %.

Vor der Regulierung wies die Thaya im Mittel ein Gefälle von 0,26 ‰ auf, welches sich bis heute auf 0,31 ‰ erhöhte. Die vier untersuchten Abschnitte der March waren mit 0,14-0,18 ‰ durch wesentlich geringere Gefälle gekennzeichnet (aktuell 0,17-0,21 ‰). Die historische March zeigt, dass die Sinuosität, die eng mit dem Gefälle eines Flusses verbunden ist, hochsignifikant mit der Tendenz zu Mäanderdurchbrüchen korreliert. Aufgrund des höheren Gefälles hatte die Thaya auch eine größere „Specific stream power“ (SSP) als die March (3,9 W/m² versus rund 3 W/m²). Die geringe SSP deutet darauf hin, dass die Transportkapazität und damit das Potenzial für morphodynamische Prozesse der March vor der Regulierung vergleichsweise gering ausgebildet war, woraus sich auch die Tendenz zu flächigen Überflutungen erklären könnte. Der donaunahe Abschnitt der March

entsprach mit einer SSP von lediglich $1,3 \text{ W/m}^2$ einem „anastomosing low-energy river“, was durch den starken Einfluss der Donau begründet war. Durch die Regulierung nahm die SSP der March je nach Abschnitt um 150 bis 400 % zu, wodurch nun wesentlich mehr Energie pro Quadratmeter auf die Sohle und die Ufer einwirkt.

Die Flussbögen der March verlagerten sich ursprünglich im Median zwischen 0,9 und 1,4 m pro Jahr, wobei maximale Migrationsraten auch 3 m pro Jahr oder mehr ausmachen konnten. Als Folge der Regulierung im 20. Jahrhundert kam die Gerinne- bzw. Ufermigration der March weitgehend zum Erliegen. Die Verlagerung der Flussbögen erfolgte an der Thaya generell etwas langsamer als an der March. Die Analyse der Erosion und Verlandung entlang des Hauptarms (Umlagerungsdynamik) zeigt, dass vor der Regulierung ein ungefähres dynamisches Gleichgewicht zwischen beiden Prozessen herrschte. So wurden an der March von 1703 bis 1896 jährlich zwischen 4,2 und 7,5 ha Auegebiet erodiert, während zwischen 4,7 und 7,4 ha an Wasserflächen verlandeten und zu neuem Auland wurden (Umlagerungen an Nebengewässern nicht mitgerechnet).

Typisch für regulierte Flüsse ist das Überhandnehmen von Verlandungsprozessen während Erosionsprozesse weitgehend unterbunden wurden. Dies ist auch gut an der March erkennbar, an der Thaya lässt sich diese Entwicklung hingegen nicht im selben Ausmaß belegen.

Grund dafür ist die unterschiedliche Intensität der Regulierung. An der March existierten bis 1821 keine nennenswerten Uferschutzmaßnahmen, während aktuell 75 % der Ufer befestigt sind. An der Thaya begann die Regulierungsgeschichte wesentlich früher, bis zum Beginn der umfassenden Regulierung 1979 waren aber nur weniger als 10 % der Ufer befestigt. Aktuell sind es 43 %, wodurch auch heute noch in einigen Abschnitten der Thaya Laufverlagerungen möglich sind.

Abstract

The GIS-based reconstruction of the historical river landscape along the northeastern Austrian state border covers 69 km of the course of the Morava River and 17.3 km of the Dyje River between Břeclav/Bernhardsthal and Devín/Theben. Depending on the available historical maps, the river landscape of the Morava was reconstructed for the dates 1703, 1755, 1821, 1896, 1942 and 2020; that of the Dyje for 1780, 1821, 1873, 1942 and 2020.

According to their sinuosity, both rivers can be described as moderately meandering waters. The estuarine stretch of the Morava near the Danube showed a completely different channel type, which can be described as straight with low braiding intensity. River training reduced the width of the active channel of the Morava by about 50 %, while on the Dyje it was only 9 %. Since 1703, the Morava has lost about 57 % of its natural aquatic habitats. The main branch always dominated the river landscape with an area share of 50 to 60 %. Permanently or mostly flowed through tributaries and unilaterally connected backwaters (oxbows) represented the largest proportions of floodplain water bodies. In contrast to the Morava, the natural waters of the Dyje decreased by only 23 % since 1780. On the Dyje, the main branch was less dominant than on the Morava. By 2020, the area of almost all water body types decreased substantially on both rivers, while dead arms increased significantly. The loss of water bodies connected to the main branch can also be traced by the intensity of lateral hydrological connectivity. On the Morava, before river training, between 4 and 5 % of all banks of the main branch had connections to water bodies in the floodplain. Currently, there are only 1 %.

Prior to channelization, the Dyje showed a channel slope of 0.26 ‰, which has increased to 0.31 ‰ today. The four studied sections of the Morava were characterized by much lower slopes of 0.14-0.18 ‰ (currently 0.17-0.21 ‰). The historical Morava reveals a high significant correlation between the sinuosity and thus the channel slope and the tendency to meander breakthroughs. Due to the higher slope, the Dyje also had a greater "specific stream power" (SSP) than the Morava (3.9 W/m² versus around 3 W/m²). The low SSP indicates that the transport capacity and thus the potential for morphodynamic processes of the Morava was comparatively low before regulation, which could also explain the tendency to extensive flooding. With an SSP of only 1.3 W/m², the section of the Morava near the Danube corresponded to an "anastomosing low-energy river", which was due to the strong influence of the Danube. Due to regulation, the SSP of the Morava increased by 150 to 400 %,

depending on the section, which means that much more energy per square meter now affects the riverbed and the banks.

The river bends of the Morava originally shifted between 0.9 and 1.4 m per year on median, with maximum migration rates of 3 m per year or more. As a result of river training in the 20th century, channel or bank migration of the Morava largely ceased. Shifting of river bends generally occurred somewhat more slowly on the Dyje than on the Morava. Analysis of erosion and sedimentation along the main branch shows that prior to channelization there was an approximate dynamic equilibrium between the two processes. Thus, along the Morava from 1703 to 1896, between 4.2 and 7.5 ha of floodplain were eroded annually, while between 4.7 and 7.4 ha of water areas showed aggradation and became new floodplain terrain (not counting such processes along other water bodies in the floodplain). Typical for channelized rivers is the predominance of sedimentation processes while erosion processes are largely prevented. This is also well recognizable at the Morava, however, this development cannot be proven to the same extent at the Dyje.

The reason for this is the different intensity of channelization. Until 1821, no significant bank protection measures existed on the Morava, whereas 75 % of the banks are currently fixed. On the Dyje, the river training history started much earlier, but until the beginning of the comprehensive channelization program in 1979, only less than 10 % of the banks were protected. Currently, 43 % of the banks are fixed, which means that even today, in some sections of the Dyje, channel shifts are still possible.

1. Einleitung

Im Jahr 2020 wurde das Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG) an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) vom WWF Österreich mit einer Studie zur Geschichte der March im WWF-Auenreservat Marchegg beauftragt. Dies war der Startschuss für eine erstmalige detaillierte Analyse der historischen flussmorphologischen Veränderungen und der menschlichen Landnutzung der Marchflusslandschaft. Nach einer ersten umfangreichen Recherche bezüglich historischer kartografischer Quellen wurde der Untersuchungszeitraum auf 1720 bis 2020 eingegrenzt. Das Projekt wurde am IHG im Rahmen zweier Masterarbeiten, betreut von Priv.-Doz. Mag. Dr. Gertrud Haidvogel und DI Dr. Severin Hohensinner, bearbeitet (Türk, 2021; Sauer, 2022). Die Ergebnisse des Projekts wurden auch in einem Buch zum WWF-Auenreservat Marchegg veröffentlicht (WWF Österreich, 2022).

Nach Vorliegen der Studie für den WWF wurde das IHG vom Servicecenter March-Thaya der via donau – Österreichische Wasserstraßen-GmbH (viadonau) im Jahr 2021 beauftragt, die historischen flussmorphologischen Rekonstruktionen und die Untersuchung der Veränderung der Flusslandschaft auf die gesamte österreichische Grenzstrecke der March und der Thaya auszudehnen.

Die vorliegende Studie und der damit verbundene GIS-Datensatz umfassen somit den 69 km langen Unterlauf der March von der Einmündung der Thaya bis zur Donau sowie den 17,3 km langen Unterlauf der Thaya zwischen Bernhardsthal und der March. Der Bericht fasst die Ergebnisse von allen fünf zugrundeliegenden Teilstudien bzw. Masterarbeiten zusammen (vgl. Abbildung 1). Detaillierte Ergebnisse im Hinblick auf die March-Flusslandschaft sind den Masterarbeiten Türk (2021), Rehberger (2022), Denzel (2023) und Stuppacher (2023) zu entnehmen. Für die Thaya liegt kein eigener Teilbericht vor.

2. Ziel der Studie

Das Projekt verfolgte zwei Hauptzwecke:

1. eine möglichst detaillierte und lagegenaue Rekonstruktion der historischen Flusslandschaft zu verschiedenen Zeitpunkten basierend auf historischen Karten
2. darauf aufbauend eine Analyse der Veränderung charakteristischer flussmorphologischer Parameter, wie Sinuosität (Laufentwicklung), Auftreten unterschiedlicher Gewässertypen (aquatische Makrohabitate), Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität (Gewässervernetzung), jährliche Verlagerungsraten von Flussbögen (Mäandermigration), jährliche Erosions- und Verlandungsraten sowie Intensität der Regulierung

Die Ergebnisse der Studie sollen als flusstypspezifische Referenz im Sinne eines Leitbilds für zukünftige ökologisch orientierte, flussbauliche Maßnahmen dienen.

3. Untersuchungsgebiet

3.1 Lage und Ausdehnung

Der untersuchte Flussabschnitt liegt zwischen Břeclav/Bernhardsthal und Devín/Theben an der Donau und ist insgesamt 86,3 km lang, wobei 17,3 km auf die Grenzstrecke der Thaya entfallen und 69 km auf jene der March. Aufgrund des hohen Bearbeitungsaufwands wurde das Untersuchungsgebiet in 5 Teilabschnitte untergliedert, die im Rahmen gesonderter Detailstudien bearbeitet wurden (Abbildung 1).

Die laterale Festlegung des Untersuchungsgebietes beruht primär auf geomorphologischen Gesichtspunkten. Am orografisch rechten (österreichischen) Ufer folgt die Abgrenzung zumeist gut erkennbaren Übergängen zu älteren, höher liegenden Flussterrassen. Am linken (slowakischen) Marchufer ist dies aufgrund des Fehlens ausgeprägter Terrassenkanten jedoch nicht möglich. Hier orientiert sich die Abgrenzung auf Basis von Karten der Geologischen Bundesanstalt an verschiedenen kleineren Geländeerhebungen, bei denen es sich potenziell um Reste von älteren (höheren) Auenniveaus handeln könnte. Solche inselhaft auftretende Erhebungen trennen bereichsweise kleinere, zum zentralen Auegebiet der March parallel verlaufende Auegebiete mit eigenen Hauptgewässern (Zubringern) ab.

Untersuchungsgebiet

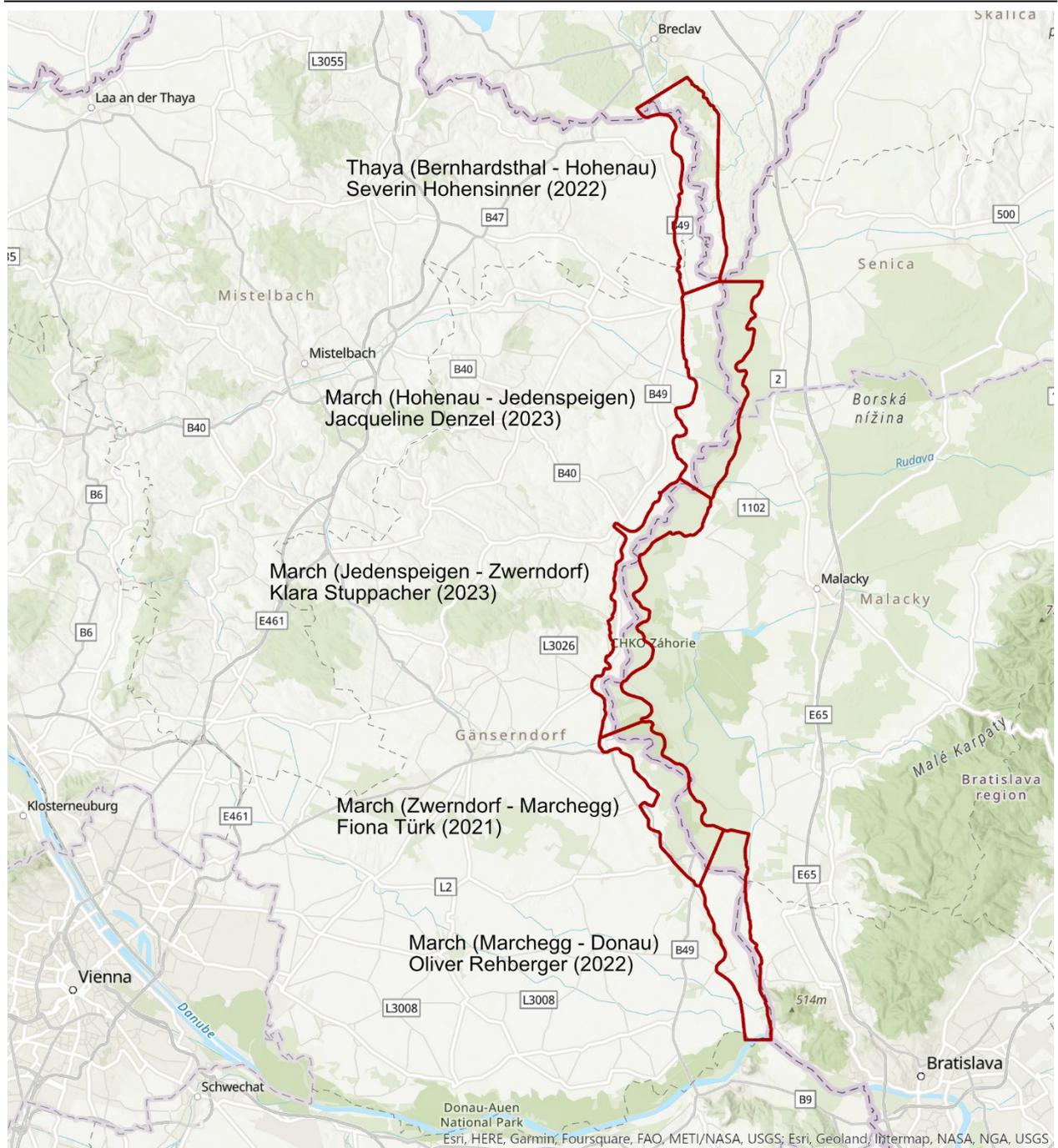


Abbildung 1: Lage und Bearbeiter/innen der Teilabschnitte der Thaya und der March (Jahreszahlen beziehen sich auf die Fertigstellung der jeweiligen Detailstudien bzw. Masterarbeiten).

An der Thaya gestaltet sich die Abgrenzung gegen Osten noch schwieriger, da hier das „March-Thaya-Dreieck“ historisch als ein einheitliches riesiges Augebiet zu betrachten ist. Daher wurde basierend auf historischen Karten ermittelt, welche Augewässer eher dem hydromorphologischen Regime der Thaya als der March zuzuordnen sind. Ebenfalls wurde in Betracht gezogen, dass die Augewässer durch die Abgrenzung des Projektgebiets nicht zu stark fragmentiert werden. Daher ist bei der Interpretation der Ergebnisse, insbesondere der Flächenbilanzen der unterschiedlichen

Gewässertypen, zu bedenken, dass das gesamte Augebiet und damit die Fläche diverser Augewässer vor allem historisch wesentlich größer war.

Insgesamt erstreckt sich die Gesamtfläche aller fünf Detailstudien über eine Fläche von 190 km². Aufgrund des flachen Geländes am östlichen Ufer reichten jedoch bereits kleinere Hochwässer weit über die hier analysierte Flusslandschaft hinaus. Selbst auf österreichischer Seite konnten sich größere Hochwässer wesentlich über das Projektgebiet hinaus Richtung Westen erstrecken (Weber-Ebenhof, 1894).

3.2 Hydromorphologische Charakteristika

Die March war bis zur Regulierung im 20. Jahrhundert der größte Mäanderfluss Österreichs. Sie entspringt in den Glatzer Schneebergen im Norden Mährens an der Grenze zu Polen und erreicht nach 289 km die österreichische Staatsgrenze nahe Hohenau. Von hier sind es nochmals 69 km bis zur Mündung in die Donau bei Devín (Theben) flussab von Hainburg.

Im Unterlauf weist die March heute ein Gefälle von 0,19 ‰ auf (viadonau, 2018). Im Vergleich dazu ist das Bett der österreichischen Donau mit rund 0,43 ‰ wesentlich steiler. Vor der Regulierung – als die Mäanderbögen der March noch nicht begradigt waren – war das Gefälle naturgemäß noch etwas geringer. Die Wasserführung der March ist einerseits von der Schneeschmelze im Bereich des mährischen Oberlaufs, andererseits durch intensive Regenfälle im gesamten Einzugsgebiet geprägt. Deshalb führt die March im Frühjahr am meisten Wasser. Auch größere Hochwässer sind zu dieser Jahreszeit am wahrscheinlichsten, während Regenhochwässer das gesamte restliche Jahr auftreten können. Dann kann die durchschnittliche jährliche Abflussmenge der March in kurzer Zeit von 105 m³/s auf das Zehnfache bei einem 30-jährlichen Hochwasser (1.040 m³/s) oder gar 1.400 m³ bei einem 100-jährlichen anschwellen (viadonau, 2018). Durch den Klimawandel fällt allerdings im Winter im Einzugsgebiet immer weniger Schnee, wodurch die Häufigkeit der Frühlingshochwässer allmählich sinkt (WWF Österreich, 2022). Da die Schleppspannung der einstmals stark mäandrierenden March nicht ausreicht, um gröbere Sedimente wie Schotter flussab zu transportieren, besteht ihre Sohle – anders als jene der Donau – primär aus feinem Kies, Sand, Schluff und Ton.

Die Thaya war ebenso wie die March bis zur Regulierung im 20. Jahrhundert ein typischer mäandrierender Tieflandfluss. Mit einer mittleren Wasserführung von 45 m³/s weist sie jedoch weniger als die Hälfte des Abflusses der March auf. Bei einem einjährigen Hochwasser erreicht sie 140 m³/s und bei einem 100-jährlichen ca. 770 m³/s, was ebenfalls rund der Hälfte des 100-jährlichen

Abflusses der March entspricht (bezogen auf den Pegel Bernhardsthal gemäß Hydrographischem Dienst NÖ). Das Gefälle im untersuchten Thaya-Abschnitt ist aktuell mit 0,27 ‰ im Vergleich zur March etwas größer. Da die Thaya zugleich auch weniger Abfluss aufweist als die March, konnte sie ebenfalls Mäander ausbilden. Vor der Begradigung des Flusslaufs betrug das mittlere Gefälle im Projektgebiet mit 0,24 ‰ etwas weniger als heute.

4. Methodik

4.1 Grundlagendaten

Für die GIS-basierte Rekonstruktion der historischen Flussmorphologie wurden zahlreiche aktuelle und historische kartografische Daten verwendet. Dabei war es ein großer Vorteil, dass beinahe das gesamte Projektgebiet von hochaufgelösten Laserscandaten abgedeckt ist, anhand derer kleinste Geländestrukturen selbst in bewaldeten Bereichen erkennbar sind. Solche Laserscan-Geländemodelle zeigen vielfältige Spuren früherer flussmorphologischer Veränderungen und ermöglichen eine fundierte Lagebestimmung von Gewässern, die in historischen Karten dargestellt sind. Zahlreiche zur Verfügung stehende Orthofotos – idealerweise bei verschiedenen Aufnahmewasserständen – bieten ebenfalls eine gute Grundlage für die Georeferenzierung von historischen Karten.

Um die optimalen historischen Zeitpunkte für flussmorphologische Rekonstruktionen zu bestimmen, wurde zu Beginn des Projekts eine umfangreiche Recherche bezüglich verfügbarer historischer Karten der March und der Thaya vorgenommen. Erstmals mit hinreichender Genauigkeit historisch fassbar wird die March in einer Karte aus der Zeit von 1703 bis um 1720 (Abbildung 2). Im Rahmen der Detailstudie (Masterarbeit) für das WWF-Auenreservat Marchegg wurde noch angenommen, dass diese Karte einen Zustand des Flusses um 1720 darstellt (Türk, 2021). Eine neuere Untersuchung unter Beiziehung von Experten des Wiener Stadt- und Landesarchivs ergab, dass diese Karte vermutlich bereits 1703 als Planungsgrundlage für den Bau der Wallanlage gegen die aufständischen Kuruzzen aus Ungarn angefertigt worden war, weshalb der früheste Zeitschnitt in dieser Studie nun mit 1703 datiert ist. Interessanterweise befindet sich diese Karte nicht in einem österreichischen, sondern französischen Archiv (vgl. Hohensinner, 2022).



Abbildung 2: Die March im WWF-Auenreservat vermutlich um das Jahr 1703. Bei Marchegg existierte damals ein riesiger Fischteich (rechts unten), der aus einem Mühlbach gespeist wurde. Der Bach wurde damals bei Zwerndorf (links oben) aus der March ausgeleitet (schwarze Linien nördlich Zwerndorf und flussab von Marchegg: Kuruzzenwall 1703, rote Linien und Quadrate: Pestwall 1738/39; Bibliothèque nationale de France, Département Cartes et plans, Sign. C-10.275)

Eine weitere sehr aufschlussreiche historische Quelle ist die Grenzkarte von Walter von Pfeilsberg, die den Zustand der Flusslandschaft um 1755 darstellt (Abbildung 3). Sie zeichnet sich durch einen hohen Detaillierungsgrad und eine große Lagegenauigkeit aus. Von besonderem Wert ist diese Karte auch deshalb, weil sie auch Hinweise auf den Lauf der March vor 1755 beinhaltet. Zudem treten hier erstmals die im Auwald angelegten Alleen bzw. Jagdschneisen in Erscheinung, die zum Teil noch weit bis ins 19. Jahrhundert vorhanden waren.

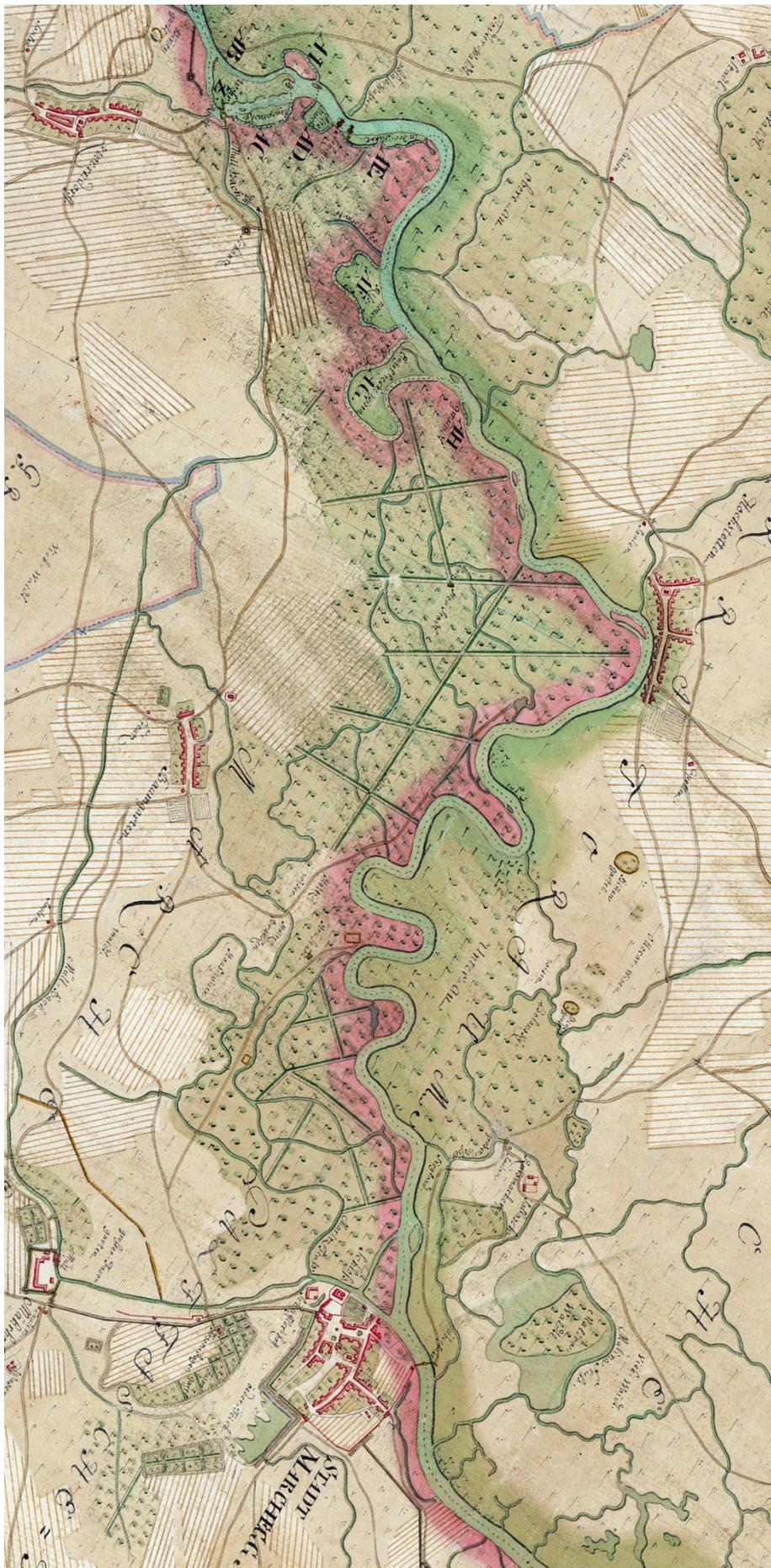


Abbildung 3: Die Flusslandschaft der March zwischen Zwerndorf (links oben) und Marchegg (unten) um 1755 dargestellt in der Grenzkarte von Walter von Pfeilsberg. (NÖ Landesbibliothek, KS, Sign. K II 2187 R 1755)

In den folgenden Jahrzehnten häufen sich die für die March angefertigten Kartenwerke, wobei keines davon an die Genauigkeit von Walter von Pfeilsbergs Werk heranreicht. Im Jahr 1804 wurde der Hofrat im Technischen Departement der Hofkanzlei Carl Friedrich Wiebeking vom Kaiser beauftragt, erstmals die gesamte March im Detail zu vermessen. Neben den Wassertiefen wurden auch hunderte Querprofile und Fließgeschwindigkeiten aufgenommen. Leider ist dieses für die Flussgeschichte der March überaus wertvolle Vermessungsoperat verschollen (Hohensinner, 2022).

Unter den vielen verwendeten historischen Quellen ist auch der „Franzische Kataster“ (Urmappe) zu erwähnen, der an der March im Jahr 1821 erstellt wurde. Die parzellenscharfe Ausweisung unterschiedlicher Landbedeckungen bzw. -nutzungen vermittelt nicht nur ein detailliertes Bild des damaligen Zustands, sie ermöglicht auch, die dargestellten Landschaftsstrukturen anhand der aktuellen „Digitalen Katastralmappe“ (DKM) lagemäßig exakt zu verorten. Nach Abschluss der Archivrecherche konnten für die March folgende Zeitpunkte für flussmorphologische Rekonstruktionen (Zeitschnitte) festgelegt werden: 1703, 1755, 1821, 1896, 1942 und 2020. Tabelle 1 gibt Aufschluss darüber, welche Geodaten und kartografische Grundlagen für welchen Zeitschnitt der Marchflusslandschaft verwendet wurden. Neben den aufgelisteten Karten wurden noch zahlreiche andere historische Kartenwerke konsultiert, aber nicht mittels ArcGIS bearbeitet. Besonders hilfreich war ein von der TRIGONplan GmbH (DI Gerald Benz) erstellter und von der viadonau zur Verfügung gestellter GIS-Datensatz, der die historischen Bauzustände der Regulierungsarbeiten bzw. das Baualter der Wasserbauten an der March seit 1894 beinhaltet.

Tabelle 1: Geodaten und kartografische Grundlagen für die Rekonstruktion der historischen Flusslandschaft der March (Zeitschnitte geordnet entsprechend der Methodik der GIS-Bearbeitung; vgl. Kapitel 4.2)

Zeitschnitt	Aufnahmejahr	Kartenwerk
2020	2020	Orthofoto March-Auen und Umgebung , Photomap i.A. viadonau
	2020	Laserscan-Geländemodell March-Auen und Umgebung , Photomap i.A. viadonau
	2012-2022	Orthofotoserie Google Earth , Google
	2021	Orthofotos Geoland , WMS-Service, Geoland.at
	ca. 2020	Basemap Orthofotoauswertung , WMS-Service, Geoland.at
	ca. 2020	Basemap Geländeschummerung , WMS-Service, Geoland.at
	2012-2021	Orthofotos World Imagery , WMS-Service, Esri
	2015-2020	Orthofotos Slowakei , WMS-Service, ZBGIS, Geodetický a kartografický ústav Bratislava
	2015-2022	Basemap Slowakei , WMS-Service, ZBGIS, Geodetický a kartografický ústav Bratislava
	2015-2022	Topografische Karte Slowakei , WMS-Service, ZBGIS, Geodetický a kartografický ústav Bratislava
	2022	Flussbauwerke und Dammachsen , GIS-Datensatz, viadonau
1894-2020	Bauzustände/historische Wasserbauten , GIS-Datensatz, TRIGONplan GmbH (G. Benz) i.A. viadonau	

1942	1942	Luftbilder der March-Thaya-Grenzstrecke , Sonderluftbildabteilung des Reichsluftfahrtministeriums Gruppe Wien, March-Thaya-Archiv viadonau, Sign. 482
	1942	Luftbilder Mäander-Durchstiche , Originale im Luftbildarchiv BEV, Scans im March-Thaya-Archiv viadonau
	1942	Schiffahrtskarte der Donau (Blatt 236), hrsg. 1943, Reichsamt für Landesaufnahme Berlin, Maßstab 1:5.000, Archiv viadonau, Sign.?
	1869-1967	Kataster-Fortführungsmappe , Maßstab 1:2.880, Katastralmappenarchiv BEV
	1934 (March), 1896 (Umland)	Generelles Projekt für die Regulierung der March-Grenzstrecke , hrsg. 1935, Strombauämter Österreich und Tschechoslowakische Republik, Maßstab 1:25.000, March-Thaya-Archiv BMVIT, Sign. 121-122
	1950	Historische Orthophotokarte der Slowakei , Exzellenzzentrum für Entscheidungsunterstützung in Wald und Landschaft, TU Zvolen
	1894-2020	Bauzustände/historische Wasserbauten , GIS-Datensatz, TRIGONplan GmbH (G. Benz) i.A. viadonau
1896	1896	Reambulierte March-Pläne km 0-80 , aktualisiert 1922 und 1934, Königliche Ungarische Expositur der Marchregulierung, Maßstab 1:2.500; March-Thaya Archiv BMVIT, Sign. 121, Scans im March-Thaya-Archiv viadonau, Sign.?
	1896	Hochwasserschutzdamm Marchegg-Zwerndorf: Projektierter Hochwasserschutz , hrsg. 1923-1928, Österreichische Expositur der Marchregulierung, Maßstab 1:25.000, Kartensammlung der NÖ Landesbibliothek, Sign. K II 5573 D 1923/28
	1893	Streckenkarte der österreichischen Donau , Marchmündung, Baudirection der Donau-Regulierungs-Commission für Niederösterreich, Maßstab 1:14.400, Archiv viadonau, Sign.?
	1895-1897	Katastermappen Slowakei , Maßstab 1:2.880, Geodetický a kartografický ústav Bratislava
	1868	Kataster-Reambulierung Österreich , Maßstab 1:2.880, Katastralmappenarchiv BEV
	1869-1967	Kataster-Fortführungsmappe Österreich , Maßstab 1:2.880, Katastralmappenarchiv BEV
	1873	Franzisco-Josephinische Landesaufnahme (Dritte Landesaufnahme) Österreich , Militärgeographisches Institut, Maßstab 1:25.000, Originale im Kriegsarchiv (ÖStA), Scans im Archiv BEV
	1883	Franzisco-Josephinische Landesaufnahme (3. Landesaufnahme) Ungarn , Scans von WebGIS-Plattform Mapire
	1934 (March), 1896 (Umland)	Generelles Projekt für die Regulierung der March-Grenzstrecke , hrsg. 1935, Strombauämter Österreich und Tschechoslowakische Republik, Maßstab 1:25.000, March-Thaya-Archiv BMVIT, Sign. 121-122
	1894-2020	Bauzustände/historische Wasserbauten , GIS-Datensatz, TRIGONplan GmbH (G. Benz) i.A. viadonau
1821	1821	Franziseischer Kataster (Urmappe) , Maßstab 1:2.880, Katastralmappenarchiv BEV
	1809-1818	Franziseische Landesaufnahme (Zweite Landesaufnahme) , Generalquartiermeisterstab, Maßstab 1:28.800; Kriegsarchiv (ÖStA), Sign. B IX a 196-6
	1814	Plan von einem Theil des March Fluszes von Neudorf bis zu seiner Ausmündung in die Donau , Johann Milanes, Maßstab 1:7.200, Ungarische Nationalbibliothek, Sign. S12 Div. XIII. No. 422

	1809-1839	Abrosza Morva és Duna vizek folyásának torkolatánál Kraetzel liget közelében, úgy amint az 1809. s 1839. évben találtatott , Marchmündung von Schloss Hof bis Donau, hrsg. 1841, Karoly Seydl, Maßstab 1:10.800, Kartensammlung des Nationalarchivs von Ungarn, Sign. S12, Div. XIII., No. 662
	1830	Plan des March-Flusses in der Gegend von Stillfried , Karoly Seidl & Leopold Troyez, Maßstab 1:2.880, Kartensammlung des Nationalarchivs von Ungarn, Sign. S12, Div. XI., No. 121:a-b
	1810	General Plan von der in der L: Presburger Gespanschaft gelegenen ... , slowakische Auen im WWF-Auenreservat, Franz Gottwald, Maßstab 1:28.800, Ungarische Nationalbibliothek Kartensammlung, Sign. TK 1873
	1802	Original-Plan Uiber einen Theil des Marchflusses in der Gegend von Stillfried , Joseph Dalstein, Maßstab 1:2.600, Kartensammlung der NÖ Landesbibliothek, Sign. B III 119
	1793-1796	Geometrischer Grundriß des ganzen March-Flußes , Stoschek & Zehentner, Maßstab 1:8.100, Allgemeines Verwaltungsarchiv (ÖStA), Sign. II E-c/112
1755	1754-1755	Grenzkarte Ungarn-Niederösterreich, „Walter-Karte“ , Walter von Pfeilsberg, Maßstab 1:2.000 Klafter, Kartensammlung der NÖ Landesbibliothek, Sign. K II 2187 R 1755
	1745	General-Mappa über ... Hoff an der March, und Engelhartstaetten im March=feldt liegend, Sambt allen dazu Gehörigen Dorffschafften , Franz Longueval, Maßstab ca. 1:12.000, Kartensammlung der ÖNB, Sign. Rolle 112.210
	1726	Mappa der Hochfürstlich Printz Eugenischen Herrschafften Hof an der March / und Vesten Stopfenreuth , March flussab Schloss Hof, Abraham Maass, Maßstab 1:4.500, Kartensammlung der ÖNB, Sign. Rolle 101
1703	1703	Carte du cours de la Morava depuis le confluent de la Thaya jusqu'au Danube , Maßstab 1:47.000, Bibliothèque nationale de France, Département Cartes et plan, Sign. C-10.275
	1710-1730	Stadtplan von Marchegg in Auftrag gegeben von der Familie Palffy , NÖ Landesarchiv, Sign.?
	1738-1739	March Strom von Ravensburg bis an die danau sambt denen neuen und alten Linien so wohl an der March als an der Leütha von Petronel bis an das Neüsidler See , Maßstab 1:43.000, Ungarische Nationalbibliothek, Sign. TK 1388

