



T3.1.2 Problemanalyse - DE

Bericht

SEDDON II (AT HU10)





Projekt-Koordination:

Helmut Habersack¹, Sándor Baranya², Károly Gombás³, Jürgen Gruber⁴

**Autoren AT: Sebastian Pessenlehner¹, Marlene Haimann¹, Markus Eder¹, Doris Gangl¹, Angelika Riegler¹
Helmut Habersack¹**

Autoren HU: Sándor Baranya², Szilveszter Dömötör³

Bild Titelseite: IWA/BOKU

Wien, Budapest, Győr Juni 2020

Das Projekt wurde kofinanziert durch den „Europäischer Fonds für regionale Entwicklung“.



BOKU – Wasserbaulabor
Errichtungs- und Betriebs-
Gesellschaft m.b.H.

 Bundesamt
für Wasserwirtschaft



SEDDON II (AT HU10)

Sedimentforschung und –management an der Donau II

A Duna hordalékvizsgálata II

Bericht

¹ University of Natural Resources and Life Science, Vienna
Department of Water, Atmosphere and Environment
Institute of Hydraulic Engineering and River Research (IWA)

² Budapest University of Technology and Economics BME

³ North Transdanubian Water Directorate ÈDUVIZIG

⁴ BOKU - Wasserbaulabor Errichtungs- und Betriebs-Gesellschaft m.b.H.

⁵ Federal Agency for Water Management, Vienna
Institute for Hydraulic Engineering and Calibration of Hydrometrical
Current-Meters



BOKU – Wasserbaulabor
Errichtungs- und Betriebs-
Gesellschaft m.b.H.

 Bundesamt
für Wasserwirtschaft

Kurzfassung

Dieser Problemanalysebericht wurde als Teil des Projekts Sedimentforschung und -management an der Donau II (SEDDON II) im Rahmen des EFRE-finanzierten Programms für grenzübergreifende Zusammenarbeit Österreich-Ungarn 2014-2020 erstellt.

Die Donau und die sie umgebende Landschaft liegen heute im Bereich verschiedener Interessen wie Hochwasserschutz, Wasserkraft, Schifffahrt und Ökologie. Aufgrund dieser Tatsache ist das ehemals ungezähmte und wilde Flusssystem seit Ende des 19. Jahrhunderts mit einer Vielzahl anthropogener Veränderungen konfrontiert, die zu vielfältigen hydromorphologischen Auswirkungen führten. Als eine der Aufgaben des Arbeitspakets 3 (Flussbau) wurde eine Analyse der aktuellen sedimentbezogenen Probleme in den beiden Projektabschnitten auf der Grundlage einer Liste relevanter Probleme durchgeführt, um den hydromorphologischen Zustand der Donau zu verbessern.

In diesem Bericht wird versucht, Ähnlichkeiten und Unterschiede beider Flussabschnitte sowie die zugrunde liegenden Prozesse, die zu diesen Problemen führen, zu analysieren. Darüber hinaus trägt der Bericht zur Entwicklung und Optimierung von flussbaulichen Maßnahmen bei, die die vielfältigen Probleme der verschiedenen Interessensgruppen bewältigen und die negativen Auswirkungen der menschlichen Eingriffe entlang der Flusssysteme kompensieren zu können.

Contents

Kurzfassung	1
1 Einleitung.....	3
2 Sedimentbezogene Prozesse.....	3
2.1 Morphologische Merkmale und physikalische Prozesse in Flüssen.....	3
2.2 Das Abfluss- und Sedimentregime	6
2.3 Sedimentbezogene Prozesse, die zu Problemen führen.....	8
3 Beschreibung der Projektgebiete in AT & HU	11
3.1 Hydromorphologische und sedimentologische Charakterisierung.....	11
3.2 Flussbau	14
3.3 Schifffahrt	16
3.4 Wasserkraft.....	17
3.5 Andere relevante Faktoren.....	18
3.5.1 Baggerungen	18
3.5.2 Wasserversorgung.....	19
4 Probleme entlang der Projektstrecken der Donau in Österreich und Ungarn	20
4.1 Obere Donau (Österreich)	20
4.1.1 Probleme im Zusammenhang mit dem Flussbau.....	20
4.1.2 Probleme im Zusammenhang mit Schifffahrt	25
4.1.3 Probleme im Zusammenhang mit Wasserkraft	27
4.2 Mittlere Donau (Ungarn)	29
4.2.1 Probleme im Zusammenhang mit dem Flussbau.....	29
4.2.2 Probleme im Zusammenhang mit Schifffahrt	39
4.2.3 Probleme im Zusammenhang mit Wasserkraft	42
4.3 Gemeinsame Probleme und Unterschiede der Projektstrecken in AT & HU.....	46
5 Zusammenfassung.....	47
Referenzen	48

1 Einleitung

Ein detailliertes Verständnis der sedimentbezogenen Probleme ist für ein erfolgreiches und nachhaltiges Management großer Flüsse unerlässlich. Die Obere Donau in Österreich und die Mittlere Donau in Ungarn sind mit verschiedenen sedimentbezogenen Problemen konfrontiert, die sich unter anderem auf Ökologie, Hochwasserrisikomanagement, Schifffahrt und Wasserkraft auswirken. Output T3.1.1 listet diese Probleme auf, die die Projektstrecken der SEDDON II-Studie betreffen, und bildet die Grundlage für Output T3.1.2 (Bericht über die Analyse der sedimentbezogenen Probleme entlang der Projektstrecken der Donau in Österreich und Ungarn).

2 Sedimentbezogene Prozesse

Im folgenden Kapitel wird eine Beschreibung der sedimentbezogenen Prozesse und der damit verbundenen Probleme mit Schwerpunkt auf den österreichischen und ungarischen Donauabschnitt durchgeführt.

2.1 Morphologische Merkmale und physikalische Prozesse in Flüssen

Das idealisierte Einzugsgebiet kann in drei Zonen unterteilt werden: die Zone der Erosion oder Sedimentproduktion (steile, schnell erodierende Oberläufe), des Transports (durch die das Sediment mehr oder weniger ohne Nettogewinn oder -verlust durchtransportiert wird) und der Ablagerung (Schumm, 1977). Im Fluss wird das erodierte Material aus dem Oberlauf in Form von Geschiebe oder Schwebstoffen stromabwärts zu den endgültigen Ablagerungszonen im Meer transportiert (Kondolf, 1997).