Einige der für die Rekonstruktion der March herangezogenen Kartenwerke konnten auch für die Thaya verwendet werden. Da die Thaya aber kleiner ist als die March und zudem nicht als Grenzfluss fungierte, existieren diesbezüglich weniger brauchbare historische Grundlagen. Zudem reichen diese zeitlich nicht so weit zurück wie an der March. Deshalb mussten die Zeitpunkte für die flussmorphologischen Rekonstruktionen zum Teil anders gewählt werden: 1780, 1821, 1873, 1942 und 2020 (somit um ein Zeitschnitt weniger als an der March). Die konkret verwendeten Geodaten und historischen kartografischen Grundlagen sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Geodaten und kartografische Grundlagen für die Rekonstruktion der historischen Flusslandschaft der Thaya (Zeitschnitte geordnet entsprechend der Methodik der GIS-Bearbeitung; vgl. Kapitel 4.2)

Zeitschnitt	Aufnahmejahr	Kartenwerk
2020	2020	Laserscan-Geländemodell NÖ , NÖ Geodaten-Portal, NÖGIS
	2012-2022	Orthofotoserie Google Earth , Google
	2021	Orthofotos Geoland , WMS-Service, Geoland.at
	ca. 2020	Basemap Orthofotoauswertung , WMS-Service, Geoland.at
	ca. 2020	Basemap Geländeschummerung , WMS-Service, Geoland.at
	2012-2021	Orthofotos World Imagery , WMS-Service, Esri
	2020	Orthofotos Tschechien , WMS-Service, Geoportal ČÚZK
	2016	Basemap Tschechien (Základní mapy ČR) , Maßstab 1:10.000, WMTS-Service, Geoportal ČÚZK
	2009-2013	Geländeschummerung Tschechien (DMR 5G) , WMS-Service, Geoportal ČÚZK
1942	1942	Luftbilder der March-Thaya-Grenzstrecke , Sonderluftbildabteilung des Reichsluftfahrtministeriums Gruppe Wien, March-Thaya-Archiv viadonau, Sign. 482
	1869-1967	Kataster-Fortführungsmappe Österreich , Maßstab 1:2.880, Katastralmappenarchiv BEV
	1868-1941	Kataster-Fortführungsmappe Tschechien , Maßstab 1:2.880, Central Archives of Surveying, Mapping and Cadastre Prague
	1952-1957	Militärtopografische Karte Tschechoslowakei (Vojenské topografické mapy) , Maßstab 1:25.000, WMS-Service, Slovak Environment Agency (SAZP) und Geoportal ČÚZK
1873	1873	Franzisco-Josephinische Landesaufnahme (Dritte Landesaufnahme) Österreich , Militärgeographisches Institut, Maßstab 1:25.000, Originale im Kriegsarchiv (ÖStA), Scans im Archiv BEV
	1883	Franzisco-Josephinische Landesaufnahme (3. Landesaufnahme) Ungarn , Scans von WebGIS-Plattform Mapire
	186-1941	Kataster-Fortführungsmappe Tschechien , Maßstab 1:2.880, Central Archives of Surveying, Mapping and Cadastre Prague
	1868	Kataster-Reambulierung Österreich , Maßstab 1:2.880, Katastralmappenarchiv BEV
	1869-1967	Kataster-Fortführungsmappe Österreich , Maßstab 1:2.880, Katastralmappenarchiv BEV
	1863	Karte der Herrschaft Rabensburg und Feldsberg , Archiv der Stiftung Fürst Liechtenstein, Sign.?
1821	1821	Franziseischer Kataster Österreich (Urmappe) , Maßstab 1:2.880, Katastralmappenarchiv BEV
	1827	Franziseischer Kataster Tschechien (Urmappe) , Maßstab 1:2.880, Central Archives of Surveying, Mapping and Cadastre Prague
	1809-1818	Franziseische Landesaufnahme (Zweite Landesaufnahme) , Generalquartiermeisterstab, Maßstab 1:28.800; Kriegsarchiv (ÖStA), Sign. B IX a 196-6
	1826	Haupt Mappa der hochfürstlich Liechtensteinischen Herrschaft Rabensburg , Ernst Kügler, Archiv der Stiftung Fürst Liechtenstein, Sign. PK 462

1780	1773-1781	Josephinische Landesaufnahme NÖ (Erste Landesaufnahme), Generalquartiermeisterstab, Maßstab 1:28.800, Kriegsarchiv (ÖStA), Sign. B IX a 242
	1764-1768	Josephinische Landesaufnahme Mähren (Erste Landesaufnahme), Generalquartiermeisterstab, Maßstab 1:28.800, Scans von WebGIS-Plattform Mapire
	1792-1793	Carte von dem Laufe des Thaya Flußes von Znaim bis zur Einmündung in die March, Stoschek & Zehentner, Maßstab 1:8.100, Allgemeines Verwaltungsarchiv (ÖStA), Sign. E-c/54
	1799	Mappa Der Hoch=Fürstlich=Li(!)chtensteinischen Herrschaft Rabensburg, Martin Rothmayer, Archiv der Stiftung Fürst Liechtenstein, Sign. PK 559
	1754-1755	Grenzkarte Ungarn-Niederösterreich, „Walter-Karte“, Thaya bei Hohenau, Walter von Pfeilsberg, Maßstab 1:2.000 Klafter, Kartensammlung der NÖ Landesbibliothek, Sign. K II 2187 R 1755

4.2 Regressiv-iterative GIS-Rekonstruktion

Für die Rekonstruktion historischer Flusslandschaften hat sich die „regressiv-iterative GIS-Rekonstruktionsmethode“ bewährt, die von Hohensinner (2008) für die historische Donau entwickelt wurde.

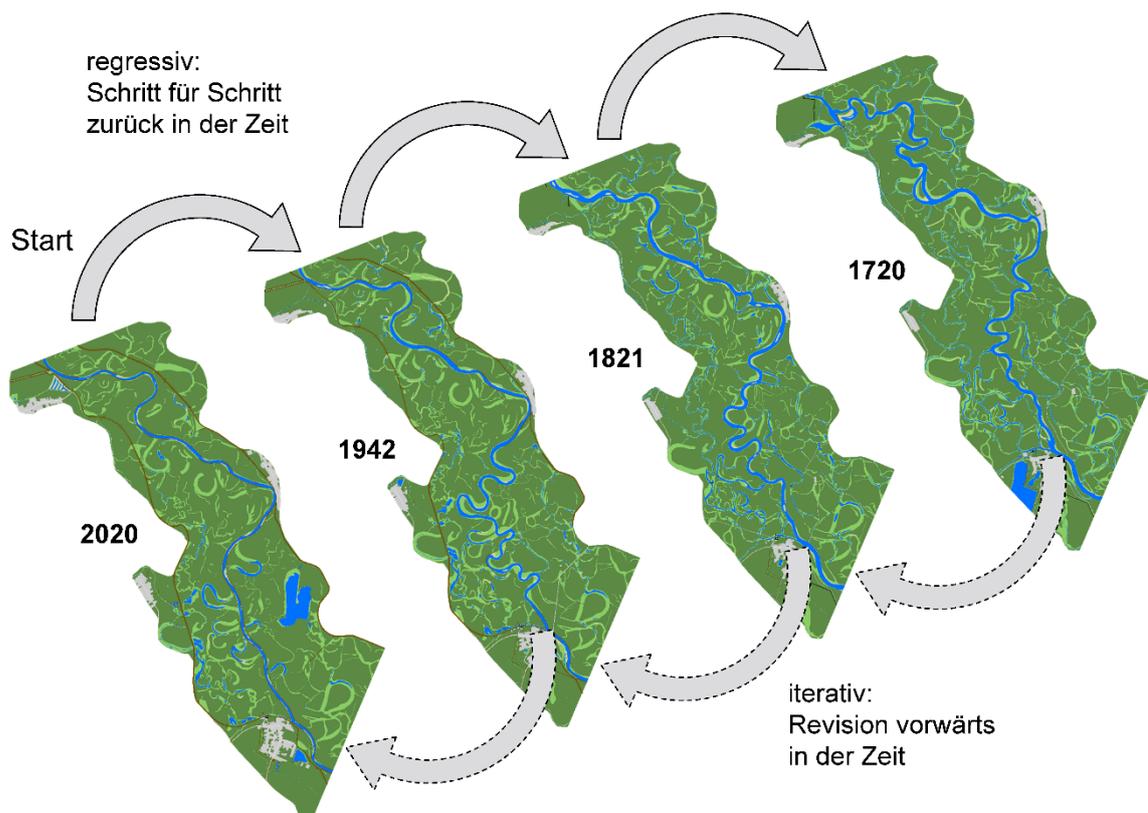


Abbildung 4: Mithilfe von regressiv-iterativen Methoden ist es möglich, historische Landschaften – wie hier am Beispiel des WWF-Auenreservats Marchegg – schrittweise zu rekonstruieren.

Dabei beginnt man mit dem jüngsten Kartenwerk, wobei es sich meist um Orthofotos und Geländemodelle (Laserscans) mit hoher Genauigkeit handelt. Danach arbeitet man sich anhand älterer Karten schrittweise in die Vergangenheit zurück (regressiver Arbeitsschritt). Dazu müssen die ausgewählten historischen Karten im GIS möglichst genau georeferenziert werden. Konkret werden zum Beispiel die GIS-Daten des Zeitschnitts 2020 kopiert und anhand der historischen Grundlagen für den Zeitschnitt 1942 adaptiert. Ist dieser Arbeitsschritt vollbracht, kopiert man den neu entstandenen 1942er-GIS-Datensatz und verändert ihn anhand der historischen Quellen für den Zeitschnitt 1896. Dabei kommt es vor, dass man Geländestrukturen, die man z.B. im Zeitschnitt 1942 nicht interpretieren konnte oder dort sogar fehlen, anhand der neuen Informationen von 1896 nun besser erklären kann. Dann muss der jüngere Zeitschnitt – in diesem Fall 1942 – korrigiert oder ergänzt werden (iterativer Arbeitsschritt).

Ist auch diese Arbeit erledigt, beginnt das Spiel von vorne indem man die Daten für 1896 kopiert und für 1821 adaptiert. Im Zuge dieser Prozedur werden immer wieder die Rekonstruktionen jüngerer Zeitschnitte anhand von Erkenntnissen älterer Karten bzw. Zeitschnitte korrigiert. Deshalb wird diese Methode „regressiv-iterative Rekonstruktionsmethode“ genannt (Hohensinner et al., 2013a). Neben Kartenwerken werden in der Praxis auch andere Informationsquellen genutzt: Historische Bildquellen und Texte gehören ebenso dazu wie Erkenntnisse von archäologischen Grabungen oder geologische Untersuchungen.

Basierend auf den GIS-Rekonstruktionen der Flusslandschaften der March und der Thaya wurden ebenfalls mittels GIS folgende flussmorphologische Charakteristika untersucht:

- Sinuosität (Laufentwicklung) des Hauptarms
- mittlere Breite des aktiven Gerinnes des Hauptarms
- Gewässertypen (aquatische Makrohabitate) des gesamten Gewässersystems
- laterale hydrologische Konnektivität (Anbindungen von Nebengewässern)
- jährliche Migrationsraten (Verlagerung) von Flussbögen des Hauptarms
- Umlagerungsdynamik (Erosion/Verlandung) des Hauptarms
- Regulierungsintensität des Hauptarms

Zusätzlich wurden die historischen Gefällsverhältnisse der fünf untersuchten Flussabschnitte näherungsweise bestimmt. Ebenso erfolgte darauf aufbauend eine Abschätzung der historischen „Stream power“, die generell als Surrogatparameter für die Sedimenttransportkapazität eines Flusses bzw. für sein Potenzial, das Gerinne aus- bzw. umzuformen, gehandhabt wird.

5. Ergebnisse March

5.1 Beispiele für flussmorphologischen Rekonstruktionen

Bevor auf die konkreten Ergebnisse der flussmorphologischen Analysen näher eingegangen wird, seien hier zunächst zwei Flussabschnitte der March beispielhaft dargestellt. Die in den Abbildungen 6 bis 11 dargestellte Zeitreihe 1703-2020 zeigt die March flussab von Hohenau zwischen den heutigen Flusskilometern (Fkm) 68 und 59. Sie umfasst somit eine 9 km lange Strecke, was rund 10 % des gesamten rekonstruierten March-Thaya-Abschnitts entspricht.

Zum besseren Verständnis veranschaulicht Abbildung 5 sämtliche standardisiert rekonstruierten Landschaftselemente. Die Wasserbauten beziehen sich nicht nur auf Uferschutzbauten, sondern auch auf Hochwasserschutzdämme, Dammwege/-straßen, Leitwerke, Bühnen und Wehre. Verteidigungsbauten stellen militärische Wallanlagen wie z.B. den Kuruzzenwall 1703, den Pestwall 1738/39, jene der Napoleonischen Kriege oder Stadtmauern dar. Als „bedeutende Gebäude“ wurden Burgen, besondere Kirchen, Schlösser oder Mühlen eingestuft.



Abbildung 5: Legende für die flussmorphologischen Rekonstruktionen bzw. für den GIS-Datensatz

Die zweite Zeitreihe, ebenfalls von 1703 bis 2020 reichend, veranschaulicht die Mündungsstrecke der March flussab der Marchegger Eisenbahnbrücke nahe Schloss Hof (Fkm 8 bis 0; Abbildungen 12 bis 17). Dieser Flussabschnitt war nicht wie der Großteil der March mäandrierend, sondern wies einen gestreckten Verlauf mit geringer Verzweigungsintensität auf.

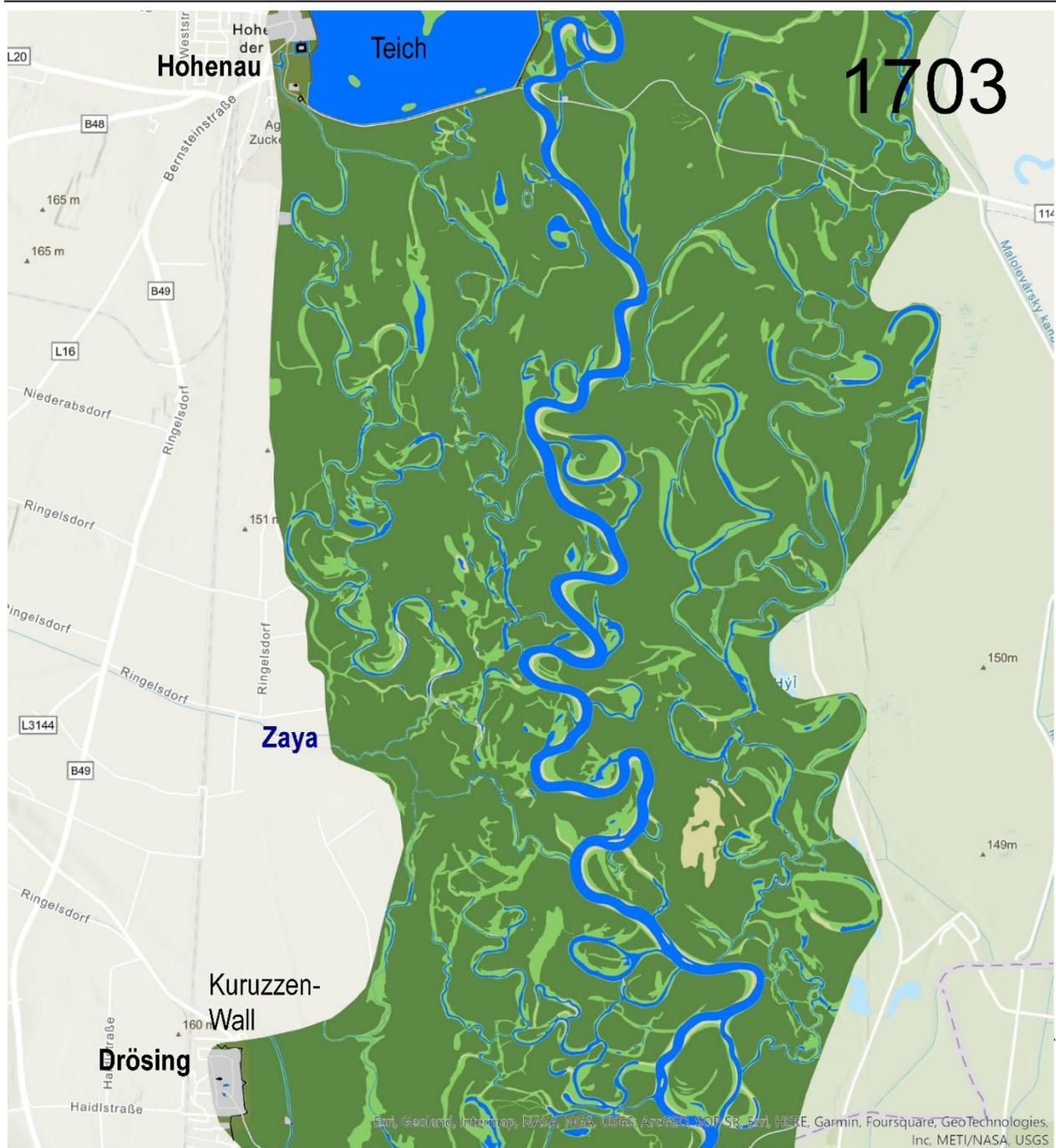


Abbildung 6: March-Auenlandschaft um das Jahr 1703 zwischen Hohenau und Drösing (Fkm 68-59; Denzel 2023)

Die Rekonstruktion für das Jahr 1703 illustriert den wasserbaulich weitgehend unbeeinflussten Zustand der March-Flusslandschaft. Neben zahlreichen längeren Augewässern existierten auch einige größere abgetrennte Mäanderaltarme. Der große Fischteich bei Hohenau sticht hier besonders hervor. Die Wallanlage zur Abwehr der Kuruzzen um 1703 bei Drösing ist klar erkennbar. Am östlichen Ufer befanden sich damals im Augebiet ausgedehnte, unbewachsene Sedimentflächen (eventuell Sanddünen?).

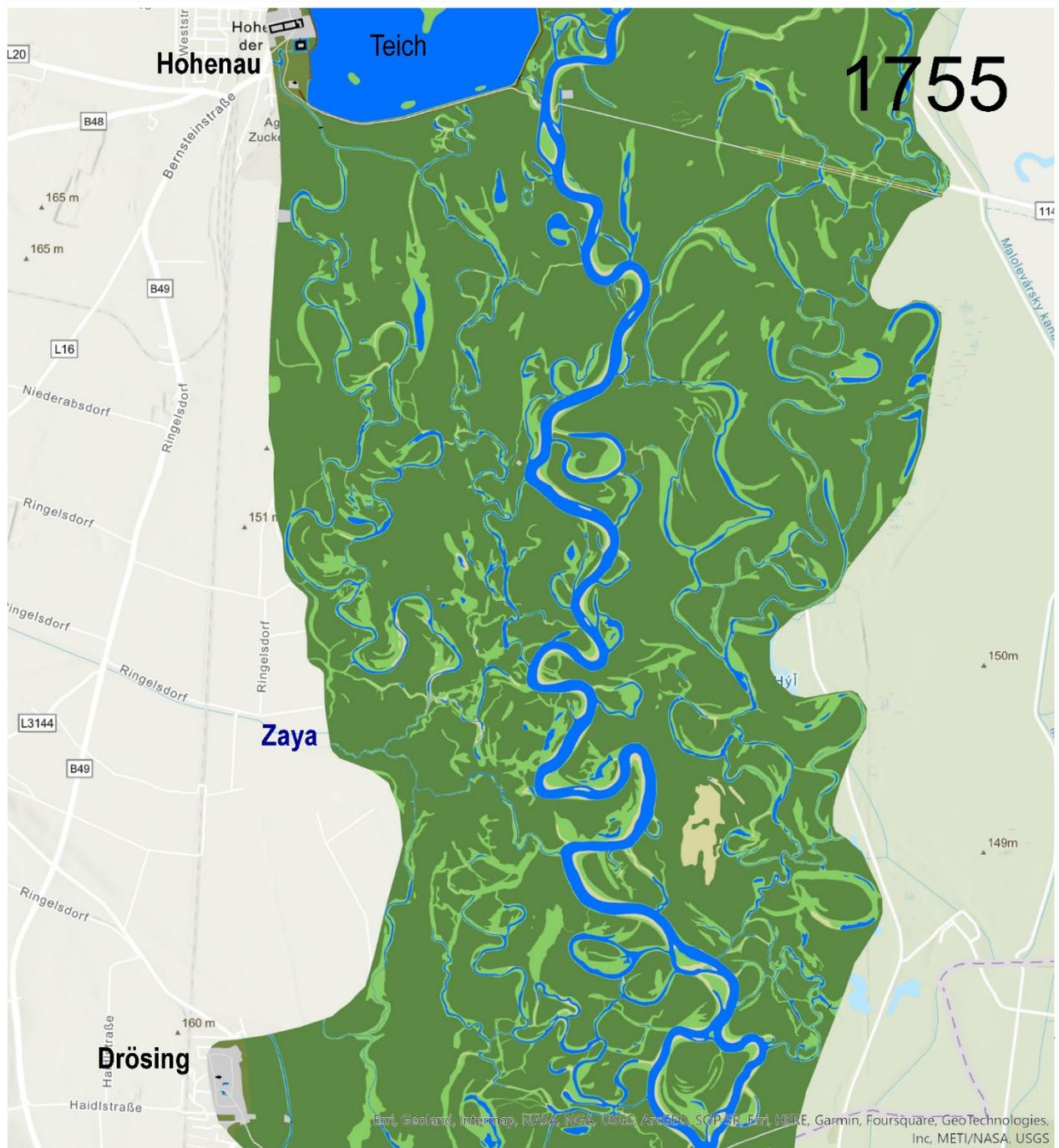


Abbildung 7: March-Auenlandschaft im Jahr 1755 zwischen Hohenau und Drösing (Fkm 68-59; Denzel 2023)

Bis 1755 dürfte die von Hohenau ausgehende, nach Osten verlaufende Straße ausgebaut und zum Teil auf einem neuen Damm errichtet worden sein. Die Flussbögen der March wanderten ohne dass sich der Charakter des Flusses wesentlich änderte. Die einstigen Kuruzzenschanzen verfielen größtenteils bis 1755.

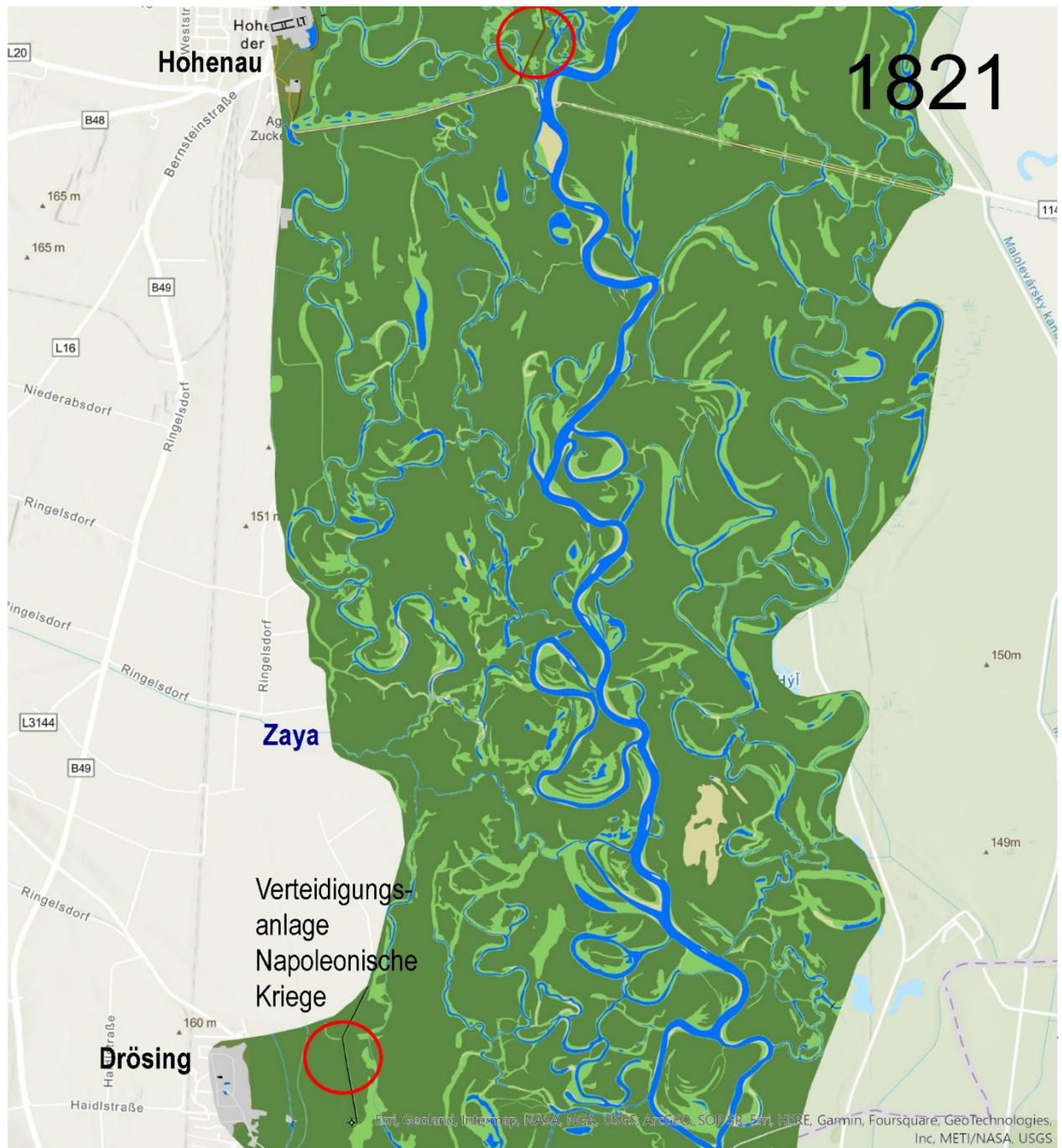


Abbildung 8: March-Auenlandschaft im Jahr 1821 zwischen Hohenau und Drösing (Fkm 68-59; Denzel 2023)

Der große Teich bei Hohenau wurde 1788/89 trockengelegt, wobei einzelne den Teich abgrenzende Dammabschnitte als Hochwasserschutzdämme erhalten blieben (roter Kreis oben). Die von Hohenau ostwärts verlaufende Straße wurde zu einer richtigen Dammstraße – jedoch noch ohne Brücke über die March – ausgebaut. Bei Drösing sind neue Schanzanlagen aus der Zeit der Napoleonischen Kriege erkennbar.

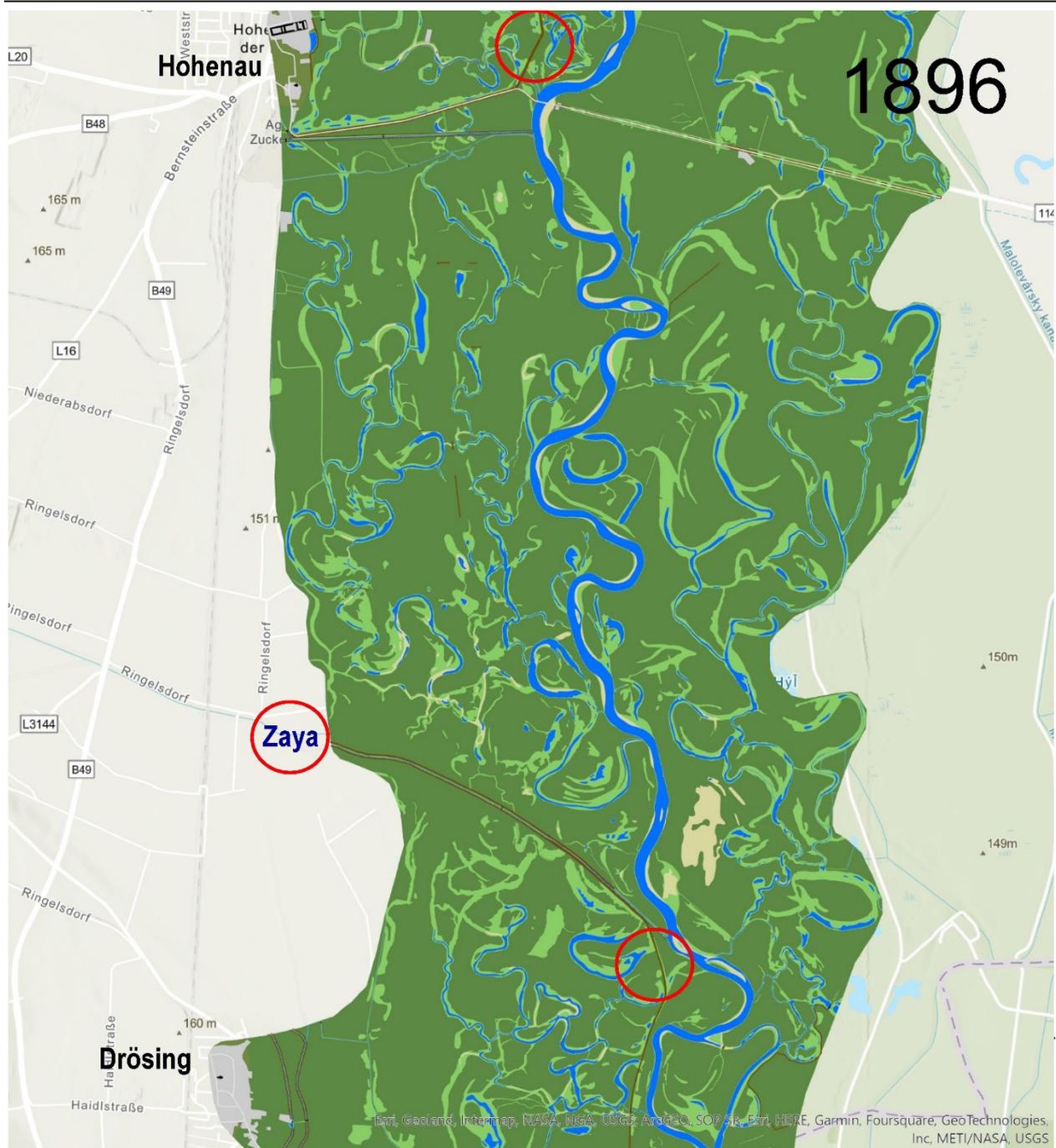


Abbildung 9: March-Auenlandschaft im Jahr 1896 zwischen Hohenau und Drösing (Fkm 68-59; Denzel 2023)

Zwischen 1821 und 1896 wurde die Zaya reguliert und ein Damm von deren Mündung entlang der March flussabwärts errichtet (roter Kreis unten). Dabei wurden mehrere Augewässer abgetrennt. Auch bei Hohenau und Drösing wurden kleinere Zubringer bzw. Mühlbäche reguliert und/oder abschnittsweise mit kleinen Dämmen versehen (siehe dunkelbraune Linien). Bei Hohenau wurde eine Straßenbrücke errichtet, ebenso einige kleinere Dämme und Drainagegräben im Auengebiet östlich der March.

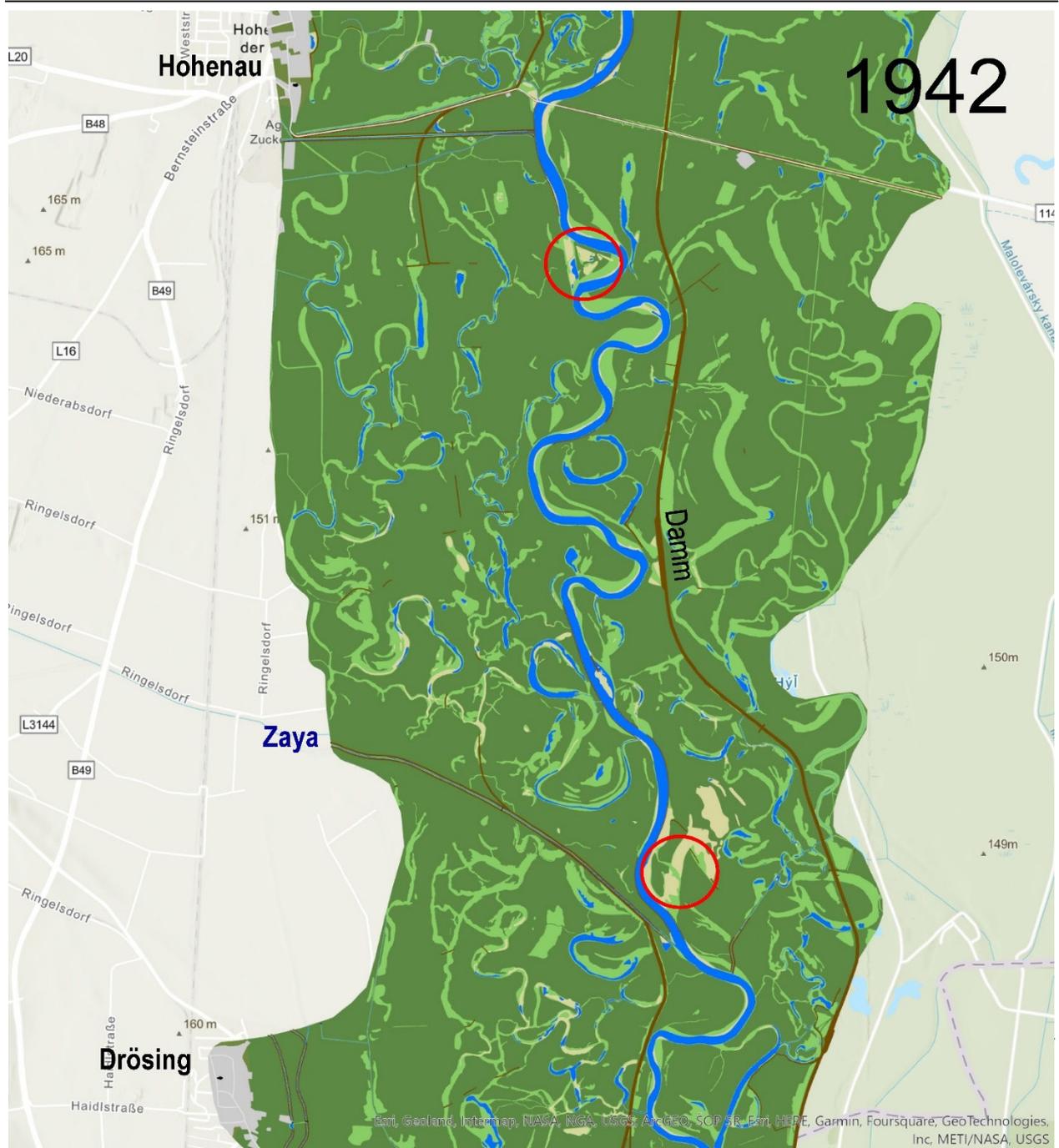


Abbildung 10: March-Auenlandschaft im Jahr 1942 zwischen Hohenau und Drösing (Fkm 68-59; Denzel 2023)

Um 1942 sind erste größere Regulierungsmaßnahmen erkennbar. In zwei Bereichen wurde mit dem Aushub von Durchstichen begonnen, wobei der südlichere nach dem 2. Weltkrieg nicht mehr fortgeführt wurde (rote Kreise). Erste längere Uferschutzbauten und ein kurzer begradigter Flussabschnitt sind erkennbar. Östlich der March durchtrennte damals bereits ein größerer Schutzdamm die Auenlandschaft, während in Österreich erst einzelne Dammschnitte fertiggestellt bzw. ausgebaut worden waren. Vor allem auf slowakischem Gebiet wurden weitere Drainagegräben zur Entwässerung der Au ausgehoben.

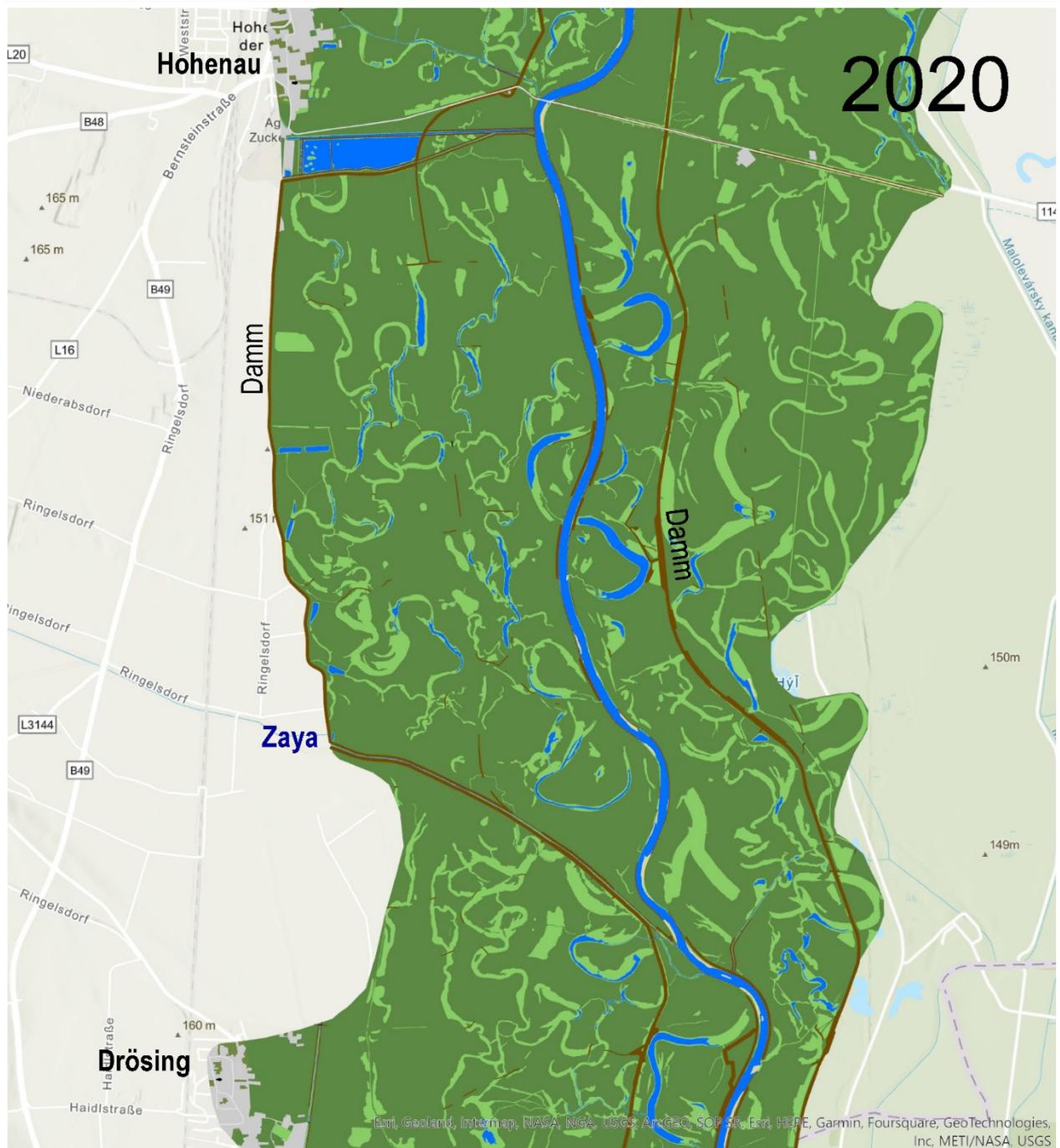


Abbildung 11: March-Auenlandschaft im Jahr 2020 zwischen Hohenau und Drösing (Fkm 68-59; Denzel 2023)

Im aktuellen Zustand sind die March und die Zaya beiderseits von größeren Dammanlagen umgeben, wobei jene in Österreich abschnittsweise vergleichsweise weit im Hinterland verlaufen. Der Flusslauf wurde stark begradigt und weitere Dämme bzw. dammartig ausgebaute Wege wurden errichtet.

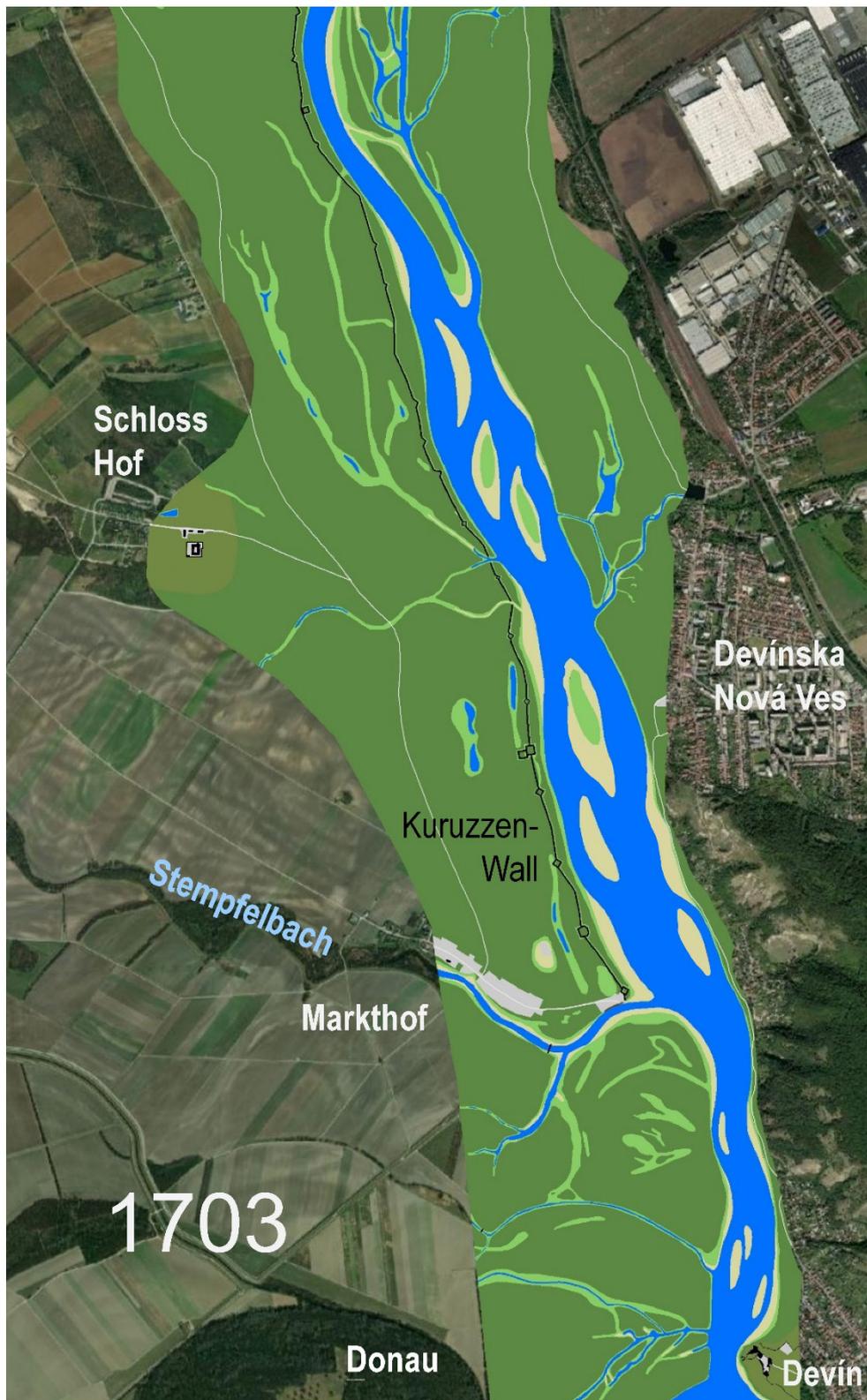


Abbildung 12:
March flussab der
Marchegger
Bahnbrücke bis zur
Donau um das Jahr
1703 (Fkm 8-0;
Rehberger, 2022;
Orthofoto: Photomap/
viadonau 2020).

Der dem Donaueinfluss stark ausgesetzte Mündungsabschnitt der March war nicht mäandrierend, sondern „gestreckt“ (geradlinig) und leicht verzweigt. Im Vergleich zur mäandrierenden March weiter flussauf existierten wesentlich weniger Augewässer. Die Wallanlage zur Abwehr der Kuruzzen am westlichen Ufer ist gut erkennbar.



Abbildung 13:
March flussab der
Marchegger
Bahnbrücke bis zur
Donau im Jahr 1755
(Fkm 8-0; Rehberger,
2022; Orthofoto:
Photomap/viadonau
2020).

Bis 1755, dem Jahr als Maria Theresia Schloss Hof von Prinz Eugen übernahm, veränderte sich zwar der Lauf der March, der generelle Flusscharakter jedoch kaum. Der 1738/39 zum Pestwall umfunktionierte und teilweise erneuerte Kuruzzenwall war damals noch größtenteils erhalten.

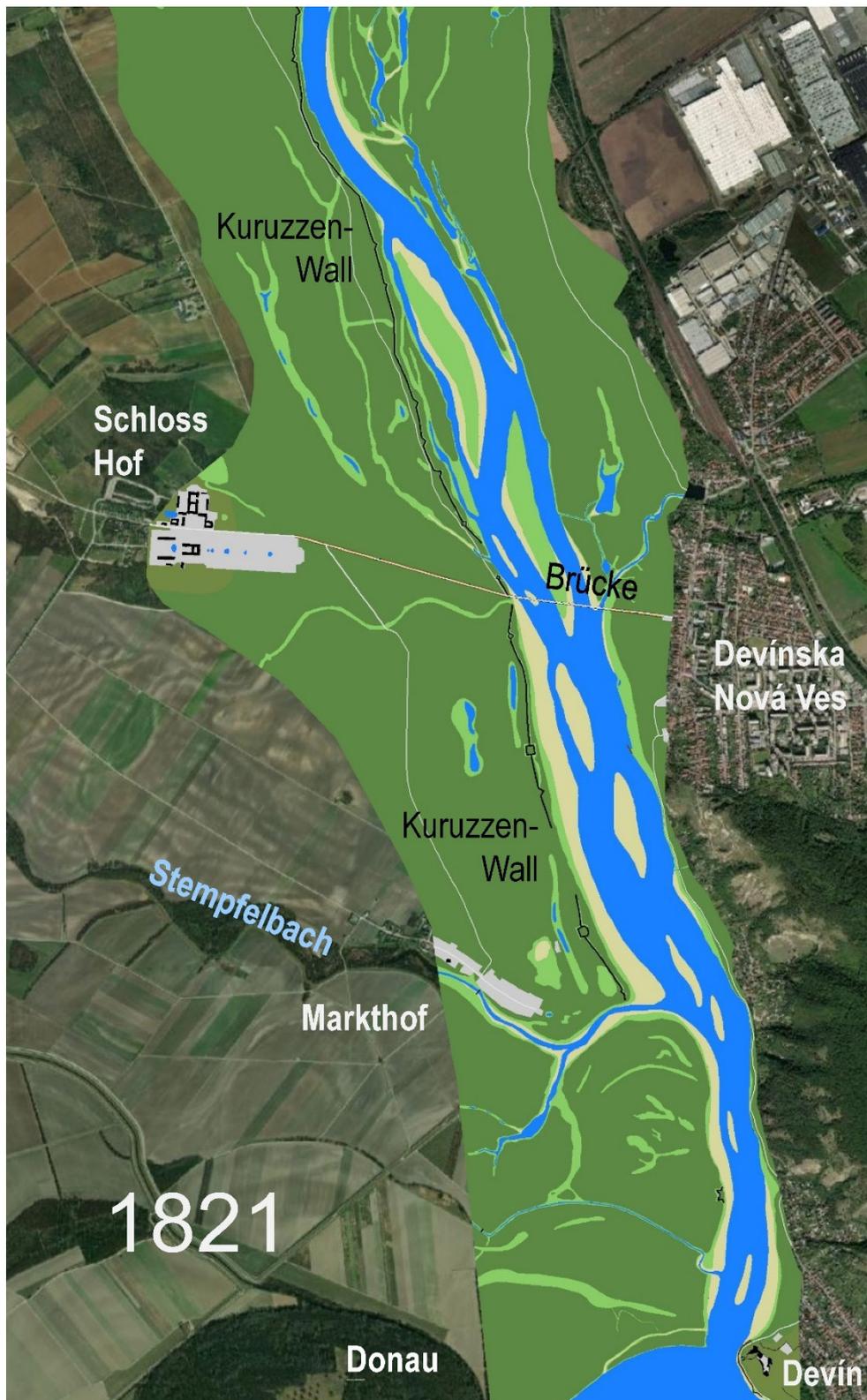


Abbildung 14:
March flussab der
Marchegger
Bahnbrücke bis zur
Donau im Jahr 1821
(Fkm 8-0; Rehberger,
2022; Orthofoto:
Photomap/viadonau
2020).

Ein erster größerer wasserbaulicher Eingriff ergab sich 1771, als Maria Theresia die Neudorfer Brücke zwischen Schloss Hof und Devínska Nová Ves (Neudorf) errichten ließ. Bis 1821 erodierte die Donau an ihrem nördlichen Ufer direkt bei der Marchmündung größere Flächen des Augebiets.



Abbildung 15:
March flussab der
Marchegger
Bahnbrücke bis zur
Donau im Jahr 1896
(Fkm 8-0; Rehberger,
2022; Orthofoto:
Photomap/viadonau
2020).

Die mehrfach bei Hochwässern zerstörte Neudorfer Brücke wurde nach 1880 nicht mehr erneuert. Sie verursachte lokale Verlandungen und damit eine Einengung des Flussbetts. Am oberen Bildrand ist ein Abschnitt der die March querenden Bahnlinie erkennbar. An der Donau wurde die weitere Erosion des nördlichen Prallufers durch Uferschutzbauten und ein Leitwerk verhindert.

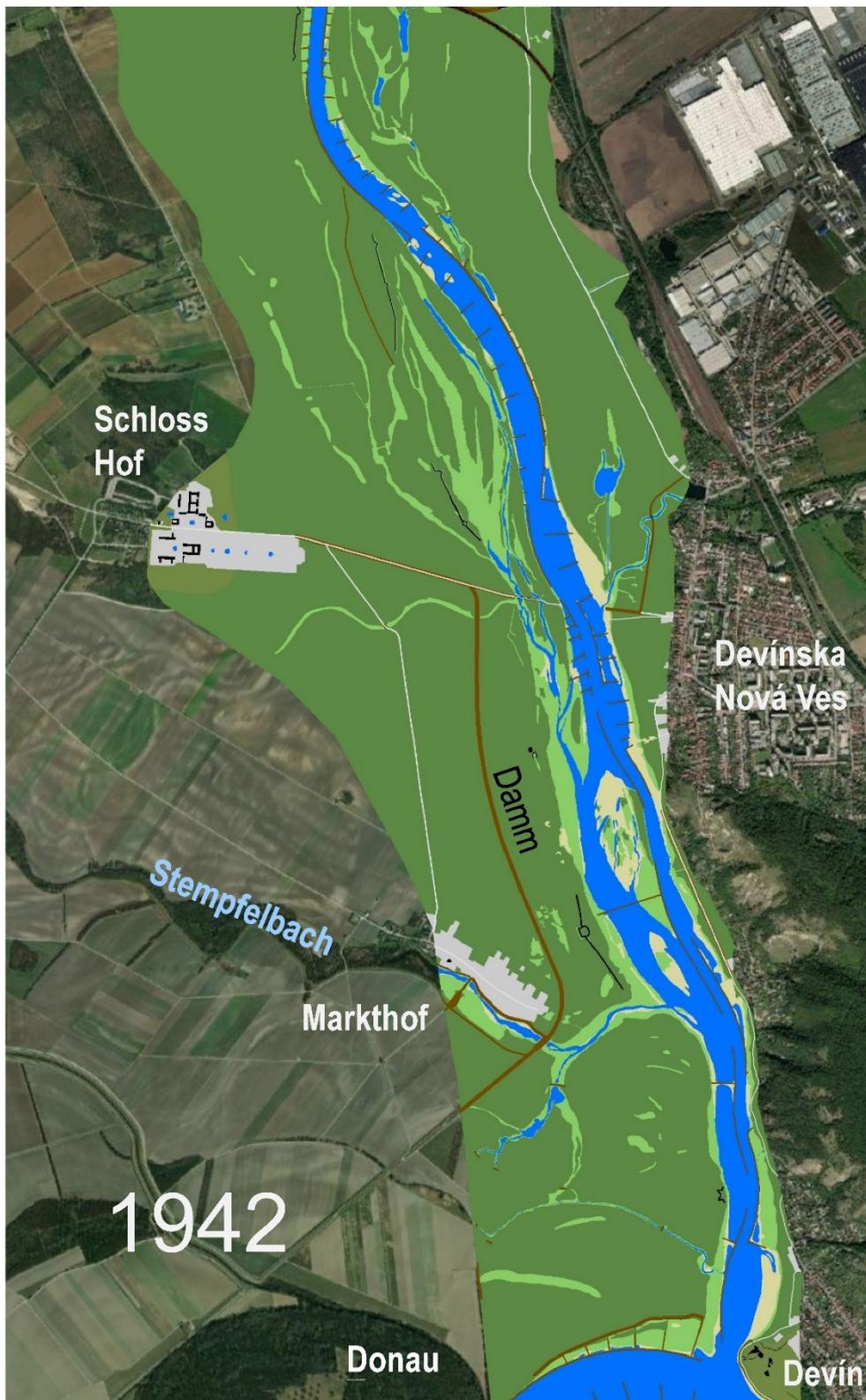


Abbildung 16:
March flussab der
Marchegger
Bahnbrücke bis zur
Donau im Jahr 1942
(Fkm 8-0; Rehberger,
2022; Orthofoto:
Photomap/viadonau
2020).

Im Jahr 1905 wurde der Marchfeldschutzdamm bis Schloss Hof fertiggestellt. Die Regulierung der Mündungstrecke der March ab 1911 kam zwischenzeitlich wegen des 1. Weltkriegs zum Erliegen. Bis 1942 wurden an der March und an der Donau zahlreiche Leitwerke, Bühnen und Uferschutzbauten errichtet (Benz, 2000; Benz & Schwingshandl, 2008).

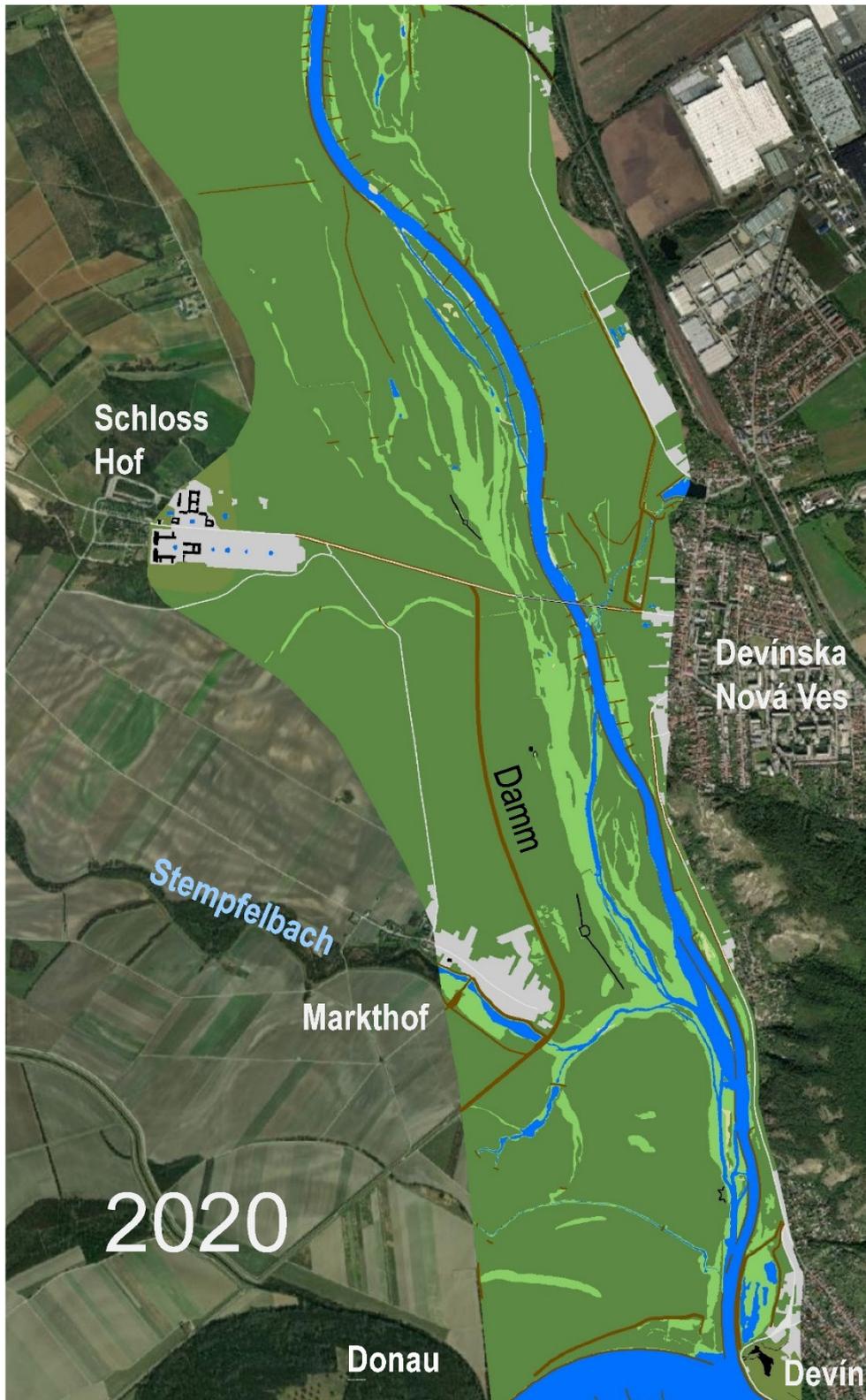


Abbildung 17:
March flussab der
Marchegger
Bahnbrücke bis zur
Donau im Jahr 2020
(Fkm 8-0; Rehberger,
2022; Orthofoto:
Photomap/viadonau
2020).

Die zahlreichen Wasserbauten in der March begünstigten großflächige Verlandungen im einstigen Flussbett, die durch spätere Baumaßnahmen zusätzlich verstärkt wurden. Die Flusslandschaft des Jahres 2020 spiegelt bereits einen durch jüngste Renaturierungsmaßnahmen verbesserten Zustand der March wider.

5.2 Sinuosität

Die Sinuosität eines Flusses, auch Laufentwicklung genannt, ist ein einfaches Maß zur Beschreibung gewundener und mäandrierender Flüsse. Sie errechnet sich aus dem Längenverhältnis zwischen der Lauflänge und der Länge der Talachse. Als Lauflänge wird meist die Mittelachse des aktiven Gerinnes (= Wasserflächen und unbewachsene Sedimentflächen) verwendet. Abbildung 18 zeigt, dass die Sinuosität des gesamten untersuchten Flusslaufs der March vor Beginn der umfassenden Regulierung (1703 bis 1896) zwischen 1,44 und 1,58 pendelte. Da eine Sinuosität von 1,5 zumeist als Grenze zwischen gewundenen und mäandrierenden Flüssen angesehen wird, wäre die historische March demnach überraschenderweise ein Grenzfall zwischen den beiden genannten Gerinneformen. Auffallend ist der tiefste Wert mit 1,44 im Jahr 1821. Sieht man sich diesen Zeitschnitt näher an, so wird ersichtlich, dass zwischen 1755 und 1821 ein paar Mäanderbögen durchbrochen wurden und sich der Flusslauf dadurch auf natürliche Weise begradigt hatte.

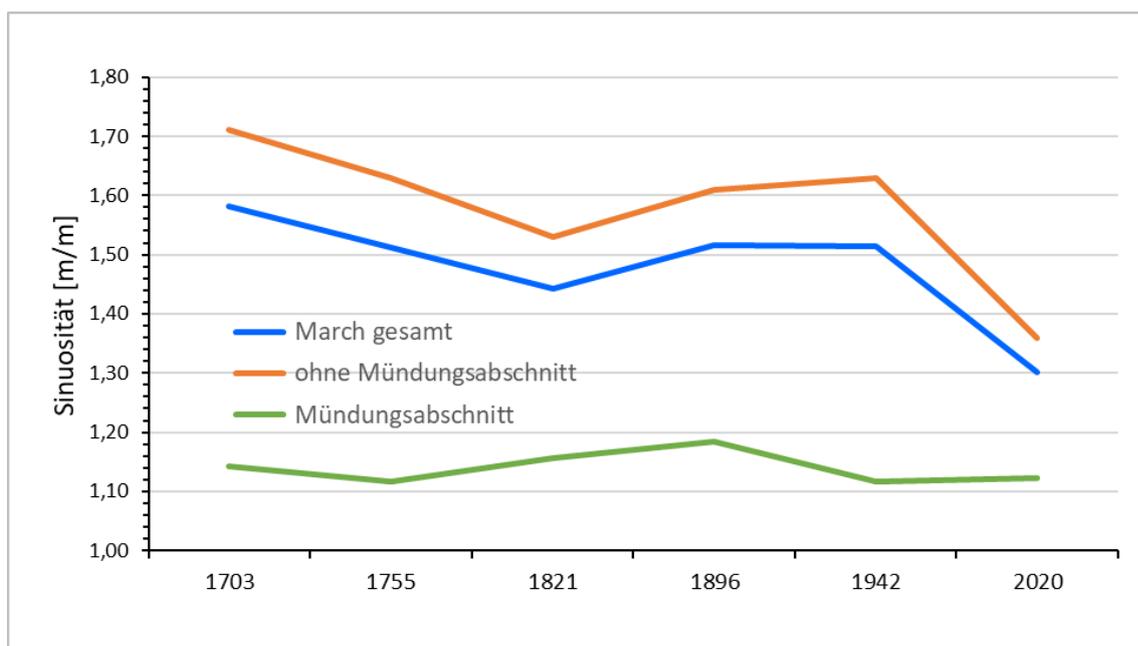


Abbildung 18: Sinuosität der March zwischen 1703 und 2020 ausgewiesen für den gesamten untersuchten Flussabschnitt, ohne den gestreckten Mündungsabschnitt und explizit für den Mündungsabschnitt

Der Grund für diese Entwicklung könnte in einer Phase mit erhöhter Hochwasseraktivität zu finden sein. Ab 1769 waren alljährlich 10 bis 11, im Jahr 1804 sogar 13 Überschwemmungen an der March in Mähren zu verzeichnen, wobei einzelne davon mehrere Wochen andauern konnten (Weber-Ebenhof, 1894). Heute weiß man, dass eine Klimaverschlechterung einhergehend mit kühleren Temperaturen und zeitweise vermehrten Niederschlägen ab den 1760ern zu einer erhöhten Hochwassergefahr im gesamten Mitteleuropa führte (Blöschl et al., 2020; Hohensinner, 2020).

Anzunehmen ist, dass sich viele der in Mähren ereigneten Hochwässer flussabwärts nach Österreich fortsetzten und hier ebenfalls ausgedehnte Überschwemmungen hervorriefen.

Ein genereller Grund für die vergleichsweise geringe Sinuosität ist auch im donaanahen Abschnitt der March zu finden. Dieser war zumindest seit 1703 vergleichsweise geradlinig („gestreckt“) ausgeformt. Klammert man diesen Flussabschnitt bei der Berechnung der Sinuosität aus, so ergeben sich für den Zeitraum 1703-1896 Werte zwischen 1,53 und 1,71, was im erwartbaren Bereich für einen typischen mäandrierenden Fluss liegt. Zudem gab es an der March immer einige Abschnitte, die nicht so stark gewunden waren.

Flussab der Marchegger Ostbahnbrücke wies die March eine Sinuosität von weniger als 1,1 auf, was generell als Grenzwert für gestreckte Flüsse einerseits und gewundene andererseits angesehen wird. Der Grund warum für den Mündungsabschnitt der March in Abbildung 18 durchwegs Werte über 1,1 angegeben sind, liegt darin, dass das Untersuchungsgebiet der zugrundeliegenden Detailstudie weiter flussaufwärts bis nahe Marchegg reicht, wodurch bereits ein ausgeprägter Flussbogen/Mäander miteinbezogen wird (vgl. Abbildung 1).

Warum unterscheidet sich der Mündungsabschnitt der March so stark vom restlichen Flusslauf? Dazu können auf Basis der vorliegenden Daten nur Vermutungen angestellt werden. Eventuell hat sich lange vor 1703 die Sohle und damit auch der Wasserspiegel der Donau abgesenkt. Die Donau fungiert als Erosionsbasis an dem sich das Flusssystem der March letztendlich höhenmäßig ausrichten muss. Durch eine solche hypothetische Absenkung hätte sich auch das Flussbett der March ausgehend von der Mündung rückschreitend flussaufwärts eintiefen müssen. Dadurch hätte sich ein größeres Gefälle entwickelt und die Tendenz zur Mäanderbildung wäre unterbunden worden. Stattdessen wäre ein gestreckteres Gerinne entstanden. Als Folge der Donauregulierung tiefte sich die Donau seit Ende des 19. Jahrhunderts tatsächlich merklich ein, wodurch nun die Marchmündung tiefer als zuvor liegt (Benz & Schwingshandl, 2008; Klasz et al., 2016). Eine weitere Möglichkeit wäre, wenn das Gerinne der March durch eine Gesteinsschwelle unter der Flusssohle bei Schloss Hof oder Markthof höhenmäßig fixiert wäre. In diesem Fall hätte sich das Flusssystem flussauf davon an diesem Hochpunkt ausrichten müssen. Das Gefälle wäre geringer und die Tendenz zum Mäandrieren stärker. Anders jedoch flussab dieser Stelle: In der verbliebenen Strecke bis zur Donau hätte die March ein Gerinne mit größerem Gefälle und damit einen gestreckteren Lauf entwickeln müssen.

Abbildungen 12 bis 14 zeigen auch, dass die March nahe der Mündung historisch einige Verzweigungen aufgewiesen hat. In einem gestreckten Gerinne mit potenziell höherem Gefälle sollte die Sedimenttransportkapazität der March ausreichen, sämtliches Material bis in die Donau zu

transportieren. Dadurch würden sich keine oder kaum Verzweigungen bilden. Der donanahe Abschnitt war (und ist) jedoch stark vom Wasserstand der Donau beeinflusst. Stieg dieser an, so reichte der Rückstau der Donau je nach Wasserstand der March flussaufwärts bis über Marchegg oder gar Dürnkrot hinaus (Wiebeking, 1807; Weber-Ebenhof, 1894). Damit konnten die Sedimente der March nicht mehr abgeführt werden und blieben in der Mündungstrecke liegen. Zudem ist auch von einem Schwebstoffeintrag durch die Donau auszugehen. Nach dem Absinken des Donauwasserspiegels mussten die abgelagerten Sedimente von der March remobilisiert, umgelagert und weitertransportiert werden. Damit könnten auch die in den historischen Karten und Rekonstruktionen dargestellten Sedimentbänke/-inseln und Gerinneverzweigungen erklärt werden.

Seit 1703 reduzierte sich die Lauflänge der March teils durch natürliche flussmorphologische Prozesse (Mäanderdurchbrüche), vor allem aber durch die Laufbegradigungen im 20. Jahrhundert, um rund 15,1 km bzw. 18 %. Damit verringerte sich die Sinuosität des Flusses von 1,58 auf 1,30. Somit ist die March heute nicht mehr einem mäandrierenden, sondern einem gewundenen morphologischen Flusstyp zuzuordnen.

5.3 Breite des aktiven Gerinnes

Die unterschiedliche morphologische Gerinneausformung der Mündungstrecke der March spiegelt sich auch in der mittleren Breite des aktiven Gerinnes klar erkennbar wider. Das aktive Gerinne setzt sich aus Wasserflächen und vegetationslosen Sedimentflächen zusammen.

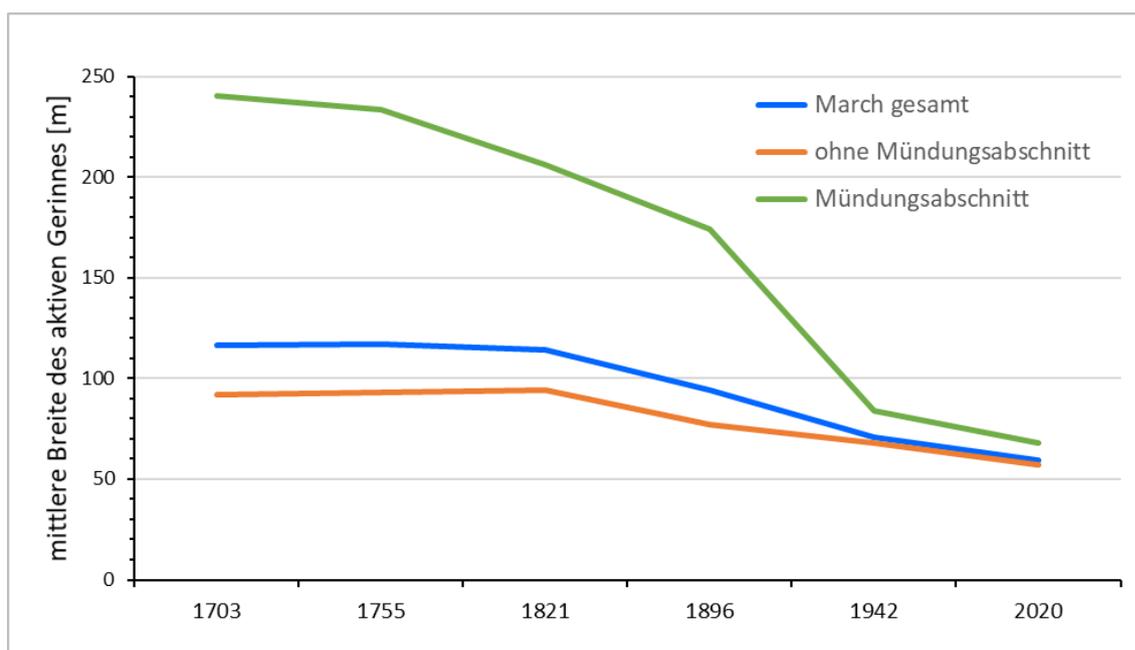


Abbildung 19: Mittlere Breite des aktiven Gerinnes des Hauptarms der March zwischen 1703 und 2020 ausgewiesen für unterschiedliche Flussabschnitte

Generell weisen mäandrierende Fließgewässer bei gleichem Abfluss kompaktere und schmalere Hauptarme auf als gewundene oder gar verzweigte Gewässer. Genau dies lässt sich auch an der March feststellen. Zwischen 1703 und 1821 schwankte die mittlere Breite der gesamten untersuchten March lediglich zwischen 114 und 117 m und war damit trotz der ständigen Laufverlagerungen überraschend stabil (Abbildung 19). Ohne Einbeziehung des breiteren Mündungsabschnitts der March schwankte die mittlere Breite zwischen 92 und 94 m. Im Gegensatz dazu war der Mündungsabschnitt mit 206-240 m mehr als doppelt so breit.