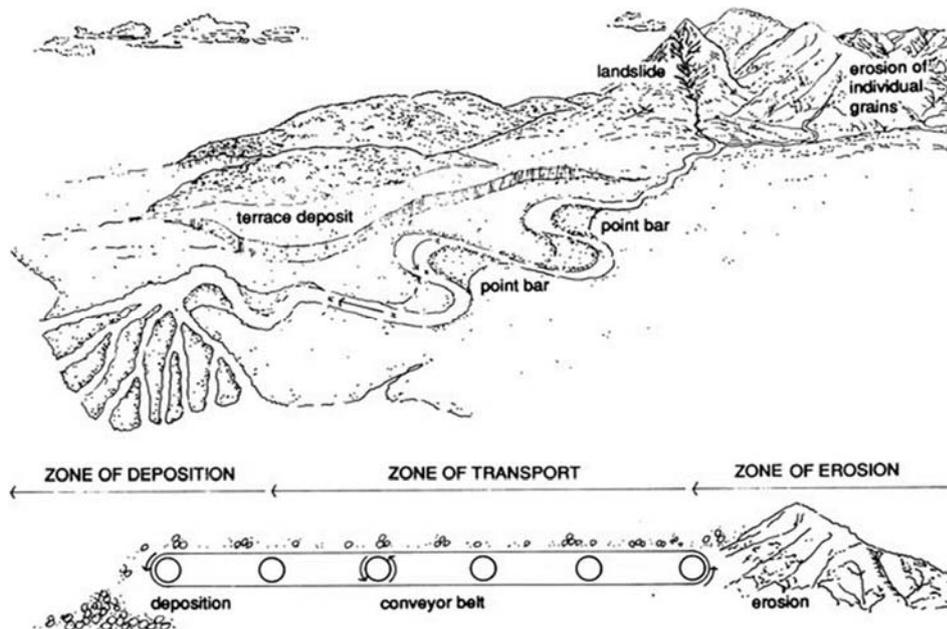


Abbildung 1 Diagramm der Zonen der Sedimentproduktion, des Transports und der Ablagerung zur Veranschaulichung der Förderbandanalogie für die Transportzone (Kondolf, 1994).

Die innerhalb des Flusssystemes stattfindenden Prozesse führen zu typischen morphologischen Merkmalen des Gerinnes in seinem oberen, mittleren und unteren Abschnitt. Im oberen Talabschnitt mit hohem Gefälle dominiert vertikale Erosion und ein schmaler, relativ flacher V-förmiges Gerinne schneidet in den Untergrund ein. Große Mengen an groben Sedimenten, die durch Erosion im Einzugsgebiet des oberen Talabschnitts und im Gerinne selbst entstehen, werden stromabwärts transportiert. Im mittleren Abschnitt nimmt die vertikale Erosion ab, und der Fluss ist breiter und tiefer mit einem mäßigen Gefälle. Hier überwiegen Seitenerosion und Ablagerungen im Gerinne. In diesem Übergangabschnitt sind die Sedimentverhältnisse ausgeglichener, sodass sich die Erosions- und Ablagerungsprozesse im dynamischen Gleichgewicht befinden. Typisch für den unteren Abschnitt ist ein breites und tiefes Gerinne mit geringem Gefälle, in dem als Reaktion auf die verminderte Sedimenttransportkapazität Seitenerosion (Ufererosion, Uferabbruch) und Anlandungen (Bildung von Inseln und Sandbänken) vorherrschen. Sowohl die Zusammensetzung als auch die Anordnung des Sohlmaterials variieren systematisch entlang des Flusses Richtung stromab. Grobe Sedimente, die aus dem oberen Flusslauf transportiert werden, werden aufgrund von Abrasion und selektivem Transport nach flussabwärts zunehmend feiner (Frings, 2004).

In natürlichen Flüssen, die sich in einem Gleichgewichtszustand bezogen auf das Sedimentbudget befinden, ist die Flussmorphologie von verschiedenen Merkmalen wie z.B. Korngröße und Sedimentzufuhr (Abbildung 2a) abhängig. Ein zunehmendes Sedimentangebot führt zusammen mit einer ausreichenden Breite, Neigung und Korngröße z.B. zu verflochtenen

Flussläufen. In Flüssen mit Sedimentüberschuss (Kies oder Sand), in denen der vorherrschende Prozess die Anlandung ist, entstehen in der Regel Kies- bzw. Sandbänke. Es gibt verschiedene Formen von Kies- und Sandbänken die für bestimmte Flusstypen typisch sind, z.B. verflochtene und verzweigte Flüsse. Typisch für mäandrierende oder gewundene Flüsse sind Sand- bzw. Kiesbänke an den Innenseiten der Flussbögen. Eine Unterbrechung der Sedimentdurchgängigkeit bewirkt eine Umwandlung von einem verflochtenen zu einem erodierenden Fluss, der nur aus einem Gerinne besteht. Auf mangelnde Sedimentzufuhr folgt eine automatische Einengung und Begradigung des Flusses. Durch die Beeinträchtigung der Anlandungsprozesse können Seitenerosion und Morphodynamik eingeschränkt werden.

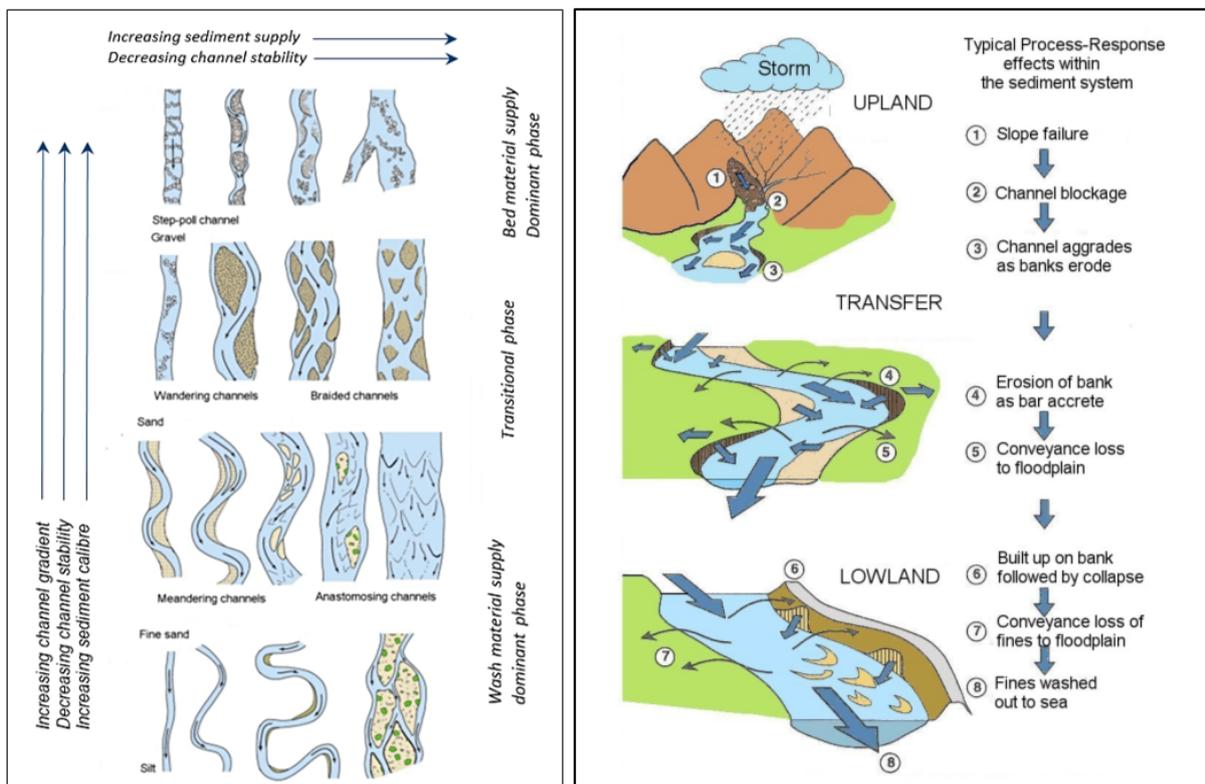


Abbildung 2 a Abhängigkeit der Flussmorphologie von Sedimentmerkmalen, einschließlich der Sedimentzufuhr (Church, 2006); b) Typische Prozess-Reaktions-Effekte innerhalb eines fluvialen Sedimentsystems (Sear und Newson, 1993)

Typische Prozess-Reaktions-Effekte, die innerhalb eines Sedimentsystems auftreten, sind in Abbildung 2b dargestellt. Ein großer Sedimenteintrag durch Hangrutschung (1) aus dem Oberlauf kann das Gerinne blockieren (2). Weiter flussabwärts kommt es zu Auflandungen im Gerinne und die Ufer erodieren, was zu einer Aufweitung des Gerinnes führt (3). Im mittleren Abschnitt nehmen Sand- und Kiesbänke zu und führen zu Ufererosion (4) und zum Austrag

von Feinsedimenten durch Vorlandüberflutung (5). Im unteren Abschnitt häufen sich Sedimente an den Ufern an und werden durch Erosion und Uferabbrüche wieder in das Gerinne eingetragen und bilden Inseln/Kies- Sandbänke (6). Außerdem werden Feinsedimente in die Vorländer ausgetragen (7) und werden ins Meer gespült (8).

2.2 Das Abfluss- und Sedimentregime

Die Wechselwirkung bzw. die Rückkopplung zwischen Strömungs- und Sedimentdynamik in einem geomorphologischen Umfeld führt zur Entstehung verschiedener Flusstypen mit charakteristischen Grundrissen, Querschnitten, Gradienten, Sedimentzusammensetzungen, Gerinnerauigkeiten oder Sedimenttransportmerkmalen, um nur einige zu nennen.

Lane (1955) schlug eine verallgemeinerte Beziehung vor, die in Abbildung 3 veranschaulicht wird und die Strömungs- und Sedimentinteraktionen zeigt, die das erosive und anlandende Gleichgewicht eines Flusses diktieren. Die Beziehung $Q_s d_{50} \propto Q_w S$ zeigt die Proportionalität zwischen der Sedimentfracht (Q_s), dem Abfluss (Q_w), der Korngröße (d_{50}) und dem Sohlgefälle (S).

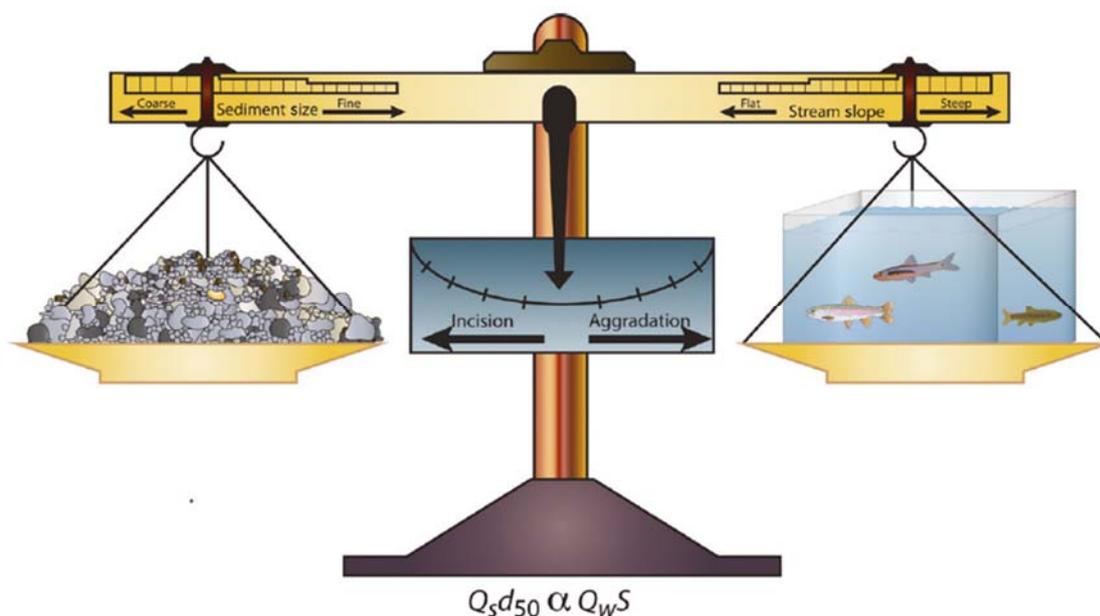


Abbildung 3 Beziehung zwischen den grundlegenden Variablen, die die physikalischen Prozesse in Flüssen bestimmen (Pollock et al., 2014, adaptiert nach Lane, 1955)

Wenn sich die in Abbildung 3 dargestellten Maßstäbe ändern, passt sich jede beliebige Flussstrecke an einen neuen Zustand an, und im Laufe der Zeit führen diese Anpassungen zu Veränderungen der morphologischen Merkmale des Flusses und seines Gefälles, der Zusammensetzung von Flussbett und Ufern sowie des Volumens und der Größe der transportierten Sedimente.