Erste regulierende Eingriffe zeigen sich 1896 in einer Breitenreduktion von rund 20 m (in der Mündungsstrecke rund 30 m). Bis 2020 nahm die aktive Gerinnebreite der gesamten March auf 59 m und damit auf rund 50 % ihres ursprünglichen Wertes ab. Jene der donaanahen Mündungsstrecke nahm sogar noch stärker ab, erreichte 2020 aber immer noch 68 m. Abbildung 19 zeigt, dass sich die Breite der March bezogen auf unterschiedliche Flussabschnitte als Folge der Regulierung bis 2020 auf sehr ähnliche Werte eingependelt hat.

5.4 Gewässertypen (aquatische Makrohabitate)

Die Zusammensetzung der Gewässertypen, auch aquatische Makrohabitate genannt, wurde für jeden Teilabschnitt gesondert ermittelt und die Detailergebnisse sodann für die gegenständliche Studie zusammengeführt. Die Definition der verschiedenen Typen folgt dem von Hohensinner (2008) und Hohensinner et al. (2011) publizierten Klassifikationssystem, welches wiederum auf jenem von Amoros et al. (1987) beruht. Demnach werden die Gewässer einer Flusslandschaft anhand ihrer Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität (Anbindung an den Hauptarm) unterschieden. Dabei werden sämtliche aktiven Gerinne (Wasser- und unbewachsene Sedimentflächen) erfasst. Folgende Gewässertypen werden unterschieden:

- **Eupotamon A:** der Hauptarm eines Fließgewässers, der die größte Wasserführung aufweist (manchmal treten auch zwei annähernd gleich große Hauptarme auf); lotische, stark durchströmte Gewässer
- **Eupotamon B:** Nebenarme, die an beiden Seiten mit dem Hauptarm verbunden sind und permanent oder zumindest zumeist durchströmt werden; lotische, mäßig durchströmte Gewässer
- **Parapotamon A:** dynamische, periodisch durchströmte Altarme, die bei Niederwasser innerhalb ihres Gerinnes bereichsweise durch unbewachsene Sedimentflächen blockiert sind; bei Mittelwasser oder spätestens bei sommerlichem Mittelwasser werden diese Gewässer durchströmt; Übergangsform von Eupotamon B zu Parapotamon B

- Parapotamon B: einseitig an den Hauptarm oder andere Gewässertypen angebundene Altarme; die Anbindung erfolgt zumeist über das flussabwärts liegende Ende des Altarms; das obere Ende ist zumeist durch bewachsenen Augelände blockiert; lentische Gewässer ohne Durchströmung bei Mittelwasser
- Plesiopotamon/Paläopotamon: Totarme, die bei Mittelwasser oder sommerlichem Mittelwasser keine direkte Verbindung zu einem anderen Gewässer aufweisen; stehende Gewässer; in der vorliegenden Studie wird keine Unterscheidung zwischen Plesio- und Paläopotamon, die sich primär durch ihre Grundwasserkonnektivität zum Hauptgewässer unterscheiden, vorgenommen, da dies in den historischen Quellen schwer fassbar ist
- Zubringer: in das Hauptgewässersystem einmündende Bäche und Flüsse sowie grundwassergespeiste Lauenbäche (Aubäche); Lauenbäche und Zubringer im engeren Sinn fließen oft in Gräben und Geländesenken, die aus verlandeten Altarmen hervorgegangen sind; daher gibt es oft einen fließenden Übergang von Altarmen und darin einmündenden Bächen; dort wo sich ein schmaler, durchströmter Bach zu einem breiteren Augewässer entwickelt, ist anzunehmen, dass sich die Strömung stark abgeschwächt oder zum Erliegen kommt; deshalb wurde an solchen Stellen die Grenze zwischen Zubringern bzw. Bächen und anderen Augewässertypen gezogen
- künstliche Gewässer: ausgebaggerte oder aufgestaute Fischteiche, Schotterteiche

Zwischen 1703 und 2020 erfuhren die Gewässer der March sowohl quantitative als auch qualitative Veränderungen. Die Gesamtfläche sämtlicher aktiven Gerinne (Wasser- und unbewachsene Sedimentflächen) nahm bis 2020 um mehr als die Hälfte ab (943 ha bzw. 54 %; Abbildung 20 und Tabelle 3).

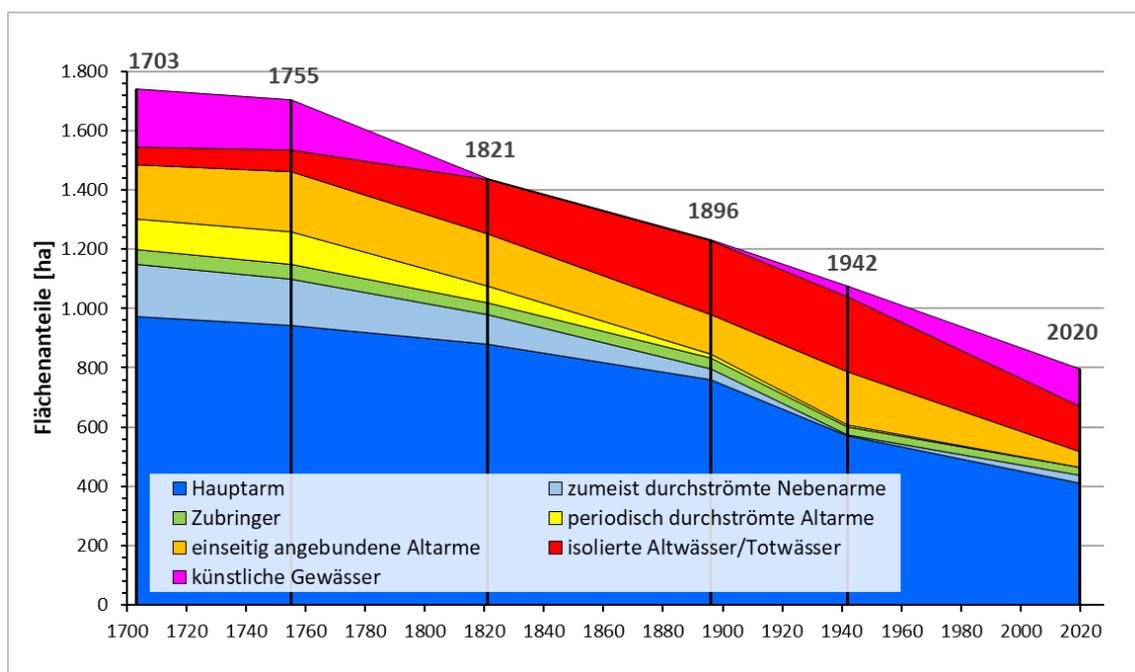


Abbildung 20: Gewässertypen in den untersuchten March-Auen zwischen 1703 und 2020 (ha)

Schließt man künstlich angelegte Gewässer, zumeist Fischteiche, aus, so lag die gesamte Gewässerfläche im 18. Jahrhundert bei rund 1.550 ha. Bis 1821 nahm diese Fläche auf ca. 1.440 ha ab. Abbildung 20 zeigt, dass sich danach die Reduktion der Wasserflächen immer mehr beschleunigte. Im Jahr 2020 nahmen natürliche bzw. naturnahe Gewässer (ohne Teiche) nur mehr 670 ha ein. Dies entspricht einer Reduktion um 876 ha oder 57 %.

Bei den hier präsentierten Flächenwerten ist jedoch zu beachten, dass in der vorliegenden Studie nur die Augewässer des zentralen Auebiets erfasst wurden und jene in weiter entfernt liegenden Bereichen (im Osten) nicht inkludiert sind (vgl. Kapitel 3.1). Bezogen auf die gesamte ehemalige Flusslandschaft wären alle Flächen mit Ausnahme von Eupotamon A wesentlich größer anzusetzen.

Tabelle 3: Flächenentwicklung der Gewässertypen in den untersuchten March-Auen 1703 bis 2020 (ha)

Gewässertypen	Beschreibung	1703	1755	1821	1896	1942	2020
Eupotamon A	Hauptarm	974	945	879	761	572	411
Eupotamon B	durchströmte Nebenarme	176	156	101	36	1	25
Zubringer/Aubäche	Zubringer/Aubäche	49	50	40	37	28	29
Parapotamon A	dynamische Altarme	105	108	58	15	5	0
Parapotamon B	einseitig angeb. Altarme	182	206	176	130	180	50
Plesio-/Paläopotamon	Totarme	60	70	182	252	254	155
künstliche Gewässer	Fisch-/Schotterteiche	194	171	3	3	34	127
gesamtes aktives Gerinnesystem		1.740	1.706	1.439	1.234	1.074	797

Betrachtet man die verschiedenen Typen von Gewässern, so ist eindeutig die Dominanz von aquatischen Habitaten des Hauptarms (Eupotamon A) erkennbar (Abbildung 21). Dies ist bei mäandrierenden Fließgewässern durchaus typisch. Der Anteil des Hauptarms am gesamten Gewässersystem lag stets über 50 %, erreichte zeitweise auch rund 62 %.

Zumeist durchströmte Nebenarme (Eupotamon B) nahmen wesentlich kleinere Flächen ein. Vor der Regulierung schwankte deren Anteil zwischen 7 und 10 %. Bis 1942 wurden sie auf lediglich ein Hektar Fläche bzw. 0,1 % reduziert, nahmen aber bis 2020 aufgrund von Renaturierungsmaßnahmen und anderen flussbaulichen Maßnahmen wieder auf 3,2 % zu.

Auch dynamische, periodisch durchströmte Altarme (Parapotamon A) waren im 18. und im beginnenden 19. Jahrhundert noch prägende Elemente der Flusslandschaft. Deren Anteil schwankte vor der Regulierung zwischen 4 und 6,3 %, sie sind heute aber nicht mehr vertreten. Solche Altarme gehen aus verlandenden Nebenarmen (Eupotamon B) hervor. Es könnte sein, dass sich neue

Nebenarme, die im Zuge von Renaturierungsmaßnahmen entstanden sind, zu solchen Altarmen entwickeln.

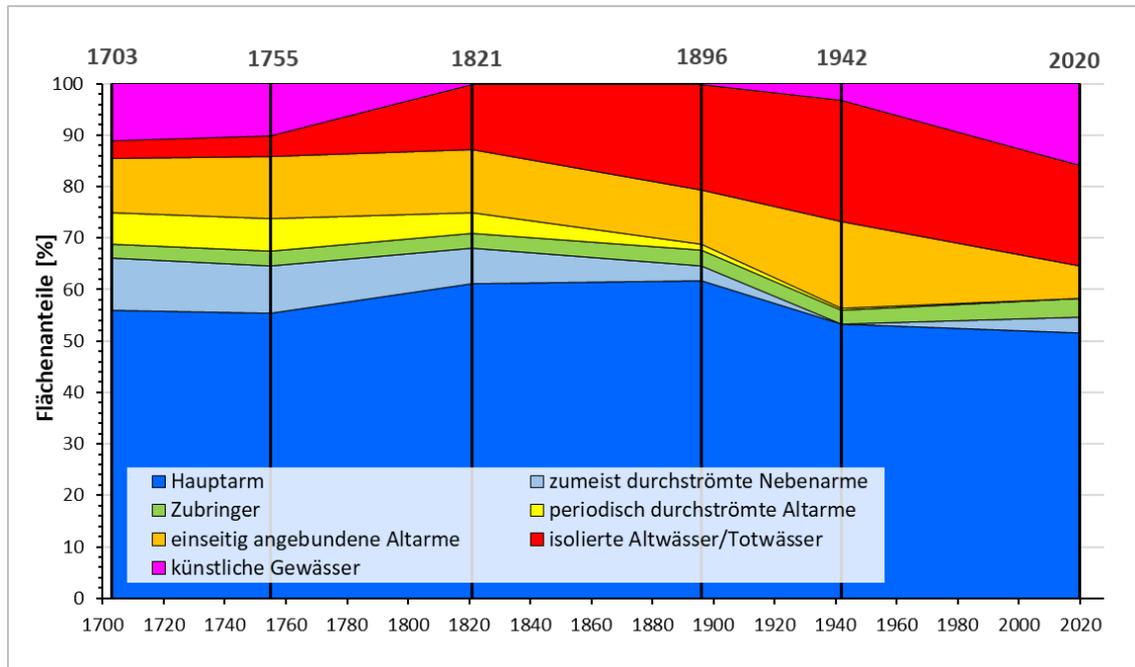


Abbildung 21: Prozentuelle Zusammensetzung der Gewässertypen in den untersuchten March-Auen zwischen 1703 und 2020

Einseitig angebundene Altarme (Parapotamon B) nahmen rund doppelt so große Flächen als Parapotamon A ein. Sie kamen vor der Regulierung auf 10,5 bis 12 % und vergrößerten sich durch die Regulierungsarbeiten auf rund 17 % (Abbildung 21). Jedoch verlandete mehrere davon weiter, sodass sie sich zu Totarmen entwickelten. Folglich nahm die Fläche von Parapotamon B bis 2020 auf 6,3 % aller Gewässer ab. Abgetrennte Totarme (Plesio-/Paläopotamon) zeigten eine andere Entwicklung: Sie nahmen von anfangs lediglich 3 bis 4 % bis 1942 auf ca. 24 % massiv zu. In weiterer Folge verlandeten auch einige Totarme oder wurden zugeschüttet, sodass sich deren Flächenanteil bis 2020 auf 19,5 % reduzierte.

Überblickt man die letzten 300 Jahre, so springt nicht nur die erhebliche quantitative Reduktion der Gewässer ins Auge, sondern zeigt auch eine signifikante Zunahme der isolierten, nicht durchströmten Augewässern. Lotische, durchströmte Augewässer sind heute kaum mehr vorhanden.

Wie bereits im Hinblick auf die Sinuosität und die Gerinnebreite festgestellt, unterscheidet sich die donanahe Mündungsstrecke der March wesentlich von der mäandrierenden March weiter flussaufwärts. Dies spiegelt sich auch anhand der Verteilung der Gewässertypen wider. Der Hauptarm spielte im Vergleich eine noch größere Rolle, indem er bis 1896 Flächenanteile zwischen 74 und 78,5 % des gesamten aktiven Gerinnesystems einnahm (Abbildung 22).

Der Anteil der durchströmten Nebenarme (Eupotamon B) war jedoch mit 8 bis 12 % sehr ähnlich; ebenso der Anteil von Parapotamon A mit rund 4 %. Hingegen wiesen Altarme des Typs Parapotamon B nur rund halb so große Flächenanteile wie an der mäandrierenden March auf (5 bis 6 % versus 10,5 bis 12 %). Ebenso waren die Anteile von abgetrennten Totarmen mit 1,6 bis 1,9 % nur halb so große wie weiter flussaufwärts, wo sie auf 3 bis 4 % kamen.

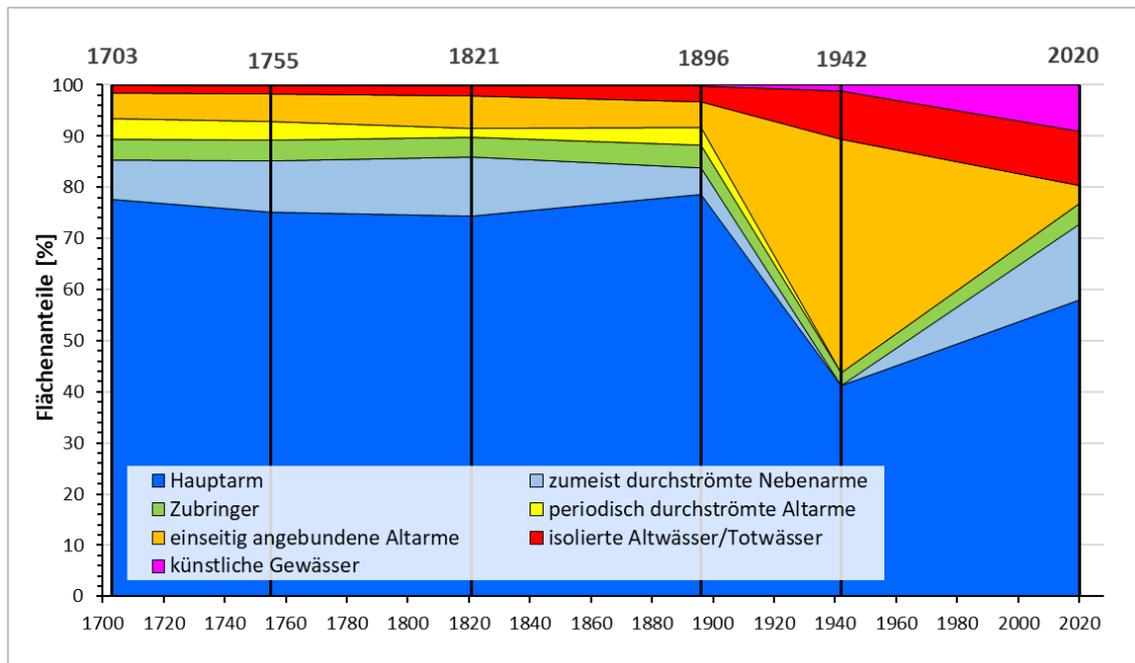


Abbildung 22: Prozentuelle Zusammensetzung der Gewässertypen im donaanahen Mündungsabschnitt der March (Fkm 13,65-0) zwischen 1703 und 2020.

Abbildung 22 verdeutlicht wie stark sich die ab 1911 vorgenommenen Regulierungsarbeiten auf die aquatischen Makrohabitate ausgewirkt haben. Die Flächenanteile lotischer (durchströmter) Gewässer nahmen bis 1942 stark ab, während einseitig angebundene Altarme (Parapotamon B) als typische „Regulierungshabitate“ erheblich zulegten. Zeitgleich vergrößerte sich auch die Fläche von abgetrennten Totarmen signifikant. In den folgenden Jahrzehnten bis 2020 verlandeten viele Augewässer, was sich vor allem in der starken Reduktion von Parapotamon B bemerkbar macht. Die Zunahme der durchströmten Nebenarme (Eupotamon B) beruht auf den in den Jahren davor umgesetzten Renaturierungsmaßnahmen.

Im donaanahen Mündungsabschnitt nahm die Fläche des gesamten aktiven Gerinnesystems seit 1703 noch stärker ab als in den mäandrierenden Abschnitten der March. Hier gingen 276 ha verloren, was einer Reduktion um 63 % entspricht (bezogen auf Fkm 13,65-0). Schließt man künstliche Gewässer nicht in die Rechnung mit ein, so ergibt sich sogar eine Verringerung um 67 %.

5.5 Laterale hydrologische Konnektivität

Der Grad der Gewässervernetzung oder anders gesagt, die Quantität der Anbindungen von Augewässern an den Hauptarm, ist ein entscheidender Faktor, ob migrierende aquatische Organismen adäquate Habitate im Gewässerökosystem aufsuchen können. Damit ist sie grundlegend für eine Auenlandschaft mit hoher Biodiversität (Shen & Liu, 2021).

Um einen Bezug zur Länge des Flusslaufs herzustellen, wurden für jeden Zeitschnitt sämtliche Anbindungen zwischen dem Hauptarm und anderen Gewässertypen aufsummiert und als Prozentsatz der jeweiligen gesamten Uferlänge des Hauptarms (Eupotamon A) angegeben (Abbildung 23).

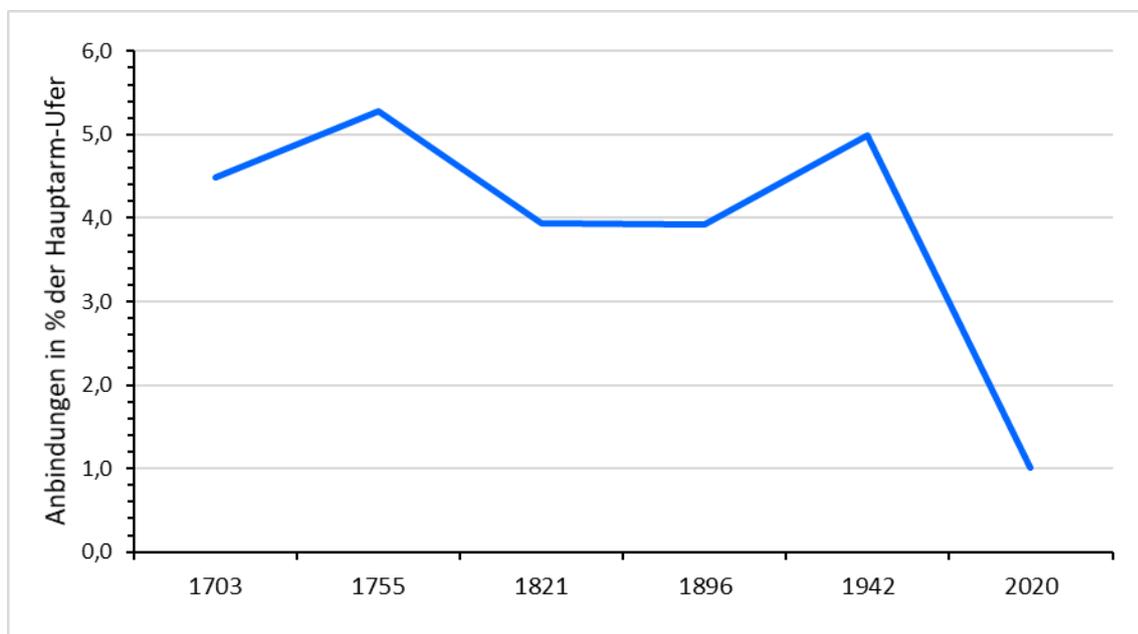


Abbildung 23: Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität (Anbindungen von Augewässern an den Hauptarm) in % der Länge der Hauptarm-Ufer (bezogen auf den gesamten untersuchten Lauf der March)

Um 1703 erreichten sämtliche kartierten Anbindungen eine Länge von rund 7.800 m, was relativ betrachtet 4,5 % der Hauptarm-Uferlänge ausmachte. Ob die Zunahme der Anbindungen bis 1755 auf 8.800 m bzw. 5,3 % tatsächlich stattgefundenen flussmorphologischen Veränderungen geschuldet ist oder lediglich auf eine fehlerhafte Erfassung auf Basis der verwendeten historischen Quellen zurückzuführen ist, ist schwer zu klären. Bis 1821 nahm die Anbindungsintensität auf rund 6.200 m oder 3,9 % ab, obwohl es noch kaum wasserbauliche Eingriffe gab. Eine größere nachweisbare Maßnahme war z.B. die Auflassung des Zwerndorfer Wehrs zwischen 1796 und ca. 1809. Der Mühlbach zwischen Zwerndorf und Marchegg wurde seither nicht mehr mit dem Wasser

der March, sondern vom Weidenbach und anderen kleineren Zubringern aus dem Hinterland gespeist. Damit verlor der Mühlbach einen Teil seiner vormaligen Wassermenge. Ebenso das Augebiet westlich der March im heutigen WWF-Auenreservat, in das nun weniger Zufluss gelangte.

Zur Verringerung der Gewässeranbindungen könnten auch die zum Teil im 18. Jahrhundert neu angelegten Alleen (Jagdschneisen) im Augebiet beigetragen haben. Die historischen Quellen deuten darauf hin, dass Gewässer an den Querungen der Alleen teilweise zugeschüttet oder in Furten umgewandelt wurden. Diese Praktiken haben sicherlich die Verlandung von Augewässern begünstigt, was auch ein Grund dafür sein kann, dass sich die Fläche der durchströmten Nebenarme und der dynamischen Altarme bereits zwischen 1755 und 1821 signifikant reduziert hat (vgl. Abbildung 20; für nähere Informationen dazu siehe Hohensinner, 2022).

Abbildung 23 zeigt bezüglich der Anbindungsintensität für das Jahr 1942 einen überraschenden Anstieg auf 5,0 % (ca. 8.200 m). Dies ist mit den zahlreichen Leitwerken und Buhnen zu erklären, die bis dahin errichtet worden waren. Dadurch entstanden zahlreiche kleine Altarme und strömungsberuhigte Buchten im vormaligen Gerinne des Hauptarms. Da diese einen völlig anderen Strömungscharakter als der durchflossene Hauptarm aufwiesen, wurden sie als Parapotamon B mit neuen Anbindungen an den Hauptarm eingestuft. Es handelt sich dabei um Produkte der Regulierungsarbeiten. Dies zeigt sich auch darin, dass diese neu geschaffenen aquatischen Habitate nach Beendigung der Regulierung sehr rasch verlandeten und damit die Anbindungen auf insgesamt nur mehr 1.440 m Länge bzw. 1,0 % bezogen auf die Uferlänge des Hauptarms fielen (Abbildung 23).

5.6 Migration von Flussbögen

Im Vergleich zu anderen morphologischen Flusstypen lässt sich die Verlagerung (Migration) des Hauptarms bei primär mäandrierenden Flüssen besser erfassen, weshalb jährliche Migrationsraten, gemessen in Meter pro Jahr, öfter zur Beschreibung der Dynamik solcher Flüsse herangezogen werden. Bei mäandrierenden Flüssen spricht man generell von Mäandermigration, womit die seitlichen und flussabwärts gerichteten Verlagerungsprozesse der Flussschlingen gemeint sind. Da aber an der March nicht alle Flussbögen als richtige Schlingen ausgeformt waren, sondern auch solche mit geringerer Sinuosität (Grad der Gewundenheit) vorhanden waren, ist es besser, allgemeiner von Flussbögen zu sprechen. Für diese Studie wurde die Verlagerungen der Mittelachse des aktiven Hauptarmgerinnes (Eupotamon A) gemessen, die auch ungefähr der Verlagerung der Uferkante (Ufermigration) gleichgesetzt werden kann.

In Abbildung 24 weist der Medianwert (50%-Wert) der Verlagerungsraten die größte Aussagekraft zur Charakterisierung der Flusssdynamik auf. Dieser war zwischen 1703 und 1755 mit 1,4 m pro Jahr am höchsten, verringerte sich bis 1821 auf 0,9 m/Jahr um bis 1896 wieder auf 1,3 m/Jahr anzusteigen. Demnach wäre die „typische“ Migrationsrate der March mit einem Wert zwischen 0,9 und 1,4 m/Jahr anzusetzen.

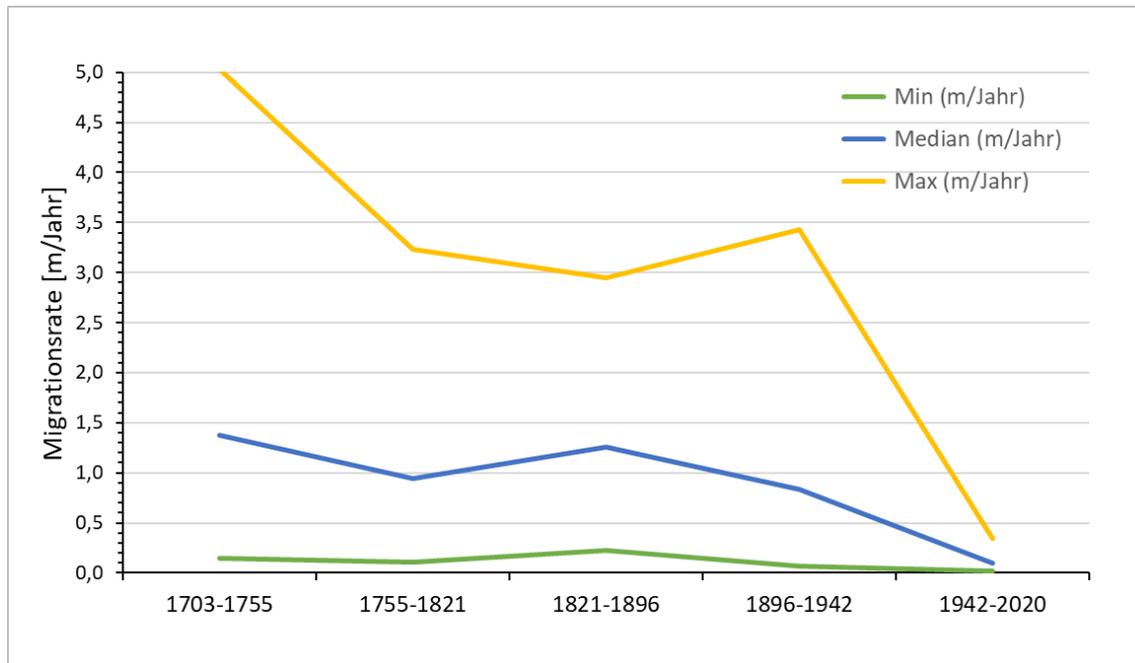


Abbildung 24: Jährliche Verlagerungsraten des Hauptarms der March zwischen 1703 und 2020 (Minimum, Medianwert und Maximum je Zeitperiode bezogen auf den gesamten untersuchten Abschnitt der March; zur Interpretation der Maximal-, Median- und Minimalwerte siehe Text)

Die maximal beobachteten Verlagerungsraten einzelner Flussbögen streute dabei sehr weit. So wies der dynamischste Flussbogen zwischen 1703 und 1755 eine jährliche Migrationsrate von 5,0 m auf. Dieser Wert sticht jedoch im Vergleich zu den anderen Zeitperioden stark hervor, weshalb unklar ist, inwiefern dabei auch die Ungenauigkeit der verwendeten historischen Quellen eine Rolle spielt. Daher sind die Maximalwerte von 2,9 bis 3,4 m/Jahr für die darauffolgenden Zeiträume bis 1942 vertrauenswürdiger (Abbildung 24).

Bei den Maximalwerten (und bei den Medianwerten per Definition) ist zu beachten, dass es sich dabei um Durchschnittswerte über einen längeren Zeitraum handelt. So verlagerte sich z.B. der Flussbogen mit der größten Dynamik zwischen 1755 und 1821 um insgesamt 213 m. Dividiert man diesen Wert durch die Anzahl der Jahre (= 66 Jahre), so erhält man für diesen Zeitraum eine mittlere maximale Verlagerungsrate, die in diesem Fall 3,2 m/Jahr ausmacht. Das bedeutet, dass es dazwischen abhängig von Hochwässern sicherlich Jahre mit größeren Migrationsraten gegeben hat, die in anderen Jahren mit kleineren Raten wieder ausgeglichen wurden.

Analog dazu verhält es sich mit den errechneten Minimalwerten. Diese liegen mit 0,1 bis 0,2 m/Jahr naturgemäß knapp über Null und beziehen sich auf sehr stabile Abschnitte des Hauptarms bzw. auf dessen Uferbereiche, die kaum einer Erosion unterlagen.

Als Folge der Regulierungsarbeiten im 20. Jahrhundert verringerte sich die Flussdynamik und damit die Intensität der Gerinne- bzw. Ufermigration sehr stark. Abbildung 24 illustriert den drastischen Rückgang der medianen Migrationsrate auf 0,1 m/Jahr und der mittleren maximalen Rate auf 0,3 m/Jahr zwischen 1942 und 2020. Dabei ist anzunehmen, dass die Migrationsprozesse nach Beendigung der Regulierungsarbeiten um 1982 quasi zum Erliegen gekommen sind.

5.7 Umlagerungsdynamik (Erosion/Verlandung)

Aus auenökologischer Sicht ist zur Beschreibung der Flussdynamik nicht nur die Verlagerungsrate der Gerinneachse bzw. der Uferkante von Interesse, auch flächige Erosions- und Verlandungsprozesse spielen eine wesentliche Rolle. Ufererosion bedeutet zugleich auch die Neubildung von Teilen eines Gewässers bzw. dessen aquatischer Habitats. Hingegen bietet die Verlandungsrate Auskunft darüber, in welchem Ausmaß neue terrestrische Habitats für den Aufwuchs von Pioniervegetation entstehen.

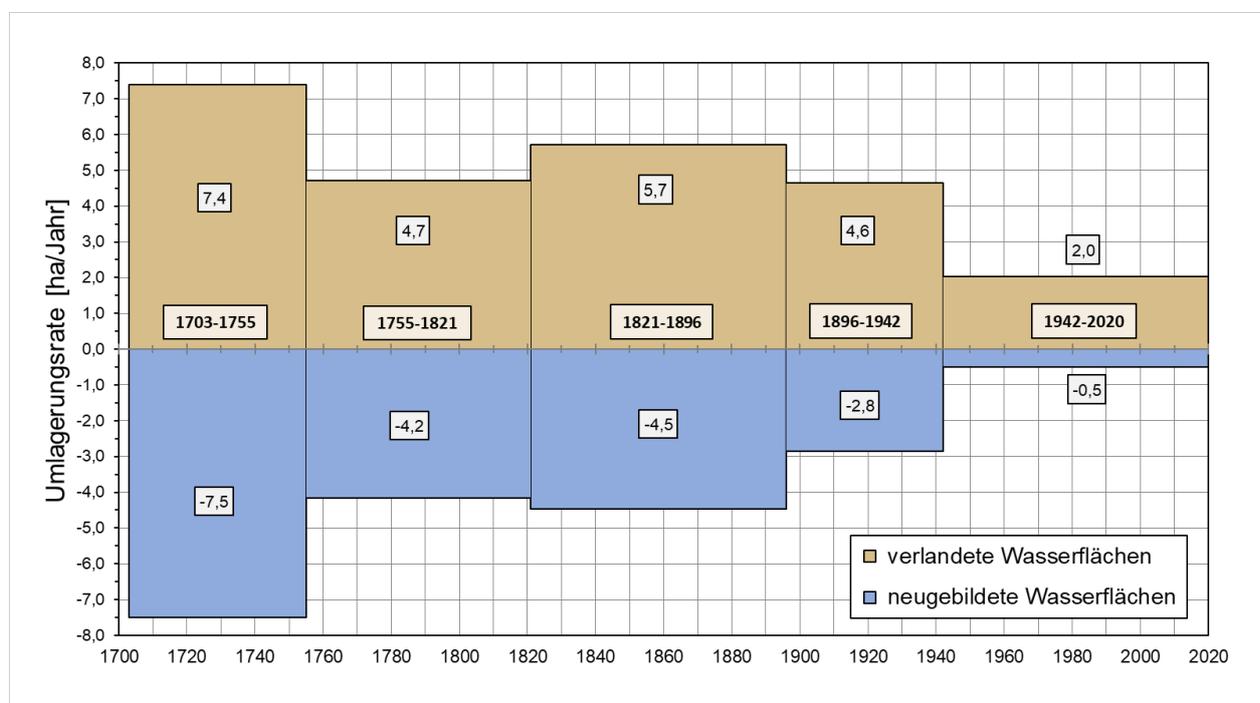


Abbildung 25: Mittlere jährliche Erosionsraten (blau) und Verlandungsraten (braun) des Hauptarms je Zeitperiode im gesamten untersuchten Abschnitt der March zwischen 1703 und 2020 (ha/Jahr)

Vor der Regulierung, zwischen 1703 und 1896, schwankten die jährlichen Erosionsraten am Hauptarm (Eupotamon A) stark zwischen 4,2 und 7,5 ha pro Jahr (Abbildung 25). Dabei ist der Wert

von 7,5 ha/Jahr für den Zeitraum 1703-1755 mit Vorsicht zu betrachten, weil die historischen Quellen für den Zeitschnitt 1703 nicht so detailliert sind, wodurch der errechnete Umlagerungswert eventuell zu groß angegeben ist. Zu erwähnen ist auch, dass es sich hierbei – analog zu den bereits zuvor beschriebenen Migrationsraten – um jährliche Mittelwerte innerhalb der angegebenen Zeiträume handelt. Das heißt, dass es innerhalb einer Zeitperiode (z.B. 1755-1821) Jahre mit größeren Umlagerungsraten und Jahre mit kleineren Raten gegeben hat.