Die wichtigsten Faktoren, die die Stabilität eines Gerinnes über einen bestimmten Zeitraum (Jahre, Jahrzehnte) bestimmen, sind der für den Sedimenttransport verfügbare Abfluss und die Sedimentzufuhr. Wenn sich also die Wasser- und/oder Sedimentzufuhr ändert, ist die Morphologie eines Gerinnes in der Regel erheblichen Veränderungen unterworfen. Das Ausmaß dieser Veränderungen hängt von der Veränderung des Angebots (Menge und Größe) aus Quellgebieten wie Zuflüssen, Hängen, stromauf gelegenen Teilen des Flusses selbst ab. In seinem Konzept der Flussmetamorphose beschrieb Schumm (1977) die möglichen Auswirkungen auf die kurzfristige Gerinnestabilität aufgrund von Veränderungen des Abfluss- und Sedimentregimes. Die Auswirkungen auf die Morphologie des Gerinnes aufgrund von Änderungen des Abfluss- und/oder Sedimentregimes sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Geomorphologische Auswirkungen von Veränderungen des Strömungs- und Sedimentregimes, die zu einer Flussmetamorphose führen (Schumm, 1977)

Änderung	Sohlmorphologie	Änderung	Sohlmorphologie
$Q_s + Q_w =$	Anlandung, instabilität, Breiteres Gerinne und flacheres Gerinne	$Q_s + Q_w -$	Anlandung
$Q_s - Q_w =$	Eintiefung, instabilität, Schmäleres Gerinne und tieferes Gerinne	$Q_s + Q_w +$	Intensität der Prozesse erhöht
$Q_s = Q_w +$	Eintiefung, instabilität, Breiteres Gerinne und tieferes Gerinne	$Q_s - Q_w -$	Prozesse mit verminderter Intensität
$Q_s = Q_w -$	Anlandung, instabilität, Schmäleres Gerinne und flacheres Gerinne	$Q_s - Q_w +$	Eintiefung, instabilität, Tieferes, breiteres? Gerinne

Q_s Sedimentaustrag; Q_w Abfluss; + Erhöhung; - Abnahme; = gleichbleibend;
? Unsichere Auswirkung.

Die Wechselwirkungen zwischen dem Abfluss und dem Sedimenttransport (Geschiebe und Schwebstoffe) innerhalb der Randbedingungen eines Flusses erzeugen die Charakteristika der Gerinnemorphologie in nicht eingegengten Flüssen. Das Gleichgewicht zwischen Wasser- und Sedimenteinträgen steuert die Anlandungs- oder Eintiefungstendenz im Gerinne. Beide Eingangswerte, d.h. Wasser und Sediment, sind zeitlich stark variabel.

Das Sedimentbudget vergleicht den Ein- und Austrag von Sedimenten in einer Flusstrecke, den Austausch des mobilen Sediments mit den im Flussbett, am Ufer, in den Kies- und Sandbänken und in der Au gespeicherten Sedimenten. Darüber hinaus werden auch Baggerungen und Zugaben von Sedimenten sowie Einträge durch Nebenflüsse berücksichtigt. Das Budget stellt einen organisatorischen Rahmen für die verschiedenen Komponenten des Sedimentregimes dar (Wohl et al., 2015) und hilft festzustellen, ob es ausgeglichen oder unausgeglichen ist (Nettoüberschuss oder Nettodefizit).

- Sedimentgleichgewicht: der Sedimenteintrag in einen Flussabschnitt und über einen bestimmten Zeitraum ist gleich dem Austrag
- Sedimentdefizit: es werden mehr Sedimente aus einem Flussabschnitt abtransportiert als von flussaufwärts zugeführt wird
- Sedimentüberschuss: der Sedimenteintrag von flussauf übersteigt die Transportkapazität

Änderungen im Sedimentregime können relativ schnelle Auswirkungen auf die Morphologie von Gerinnen haben, insbesondere bei Hochwasser und als Folge davon auch auf damit verbundene Ökosysteme und menschliche Nutzungen. Ökologische Prozesse reagieren in der Regel schneller als morphologische Prozesse, so dass kurzfristige Verbesserungen des Ökosystems möglicherweise kein Indikator für den mittel- bis langfristigen Erfolg z.B. von Flussrenaturierungen oder Änderungen der Sedimentmanagementpläne sind. Bewertungen des Sedimentbudgets sind sehr wichtig, um den geomorphologischen Zustand von Flüssen zu diagnostizieren und den potenziellen Erfolg von Renaturierungsmaßnahmen zu beurteilen (Habersack et al., 2019a), um Strategien für das Sedimentmanagement zu planen, um Veränderungen, die sich aus einem veränderten Sedimentmanagement ergeben, vorherzusagen oder um zukünftige Auswirkungen zu bewerten.

2.3 Sedimentbezogene Prozesse, die zu Problemen führen

Es ist eindeutig, dass eine Kausalkette vom Sedimenttransport bis zur Flussmorphologie besteht, und somit ist klar, dass ein ausgeglichener Sedimenthaushalt eine Voraussetzung für die Morphodynamik eines Gewässers und ein funktionierendes Flusssystem ist. Darüber hinaus besteht kein Zweifel, dass ein unausgewogenes Sedimentregime und eine gestörte Morphodynamik weitreichende Folgen und negative Auswirkungen auf eine Vielzahl von Faktoren wie Grundwasserspiegel, Lebensräume, Uferstabilität, Fahrwassertiefe usw. haben kann. Beispielsweise sind Morphodynamik und Habitatdynamik eine Voraussetzung für eine

gute Habitatqualität und beeinflussen somit direkt den ökologischen Zustand. So ist die Verbindung zwischen Sedimenten und aquatischer Artenvielfalt durch die Bereitstellung von Lebensräumen, Laichplätzen usw. gegeben. Neben dem Risiko, den guten ökologischen Zustand nicht zu erreichen, gefährdet ein unausgewogenes Sedimentregime auch andere Bereiche wie die Schifffahrt, den Hochwasserschutz und die Wasserversorgung. Abbildung 4 und Abbildung 5 geben einige Beispiele dafür, wie Sedimentüberschuss und -defizit sowie damit zusammenhängende Prozesse zu Problemen führen und die Risiken in verschiedenen Sektoren erhöhen können.

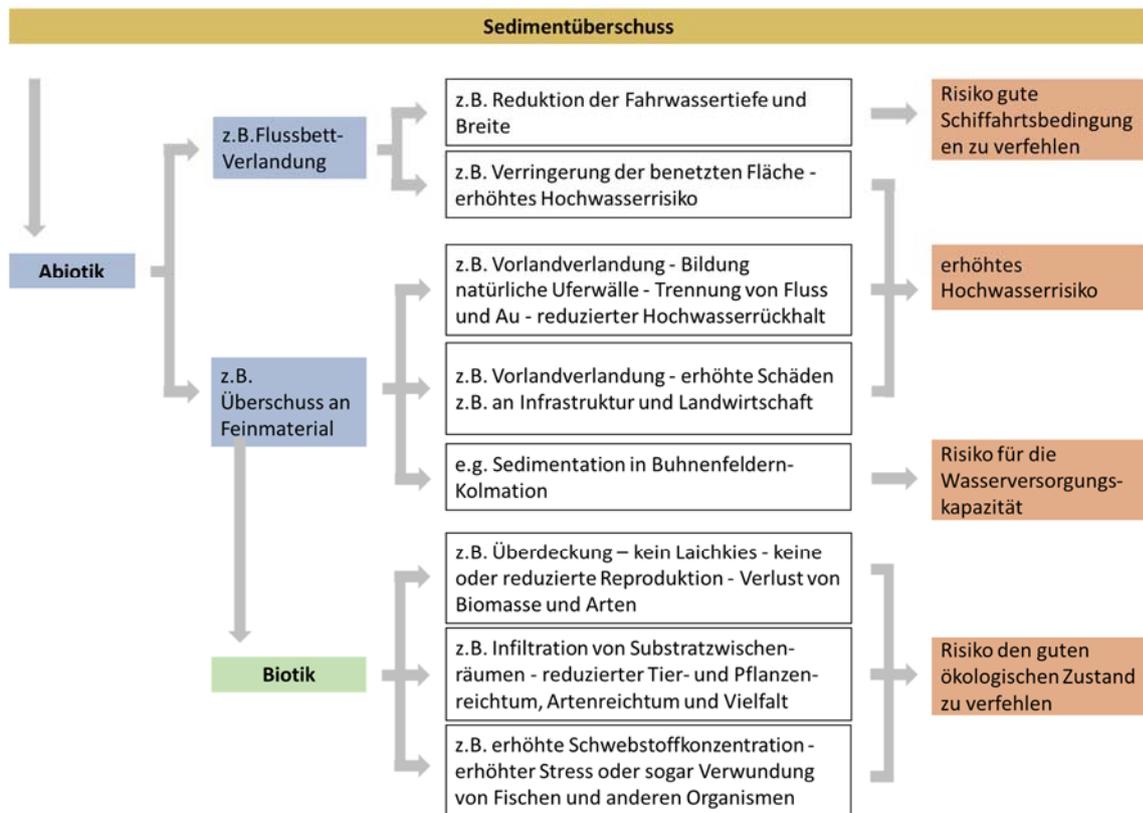


Abbildung 4 Beispiele für Probleme und Risiken im Zusammenhang mit Sedimentüberschuss

Daher ist ein ausgewogenes Sedimentregime, in dem ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Sedimentation und Erosion besteht, von größter Bedeutung. Dem Flusstyp entsprechende natürliche Sohlformen und Sohlmaterial sollten zur Verfügung gestellt werden. Ein ausgeglichenes Sedimentregime sowie eine verbesserte Morphodynamik sind vorteilhaft für typgerechte aquatische Gemeinschaften und wasserabhängige terrestrische Ökosysteme (Habersack et al., 2019b). Darüber hinaus ist ein ausgewogenes Sedimentregime wichtig, um das Hochwasserrisiko zu verringern, guten Schifffahrtsbedingungen zu erreichen oder die (Trink-)Wasserversorgung sicherzustellen.

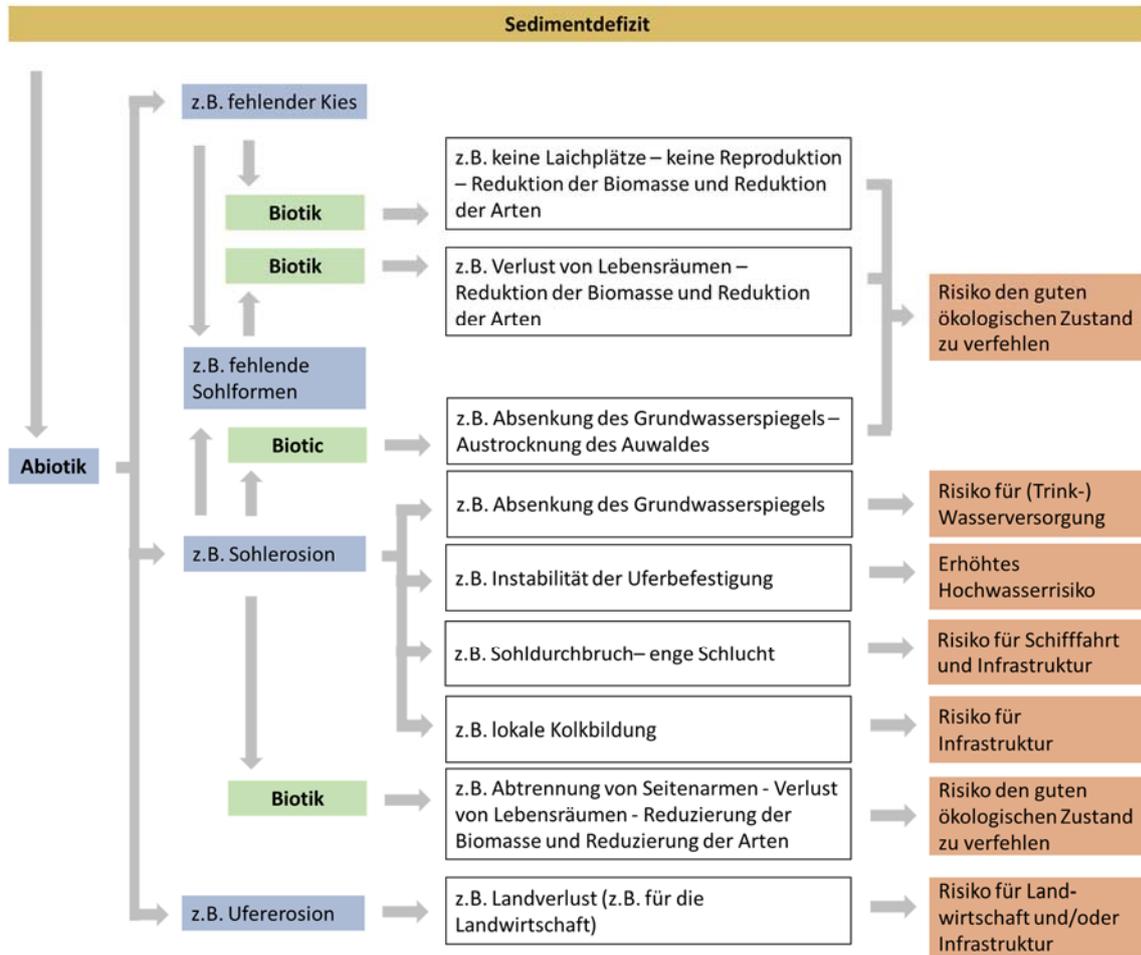


Abbildung 5 Beispiele für Probleme und Risiken im Zusammenhang mit Sedimentdefizit

3 Beschreibung der Projektgebiete in AT & HU

Im Folgenden wird eine Beschreibung der österreichischen und ungarischen Projektstrecken an der Donau mit Schwerpunkt auf sedimentologische und hydromorphologische Unterschiede und Ähnlichkeiten gegeben.