Ähnlich wie die Erosionsraten schwankten auch die Verlandungsraten zwischen 1703 und 1896 stark und lagen zwischen 4,7 und 7,4 ha/Jahr. Auffallend ist, dass das Ausmaß der Verlandung zwischen 1755 und 1896 stets etwas größer war als jenes der Erosion (Abbildung 25). Das bedeutet, dass bereits vor Beginn der eigentlichen Regulierung ein langfristiger langsamer Verlust von aquatischen Habitaten zu verzeichnen war, wie es auch bereits bei der Analyse der Gewässertypen zu bemerken war (Kapitel 5.4). Theoretisch würde man langfristig einen Ausgleich zwischen Erosion und Verlandung erwarten – sofern sich die externen Rahmenbedingungen wie Klima, Abfluss- und Sedimentregime nicht verändern. Ansonsten würde sich allmählich der morphologische Flusstyp ändern. Der hier festgestellte Überhang von Verlandungsprozessen kann somit auf geänderten Einflussfaktoren im Einzugsgebiet weiter flussauf beruhen und/oder lokale Ursachen haben. Zu letzteren zählen z.B. wasserbauliche Eingriffe wie die Abtrennung des Mühlbachs von der March beim Zwerndorfer Wehr um 1800, diverse lokal wirksame Wasserbauten zur Landgewinnung oder die Anlage von Alleen (Jagdschneisen) im Auegebiet (vgl. dazu Kapitel 5.5).

Ab dem Jahr 1896 sind zunehmend die Auswirkungen von Regulierungsmaßnahmen direkt an der March oder sonstigen wasserbaulichen Eingriffen im Hinterland (z.B. Errichtung von Dammwegen und Abtrennung von Altarmen) zu erkennen. Während die Verlandungsraten bis 1942 mit 4,6 ha/Jahr noch annähernd so groß waren wie zuvor, sanken die Erosionsraten stark ab: Zwischen 1896 und 1942 machten sie im Mittel nur mehr 2,8 ha/Jahr aus. Die für den darauffolgenden Zeitraum 1942-2020 angegebenen Werte (2 ha/Jahr Verlandung und 0,5 ha/Jahr Erosion) täuschen etwas über den heutigen Zustand der March hinweg, da sie auch mehrere Jahre inkludieren, in denen die March noch nicht vollständig reguliert war. Dies erklärt den vielleicht überraschend hohen Erosionswert mit 0,5 ha/Jahr. Zudem ist zu berücksichtigen, dass dabei auch jüngst umgesetzte Renaturierungsmaßnahmen zu Buche schlagen.

Dennoch ist klar das regulierungsbedingte Ungleichgewicht der Flusssdynamik erkennbar, indem die Neubildungsrate von Gewässern (Erosion) gegen Null strebt, während Verlandungsprozesse dominieren. Aber selbst die Verlandungsprozesse schwächen sich langfristig allmählich ab, wodurch

die Flusslandschaft einen zunehmend stabileren Charakter erhält. Der daraus resultierende Verlust an aquatischer und terrestrischer Habitatvielfalt spiegelt sich auch in einer reduzierten Biodiversität wider (Hohensinner et al., 2011, 2014).

5.8 Regulierungsintensität

Neben einzugsgebietsweiten Faktoren wie Landnutzung, Abfluss- und Sedimentregime sind es vor allem die wasserbaulichen Maßnahmen vor Ort, die sich auf die morphologische Ausformung eines Fließgewässers auswirken. Daher wurde im Rahmen vorliegender Studie für jeden Zeitschnitt auch ermittelt, wieviel Prozent der Ufer des Hauptarms mit Schutzbauten unterschiedlichen Typs versehen waren. Die daraus resultierende Regulierungsintensität ist in Abbildung 26 ersichtlich.

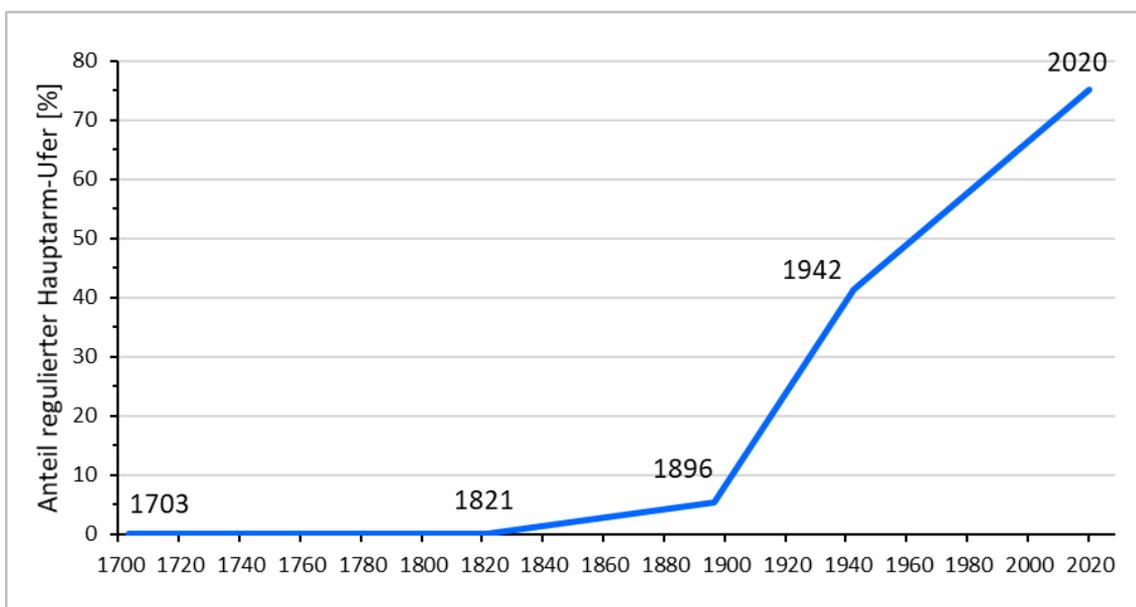


Abbildung 26: Entwicklung der Uferverbauung entlang der March zwischen 1703 und 2020 angegeben als Prozentsatz der regulierten Uferabschnitte des Hauptarms

Vor 1821 existierten Uferschutzbauten nur sehr punktuell bei Brücken oder Schiffsmühlen, zudem gab es kleine Abdämmungen von Nebengewässern. Danach wurden erste Laufbegradigungen und Uferstabilisierungen vorgenommen, wodurch bis 1896 5 % der Ufer der March reguliert worden waren. Bis zum Jahr 1942 erhöhte sich der Anteil regulierter Ufer massiv auf 41 %. Weitere Wasserbaumaßnahmen nach dem 2. Weltkrieg resultierten in einem Verbauungsgrad von 75 % bezogen auf das Jahr 2020. Nicht ausgeschlossen ist, dass es noch mehr Uferschutzbauten versteckt unter dicken Sedimentlagen gibt, die nicht ermittelt werden konnten. Die nicht verbauten Uferabschnitte befinden sich primär in strömungsgeschützten Gleituferbereichen, wodurch eine Erosion des Ufers weitgehend ausgeschlossen ist.

6. Ergebnisse Thaya

6.1 Beispiele für flussmorphologischen Rekonstruktionen

Die nachfolgende Zeitreihe zeigt einen historisch besonders interessanten Flussabschnitt der Thaya östlich von Bernhardsthal bei der Mündung des Hamelbachs (Fkm 13,7-10,4). Die Legende zu den GIS-Rekonstruktionen ist in Abbildung 5 ersichtlich.

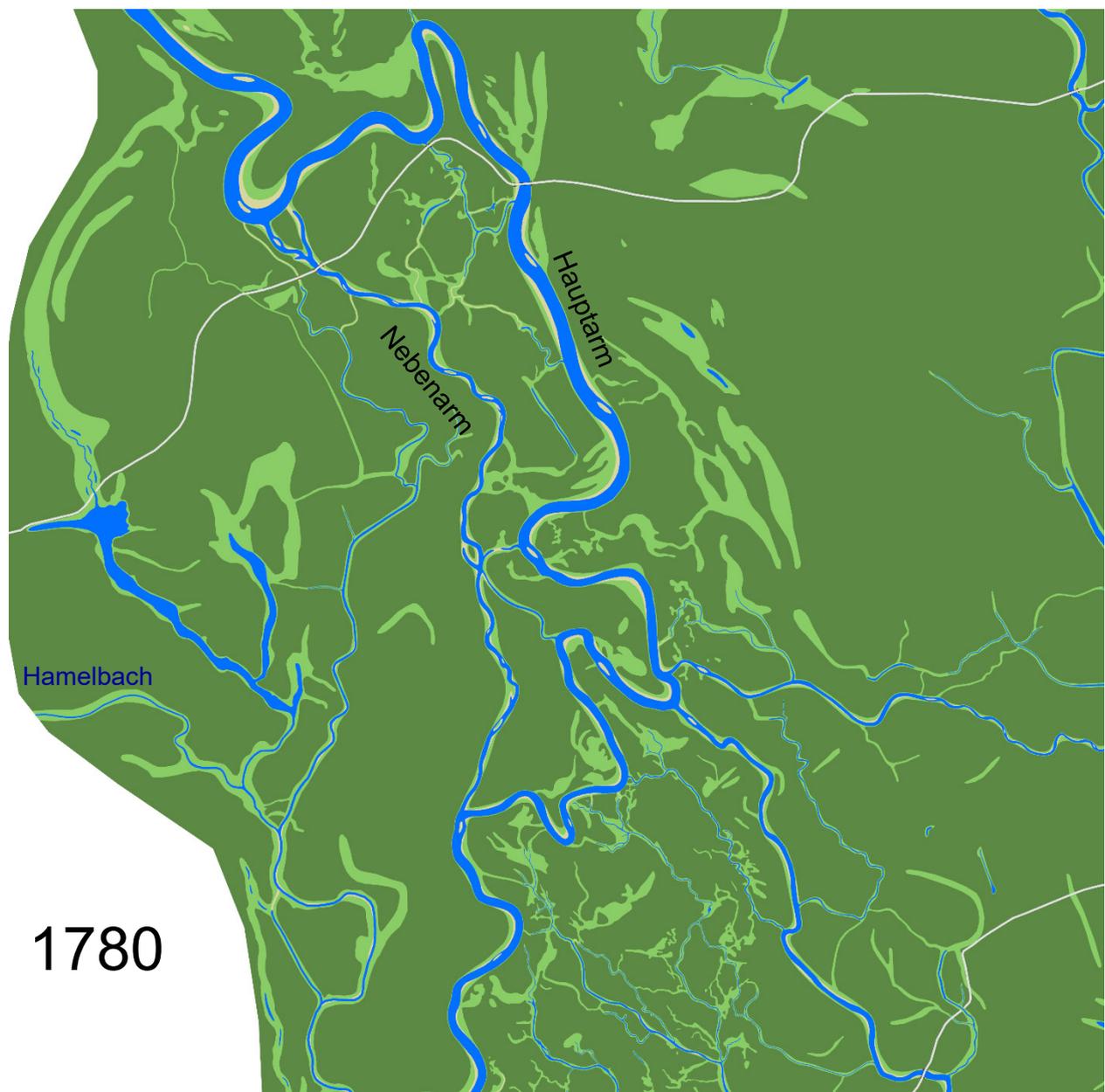


Abbildung 27: Thaya-Auenlandschaft um 1780 östlich von Bernhardsthal (Fkm 13,7-10,4)

Im frühesten mit hinreichender Genauigkeit fassbaren Zeitschnitt um 1780 war der östlich liegende Hauptarm stark mäandrierend, während der westliche Nebenarm wesentlich weniger Wasser führte. Der Bereich zwischen beiden Armen hieß wegen der Flussquerungen bis in die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts „Zwischen denen Brücken“. Das Gebiet um den Hamelbach war stark versumpft, was teilweise auch auf den Rückstau durch das Rabensburger Wehr flussab davon zurückzuführen war (Zelesnik, 1976).

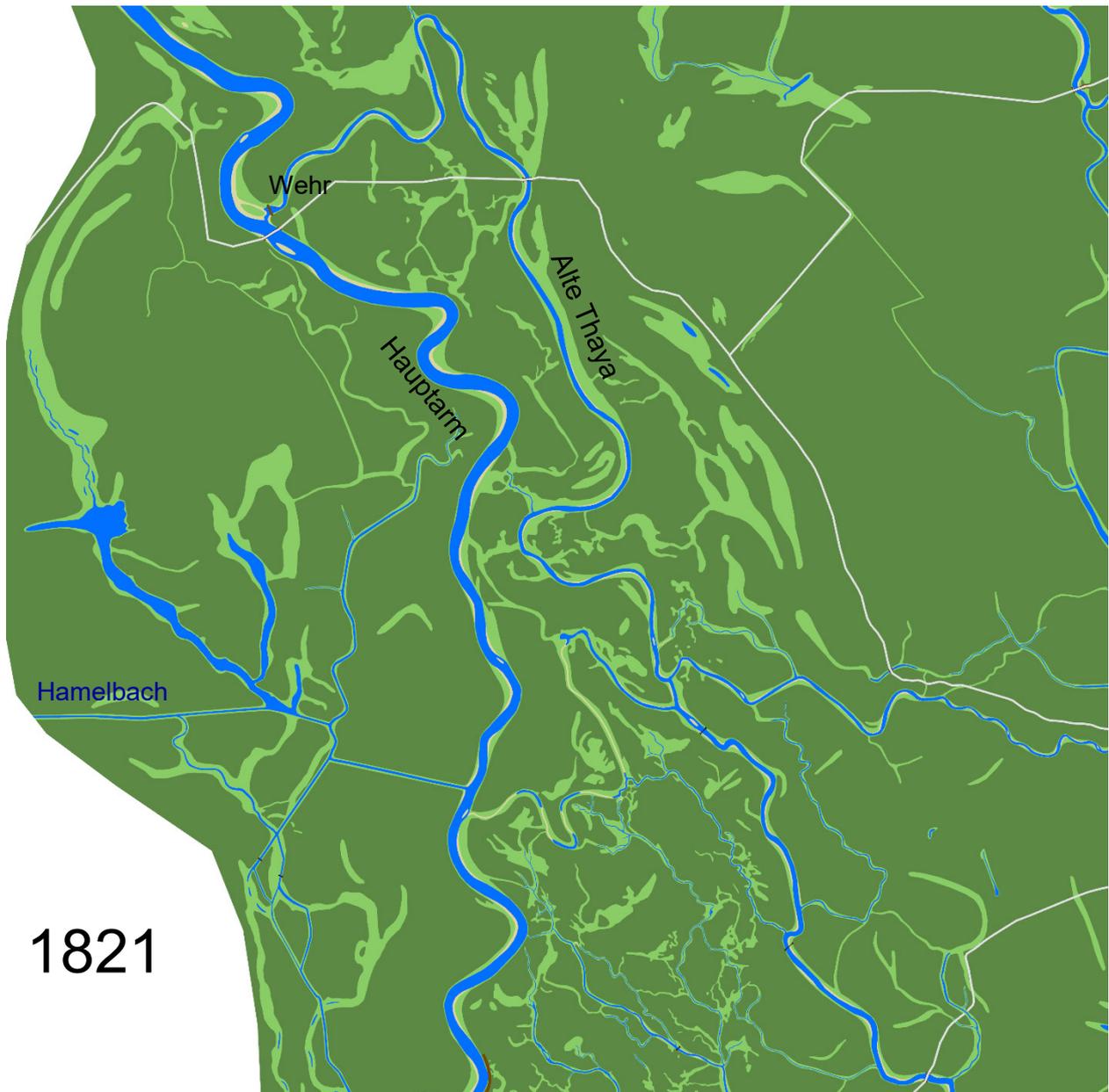


Abbildung 28: Thaya-Auenlandschaft im Jahr 1821 östlich von Bernhardsthal (Fkm 13,7-10,4)

Zwischen 1780 und 1792 wurde an einem Mäanderbogen ein Wehr errichtet, worauf der vormalige westliche Nebenarm zum neuen Hauptarm mutierte. Der ursprüngliche Hauptarm wurde fortan als

„Alte Thaya“ bezeichnet. Durch diese Umleitung der Thaya wurde langfristig in den Entwicklungspfad der Flusslandschaft eingegriffen. Zugleich wurden der Hamelbach und daran angrenzende Augewässer reguliert. Am unteren Bildrand von Abbildung 28 (1821) ist ein erster größerer Damm erkennbar.

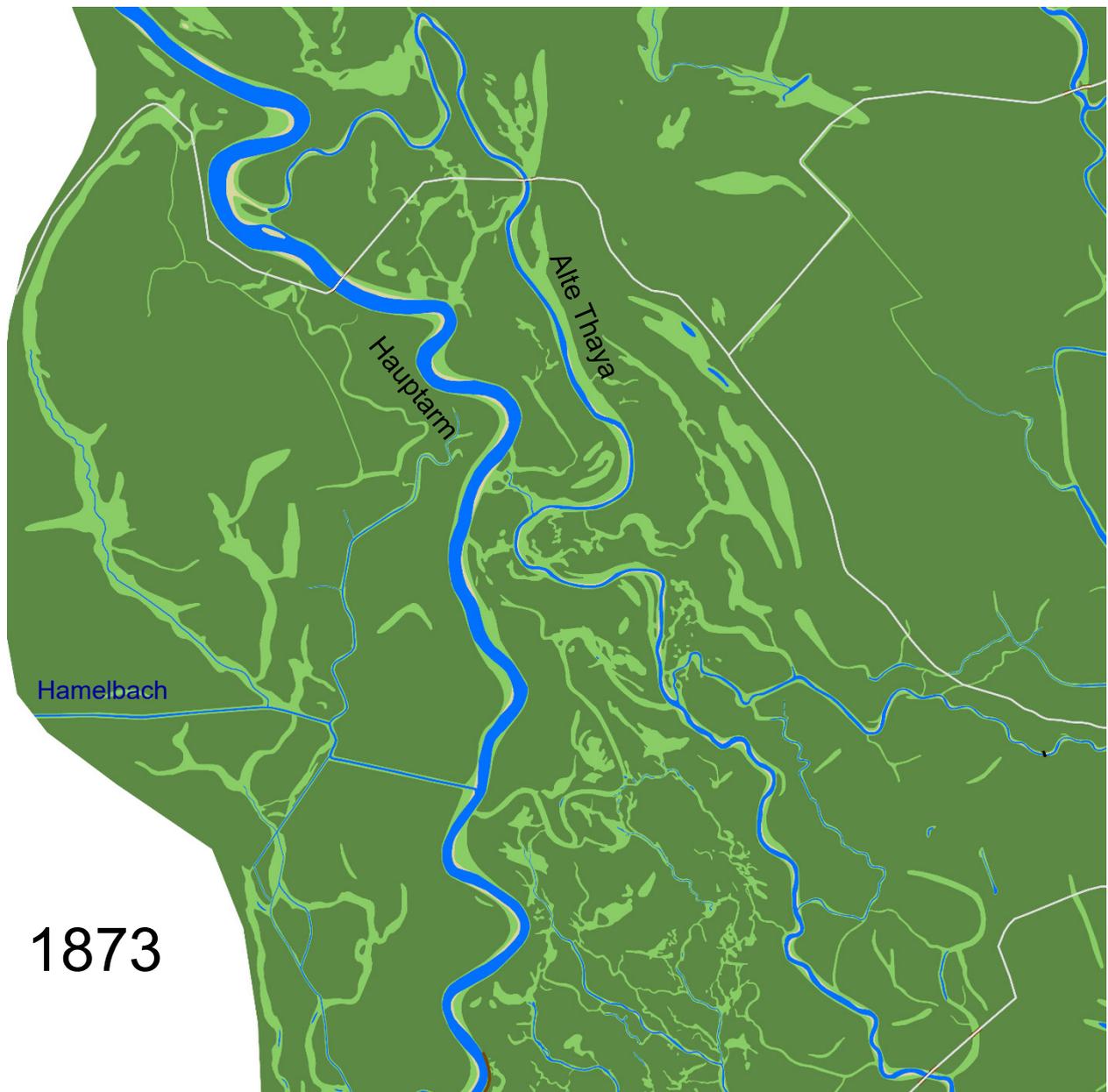


Abbildung 29: Thaya-Auenlandschaft im Jahr 1873 östlich von Bernhardsthal (Fkm 13,7-10,4)

Bis zum Jahr 1873 separierte sich das Gewässersystem der „Alten Thaya“ vom neuen Flusslauf immer mehr und verlandete zusehends. Auch die einstmals großflächig versumpften Bereiche im Umfeld des Hamelbachs wurden zunehmend entwässert. Die Flussquerungen über den Hauptarm und die „Alte Thaya“ wurden seit 1780 mehrfach verlegt.

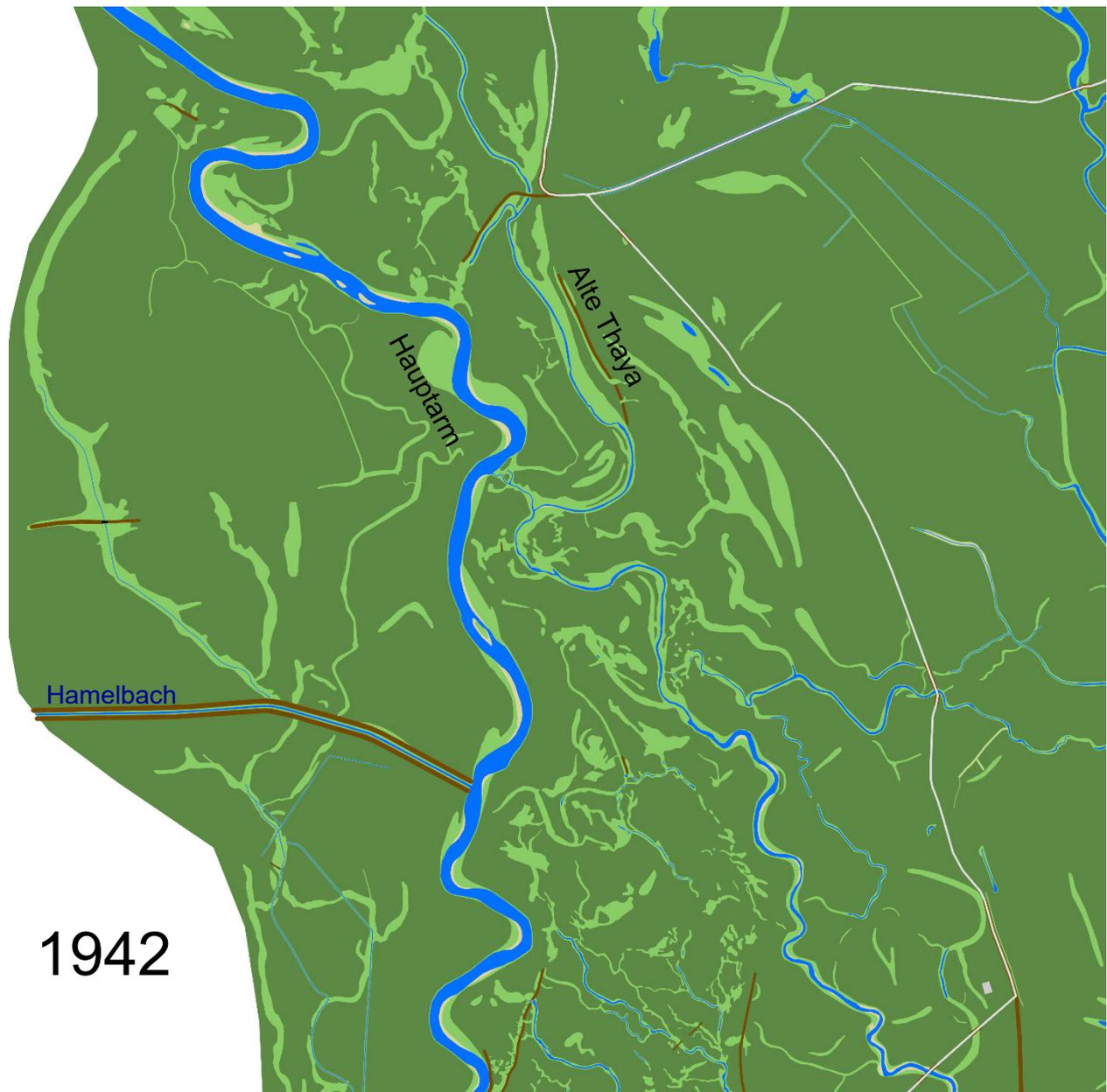


Abbildung 30: Thaya-Auenlandschaft im Jahr 1942 östlich von Bernhardsthal (Fkm 13,7-10,4)

Zwischen 1873 und 1942 verlagerten sich die Flussbögen der Thaya merklich. Der von Bernhardsthal kommende Hamelbach wurde mit Schutzdämmen versehen. Im Augebiet wurden bis 1942 weitere Dämme und dammartig ausgebaute Wege errichtet, wodurch das Gewässer- und Grabensystem im Augebiet fragmentiert wurde. Im damals tschechoslowakischen Augebiet wurden zugleich auch größere Drainagierungsmaßnahmen vorgenommen (vgl. Abbildung 30 rechts oben).

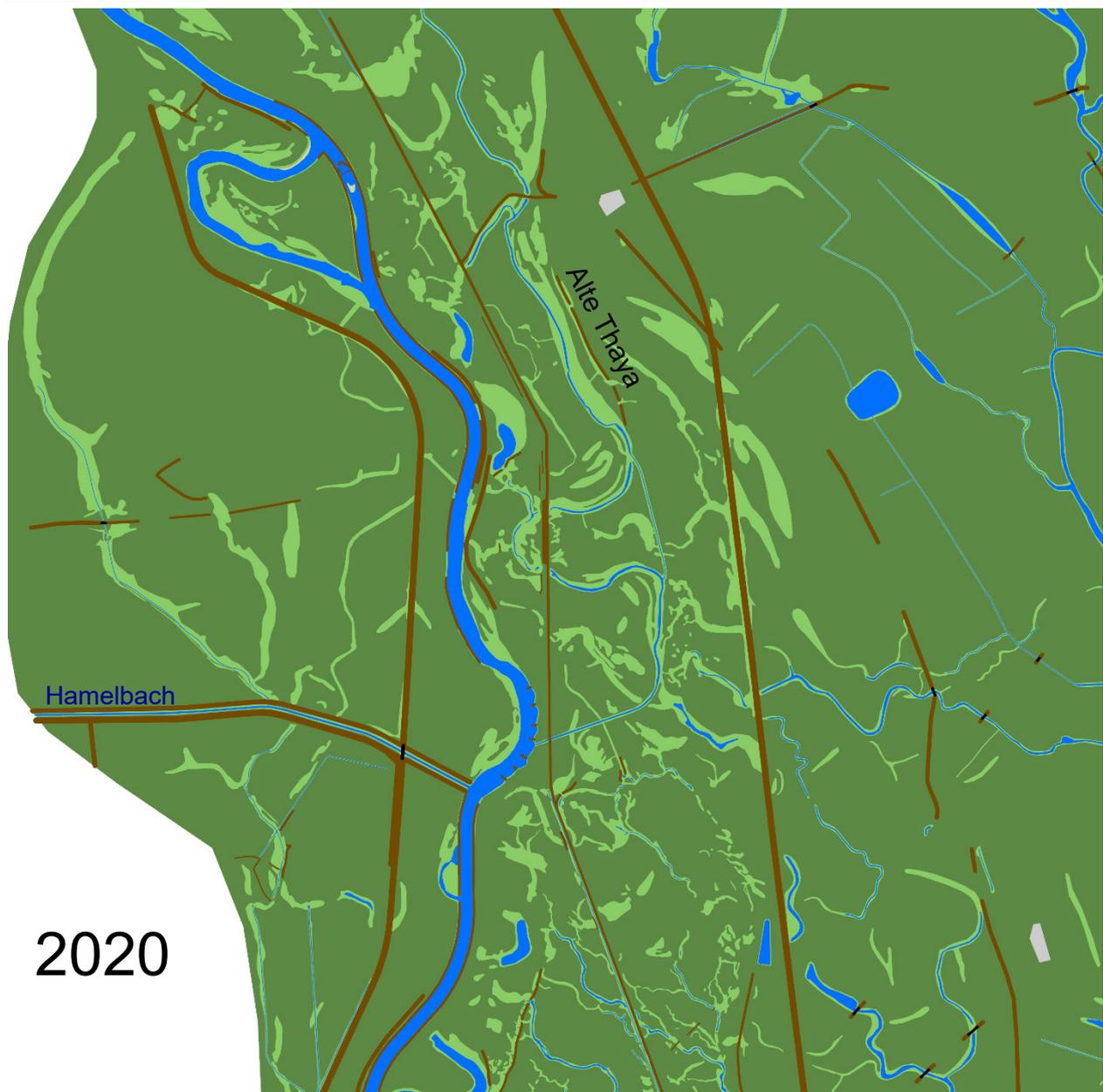


Abbildung 31: Thaya-Auenlandschaft im Jahr 2020 östlich von Bernhardsthal (Fkm 13,7-10,4)

Die aktuelle Situation der Thaya-Flusslandschaft ist durch die zwischen 1979 und 1987 errichteten Dammsysteme auf beiden Seiten der Thaya gekennzeichnet (auf damals tschechoslowakischer Seite wurden einige Dämme bereits zuvor gebaut). Damit wurde der weiteren Fragmentierung und Verlandung der Auenlandschaft Vorschub geleistet. Zudem wurden damals 18 Mäanderbögen entlang der gesamten Thaya-Grenzstrecke begradigt und viele Uferabschnitte reguliert (Zulka, 1999). Am oberen Bildrand von Abbildung 31 ist der Mäander D18 erkennbar, der im Zuge von Renaturierungsmaßnahmen 2018/19 wieder an die March angebunden wurde.

Die zweite Zeitreihe veranschaulicht die Entwicklung der Thaya beim „Rabensburger Wehr“ nördlich von Rabensburg direkt flussab der zuvor gezeigten Zeitreihe (Fkm 10,4-8,4).



Abbildung 32: Thaya-Auenlandschaft um 1780 beim Rabensburger Wehr (orange: vermutete Mäander vor 1780; Fkm 10,4-8,4)

Im Bereich des Rabensburger Wehrs befand sich bereits im Mittelalter eine Mühle, für die es schon damals ein Wehr gegeben haben muss (Adler & Hundsbichler, 1980). Um 1780 führte der Mühlbach zu einer großen Mühle in Rabensburg. Interessant sind die Flussarme am oberen Bildrand, die vermutlich nach zwei Mäanderdurchbrüchen aus intensiv gewundenen Mäanderschlingen (orange Linie) hervorgegangen sind. Die historischen Quellen deuten darauf hin, dass es damals bereits einen längeren Schutzdamm oder Dammweg gegeben hat (am unteren Bildrand von Abbildung 32).



Abbildung 33: Thaya-Auenlandschaft im Jahr 1821 beim Rabensburger Wehr (Fkm 10,4-8,4)

Der vermutlich bereits um 1780 bestandene Schutzdamm bzw. Dammweg wurde entlang des Mühlbachs flussaufwärts bis zum Wehr verlängert. Zusätzlich wurde am östlichen Ufer flussauf des Wehrs ein Schutzdamm errichtet, wodurch auch der Lauf der Thaya stabilisiert wurde. Dieser Damm verlief weiter nördlich entlang eines früheren Mäanderbogens. Eventuell existierte er bereits vor 1792, ist aber auf Basis der verfügbaren historischen Quellen unklar.

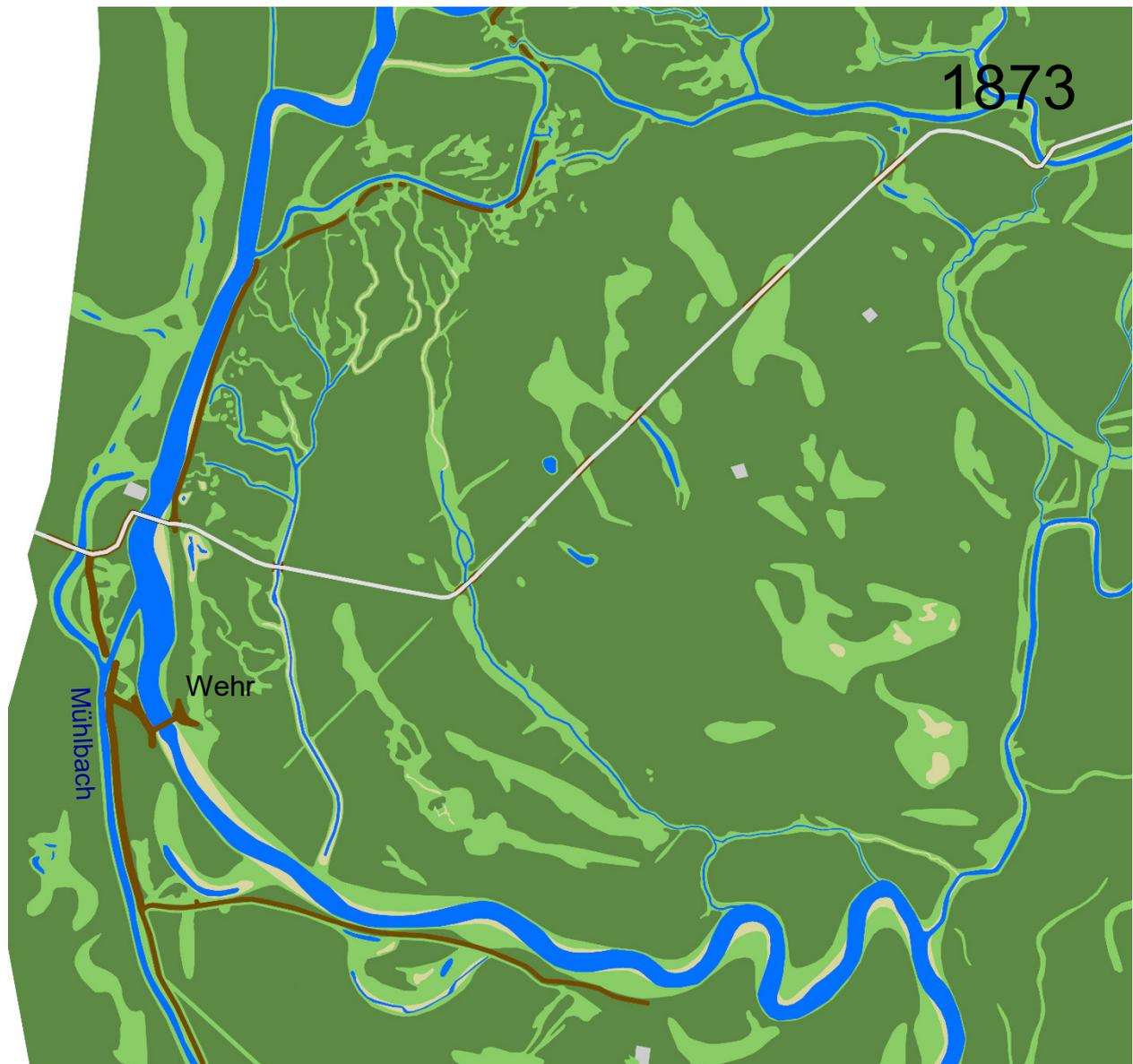


Abbildung 34: Thaya-Auenlandschaft im Jahr 1873 beim Rabensburger Wehr (Fkm 10,4-8,4)

Zwischen 1821 und 1863 musste das Rabensburger Wehr weiter flussabwärts neu errichtet werden, wobei die Ufer massiv befestigt wurden. Im Zuge dessen wurde auch der Einlauf in den Mühlbach flussabwärts verlegt. Dadurch mutierte der oberste Abschnitt des Mühlbachs zu einem Altarm. Flussab des Wehrs kam es zu einem natürlichen Mäanderdurchbruch, andere Flussbögen weiteten sich aus. Zugleich wurden einige Wege im Augebiet ausgebaut.

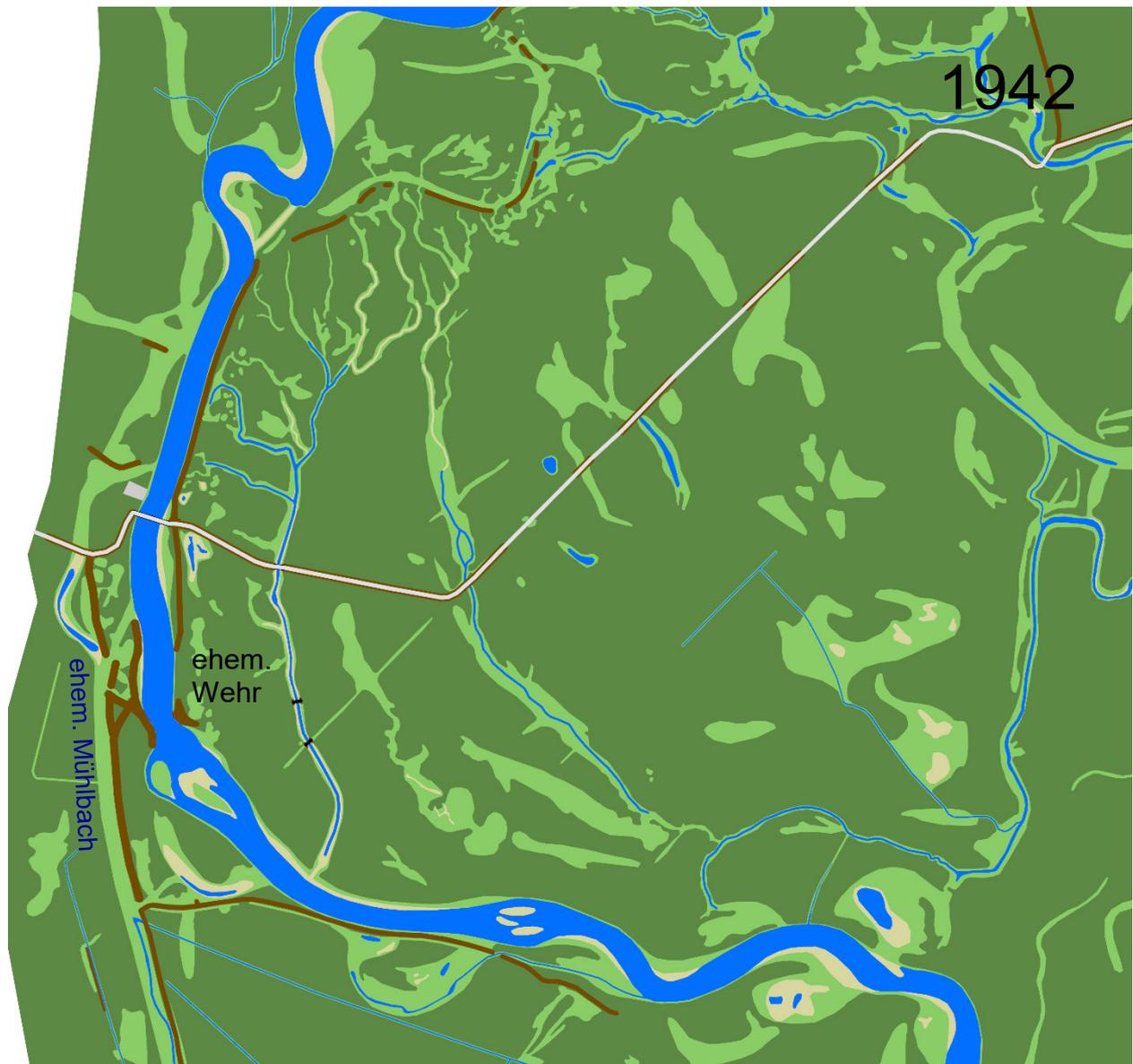


Abbildung 35: Thaya-Auenlandschaft im Jahr 1942 beim Rabensburger Wehr (Fkm 10,4-8,4)

Im Jahr 1921 wurde das Rabensburger Wehr aufgelassen und der Mühlbach fiel weitgehend trocken. Etwas flussauf vom ehemaligen Wehr (am oberen Bildrand) entwickelten sich neue Flussbögen, dem mit ersten Aushubarbeiten für einen Durchstich begegnet wurde. Im Augebiet wurden bis 1942 zahlreiche Drainagegräben zur Entwässerung der Wiesen ausgehoben.

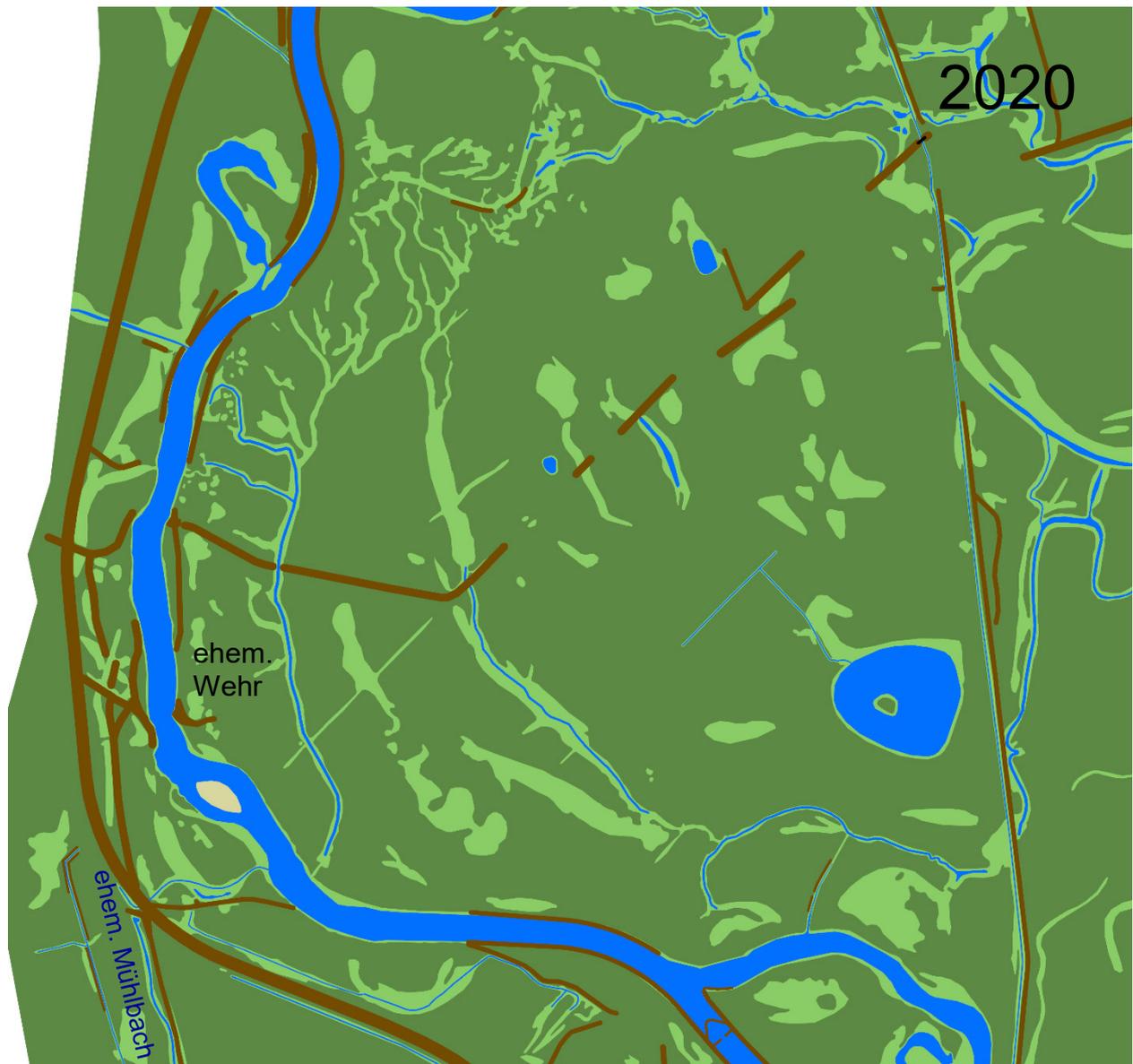


Abbildung 36: Thaya-Auenlandschaft im Jahr 2020 beim Rabensburger Wehr (Fkm 10,4-8,4)

Zwischen 1979 und 1987 wurden auch im Bereich des ehemaligen Rabensburger Wehrs Flussbegradigungen und Uferregulierungen vorgenommen (Zulka, 1999). Seither umschließt auch ein mächtiger Hochwasserschutzdamm das Auengebiet im Westen. In den Jahren zuvor wurden bereits einige kleinere Dämme und Dammwege im Auengebiet errichtet. Abbildung 36 zeigt den Zustand der Flusslandschaft nachdem der Mäander D09 in den Jahren 2018/19 wieder an die Thaya angebunden worden war (rechts unten im Bild). Auf tschechischer Seite wurden ein großer Kiesteich und zusätzliche Drainagegräben ausgehoben. Analog wie bei der March ist auch das Auengebiet der Thaya heute stark fragmentiert und von anhaltender Verlandung betroffen.

6.2 Sinuosität

Im Vergleich zur March entlang der österreichischen Staatsgrenze wies die Thaya vor der Regulierung zwischen 1780 und 1942 eine sehr ähnliche Sinuosität (Laufentwicklung) auf. Während jene der March zwischen 1,44 und 1,58 (bezogen auf 1703 bis 1896) schwankte, lag sie an der Thaya zwischen 1,46 und 1,60 (Abbildung 37). Analog zur March könnte die Reduktion der Sinuosität zwischen 1780 und 1821 auch in einer 1769 beginnenden Phase mit erhöhter Hochwasseraktivität zu finden sein (Weber-Ebenhof, 1894; vgl. Kapitel 5.2).

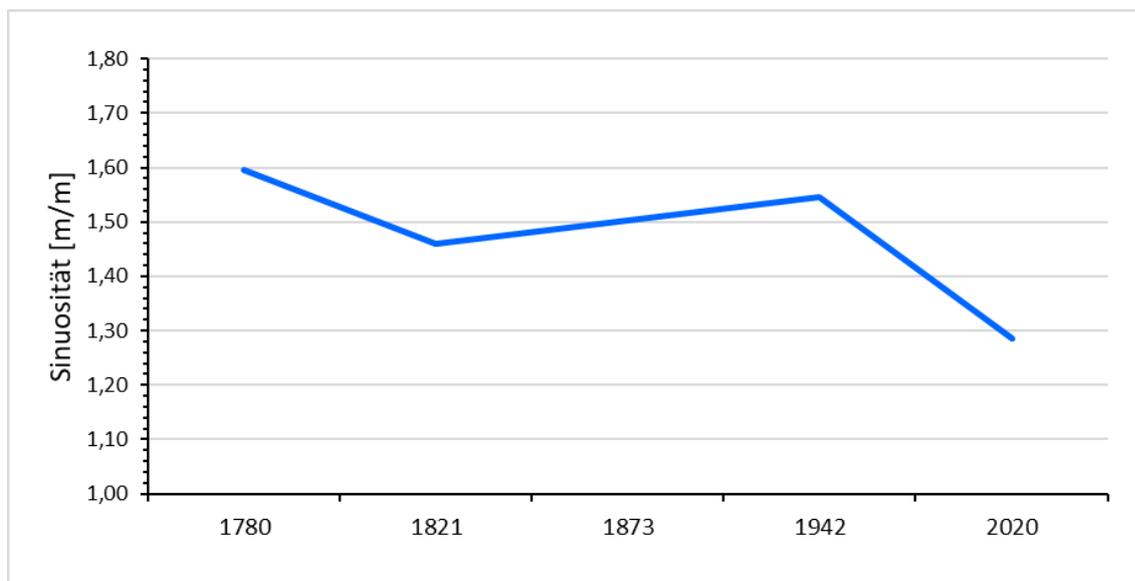


Abbildung 37: Sinuosität der Thaya zwischen 1780 und 2020 im gesamten untersuchten Flussabschnitt

Da die Regulierung der Thaya später als an der March begann, zeigte sich hier die regulierungsbedingte Reduktion der Sinuosität erst nach 1942. Die zwischen 1979 und 1987 durchgeführte Flussbegradigung in Form von Mäanderdurchstichen resultiert in einer aktuellen Sinuosität von 1,29. Somit ist auch heute die Sinuosität sehr ähnlich zu jener der March, die 1,30 beträgt.

Durch die Umleitung der Thaya zwischen 1780 und 1792 (vgl. Abbildung 28) und durch die Regulierungsarbeiten 1979-1987 wurde ihr Lauf im untersuchten Flussabschnitt um rund 4,2 km verkürzt, was einer Reduktion um 19,5 % bezogen auf die Lauflänge im Jahr 1780 entspricht.

6.3 Breite des aktiven Gerinnes

Die mittlere Breite des aktiven Gerinnes des Hauptarms (Eupotamon A), das sich aus Wasserflächen und vegetationslosen Sedimentflächen zusammensetzt, war an der March im natürlichen Zustand

mit 36 bis 39 m vergleichsweise schmal (Abbildung 38). An der March betrug die mittlere Breite ursprünglich zwischen 114 und 117 m. Die Regulierungsarbeiten wirkten sich an der Thaya bezüglich der Gerinnebreite nicht so stark aus wie an der March. Hier betrug die Reduktion lediglich rund 3 m, während es an der March rund 55 m waren.

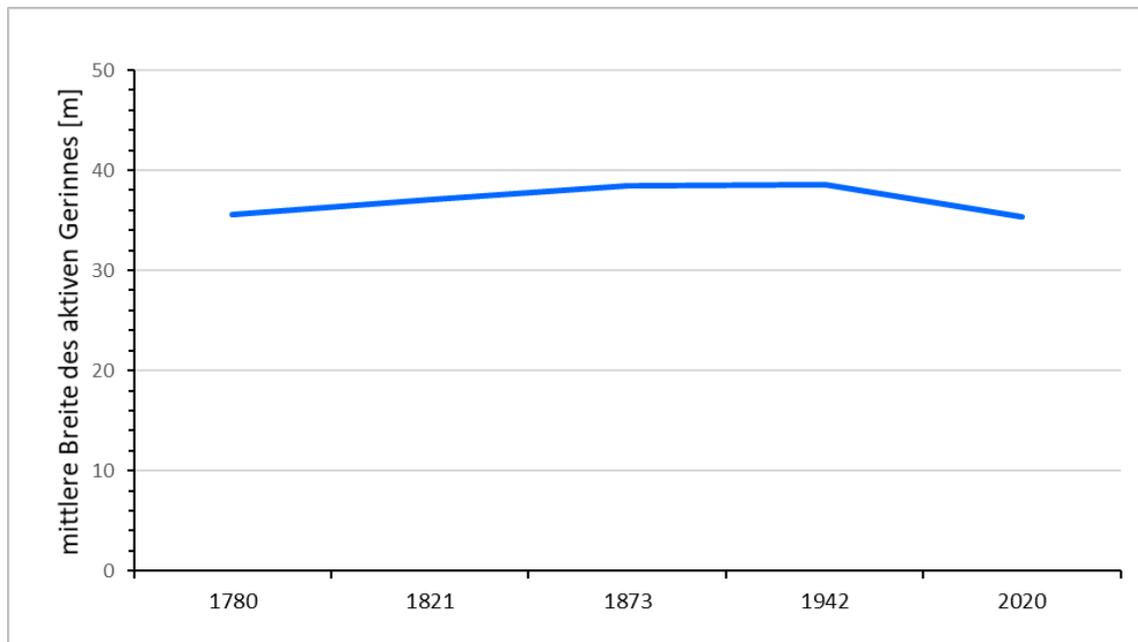


Abbildung 38: Mittlere Breite des aktiven Gerinnes des Hauptarms der Thaya zwischen 1780 und 2020 im gesamten untersuchten Flussabschnitt

6.4 Gewässertypen (aquatische Makrohabitate)

Analog zur March beruht die Klassifikation der Thaya-Gewässertypen auf der jeweiligen Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität (Anbindung an den Hauptarm; für Definitionen siehe Kapitel 5.4; Hohensinner, 2008; Hohensinner et al., 2011).

Betrachtet man sämtliche natürlich entstandenen und künstlich angelegten aktiven Gerinne (Wasser- und unbewachsene Sedimentflächen) der Thaya im gesamten untersuchten Flussabschnitt, so nahm deren Gesamtfläche zwischen 1780 und 2020 um 206 ha ab (Abbildung 39 und Tabelle 4). Dies entspricht einer Reduktion um 53 % und ist somit fast ident mit jener an der March (54 %). Dieses Bild wird jedoch durch die um 1780 bestandenen riesigen Teichanlagen bei Hohenau und Rabensburg verfälscht. Nimmt man diese künstlich angelegten Gewässer aus der Berechnung heraus, so ergibt sich mit rund 50 ha ein wesentlich geringerer Rückgang, der nur mehr 23 % bezogen auf die Ausgangssituation um das Jahr 1780 entspricht. Anders an der March: Hier machte der Rückgang der natürlichen bzw. naturnahen Gewässer sogar 57 % aus.

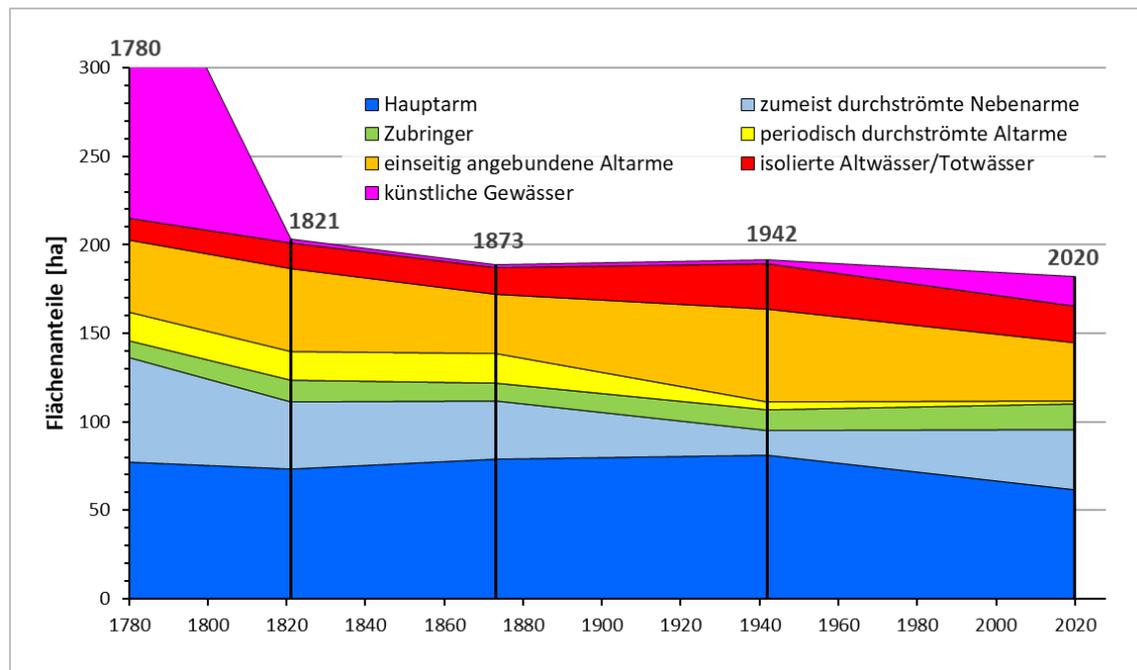


Abbildung 39: Gewässertypen in den untersuchten Thaya-Auen zwischen 1780 und 2020 (ha)

Bei den hier präsentierten Flächenwerten ist jedoch zu beachten, dass in der vorliegenden Studie nur die Augewässer des unmittelbaren Auegebiets der Thaya erfasst wurden und jene im östlichen, näher bei der March liegenden Auegebiet nicht inkludiert sind (vgl. Kapitel 3.1). Bezogen auf die gesamte ehemalige Flusslandschaft im March-Thaya-Dreieck wären alle Flächen mit Ausnahme von Eupotamon A wesentlich größer anzusetzen.

Tabelle 4: Flächenentwicklung der Gewässertypen in den untersuchten Thaya-Auen 1780 bis 2020 (ha)

Gewässertypen	Beschreibung	1780	1821	1873	1942	2020
Eupotamon A	Hauptarm	77	74	79	81	62
Eupotamon B	durchströmte Nebenarme	59	38	33	14	34
Zubringer/Aubäche	Zubringer/Aubäche	9	12	10	12	14
Parapotamon A	dynamische Altarme	16	16	17	4	2
Parapotamon B	einseitig angebund. Altarme	41	47	33	53	33
Plesio-/Paläopotamon	Totarme	13	15	15	25	21
künstliche Gewässer	Fisch-/Schotterteiche	174	2	2	3	17
gesamtes aktives Gerinnesystem		389	204	189	192	183

Bei der Analyse der Bedeutung einzelner Gewässertypen des Thayasystems empfiehlt es sich, die großen Teichanlagen nicht miteinzubeziehen, da diese das Gesamtbild stark verzerren (Abbildung 40). Während der Hauptarm (Eupotamon A) an der March zwischen 55 und 62 % des gesamten Gewässersystems ausmachte, waren es an der Thaya stets nur zwischen 36 und 43 %. Auffallend ist, dass die Fläche des Hauptarms seit 1780 bis 1942 langsam von 36 auf 43 % zunahm, was auf ein

Verlanden von Nebengewässern hindeutet. Mit der Regulierung 1979-1987 verringerte sich der Flächenanteil des Hauptarms auf 37 %.

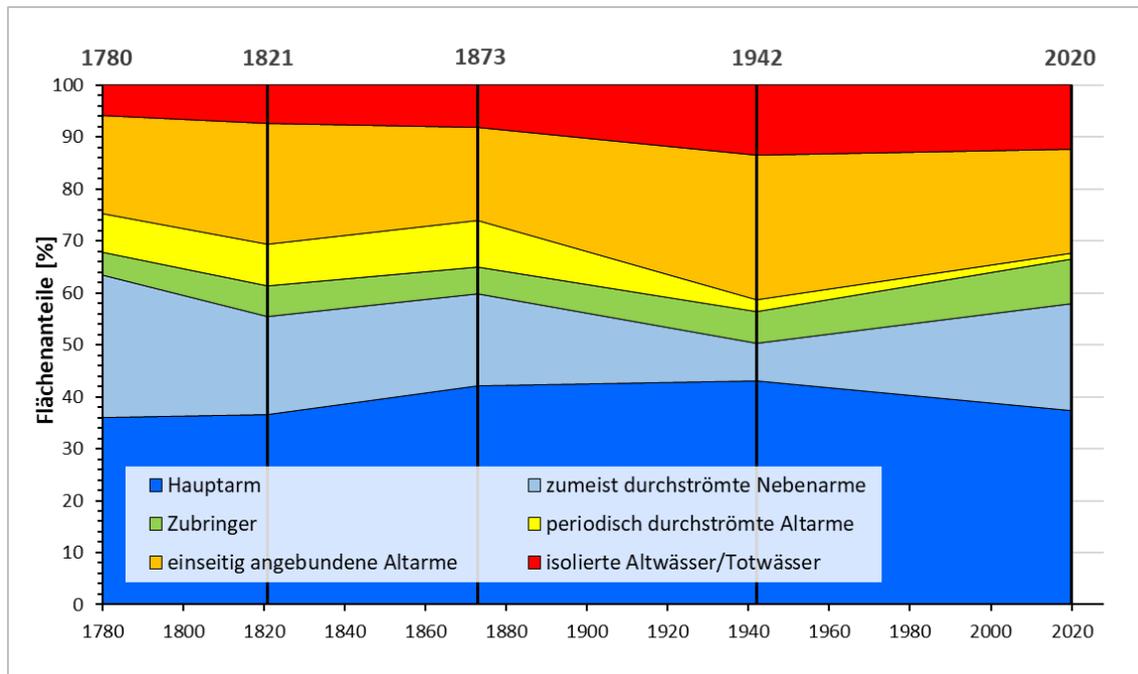


Abbildung 40: Prozentuelle Zusammensetzung der Gewässertypen (ohne künstliche Gewässer) in den untersuchten Thaya-Auen zwischen 1780 und 2020

Interessant ist auch der Vergleich der permanent oder zumeist durchströmten Nebenarme (Eupotamon B) der Thaya mit jenen der March. An der Thaya nahm deren Flächenanteil drastisch von 27 % um 1780 auf lediglich 7 % im Jahr 1942 ab. Ein wesentlicher Grund dafür war die zwischen 1780 und 1792 erfolgte Umleitung des Hauptarms der Thaya in den westlichen Nebenarm, der seither als neuer Hauptarm fungierte (vgl. Abbildung 28). Zwischen 1873 und 1942 kam es neuerlich zu einem merklichen Rückgang durchströmter Nebenarme (Eupotamon B), weil einige Gewässerabschnitte im March-Thaya-Dreieck offensichtlich stark verlandeten. Da das Orthofoto von 1942 teilweise schwer zu interpretieren ist, kann es sein, dass 1942 einige Abschnitte der einseitig angebundene Altarme (Parapotamon B) eher periodisch durchströmten Altarmen (Parapotamon A) zuzuordnen wären (vgl. 1942 in Abbildung 40). An der March war der Anteil von Eupotamon B mit 7 bis 10 % bereits vor der Regulierung vergleichsweise klein.

Seltsam erscheint an der Thaya die Verdreifachung der Fläche durchströmter Nebenarme zwischen 1942 und 2020 (von 7 auf 21 %). Im Zuge der Einpolderung des March-Thaya-Dreiecks zwischen 1979 und 1987 dürften in der damaligen Tschechoslowakei auch mehrere verlandete Gerinne im Augebiet wieder ertüchtigt worden sein, sodass sie besser Wasser abführen können. Eventuell handelte es sich dabei um Maßnahmen zur Entwässerung und besseren Nutzbarkeit des Augebiets.

Dynamische, periodisch durchströmte Altarme (Parapotamon A) kamen zwischen 1780 und 1873 auf einen Flächenanteil von 7 bis 9 %. An der March spielten diese mit 4 bis 6,3 % eine geringere Rolle. Dieser Altarmtypus geht aus verlandeten Nebenarmen (Eupotamon B) hervor und entwickelt sich meist weiter zu einseitig angebundenen Altarmen (Parapotamon B). Analog zu den durchströmten Nebenarmen nahm auch dieser Altarmtyp zwischen 1873 und 1942 stark ab und ist heute kaum mehr vertreten (Abbildung 40).

Ebenso kam einseitig angebundenen Altarmen (Parapotamon B) an der Thaya bzw. im March-Thaya-Dreieck eine größere Bedeutung als an der March zu. An der Thaya erreichten sie zwischen 1780 und 1873 eine Ausdehnung von 18 bis 23 % bezogen auf das gesamte aktive Gerinnesystem. An der March waren es hingegen lediglich 10,5 bis 12 %. Zwischen 1873 und 1942 nahmen an der Thaya, wie bereits erwähnt, die durchströmten Nebenarme und dynamischen Altarme ab, die sich großteils zu einseitig angebundenen Altarmen entwickelten. Dadurch erhöhte sich der Anteil von Parapotamon B bis 1942 signifikant auf 28 %. Bis heute reduzierte sich deren Anteil wieder, weil anscheinend einige verlandete Altarme im Zuge der umfangreichen wasserbaulichen Maßnahmen wieder ertüchtigt wurden.

Vollständig abgetrennte Altarme (Totarme, Plesio-/Paläopotamon) nahmen erwartungsgemäß im Laufe des Untersuchungszeitraums zu. Von 1780 bis 1873 vergrößerte sich deren Flächenanteil geringfügig von 6 auf 8 %. Danach legten sie sprunghaft zu und kamen 1942 bereits auf 13 %. Heute sind es mit 12 % beinahe gleich viele.

Zuletzt ein Blick auf die einmündenden Zubringerbäche und grundwassergespeisten Aubäche, die oft in verlandeten Altarmen verlaufen. Deren Anteil schwankte im untersuchten Gebiet bis 1942 zwischen 4 und 6 %. Heute machen sie einen Flächenanteil von 8 % aus, was großteils durch neue Drainagegräben zur Entwässerung des Auegebiets begründet ist.

6.5 Laterale hydrologische Konnektivität

Die Intensität der Gewässervernetzungen (Anbindungen von Nebengewässern an den Hauptarm) zwischen 1780 und 2020 nahm eine andere Entwicklung als man generell erwarten würde. Mit zunehmender Regulierung würde man von einer laufenden Verringerung der Anbindungsstellen ausgehen. Im Fall der Thaya zeigt sich jedoch ein ganz anderes Bild (Abbildung 41).

Um 1780 wies der Hauptarm der Thaya im untersuchten Flussabschnitt auf einer Länge von 1.090 m Anbindungen zu anderen Gewässertypen auf. Bezogen auf die gesamte Uferlänge des Hauptarms entspricht dies einem relativen Anteil von 2,5 %. Durch die Abdämmung des ursprünglichen Hauptarms und die Umleitung in den westlichen Nebenarm (vgl. Abbildung 28) verringerte sich die

Intensität lateraler Anbindungen bis 1821 auf ca. 570 m oder 1,4 % der Uferlänge des Hauptarms. Bis 1873 setzte sich die Entkoppelung des Hauptarms von seinen Augewässern fort, wodurch sich die Anbindungsintensität auf nur mehr 0,7 % reduzierte.

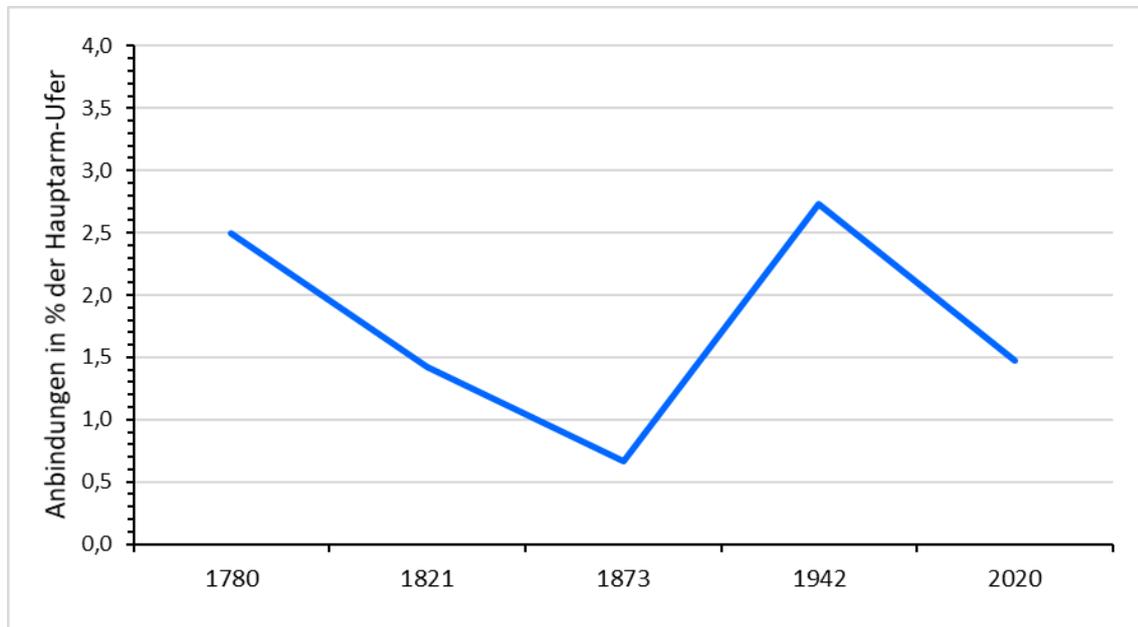


Abbildung 41: Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität (Anbindungen von Augewässern an den Hauptarm) in % der Länge der Hauptarm-Ufer (bezogen auf den gesamten untersuchten Lauf der Thaya)

Überraschenderweise nahmen die Anbindungen später jedoch erheblich zu, wodurch sich der Prozentsatz mit 2,7 % bis 1942 wieder auf das ursprüngliche Niveau erhöhte. Eine genauere Untersuchung zeigt, dass dies größtenteils durch Aufweitungen des Hauptarms begründet ist, in denen sich zuerst Kiesbänke und bald darauf bewachsene Inseln bildeten. Sobald im Hauptarm solche Inseln entstehen, wird per Definition der schwächere der beiden durch eine Insel getrennten Arme nicht mehr als Hauptarm, sondern als Nebenarm oder dynamischer Altarm eingestuft. In diesem Fall grenzen dann unterschiedliche Gewässertypen direkt aneinander, weshalb die Grenzlinien als Anbindungen zu werten sind.

Warum sich das Gerinne des Hauptarms abschnittsweise aufgeweitet hat, lässt sich im Rahmen dieser Studie nicht fundiert beantworten. Lage und Form der Aufweitungen deuten darauf hin, dass es sich dabei zumeist um Stellen mit intensiver Verlagerung von Flussbögen handelt, sodass größere unbewachsene oder nur teilweise bewachsene Sedimentflächen entstanden. Eventuell haben sich im Einzugsgebiet flussauf des Untersuchungsgebiets die hydrologischen und sedimentologischen Rahmenbedingungen geändert. Generell würde man Aufweitungen oder stärkere Verlagerungen des Gerinnes erwarten, wenn sich der Abfluss oder das Sedimentvolumen vergrößert haben, vermehrt

Hochwässer auftreten oder mehr Totholz eingetragen wird. Auffallend ist, dass sich diese Aufweitungs- bzw. Verlagerungsbereiche durchwegs flussab des 1921 aufgelassenen Rabensburger Wehrs befinden. Dies könnte auch ein Teil der Erklärung sein, da durch die Auflassung des großen Wehrs sicherlich eine größere Menge an Sedimenten aus dem vormaligen Stauraum remobilisiert und weiter flussabwärts transportiert wurde. Ausgehend vom Wehr ist auch von einer rückschreitenden Erosion der Sohle flussaufwärts auszugehen.

Nach 1942 setzten allerdings wieder Verlandungsprozesse ein und durch die Regulierung der Thaya zwischen 1979 und 1987 wurden weitere Nebengewässer vom Hauptarm abgetrennt. Damit verringerte sich die Gesamtlänge der Anbindungen bis 2020 auf rund 520 m oder 1,5 % bezogen auf die Uferlänge des Hauptarms. Darin sind auch jene Anbindungen enthalten, die im Zuge jüngster Renaturierungsmaßnahmen neu entstanden sind.

6.6 Migration von Flussbögen

Wie die Verlagerung (Migration) des Hauptarmgerinnes bzw. dessen Uferkante methodisch ermittelt wurde, wurde bereits im Kapitel 5.6 beschrieben. Da nicht alle Flussbögen als Mäander mit hoher Sinuosität ausgebildet waren, ist es besser, generell von Flussbögen zu sprechen. Einzelne Bögen können ein sehr unterschiedliches dynamisches Verhalten zeigen, weshalb es am aussagekräftigsten ist, die Medianwerte (50%-Werte) der Verlagerungsraten sämtlicher Bögen heranzuziehen.

Diese Werte schwankten an der Thaya zwischen 1780 und 2020 sehr stark. Betrug die mediane Verlagerungsrate zwischen 1780 und 1821 noch rund 0,5 m pro Jahr, so reduzierte sie sich danach bis 1873 signifikant auf 0,23 m pro Jahr (Abbildung 42). Nach 1873 stieg sie jedoch überraschend stark auf 0,57 m pro Jahr an und übertraf damit den Medianwert von vor 1821. Zwei Gründe für die starke Reduktion der Verlagerungsraten im Zeitraum 1821-1873 wären denkbar:

(1) Aus flussmorphologischer Sicht ist anzunehmen, dass sich die Gerinnewdynamik nach der Umleitung der Thaya in einen vormaligen Nebenarm (1780-1792) allmählich verringerte, nachdem der Fluss den neuen Hauptarm entsprechend seines Abfluss- und Sedimentregimes ausgeformt hatte. Damit ist von einem langfristigen Einpendeln der Migrationsraten auf einem niedrigeren Niveau auszugehen. Zudem viel der Zeitraum 1780-1821 in eine Phase mit erhöhter Hochwasserintensität (ab 1769), die im Zeitraum 1821-1873 bereits abgeebbt war.