3.1 Hydromorphologische und sedimentologische Charakterisierung

Historisch gesehen deckte ein verzweigter Hauptflusstyp mit mehreren durchflossenen Armen (multi-thread anabranching) den größten Teil der österreichischen und ungarischen Donau ab (Abbildung 6). In Österreich wurde dieser Flusstyp mit hoher Strömungsenergie nur durch kurze Abschnitte in den Durchbruchstätern mit einem gerade/gewunden Flusstyp mit nur einem durchflossenen Gerinne (confined single-thread – straight/sinuuous) unterbrochen. Im slowakisch-ungarischen Grenzabschnitt war auch der verzweigte Flusstyp mit mehreren durchflossenen Armen (multi-thread anabranching, high energy) vorhanden, gefolgt von einer kurzen Übergangsstrecke mit pendelnd-migrierendem Charakter (transitional wandering). Im anschließenden ungarischen Teil der Donau dominierten Flusstypen mit niedriger Strömungsenergie, die nur von einem kurzen Flussabschnitt mit gerade/gewunden Charakter und mit nur einem durchflossenen Gerinne (confined single-thread – straight/sinuuous) unterbrochen wurde. Im unteren Teil der ungarischen Donau war vorrangig ein mäandrierender Flusstyp (single-thread meandering) zu finden.

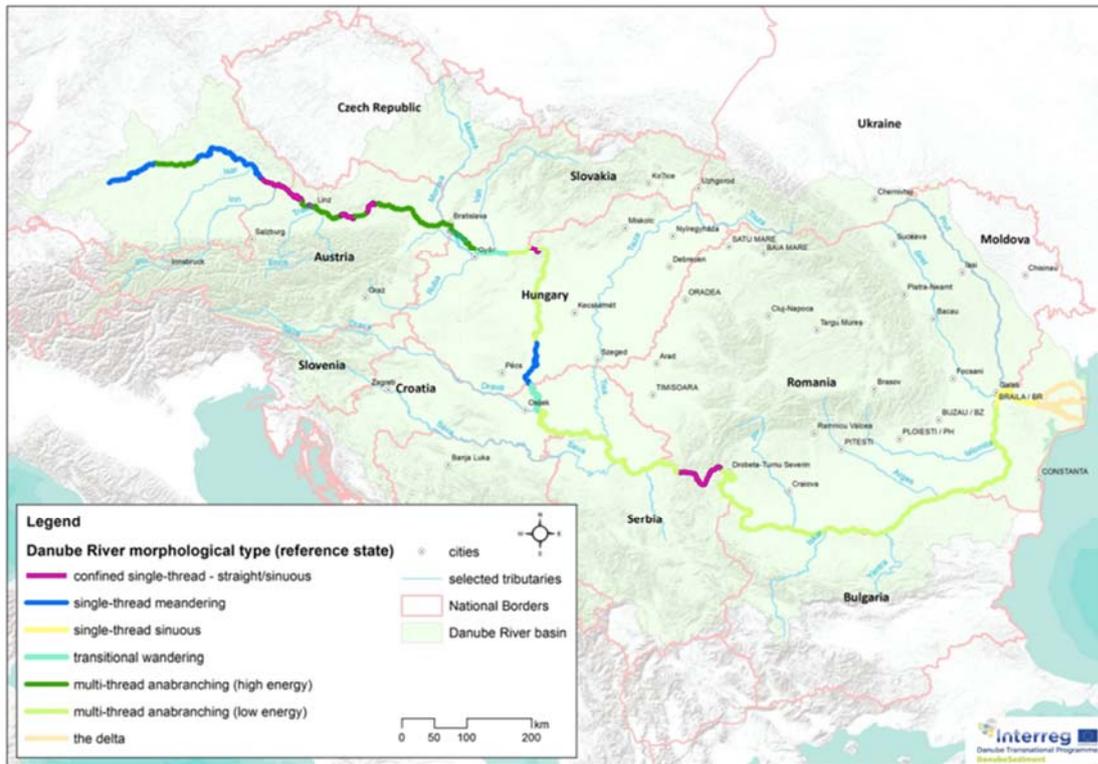


Abbildung 6 Morphologische Typen der Donau (Referenzzustand) (DanubeSediment, 2019a)

Heute sind in der österreichischen und ungarischen Donau große Teile der ehemals komplexen Flussmorphologie mit mehreren durchflossenen Armen, sich verzweigenden und mäandrierenden Flusstypen zu einem gewundenen Flusstyp mit nur einem Gerinne verändert worden. Der Fluss ist nun in zwei klar unterscheidbare Einheiten unterteilt: Fluss und Vorland, wobei die Auen in beiden Ländern drastisch reduziert wurden. Infolgedessen kommt es zu verschiedenen Formen der Sohleintiefung und natürlich entstandene Sedimentbänke, Inseln, Seitenarme und Altarme wurden in den frei fließenden Abschnitten drastisch reduziert oder sind verschwunden.

Bei Gönyű (Strom-km 1.790) liegt die natürliche Grenze zwischen der Oberen und der Mittleren Donau. Hier ändert sich das Gefälle des Flussbettes signifikant von 0,35 ‰ auf 0,05 ‰ (Abbildung 7). Das bedeutet, dass das freie Wasserspiegelgefälle und damit auch die kinetische Energie und die Sedimenttransportkräfte abnehmen, was stellenweise zu erheblichen Sedimentablagerungen führt. Historisch gesehen änderte sich hier - stromab der Gefälleänderung - das verzweigte Flusssystem in einen pendelnd-migrierenden Flusslauf (transitional wandering) (Abbildung 6).

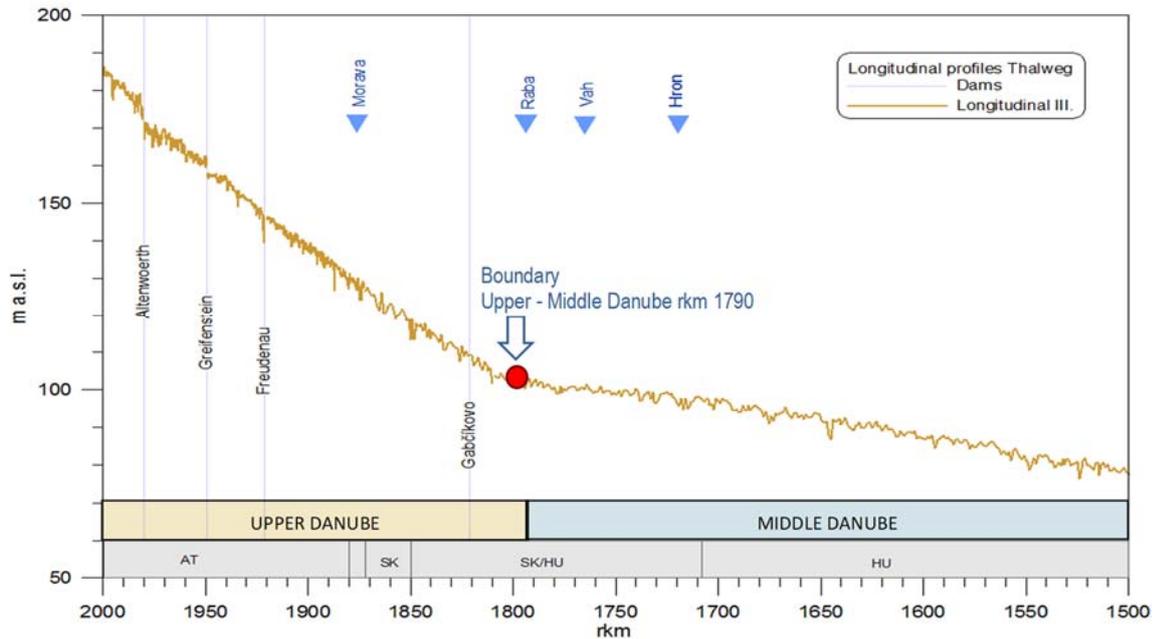


Abbildung 7 Das Längsprofil der Donau zwischen Strom-km 2.000 und Strom-km 1.500 und die Grenzen zwischen oberer und mittlerer Donau (DanubeSediment, 2019a)

Die Veränderung des Gefälles geht allmählich mit einer Veränderung der Kornzusammensetzung des Flussbettes einher. Die österreichische Donau östlich von Wien ist kiesdominiert, mit einem mittleren Korndurchmesser d_{50} von 21 - 23 mm. In Ungarn ändert sich die Donau von einem Kiesbett- zu einem Sandbettfluss, wobei die größte Veränderung innerhalb der Übergangszone zwischen Strom-km 1.660 und Strom-km 1.420 stattfindet. Die mittlere Korngröße d_{50} variiert entlang des Kiesbettabschnitts der mittleren Donau zwischen etwa 4 mm und 30 mm, entlang der Übergangszone variiert der d_{50} in einem breiteren Bereich von 0,3 mm bis 12 mm und entlang des Sandbettabschnitts zwischen 0,18 mm und 0,6 mm (DanubeSediment, 2019a)

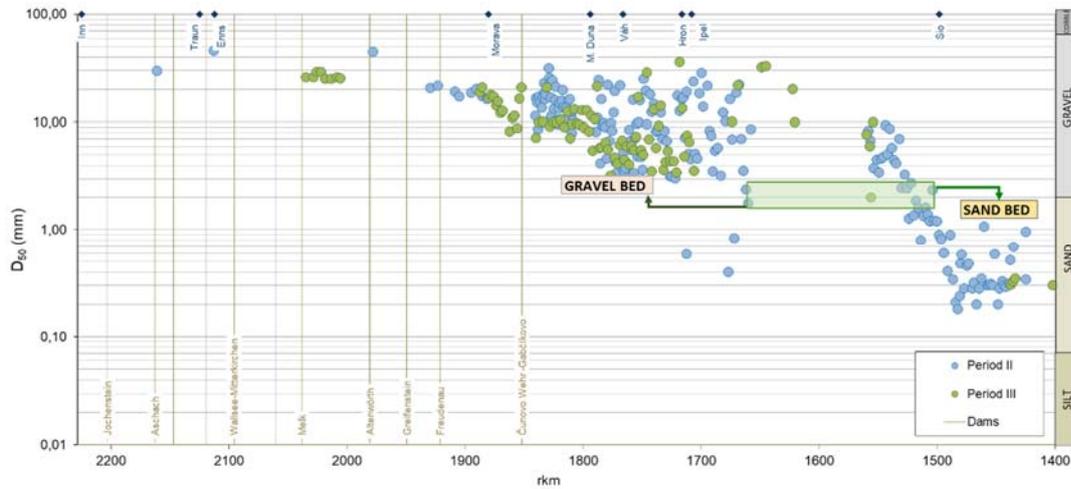


Abbildung 8 Veränderung der mittleren Korngröße d_{50} (Oberflächenschicht) über drei Perioden (II: 1971-1990; III: 1991-2016) entlang der österreichisch-ungarischen Donau (modifiziert nach DanubeSediment, 2019a)

3.2 Flussbau

Die Donau wurde zur Verringerung des Hochwasserrisikos, zur Verbesserung der Bedingungen für die Binnenschifffahrt, durch den Bau von Wasserkraftwerken (Habersack et al., 2016) sowie zur Gewinnung neuer Flächen für Besiedlung und landwirtschaftliche Entwicklung (Hein et al., 2016) verändert. Mit Beginn des 19. Jahrhunderts wurde in weiten Teilen der Donau mit systematischen Flussregulierungen für Hochwasserschutz und Binnenschifffahrt begonnen. Infolgedessen wurde die Morphologie des Flusses, wie in Abbildung 9 für den Bereich östlich von Wien (Franzische Landesaufnahme) und bei Gönyü (Franzisco-Josephinische Landesaufnahme) dargestellt, stark verändert.

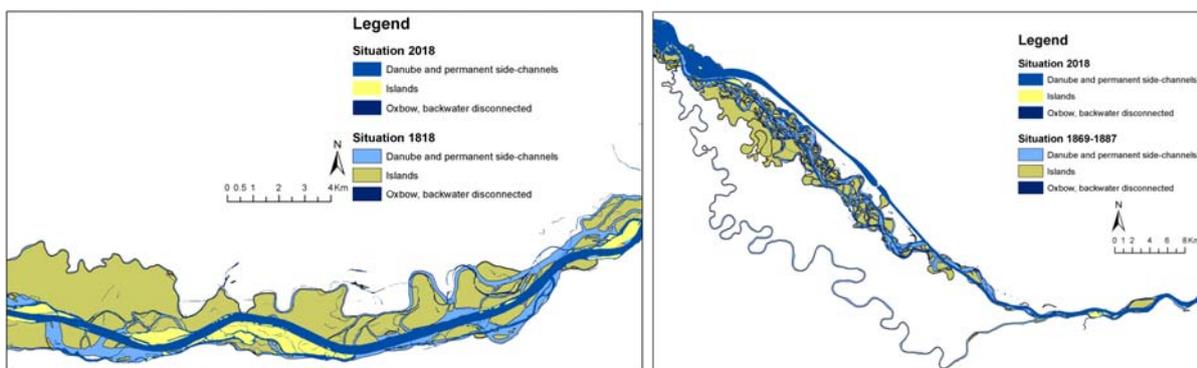


Abbildung 9 Vergleich der historischen und aktuellen Grundrissform der Donau in ausgewählten Abschnitten: links: Östlich von Wien - AT, rechts: bei Gönyü - SK/HU, (modifiziert nach DanubeSediment 2019a)