(2) Aus methodischer Sicht war es bei der Rekonstruktion der Zeitschnitte 1821 und 1873 auffällig, wie vergleichsweise stabil der Hauptarm der Thaya war. Denkbar wäre, dass bei der Erstellung der Dritten Landesaufnahme 1873-1883, der Kataster-Reambulierung 1868 und der Kataster-

Fortführungsmappen ab 1869, die als Grundlagen für die Rekonstruktion der Flusslandschaft um 1873 verwendet wurden, aus Gründen der Arbeitersparnis zu wenige Aktualisierungen der bereits im Franziszeischen Kataster (Urmappe) 1821 dargestellten Landschaftsstrukturen vorgenommen wurden (vgl. Tabelle 2). In diesem Fall würden die genannten Quellen und damit die GIS-Rekonstruktion nicht den tatsächlichen Zustand der Thaya um 1873 widerspiegeln, sondern einen zeitlich näher bei 1821 liegenden Zustand. Andererseits zeigt die Entwicklung der lateralen Gewässeranbindungen zwischen 1780 und 1873 eine laufende Reduktion, was logisch erscheint, wenn der Hauptarm zwischen 1821 und 1873 vergleichsweise stabil war (Kapitel 6.5). In diesem Fall tendieren Anbindungen von Nebenarmen und Altarmen verstärkt zu verlanden.

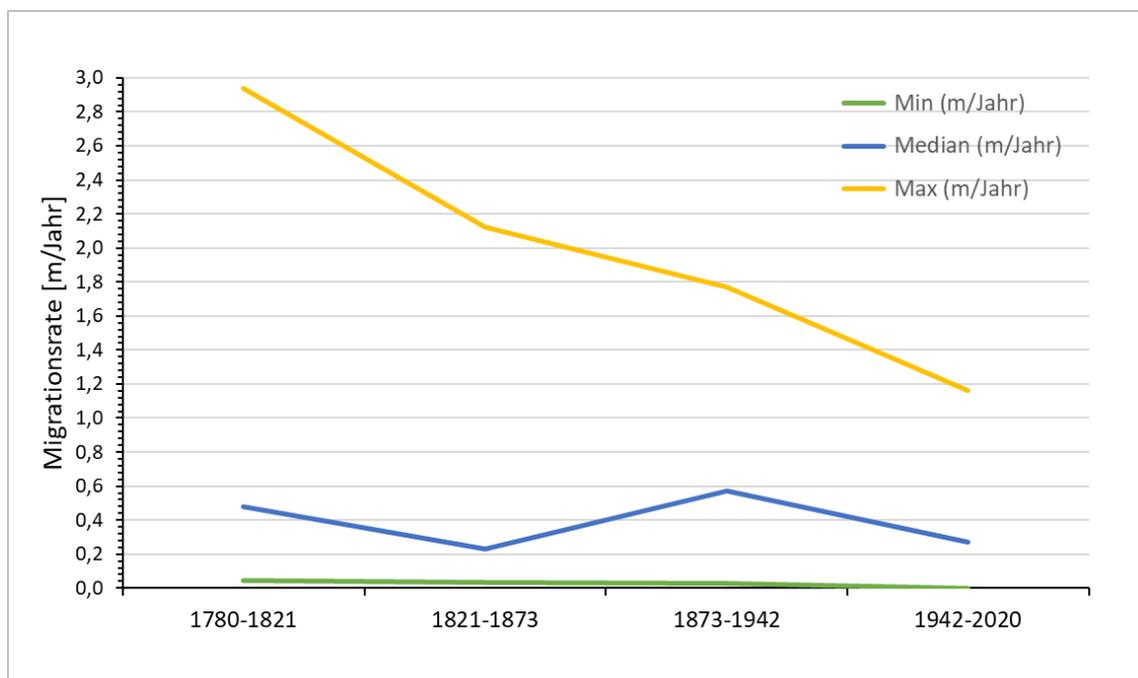


Abbildung 42: Jährliche Verlagerungsraten des Hauptarms der Thaya zwischen 1780 und 2020 (Minimum, Medianwert und Maximum je Zeitperiode bezogen auf den gesamten untersuchten Abschnitt der Thaya; zur Interpretation der Maximal-, Median und Minimalwerte siehe Text)

Die starke Zunahme der medianen Migrationsrate zwischen 1873 und 1942 könnte somit – wie zuvor ausgeführt – fehlerhaften Grundlagendaten geschuldet sein oder aber (zum Teil) tatsächlich auf flussmorphologischen Veränderungen beruhen. Im selben Zeitraum nahm nämlich auch die Intensität der lateralen hydrologischen Konnektivität stark zu (Abbildung 41). Das bedeutet, dass sowohl die jährliche Migrationsrate als auch die Anzahl und Größe der Anbindungen von Nebengewässern auf eine Phase erhöhter Flussdynamik hindeuten. Als mögliche Ursache dafür könnte die bereits erwähnte Auflassung des Rabensburger Wehrs im Jahr 1921 angesehen werden (Kapitel 6.5).

Aus den genannten Gründen ist es schwierig eine „typische“ Migrationsrate der Thaya anzugeben. Am ehesten wäre diese auf Basis der vorliegenden Daten mit einem Wert zwischen 0,3 und 0,5 m pro Jahr anzusetzen. Im Vergleich dazu war die March um den Faktor 3 dynamischer: Hier betrug die mediane Migrationsrate der Flussbögen zwischen 0,9 und 1,4 m pro Jahr (Kapitel 5.6).

Generell ist bei den genannten Werten zu beachten, dass es sich um jährliche Durchschnittswerte handelt, die auf die jeweiligen Zeiträume (1780-1821, 1821-1873 etc.) bezogen sind. Abhängig von Hochwässern haben die Raten der Gerinne- bzw. Uferverlagerung eines einzelnen Flussbogens jedes Jahr sicherlich geschwankt. Außerdem gab es auch mehrere Flussbögen, die über einen längeren Zeitraum hinweg sehr stabil waren. Deren geringe jährliche Migrationsraten „drücken“ naturgemäß den Medianwert, der sich auf alle beobachteten Bögen bezieht.

Dies gilt analog auch für die errechneten Maximal- und Minimalwerte der Gerinneverlagerung, weshalb es sinnvoller ist, von „mittleren Maximalwerten“ je untersuchtem Zeitraum zu sprechen. Abbildung 42 zeigt, dass diese mittleren Maximalwerte zwischen 1780 und 2020 laufend abnahmen. Ausgehend von 2,9 m/Jahr im Zeitraum 1780-1821 reduzierten sie sich auf 1,2 m/Jahr zwischen 1942 und 2020.

Interessanterweise ist der Medianwert der Migrationsraten im letztgenannten Zeitraum mit 0,27 m höher als zwischen 1821 und 1873. Dies ist dadurch bedingt, dass die Thaya erst ab 1979 systematisch reguliert wurde und somit seit 1942 noch fast vier Jahrzehnte verstrichen, in denen der Fluss sein Gerinne verlagern konnte. Würde man nur die letzten Jahrzehnte beobachten, so wäre der Medianwert infolge der bis 1987 durchgeführten Regulierungsarbeiten wesentlich geringer. Und wie bereits angesprochen, könnte der geringe Wert für 1821-1873 zum Teil auch methodische Ursachen haben.

6.7 Umlagerungsdynamik (Erosion/Verlandung)

Bei menschlich weitgehend unbeeinflussten Fließgewässern wird generell angenommen, dass sie sich in einem dynamischen Gleichgewichtszustand befinden, der sich auch anhand der Erosions- und Verlandungsraten widerspiegelt (siehe dazu auch Ergebnisse zur March im Kapitel 5.7; Hohensinner et al., 2011, 2014). Betrachtet man den Hauptarm der Thaya zwischen 1780 und 1821, so trifft dies für die Erosion mit 0,56 ha/Jahr im Vergleich zur Verlandung mit 0,59 ha/Jahr weitgehend zu (Abbildung 43). Dieses Gleichgewicht ist im gegenständlichen Fall jedoch etwas überraschend, da ein längerer Abschnitt des ursprünglichen Hauptarms zwischen 1780 und 1792 mit einem Wehr

abgedämmt und das Wasser in einen Nebenarm umgeleitet wurde. Dieser Nebenarm entwickelte sich in weiterer Folge zum neuen Hauptarm (siehe Abbildung 28).

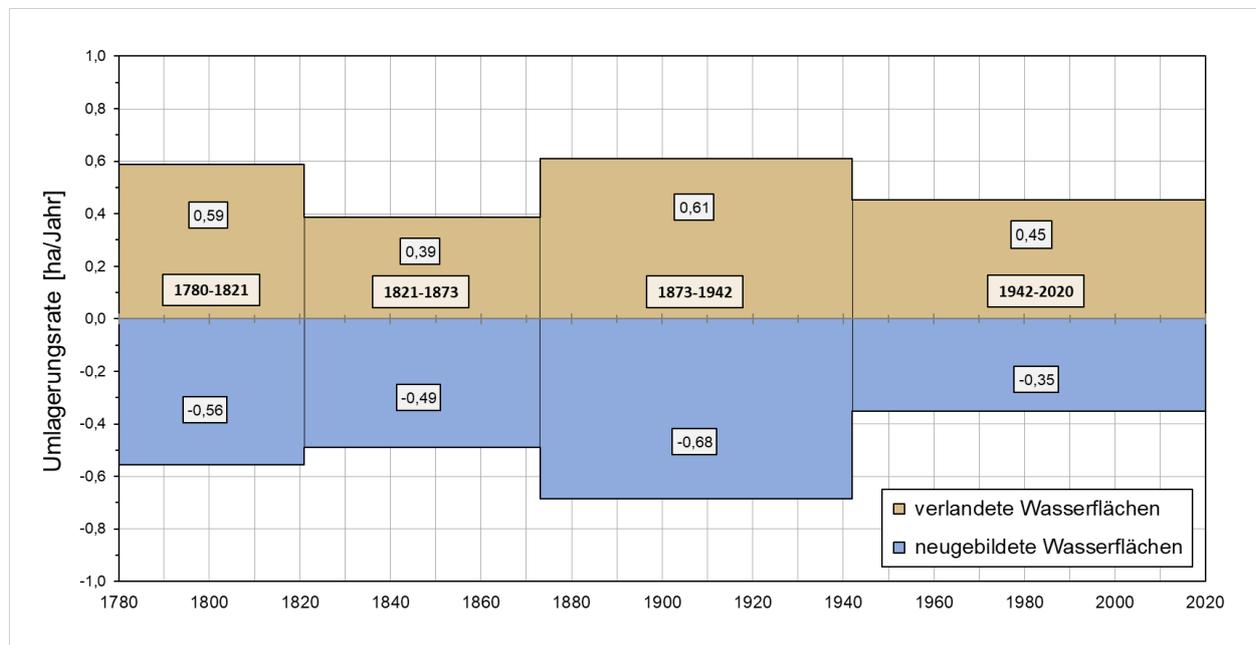


Abbildung 43: Mittlere jährliche Erosionsraten (blau) und Verlandungsraten (braun) des Hauptarms je Zeitperiode im gesamten untersuchten Abschnitt der Thaya zwischen 1780 und 2020 (ha/Jahr)

Bereits lange vor Beginn der Thayaregulierung, zwischen 1821 und 1873, nahmen sowohl die Erosions- als auch Verlandungsraten entlang des Hauptarms signifikant ab. Dabei ist ein Überwiegen der Erosionsprozesse erkennbar. Vermutlich waren die großen Umlagerungsraten vor 1821 zum Teil durch die Umleitung des Hauptarms begründet, was dann im Zeitraum 1821-1873 nicht mehr zum Tragen kam. Jedoch erreichten die Umlagerungsraten zwischen 1873 und 1942 sogar ein geringfügig größeres Ausmaß als vor 1821 (Abbildung 43). Während am Hauptarm im Mittel 0,61 ha große Flächen pro Jahr verlandeten, wurden mit 0,68 ha pro Jahr noch größere Flächen erodiert.

Da Erosions- bzw. Verlandungsprozesse im engen Zusammenhang mit der Intensität der Gerinneverlagerung zu sehen sind, müsste sich der „Einbruch“ der Umlagerungsraten zwischen 1821 und 1873 auch in den Daten zur Migration der Flussbögen wiederfinden. Abbildung 42 zeigt, dass dies auch tatsächlich der Fall ist. Für potenzielle Gründe dieser Entwicklung siehe Kapitel 6.6.

Die Ursachen für die Zunahme der Umlagerungsdynamik nach 1873 können im Rahmen dieser Studie nicht endgültig geklärt werden, jedoch scheint die Auffassung des Rabensburger Wehrs im Jahr 1921 dabei relevant zu sein. Die Analyse der Anbindungen der Nebengewässer an den Hauptarm (Kapitel 6.5) hat gezeigt, dass im selben Zeitraum (1873-1942) verstärkt neue laterale Anbindungen entstanden sind. Der Grund dafür waren Gerinneaufweitungen und Laufverlagerungen

(Gerinnemigration) vor allem flussab des aufgelassenen Wehrs. Aber auch am Hauptarm flussauf des Wehrs gab es größere Verlagerungen von Flussbögen. Konkret in jenem Flussabschnitt, der direkt flussauf der Strecke lag, die bereits früh durch einen linksufrigen Damm stabilisiert und begradigt worden war (heute bei Fkm 10,5-10,0; Abbildung 35).

Anders als an der March sind hier die Auswirkungen der Regulierung auf die Umlagerungsdynamik anhand der GIS-basierten Rekonstruktionen weniger deutlich erkennbar. Zwar nehmen die von Erosion betroffenen Bereiche erwartungsgemäß stärker ab als die verlandeten Flächen, beide sind mit 0,35 ha/Jahr bzw. 0,45 ha/Jahr jedoch noch überraschend groß. Dieser Umstand hängt mit der Länge des Beobachtungszeitraums zwischen 1942 und 2020 zusammen. Da die systematischen Regulierungsarbeiten erst 1979 begannen, hatte die Thaya noch 37 Jahre Zeit für Laufverlagerungen. Würde man nur den Zeitraum nach der Regulierung (1987-2020) betrachten, so würde man eine starke Reduktion der Umlagerungsraten erkennen. Zudem beinhaltet die für 1942-2020 in Abbildung 43 dargestellte Erosionsrate auch einige Wiederaanbindungen vormals abgetrennter Flussbögen, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden.

6.8 Regulierungsintensität

Eine der wesentlichsten Regulierungsmaßnahmen, die die weitere Entwicklung der Thaya bis heute prägen sollte, ist in der Analyse des Regulierungsfortschritts nicht enthalten: die Umleitung eines längeren Abschnitts des Hauptarms zwischen 1780 und 1792 (vgl. Abbildung 28). Für diese weitreichende wasserbauliche Maßnahme war nur die Errichtung eines einzelnen Wehrs erforderlich, Uferschutzmaßnahmen folgten erst später.

Der früheste identifizierte Wasserbau, der eine regulierende Wirkung auf den Lauf der Thaya im Untersuchungsgebiet hatte, war ein Damm, der bereits (lange?) vor 1755 bestanden hat. Dieser Damm trennte die Thaya vom großen Teich bei Hohenau, der 1788/89 abgelassen worden war (vgl. Karte von Stoschek & Zehntner 1792/93, Tabelle 2). Zwischen 1792 und 1809/18 wurde direkt am linken (östlichen) Ufer flussauf des Rabensburger Wehrs ein weiterer Damm errichtet (eventuell bereits einige Jahre zuvor), der die Flusssdynamik der Thaya merklich einschränkte. Berechnet man die Regulierungsintensität, d.h. den Anteil regulierter Uferabschnitte bezogen auf die Gesamtlänge der Ufer des Hauptarms, so sind die Werte mit 3 % um 1780 und 5 % um 1821 noch vernachlässigbar (Abbildung 44).

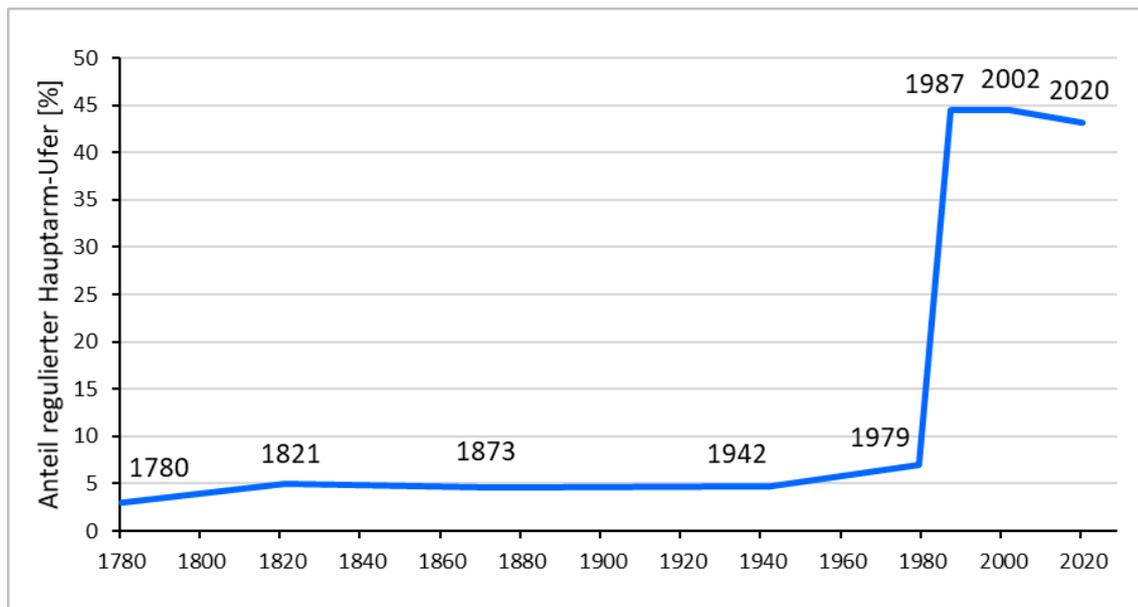


Abbildung 44: Entwicklung der Uferverbauung entlang der Thaya zwischen 1780 und 2020 angegeben als Prozentsatz der regulierten Uferabschnitte des Hauptarms

Bis 1942 sollte sich daran nichts ändern. Erst mit dem Beginn der systematischen Regulierung 1979 ist ein markanter Anstieg der Regulierungsintensität auf 44 % bezogen auf die Länge der Hauptarm-Ufer erkennbar. Als Folge verschiedener Renaturierungsmaßnahmen seit 2002 sank die Regulierungsintensität bis 2020 auf 43 % geringfügig ab.

Vergleicht man die flussbauliche Entwicklung der Thaya mit jener der March, so fällt auf, dass an der Thaya wesentlich früher stabilisierte Uferabschnitte vorhanden waren. Dies lag primär an den Dämmen der großen angrenzenden Teichanlagen. Im späten 19. Jahrhundert waren beide Flüsse gleich intensiv reguliert. An der March begann die Umsetzung eines umfassenden Regulierungsprogramms wesentlich früher, weshalb sie bereits um 1942 fast dieselbe Regulierungsintensität aufwies wie die Thaya erst nach 1987. Die Ufer der March sind heute zu 75 % befestigt, jene der Thaya zu 43 %.

7. March und Thaya im Vergleich

Inwiefern sich die beiden Flüsse voneinander im Hinblick auf die untersuchten flussmorphologischen Charakteristika unterscheiden, wurde bereits im Rahmen der Beschreibung der Thaya (Kapitel 6) näher erläutert. Nachfolgend werden die Ergebnisse ergänzender hydromorphologischer Untersuchungen behandelt, die einen weiterführenden Vergleich der beiden Flüsse ermöglichen.

7.1 Gefällsverhältnisse und Mäanderdurchbrüche

Prinzipiell gilt es zwischen dem Gefälle des Talbodens und jenem des Flusslaufs zu unterscheiden. Ersteres ergibt sich aus der Höhendifferenz des Talbodens an den flussauf/flussab gelegenen Enden des jeweils untersuchten Flussabschnitts und der zugehörigen Länge der Talachse. Dabei ergeben sich methodische Unsicherheiten bezüglich der Frage, wo genau die Höhe des Talbodens zu messen ist. Für die vorliegende Studie wurde dazu vereinfacht der jeweils tiefste Punkt herangezogen, welcher naturgemäß dem Wasserspiegel des Flusses entspricht. Dementsprechend wurden die Höhen der Wasserspiegellagen anhand des Laserscan-Geländemodells der March-Auen (Photomap i.A. viadonau, 2020), des Laserscan-Geländemodells der Thaya-Auen (NÖGIS, 2020) und der „Kennzeichnenden Wasserstände der March“ (viadonau, 2018) bestimmt. Die Lage und die Länge der Talachse lässt sich in alpinen Tälern leichter festlegen, ist aber an der March und an der Thaya aufgrund des Fehlens einer eindeutigen Talbegrenzung im Osten ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet. Die Lage der Talachse orientiert sich deshalb an der im Kapitel 3.1 beschriebenen Abgrenzung des Untersuchungsgebietes.

Das Gefälle des Flusslaufs in den einzelnen Abschnitten beruht mangels historischer Höhendaten ebenfalls auf den aktuellen Wasserspiegellagen. Das Gerinne hat sich als Folge der Regulierung bis heute stark eingetieft, wodurch nun die Sohle bzw. der Wasserspiegel signifikant tiefer liegt (vgl. Benz & Schwingshandl, 2008). Bei der Berechnung des historischen Gefälles vor Beginn der ersten größeren Regulierungsmaßnahmen im 19. Jahrhundert wurde vereinfacht angenommen, dass diese Eintiefung sowohl auf die flussauf als auch flussab liegenden Höhenmesspunkte zutrifft, wodurch die gemessene Höhendifferenz nicht beeinflusst wäre. Daraus ergeben sich Ungenauigkeiten, da nicht anzunehmen ist, dass die regulierungsbedingte Sohleintiefung über die einzelnen untersuchten Flussabschnitte gleich stark ausgeprägt war. Die Ermittlung der historischen Lauflängen erfolgte basierend auf den GIS-Rekonstruktionen der historischen Flusslandschaften.

March und Thaya im Vergleich

Erwartungsgemäß verringert sich das Gefälle des Talbodens vom flussauf gelegenen Ende des Untersuchungsgebietes bei Bernhardsthal bis zur Donau (Tabelle 5). Während jenes für die Thaya mit 0,39 ‰ mit Abstand am größten ist, weist der unterste Abschnitt flussab von Marchegg nur mehr ein Talbodengefälle von 0,22 ‰ auf. In den Flussabschnitten dazwischen beträgt das Talgefälle 0,25 bis 0,26 ‰.

Tabelle 5: Gefällsverhältnisse des Talbodens und des Flusslaufs je Flussabschnitt vor der Regulierung und aktuell (die Flussabschnitte sind entsprechend der Fließrichtung gereiht; vgl. Abbildung 1)

Flussabschnitte Thaya und March	Gefälle (‰) Talboden	Laufgefälle (‰) 18.-19. Jhdt.	Laufgefälle (‰) aktuell	Differenz (%) Gefälle hist.-akt.
Thaya	0,39	0,25-0,27	0,31	+17
Hohenau-Jedenspeigen	0,26	0,14-0,17	0,21	+35
Jedenspeigen-Zwerndorf	0,26	0,16-0,18	0,19	+12
Zwerndorf-Marchegg	0,25	0,15-0,16	0,18	+16
Marchegg-Donau	0,22	0,16-0,17	0,17	+3
March gesamt	0,24	0,15-0,17	0,19	+19

Analog zum Talbodengefälle wies auch der untersuchte Thayaabschnitt das größte Laufgefälle auf. Zwischen 1780 und 1873 betrug das Gefälle der Thaya je nach Ausformung des Hauptarms zwischen 0,25 und 0,27 ‰. Heute ist das Gefälle des regulierten Laufs in diesem Abschnitt mit 0,31 ‰ um 17 % größer als zuvor (Tabelle 5). Während das Gefälle der March im Abschnitt Hohenau-Jedenspeigen zwischen 1703 und 1821 nur 0,14 bis 0,17 ‰ ausmachte, erreichte es im flussab liegenden Abschnitt Jedenspeigen-Zwerndorf mit 0,16 bis 0,18 ‰ geringfügig höhere Werte. Dieser minimale Unterschied könnte aber auch den bereits zuvor angesprochenen Unsicherheiten bei der Ermittlung des Gefälles geschuldet sein. Im WWF-Auenreservat Marchegg (Abschnitt Zwerndorf-Marchegg) war das Gefälle des Flusslaufs mit 0,15 bis 0,16 ‰ wieder geringfügig kleiner. Der donanahe Abschnitt der March flussab von Marchegg hatte vor der Regulierung mit 0,16 bis 0,17 ‰ ebenso ein ähnliches Gefälle – auch wenn man angesichts des auffallend gestreckten Gerinnes der March in diesem Bereich ein signifikant größeres Gefälle erwarten würde (vgl. Abbildung 12). Somit dürften primär andere Gründe als das Laufgefälle für die Entwicklung des donanahen Laufes sein (siehe Kapitel 7.2). Es muss an dieser Stelle jedoch auch erwähnt werden, dass die Gefällsberechnung gerade in diesem Abschnitt einen großen Schwankungsbereich aufweist, da die Höhe des Wasserspiegels stark von jenem der Donau abhängt.

Interessanterweise korrelieren die leicht unterschiedlichen Gefälle der drei oberen Marchabschnitte gut mit der Anzahl der historisch festgestellten **Flussbogen- bzw. Mäanderdurchbrüche** (nicht alle

Flussbögen waren typisch ausgeformte Mäander). Zwischen 1703 und 1755 ereigneten sich 8 Durchbrüche direkt flussab der Einmündung der Thaya, 3 zwischen Jedenspeigen und Zwerndorf sowie 5 im WWF-Auenreservat Marchegg. Standardisiert man die Anzahl der Durchbrüche für 10 km Talachsenlänge und 10 Jahre, so ergeben sich gerundet 1,1 Durchbrüche für den obersten Abschnitt, 0,3 für den mittleren Abschnitt und 0,9 für den untersten Abschnitt im Reservat. Im vierten donaanahen Marchabschnitt gab es nur einen nennenswerten Mäander, weshalb dieser hier nicht berücksichtigt wird. In der darauffolgenden Zeitspanne zwischen 1755 und 1821 ereigneten sich in den drei Abschnitten zwischen der Thayamündung und Marchegg 4 Durchbrüche (ca. 0,4 pro 10 km und 10 Jahre), 2 (0,2) und 4 (0,6). Die Unterschiede im Hinblick auf das Laufgefälle sind jedoch sehr gering, weshalb es fraglich ist, ob dies tatsächlich ein wesentlicher Grund für die unterschiedliche Häufigkeit von Durchbrüchen gewesen sein kann. Da das Gefälle eines Flusses in einem engen Zusammenhang mit seiner Sinuosität (Laufentwicklung) steht, sollte auch eine Korrelation zwischen der Anzahl der Flussbogen-/Mäanderdurchbrüche und der Sinuosität zu erkennen sein. Genau dies ist in Abbildung 45 eindeutig erkennbar ($r = 0,9476$, $p = 0,0011^*$). Es existiert also – wenn auch nur auf Basis einer kleinen Stichprobe – ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen der Sinuosität eines Flusses und der Anzahl der Mäanderdurchbrüche. Je stärker der Fluss gewunden ist, d. h. je größer die Sinuosität, desto stärker die Tendenz zu Mäanderdurchbrüchen.

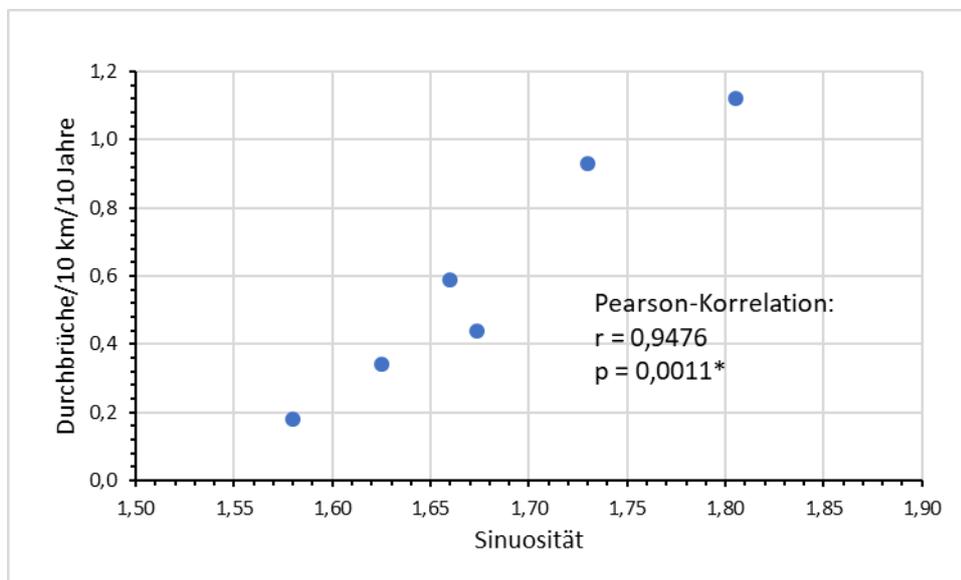


Abbildung 45: Zusammenhang zwischen Sinuosität und Anzahl von Mäanderdurchbrüchen an der March zwischen 1703 und 1821

Tabelle 5 zeigt zum Vergleich auch die analog berechneten Gefällswerte für den heutigen regulierten Lauf der Thaya und der March. Wie bereits erwähnt, nahm das Gefälle der Thaya durch die Regulierung von rund 0,26 auf 0,31 ‰ zu. Auffallend ist die große Zunahme des Gefälles im

Marchabschnitt direkt flussab der Einmündung der Thaya um 35 %. Dies ist auf das Verschwinden größerer Mäanderbögen zwischen 1703 und 1755 zurückzuführen (vgl. die 8 oben für diesen Zeitraum erwähnten Durchbrüche). Am geringsten nahm das Gefälle durch die Regulierung im untersten Marchabschnitt zu. Hier waren es nur rund 3 %, was damit zusammenhängt, dass dieser Flussabschnitt bereits vor der Regulierung einen vergleichsweise gestreckten Lauf aufgewiesen hat. Insgesamt vergrößerte sich das Laufgefälle der March seit Mitte des 19. Jahrhunderts von 0,15-0,17 ‰ auf nunmehr 19 ‰, was einer Zunahme um 19 % entspricht. Je nachdem man welche Zeitsituation vergleicht, wurde der Flusslauf zwischen der Thayamündung und der Donau bis heute um 18 % (um 15.150 m) bzw. um 10 % (um 7.350 m) verkürzt.

7.2 Stream power

Das Konzept der „Stream power“ geht auf Bagnold (1966) zurück. Stream power wird oft als Surrogatparameter für die Sedimenttransportkapazität eines Flusses und damit für das Potenzial das Gerinne auszuformen, verwendet. Stream power (Ω) wird folgendermaßen berechnet und wird in Watt pro Meter angegeben: $\Omega = \rho \times g \times Q_b \times S$ [W/m]

Dabei entspricht ρ der Dichte des Wassers und g der Erdanziehungskraft. Das Produkt aus beidem ergibt das spezifische Gewicht von Wasser (γ) mit einem Wert von 9.810 N/m³. Neben diesen Konstanten sind der bordvolle Abfluss Q_b (m³/sec) und das Gefälle des Flusslaufs S (m/m) die beiden Hauptfaktoren. Zur Berechnung der Stream power wird somit neben dem Gefälle auch der bordvolle Abfluss benötigt, der historisch schwer zu bestimmen ist. Dennoch sei hier ein Versuch zur Abschätzung des historischen Q_b basierend auf aktuellen Abflussdaten vorgenommen. Dabei werden aber historische Klimaverhältnisse sowie geänderte Formen der Landnutzung im Einzugsgebiet und damit im Vergleich zu heute unterschiedliche Jährlichkeiten des Abflusses nicht berücksichtigt.

Ausgangsbasis der Überlegungen ist das einjährige Hochwasser HQ_1 , das an der March mit rund 460 m³/s angegeben wird (Tabelle 6). Der für die Berechnung der Stream power erforderliche bordvolle Abfluss wird nämlich generell mit HQ_1 bis HQ_2 , im Mittel daher meist mit $HQ_{1,5}$ angenommen. HQ_1 erscheint aber im gegenständlichen Fall zu hoch angesetzt, da der bordvolle Abfluss aktuell laut viadonau (2018) mit 320 m³/s wesentlich kleiner als HQ_1 ist. Diese Erkenntnis deckt sich gut mit zahlreichen historisch überlieferten Informationen, wonach es an der March zumindest seit dem Mittelalter mehrmals im Jahr zu größeren Überschwemmungen gekommen ist (vgl. z.B. Weber-Ebenhof, 1894). So waren ab 1769 alljährlich zehn bis elf (im Jahr 1804 sogar 13) Überschwemmungen zu verzeichnen, wobei einzelne davon mehrere Wochen andauern konnten.

March und Thaya im Vergleich

Zudem hat sich die March durch die Regulierung eingetieft, weshalb heute der bordvolle Abfluss vermutlich größer ist als im 18. und 19. Jahrhundert (Benz & Schwingshandl, 2008).

Tabelle 6: Historisches mittleres Laufgefälle vor der Regulierung und kennzeichnende Abflüsse (HQ₁ = einjähriges Hochwasser, HJMQ = höchstes jährliches Mittelwasser, Q_b = bordvoller Abfluss, * hypothetischer historischer bordvoller Abfluss; die Flussabschnitte sind entsprechend der Fließrichtung gereiht, vgl. Abbildung 1; Quelle: Hydrografisches Jahrbuch/HZB, Hydrografischer Dienst NÖ, viadonau 2018)

Flussabschnitte Thaya und March	Laufgefälle (‰) Mittel historisch	HQ ₁ (m ³ /s) aktuell	HJMQ (m ³ /s) aktuell	Q _b (m ³ /s) aktuell	Q _b (m ³ /s) historisch*
Thaya	0,26	140	70,5	98	84
Hohenau-Jedenspeigen	0,16	455	186	315	251
Jedenspeigen-Zwerndorf	0,17	460	191	320	256
Zwerndorf-Marchegg	0,16	465	196	325	261
Marchegg-Donau	0,17	473	202	330	266

Daher sei im nächsten Schritt das höchste jährliche Mittelwasser (HJMQ) als potenzieller historischer bordvoller Abfluss angenommen (Tabelle 6). Bei diesem Abfluss ist anzunehmen, dass alle unbewachsenen Sedimentbänke bereits merklich überstaut waren. HJMQ ist daher als niedrigster anzunehmender historischer bordvoller Abfluss anzusehen. Nach historischen Überlieferungen war die damals beobachtete geringe bordvolle Tiefe der March eine Folge von Versandungen des Flussbetts, die vor allem durch zahlreiche Mühlwehre hervorgerufen wurden (D'Elvert, 1855; Weber-Ebenhof, 1894). Diese Versandungen sind aber durchwegs nur für den tschechischen Marchabschnitt belegt. Im gegenständlichen Untersuchungsgebiet gab es hingegen nur das große Wehr bei Zwerndorf und eines flussauf von Rabensburg an der Thaya. So gesehen würden die zitierten Versandungen und damit die geringe bordvolle Tiefe auf die meisten Abschnitte der March und der Thaya nicht zutreffen. Deshalb sei im nächsten Schritt der aktuelle bordvolle Abfluss Q_b mit einer aktueller Überschreitungsdauer von 15 Tagen/Jahr als nächste Näherung herangezogen (Tabelle 6).

Dabei wäre zu berücksichtigen, dass das Flussbett vor der Regulierung noch nicht eingetieft war (laut Benz & Schwingshandl (2008) vergrößerte sich die bordvolle Tiefe alleine seit 1922/23 über weite Strecken um 1 bis 2,5 m). Folglich wäre historisch ein signifikant geringerer bordvoller Abfluss anzunehmen. Andererseits gilt es zu berücksichtigen, dass die bordvolle Breite vor der Regulierung wesentlich größer war. Wenn man annimmt, dass sich die Vergrößerung der bordvollen Tiefe und die Verringerung der bordvollen Breite als Folge der Regulierung bezüglich der Profilfläche ungefähr ausgeglichen haben, könnte man doch den aktuellen bordvollen Abfluss als Berechnungsbasis verwenden. Dabei ist aber wiederum zu berücksichtigen, dass sich die Fließgeschwindigkeit durch die Laufbegradigungen und durch das kompaktere Gerinneprofil erhöht haben wird. Demzufolge wäre

der aktuelle bordvolle Abfluss für den historischen Zustand zu hoch angesetzt. Als Näherungswert sei daher der Mittelwert aus dem aktuellem HJMQ und Q_b für die Berechnung der historischen Stream power herangezogen (Tabelle 6).

Auf Basis der historischen Werte für das Laufgefälle und der Abschätzung des bordvollen Abflusses Q_b (vgl. Tabelle 6) kann schließlich die historische Stream power berechnet werden. Dabei handelt es sich genauer gesagt um die „Total stream power“ (TSP) an einem bestimmten Flussabschnitt. Da die TSP von der Größe eines Flusses, d.h. von seinem Abfluss abhängt, lassen sich damit unterschiedlich große Flüsse bzw. Abschnitte nicht vergleichen. Deshalb dividiert man die TSP generell durch die bordvolle Breite, wodurch man die über die Breite standardisierte „Specific stream power“ SSP (auch „Unit stream power“ genannt), erhält. Die SSP wird demzufolge mit der Einheit Watt pro m^2 angegeben (Tabelle 7).

Tabelle 7: Historische mittlere bordvolle Breite vor der Regulierung, Specific stream power (SSP) historisch und aktuell sowie Potential specific stream power (PSSP) historisch (Werte in Klammer: Stream power bei hypothetisch höherem Q_b in der hochwasseraktiven Phase zwischen 1769 und Anfang des 19. Jahrhunderts; Werte berechnet basierend auf Tabelle 6)

Flussabschnitte Thaya und March	bordv. Breite (m) Mittel historisch	SSP (W/m²) historisch	PSSP (W/m²) historisch	SSP (W/m²) aktuell	Differ. (%) SSP hist.-akt.
Thaya	56	3,9 (4,5)	5,8 (6,8)	6,6	+71
Hohenau-Jedenspeigen	129	3,0 (3,7)	5,0 (6,2)	9,0	+205
Jedenspeigen-Zwerndorf	152	2,8 (3,5)	4,3 (5,4)	8,4	+199
Zwerndorf-Marchegg	129	3,1 (3,8)	5,0 (6,2)	7,8	+153
Marchegg-Donau	335	1,3 (1,6)	1,7 (2,1)	6,5	+403

Um die SSP berechnen zu können, benötigt man jedoch auch Daten über die historische bordvolle Breite. Im Rahmen der GIS-Auswertungen wurde jedoch nur die mittlere Breite des aktiven Gerinnes (= Wasser- und unbewachsene Sedimentflächen) je Flussabschnitt ermittelt, die einem Abfluss um MQ oder etwas darüber entspricht. Es wurden jedoch auch tief liegende, bewachsene Uferbereiche (v.a. an Gleitufeln) und Inseln, die unter bordvollem Wasserstand liegen, rekonstruiert (vgl. hellgrüne Flächen in den GIS-Rekonstruktionen). Deren laterale Ausdehnung lässt sich anhand der historischen Karten in einigen Abschnitten bzw. zu bestimmten Zeiten gut nachvollziehen, in anderen Bereichen bzw. zu anderen Zeiten hingegen weniger gut. Deshalb gibt es bezüglich der dargestellten Bordoberkanten bereichsweise größere Unsicherheiten. Auf Basis der GIS-Rekonstruktionen wurde deshalb näherungsweise angenommen, dass die bordvolle Breite 1,5-mal so breit war wie jene des aktiven Gerinnes (siehe Tabelle 7).

Wenig überraschend ist, dass die Thaya mit $3,9 \text{ W/m}^2$ eine signifikant höhere Specific stream power (SSP) aufwies als die March. Der Grund dafür liegt primär im historisch wesentlich größeren Laufgefälle (Tabelle 6). Die niedrigen Werte der drei oberen Marchabschnitte mit $2,8$ bis $3,1 \text{ W/m}^2$ deuten darauf hin, dass die Transportkapazität der March vor der Regulierung vergleichsweise gering ausgebildet war, woraus sich auch die Tendenz zu flächigen Überflutungen erklären ließe. Dies ist im untersten, donaunahen Abschnitt mit $1,3 \text{ W/m}^2$ besonders offensichtlich. Im vorhergehenden Kapitel 7.1 wurde bereits angesprochen, dass man sich angesichts des großteils sehr gestreckten Laufs erwarten würde, dass sich dieser in einem größeren Laufgefälle widerspiegelt. Da dies aber nicht der Fall ist, muss es andere Gründe dafür geben. Die extrem niedrige Specific stream power deutet auf Fließverhältnisse hin, die man eher an einem „anastomosing low-energy river“ wie z.B. am Unterlauf des Rio Negro in Brasilien oder bei deltaartigen Einmündungen alpiner Flüsse in größere Seen, erwarten würde (Nanson & Croke, 1992; Nanson & Knighton, 1996). Hier spielt der Einfluss der Donau mit jährlich mehrmals vorkommendem Rückstau bis weit in die March hinein eine wesentliche Rolle (Weber-Ebenhof, 1894). Je nach Spiegellage der Donau bzw. Intensität des Rückstaus konnte das Wasser der March nicht mehr abfließen und mitgeführte Sedimente wurden bereits vor Erreichen der Donau abgelagert. Zudem ist davon auszugehen, dass es bei einem Rückstau durch die Donau auch zu beträchtlichem Schwebstoffeintrag aus der Donau in die March kam.

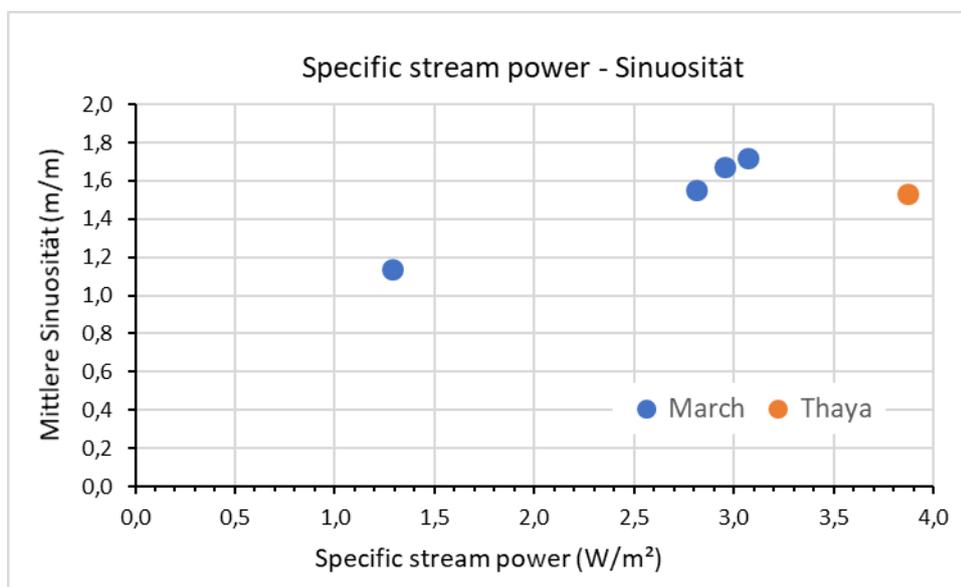


Abbildung 46: Zusammenhang zwischen Specific stream power und mittlerer Sinuosität an der March und der Thaya vor der Regulierung

Abbildung 46 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Specific stream power (SSP) einerseits und der Sinuosität vor der Regulierung andererseits. Erkennbar ist, dass sich die drei oberen Marchabschnitte nicht nur bezüglich der SSP stark glichen, sondern auch hinsichtlich der

Sinuosität. Der donanahe Marchabschnitt wich davon in Bezug auf die beiden flussmorphologischen Parameter stark ab. Die Thaya wies zwar eine ähnliche Sinuosität wie die March auf, hatte jedoch eine wesentlich größere SPP.

Bei der Berechnung der Stream power wurde allerdings nicht berücksichtigt, dass sich vermutlich die Abflussverhältnisse vor allem im 18. Jahrhundert aufgrund unterschiedlicher klimatischer Rahmenbedingungen („Kleine Eiszeit“) und auch wegen der veränderten Landnutzung im Einzugsgebiet von der heutigen Situation unterschieden haben. Hier wäre vor allem die Zunahme der Hochwässer ab 1769 zu nennen. Historischen Berichten zufolge nahmen die Hochwässer der March flussauf von Österreich bereits seit dem Jahr 1757 „in erschreckendem Maasse“ zu (Weber-Ebenhof, 1894). Ab 1769 waren – wie bereits erwähnt – alljährlich zehn bis elf (im Jahr 1804 sogar 13) Überschwemmungen zu verzeichnen. Folglich ist anzunehmen, dass der bordvolle Abfluss damals über den hier historisch angenommenen Q_b -Werten lag. Würde man annehmen, dass diese damals im Bereich der aktuellen Q_b -Werte lagen, dann ergäben sich auch höhere Werte für die Specific stream power (Tabelle 7). Bei der Thaya wären dies dann 4,5 statt 3,9 W/m^2 und in den drei oberen Marchabschnitten 3,5 bis 3,8 W/m^2 statt 2,8 bis 3,1 W/m^2 . Die SSP im donanahe Marchabschnitt bleibt mit 1,6 W/m^2 aufgrund der sehr großen bordvollen Breite dennoch sehr klein.

Wie sich am Beispiel an der historischen Donau gezeigt hat, adaptierte sich die Ausformung des Gerinnes auf geänderte Abflusssituationen. Der Flusslauf wurde bei erhöhtem Abfluss generell geradliniger, verzweigter und breiter (Hohensinner, 2008; Hohensinner et al., 2013b). An der Donau konnte nach dem Abflauen der hochwasserintensiven Phase Anfang des 19. Jahrhunderts beobachtet werden, dass sich das Gerinnesystem danach abermals an die neue Abflusssituation anpasste. An der March zeigen die Rekonstruktionen für das Jahr 1821 allerdings in weiten Abschnitten bezüglich der mittleren Breite des aktiven Hauptarmgerinnes keinen solchen Rückgang (nur im Abschnitt Hohenau-Jedenspeigen und nahe der Donau). Entweder beruht dieser Umstand auf Ungenauigkeiten der verwendeten historischen Karten oder die Hochwasserphase hat sich an der mäandrierenden March und an der Thaya flussmorphologisch anders ausgewirkt als an der „anabanching“ Donau. So zum Beispiel durch verstärkte Flussverzweigungen, was sich in der Zunahme der lateralen Konnektivität (Anbindungen zu Nebengewässern) widerspiegeln müsste. Leider gibt es jedoch keine GIS-Rekonstruktion für die Zeit während der Hochwasserphase, um dies zu bestätigen. Die für 1821 festgestellte Verringerung der Lauflänge und damit der Sinuosität der March könnte aber eine Folge der vorangegangenen Hochwasserphase sein.

March und Thaya im Vergleich

Zur besseren Einstufung der historischen Specific stream power (SSP) sind in Tabelle 7 auch die analog ermittelten aktuellen Werte dargestellt. Demnach nahm die SSP als Folge der Regulierungsarbeiten an der Thaya um 71 % zu. An der March flussauf von Jedenspeigen beträgt die Zunahme rund 200 %, während sie im WWF-Auenreservat mit 153 % merklich geringer ist. Am meisten nahm die SPP mit rund 400 % im donaanahen Marchabschnitt zu, was darauf zurückzuführen ist, dass der einst sehr breite Flusslauf stark eingeengt wurde. Die genannten Werte veranschaulichen, dass nun vor allem an der March pro Quadratmeter ein wesentlich größeres Energiepotenzial für dynamische Umlagerungsprozesse im heute stark eingeengten Gerinne zur Verfügung steht als es historisch der Fall war. Dies wird auch dadurch verdeutlicht, dass das Produkt aus der Schleppspannung τ und der mittleren Fließgeschwindigkeit v ebenfalls der Specific stream power (SPP) entspricht.

Leopold & Wolman (1957) entwickelten wohl das einfachste und bekannteste Klassifikationssystem für Gerinnetypen. Dieses basiert lediglich auf dem Gefälle des Flusslaufs und dem bordvollen Abfluss – nicht verwunderlich, da dies jene beiden Faktoren sind, die die Stream power bestimmen. Abbildung 46 zeigt, dass die March und die Thaya nach diesem Klassifikationsschema eindeutig als mäandrierende Flüsse einzuordnen sind. Die vier untersuchten Abschnitte der March liegen aufgrund der logarithmischen Skala übereinander – selbst der großteils gestreckte, donaanaher Abschnitt. Dieser Umstand zeigt, dass es nicht am Gefälle oder Abfluss liegt, warum dieser Abschnitt historisch so gestreckt und breit ausgeformt war, sondern am Einfluss der Donau bzw. der durch die Donau stark beeinflussten Gerinneentwicklung der March. Die Thaya hebt sich im Klassifikationsschema von Leopold & Wolman (1957) merklich von der March ab.

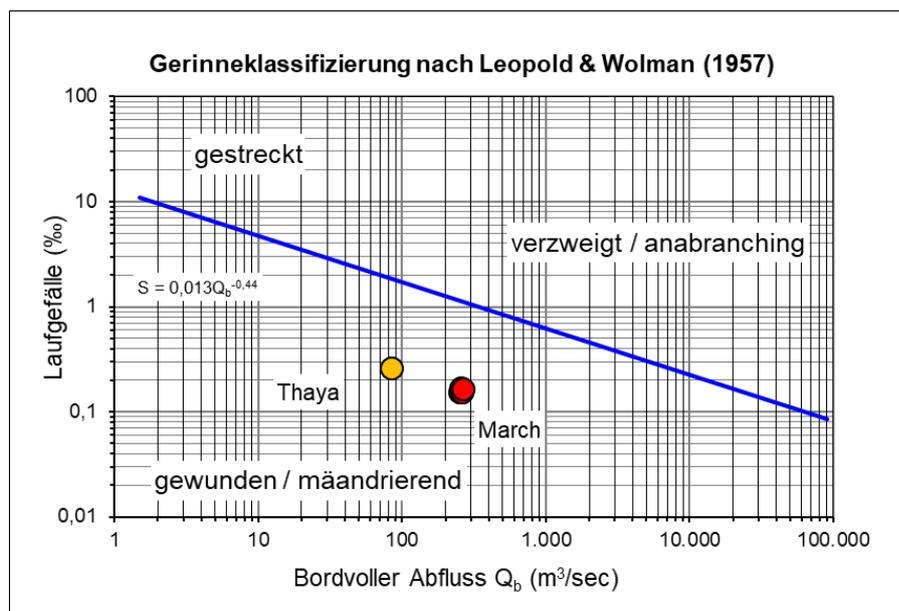


Abbildung 47: Einstufung der historischen March und der Thaya entsprechend der Gerinneklassifizierung nach Leopold & Wolman (1957)

Will man die March und die Thaya bezüglich der Stream power mit anderen Flüssen vergleichen, so ist für manche Klassifikationsschemata auch die Kenntnis der „Potential specific stream power“ (PSSP) erforderlich. So schlugen u.a. Kleinhans & Van den Berg (2011) vor, anstatt des Laufgefälles das Talbodengefälle zu verwenden. Die PSSP beschreibt somit die unter den gegebenen Bedingungen des Flusstals maximal mögliche SSP. Deshalb wurde die PSSP auch für die historische March und die Thaya berechnet (Tabelle 7). Da das Talgefälle größer ist als das Laufgefälle, ergeben sich auch signifikant größere Werte. Vergleicht man diese Werte mit jenen, die zum Beispiel Candel et al. (2020) publizierten, so liegen die March und die Thaya im Überlappungsbereich der „meandering rivers with scroll bars“ und der „laterally immobile rivers without bars“. Die March und die Thaya waren vor der Regulierung eindeutig „laterally mobile rivers“ und wiesen an den Innenufern bzw. innerhalb der Mäanderbögen markante „scroll bars“ auf (heute noch erkennbar durch die typische Riffelung des Augeländes). Die Überlappung mit wenig dynamischen, stabilen Gerinnetypen hängt damit zusammen, dass neben der PSSP auch noch andere Faktoren, wie die Korngröße der Sedimente oder der Uferbewuchs, eine Rolle spielen.

8. Zusammenfassung

Ziel der Studie war es, die Flusslandschaft der March und der Thaya entlang der österreichischen Staatsgrenze seit dem 18. Jahrhundert basierend auf historischen Karten möglichst detailliert und lagegenau zu rekonstruieren. Darauf aufbauend wurde eine umfassende Analyse der hydromorphologischen Entwicklung beider Flüsse vorgenommen. Der untersuchte Flussabschnitt liegt zwischen Břeclav/Bernhardsthal und Devín/Theben an der Donau und ist insgesamt 86,3 km lang. Davon entfallen 17,3 km auf die Grenzstrecke der Thaya und 69 km auf jene der March. Nach einer umfassenden historischen Recherche wurden für die March folgende Zeitpunkte für die flussmorphologischen Rekonstruktionen festgelegt: 1703, 1755, 1821, 1896, 1942 und 2020. Aufgrund der Quellenlage mussten für die Thaya teilweise andere Rekonstruktionszeitpunkte gewählt werden: 1780, 1821, 1873, 1942 und 2020. Die Rekonstruktionen erfolgten GIS-basiert, wobei die „regressiv-iterative Methode“ von Hohensinner et al. (2013a) angewandt wurde.

Beide Flüsse, die March und die Thaya, sind entsprechend ihrer **Sinuosität** (Laufentwicklung) als mäßig mäandrierende Gewässer zu bezeichnen. Stärker mäandrierende Flussabschnitte wechseln sich mit gewundenen Abschnitten ab. Die donanahe Mündungsstrecke der March wies einen vollkommen anderen Gerinnetyp auf, der als gestreckt mit geringer Verzweigungsintensität zu bezeichnen ist.

Da die March hydrologisch gesehen doppelt so groß ist wie die Thaya, war das **aktive Gerinne** ihres Hauptarms (Wasser- und unbewachsene Sedimentflächen) auch merklich breiter ausgeformt. Vor der Regulierung betrug die **mittlere Breite** der March (ohne Mündungsstrecke) um 93 m, während der Mündungsabschnitt mit bis zu 240 m mehr als doppelt so breit war. Das aktive Hauptarmgerinne der Thaya kam im Mittel nur auf rund 38 m. Durch die Regulierung wurde die Breite der March um rund 50 % reduziert, während es an der Thaya nur 9 % waren.

Nicht nur durch Regulierungen, sondern auch durch andere menschliche Eingriffe erfuhren die **Gewässerlebensräume (aquatische Makrohabitate)** beider Flüsse große Veränderungen. Die March verlor seit 1703 rund 57 % des aktiven Gerinnesystems (ohne künstliche Teiche). Stets dominierte der Hauptarm (Eupotamon A) die Flusslandschaft mit einem Flächenanteil von 50 bis 60 %. Ständig oder zumeist durchströmte Nebenarme (Eupotamon B) und einseitig angebundene Altarme (Parapotamon B) stellten mit 7-10 % bzw. 10-12 % die größten Anteile an Augewässern abseits des Hauptarms.

Dazu kamen noch kleinere Anteile an periodisch durchströmten, dynamischen Altarmen (Parapotamon A) und Totarmen (Plesio-/Paläopotamon) sowie kleinere Zubringer und Aubäche. Im Gegensatz zur March verringerten sich die natürlichen/naturnahen Gewässer der Thaya seit 1780 nur um 23 % (jedoch um 54 % wenn man die früheren großen Teichanlagen bei Hohenau und Rabensburg miteinbezieht). An der Thaya war der Hauptarm weniger dominant als an der March. Dafür spielten (zumeist) durchströmte Nebenarme, dynamische Altarme und einseitig angebundene Altarme eine größere Rolle im Augebiet. Der Grund für diese Unterschiede zur untersuchten Marchstrecke dürfte in der speziellen Lage der Thaya im March-Thaya-Dreieck zu finden sein. Bis 2020 verringerte sich an beiden Flüssen die Fläche fast aller Gewässertypen erheblich, während Totarme signifikant zunahmen.

Die **laterale hydrologische Konnektivität**, die Anzahl und Größe der Anbindungen von verschiedenen Augewässern an den Hauptarm, ist für einen durch hohe Biodiversität gekennzeichneten Auenlebensraum von grundlegender Bedeutung. An der March wiesen vor der Regulierung zwischen 4 und 5 % aller Ufer des Hauptarms solche Anbindungen auf. Aktuell sind es noch 1 %. An der Thaya war die Intensität der lateralen Konnektivität weniger stark ausgeprägt und schwankte stark zwischen 0,7 und 2,7 % bezogen auf die Länge der Ufer des Hauptarms.

Laufverlagerungen lassen sich an mäandrierenden oder gewundenen Flüssen gut nachvollziehen. So auch an der March, deren Flussbögen ursprünglich im Median zwischen 0,9 und 1,4 m pro Jahr wanderten. Die über einzelne Teilzeiträume gemittelten maximalen Migrationsraten lagen bei ungefähr 3 m pro Jahr. Als Folge der Regulierung im 20. Jahrhundert kam die Gerinne- bzw. Ufermigration der March weitgehend zum Erliegen. Die Verlagerung der Flussbögen erfolgte an der Thaya generell etwas langsamer als an der March. Im Median waren es zwischen 0,3 und 0,5 m pro Jahr, wobei die über einzelne Teilzeiträume gemittelten maximalen Migrationsraten vor der Regulierung zwischen 1,8 und 2,9 m pro Jahr ausmachten.

Eng verbunden mit Laufverlagerungen sind **Erosions- und Verlandungsprozesse (Umlagerungsdynamik)**. Generell wird bei menschlich unbeeinflussten Fließgewässern von einem langfristigen dynamischen Gleichgewicht zwischen Erosion und Verlandung ausgegangen, sofern sich die klimatisch-hydrologischen Rahmenbedingungen nicht ändern. Ein solches Gleichgewicht ist – wenn auch quantitativ betrachtet stark schwankend – sowohl an der March als auch an der Thaya großteils festzustellen. So wurden entlang des Hauptarms der March zwischen 1703 und 1896 jährlich zwischen 4,2 und 7,5 ha Augebiet erodiert, während zwischen 4,7 und 7,4 ha an Wasserflächen verlandeten und somit zu neuem Auland wurden (Umlagerungen an Nebengewässern nicht

mitgerechnet). An der Thaya betrug die Erosionsrate (bzw. Neubildungsrate von Wasserflächen des Hauptarms) zwischen 0,5 und 0,7 ha pro Jahr. Im Gegenzug entstanden jährlich zwischen 0,4 und 0,6 ha an neuen Landflächen (die genannten Werte beziehen sich auf unterschiedlich lange Flussabschnitte von Thaya und March). Typisch für regulierte Flüsse ist das Überhandnehmen von Verlandungsprozessen während Erosionsprozesse weitgehend unterbunden werden. Dies ist auch gut an der March erkennbar, an der Thaya lässt sich diese Entwicklung hingegen nicht im selben Ausmaß belegen.

Grund dafür ist die unterschiedliche Regulierungsgeschichte bzw. **Intensität der Regulierung**. An der March existierten bis 1821 keine nennenswerten Uferschutzmaßnahmen. Bis zum Jahr 1942 wurden 41 % der Ufer des Hauptarms reguliert und 2020 erreichte das Ausmaß der Regulierung 75 %. An der Thaya begann die Regulierungsgeschichte wesentlich früher, verblieb aber bis zum Beginn der umfassenden Regulierung 1979 auf unter 10 % gemessen an der Länge der Hauptarm-Ufer. Aktuell sind mit 43 % wesentlich weniger Uferabschnitte befestigt als an der March. Dadurch sind auch heute noch in einigen Abschnitten der Thaya Laufverlagerungen möglich.

Das **Gefälle des Flusslaufs** vor der Regulierung konnte zwar nur näherungsweise rekonstruiert werden, erlaubt aber zusätzliche interessante Einblicke. Die Thaya wies im Mittel ein Gefälle von 0,26 ‰ auf, welches sich durch Laufbegradigungen bis heute auf 0,31 ‰ erhöht hat. Die vier untersuchten Marchabschnitte waren mit 0,14 bis 0,18 ‰ durch signifikant geringere Gefälle geprägt (aktuell 0,17 bis 0,21 ‰). Das Laufgefälle ist eng mit der Sinuosität eines Flusses verbunden. Je größer die Sinuosität (Grad der Gewundenheit), desto stärker die Tendenz zu **Mäanderdurchbrüchen**. An der March zeigt sich, dass Sinuosität und Anzahl der Durchbrüche hochsignifikant korrelierten.

Die „**Specific stream power**“ (SSP) als Maß für die Sedimenttransportkapazität eines Flusses und sein Potenzial das Gerinne auszuformen ergibt für die historische Thaya aufgrund des höheren Gefälles größere Werte als für die March (3,9 W/m² versus rund 3,0 W/m²). Die geringe SSP deutet darauf hin, dass die Transportkapazität der March vor der Regulierung vergleichsweise gering ausgebildet war, woraus sich auch die Tendenz zu flächigen Überflutungen erklären ließe. Der donanahe Abschnitt der March entsprach mit einer SSP von lediglich 1,3 W/m² einem „anastomosing low-energy river“, was durch den starken Einfluss der Donau begründet ist. Durch die Regulierung nahm die SSP der March je nach Abschnitt um 150 bis 400 % zu, wodurch nun wesentlich mehr Energie pro Quadratmeter auf die Sohle und die Ufer einwirkt.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse dieser Studie geben Einblick in die Geschichte zweier bedeutender österreichischer Tieflandflüsse, dienen aber auch der Beschreibung flusstypspezifischer Charakteristika im Sinne eines Leitbilds für zukünftige ökologisch orientierte, flussbauliche Maßnahmen.

9. Literatur

- Adler, H. & Hundsbichler, H. (1981): Eine spätmittelalterliche Wassermühle an der Thaya in Rabensburg. Fundberichte aus Österreich, 19 (Jg. 1980), S. 9-54.
- 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.
- Bagnold, R. A. (1966): An Approach to the Sediment Transport Problem From General Physics. Physiographic and Hydraulic Studies of Rivers. Geological Survey Professional Paper 422-I, Washington D.C.
- Benz, G. (2000): Wasserbau an der March und Thaya im österreichischen Verwaltungsschriftgut des 16.–19. Jahrhunderts. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- Benz, G. (2019): Die Regulierung der österreichischen March-Grenzstrecke im Spiegel der wirtschaftsgeschichtlichen Entwicklung einer Grenzregion. Vermessung & Geoinformation, 4/2019, S. 230-241.
- Benz, G. & Schwingshandl, A. (2008): Erstellung von wasserwirtschaftlichen Planungsgrundlagen für die Österreichisch-Slowakische Marchgrenzstrecke. Beiträge zur flussmorphologischen Entwicklung der March zwischen Hohenau und Devin (Theben). Endbericht i. A. der viadonau.
- Blöschl, G., Kiss, A., Viglione, A. et al. (2020): Current European flood-rich period exceptional compared with past 500 years. Nature, 583, S. 560-566.
- Candel, J., Kleinhans, M., Makaske, B. & Wallinga, J. (2020): Predicting river channel pattern based on stream power, bed material and bank strength. Progress in Physical Geography, 45 (2), S. 253-278.
- D'Elvert, C. (1855): Die Fluß-Schiffahrt und die Fluß-Regulirungen in Mähren und Schlesien. in: Geschichte der Verkehrs-Anstalten in Mähren und Oesterreichisch-Schlesien. Brünn, S. 256-299.
- Denzel, J. (2023): Hydromorphologische Entwicklung der March zwischen Hohenau und Jedenspeigen seit dem 18. Jahrhundert. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien (PDF auf der Website der BOKU-Universitätsbibliothek verfügbar).
- Fink, M. H. (1999): Zur Geographie des unteren March-Thaya-Gebietes. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Fließende Grenzen. Lebensraum March-Thaya-Auen. Wien, S. 15-24.
- Hohensinner, S. (2008): Rekonstruktion ursprünglicher Lebensraumverhältnisse der Fluss-Auen-Biozönose der Donau im Machland auf Basis der morphologischen Entwicklung von 1715–1991. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien (PDF auf der Website der BOKU-Universitätsbibliothek verfügbar).
- Hohensinner, S. (2020): Historische Hochwässer der Wiener Donau und ihrer Zubringer. Materialien zur Umweltgeschichte Österreichs, Zentrum für Umweltgeschichte Wien, Band 1, 2. erweiterte Ausgabe hrsg. 2020, Wien.
- Hohensinner, S. (2022): Historische Veränderung der Marchauen vor der Regulierung. In: WWF Österreich (Hrsg.): Die Marchauen – Eine Flusslandschaft im Wandel der Zeit. Wien, S. 20-28.
- Hohensinner, S., Jungwirth, M., Muhar, S. & Schmutz, S. (2011): Spatio-temporal habitat dynamics in

- a changing Danube River landscape 1812 – 2006. *River Research and Applications*, 27, S. 939-955.
- Hohensinner, S., Jungwirth, M., Muhar, S. & Schmutz, S. (2014): Importance of multi-dimensional morphodynamics for habitat evolution: Danube River 1715 – 2006. *Geomorphology*, 215, S. 3-19.
- Hohensinner, S., Sonnlechner, C., Schmid, M. & Winiwarter, V. (2013a): Two steps back, one step forward: reconstructing the dynamic Danube riverscape under human influence in Vienna. *Water History*, 5 (2), S. 121-143.
- Hohensinner, S., Lager, B., Sonnlechner, C., Haidvogel, G., Gierlinger, S., Schmid, M., Krausmann, F. & Winiwarter, V. (2013b): Changes in water and land: the reconstructed Viennese riverscape from 1500 to the present. *Water History*, 5 (2), S. 145-172.
- Klasz, G., Gabriel, H., Habersack, H., Schmalfuß, R., Baumgartner, C. & Gutknecht, D. (2016): Ausmaß und Dynamik der Sohlerosion der Donau östlich von Wien – flussmorphologische und wasserwirtschaftliche Aspekte. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 68, S. 199-207.
- Kleinhaus, M. G. & Van den Berg, J. H. (2011): River channel and bar patterns explained and predicted by an empirical and a physics-based method. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, S. 721-738.
- Leopold, L. B. & Wolman, M. G. (1957): River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight. *Physiographic and Hydraulic Studies of Rivers*, Geological Survey Professional Paper, 282-B.
- Nanson, G. C. & Croke, J. C. (1992): A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, 4, S. 459-486.
- Nanson, G. C. & Knighton, A. D. (1996): Anabranching rivers: their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, S. 217-239.
- Rehberger, O. (2022): Hydromorphologische Entwicklung der March zwischen Marchegg und Donau seit dem 18. Jahrhundert. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien (PDF auf der Website der BOKU-Universitätsbibliothek verfügbar).
- Sauer, G. (2022): Historische Landnutzung in den Marchauen zwischen Zwerndorf und Marchegg seit dem 19. Jahrhundert. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien (PDF auf der Website der BOKU-Universitätsbibliothek verfügbar).
- Shen, M. & Liu, X. (2021): Assessing the effects of lateral hydrological connectivity alteration on freshwater ecosystems: A meta-analysis. *Ecological Indicators*, 125, 107572.
- Stuppacher, K. (2023): Hydromorphologische Entwicklung der March zwischen Jedenspeigen und Zwerndorf seit dem 18. Jahrhundert. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien (PDF auf der Website der BOKU-Universitätsbibliothek verfügbar).
- Täubling, A. & Neuhauser, G. (1999): Die Geschichte der Landschaft. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): *Fließende Grenzen. Lebensraum March-Thaya-Auen*. Wien, S. 57-77.
- TRIGONplan GmbH (2016 mit laufenden Einträgen): Geodatenbank zu historischen Wasserbauten der March als Teil des Projekts „Übergeordnetes Erhaltungskonzept March – Thaya. Flussbaulicher Teil – Grundlagenerhebung“, viadonau Proj.Nr. 128.10.250.
- Türk, F. (2021): Hydromorphologische Entwicklung der March seit dem 18. Jahrhundert im Bereich Zwerndorf bis Marchegg. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien (PDF auf der Website der BOKU-Universitätsbibliothek verfügbar).
- viadonau (2018): *KWM 2018 – Die kennzeichnenden Wasserstände der March in der österreichisch-*

slowakischen Grenzstrecke. Wien.

Weber-Ebenhof, A., Ritter v. (1894): Project der K. K. österr. Regierung für die Regulierung der March in der Reichsgrenzstrecke gegen Ungarn (Von der Morawka-Mündung bei Rohatetz bis zur Einmündung in die Donau bei Theben). Wien.

Wiebeking, C. F. (1807): Von der Schiffbarmachung der Flüsse. In: Wiebeking, C. F. (Hrsg.): Allgemeine auf Geschichte und Erfahrung gegründete theoretisch-practische Wasserbaukunst. 5. Bd., Darmstadt, S. 202-220

WWF Österreich (2022): Die Marchauen – Eine Flusslandschaft im Wandel der Zeit. WWF Österreich (Hrsg.), Wien.

Zelesnik, R. F. (1976): Heimatbuch der Marktgemeinde Bernhardsthal unter Einbeziehung der Schwesterngemeinden Reinthal und Katzelsdorf. Herausgegeben aus Anlaß der im Jahre 1171 erfolgten urkundlichen Erstnennung im Selbstverlag der Marktgemeinde Bernhardsthal.

Zulka, K. P. & Lazowski, W. (1999): Hydrologie. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Fließende Grenzen. Lebensraum March-Thaya-Auen. Wien, S. 24-50.

10. Datenabgabe

Die rekonstruierten Zeitschnitte der March (1703, 1755, 1821, 1896, 1942 und 2020) sowie der Thaya (1780, 1821, 1873, 1942 und 2020) liegen im Esri Shape-Format vor. Die Symbolisierung (Darstellungsweise) der Rekonstruktionen ist in separaten Layerfiles im Format LYRX gespeichert, die mit ArcGIS Pro 3.0 erstellt wurden (können nicht in ArcGIS Desktop 10.x eingelesen werden). Um die Linienstärke der Polylinien (Wasserbauten, Straßen, Brücken etc.) korrekt anzuzeigen, muss der Referenzmaßstab in den „Map properties/Layers“ (vormals auch als „Dataframe properties“ bezeichnet) auf 1:1.000 eingestellt sein.

Die Projektion des GIS-Projekts bzw. der Daten ist „MGI Austria GK M34“. Nähere Informationen dazu sind nachfolgender Abbildung zu entnehmen.

Projected Coordinate System	MGI_Austria_GK_M34
Projection	Transverse Mercator
Authority	Custom
Linear Unit	Meters (1,0)
false easting	0,0
false northing	-5000000,0
central meridian	16,33333333333334
scale factor	1,0
latitude of origin	0,0
Geographic Coordinate System	Militar-Geographische Institut
WKID	4312
Authority	EPSG
Angular Unit	Degree (0,0174532925199433)
Prime Meridian	Greenwich (0,0)
Datum	D MGI
Spheroid	Bessel 1841
Semimajor Axis	6377397,155
Semiminor Axis	6356078,962818189
Inverse Flattening	299,1528128

Abbildung 49: Projektion der GIS-Rekonstruktionen

	Bahnlinien
	Straßen
	Brücken
	Wasserbauten
	Verteidigungsbauten
	bedeutende Gebäude
	Siedlungsflächen
	Gewässer
	unbewachsene Sedimentflächen
	tief liegendes Augelände
	höher liegendes Augelände
	ältere, höhere Geländeterrassen

Abbildung 48: Legende zum GIS-Datensatz