Vor 1850 wurden an der österreichischen Donau nur lokale Maßnahmen für den Hochwasserschutz und für die Schifffahrt durchgeführt, die keine größeren Auswirkungen auf die Morphologie des Flusses hatten. In den folgenden Jahrzehnten wurde die Flussregulierung von lokalen Maßnahmen auf einen überörtlichen Maßstab ausgedehnt. Zwischen ca. 1850 und 1950 wurde die systematische Mittel- und Niederwasserregulierung für Hochwasserschutz und Binnenschifffahrt realisiert, was zu großen Veränderungen der Flussmorphologie und des Sedimentregimes führte. Hier verursachte die Mittelwasserregulierung die signifikantesten Veränderungen, was dazu führte, dass die Donau auf ein einzelnes Gerinne mit stabilisierten Ufern eingeeengt wurde.

Im Bereich des Hochwasserschutzes wurde die Donau so reguliert, dass die Überflutungsflächen vor Hochwasserereignissen mit einem Wiederkehrintervall von bis zu 100 Jahren geschützt sind (DanubeFloodplain, 2013). Die Verringerung und Abwertung der Überflutungsflächen minderte deren Rückhaltekapazität und änderte damit die Häufigkeit und Dauer von Hochwasserereignissen (Habersack et al., 2016). Große Überflutungsgebiete wurden durch Flussregulierungen oder Hochwasserschutzmaßnahmen beeinträchtigt. So wurde beispielsweise in Ungarn eine Fläche von nicht weniger als 3,7 Millionen Hektar durch Dämme abgeschnitten (ICPDR, 2020).

Vor allem an der Oberen und Mittleren Donau, zu der auch DE und die Grenzstrecken SK und SK-HU gehören, wurde die Breite der Donau und ihrer Überflutungsflächen drastisch reduziert. An der österreichischen Donau wurde die Gesamtbreite im Durchschnitt um 42% (die aktive Breite um 24%), im slowakisch-ungarischen Grenzabschnitt um 48% (die aktive Breite um 39%) und an der ungarischen Donau um 40% (die aktive Breite um 23%) verringert. Der Bau von Regulierungsmaßnahmen wie Leitwerken und Buhnen verringerte die Breite bei niedrigeren Wasserständen zusätzlich. (Abbildung 10).

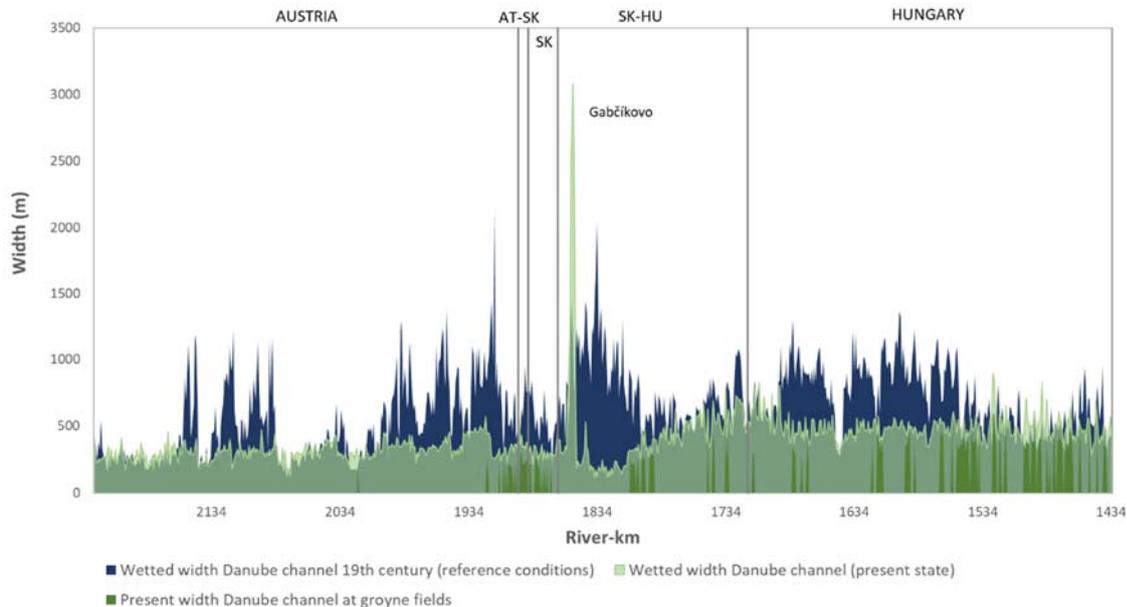


Abbildung 10 Änderung der Gewässerbreite der österreichischen und ungarischen Donau: 19. Jahrhundert und aktuelle Situation (modifiziert nach DanubeSediment, 2019a)

3.3 Schifffahrt

Die Schifffahrt ist für die Donau von großer Bedeutung und wird seit 1856 von einer internationalen Kommission und seit 1948 von der Donaukommission geregelt. Das Übereinkommen über die Regelung der Schifffahrt auf der Donau ("Belgrader Übereinkommen") gewährleistet die freie Schifffahrt auf der Donau für alle Handelsschiffe, die unter der Flagge aller Nationen fahren (viadonau, 2019). Von Sulina bis Kelheim, dem Ende der Donau als deutsche Bundeswasserstraße, stehen 2415 Stromkilometer oder rund 85% der Donau für den internationalen Gütertransport auf der Wasserstraße zur Verfügung (viadonau, 2019).

Der gesamte Güterverkehr auf der gesamten Donau beläuft sich auf ca. 79,5 Millionen Tonnen jährlich, bezogen auf den Donau-Schwarzmeer-Kanal. Diese Zahlen beinhalten Transitverkehr und Massengüter, es gibt jedoch keine separate Schätzung für diese Kategorien. Österreich gehört neben Rumänien und Serbien zu den Ländern mit der höchsten auf der Donau transportierten Tonnage (ICPDR, 2015). Im langjährigen Durchschnitt werden auf der österreichischen Donau jährlich rund 10 Millionen Tonnen Güter transportiert. Rund ein Drittel dieser Güter sind Erze und Almetalle, während Mineralölprodukte, land- und forstwirtschaftliche Produkte jeweils rund ein Achtel der transportierten Güter ausmachen (viadonau, 2019). In Ungarn haben landwirtschaftliche Produkte den höchsten Anteil am Transport in der Binnenschifffahrt, gefolgt von Erzen und Roheisen für die Eisen- und Stahlindustrie sowie Eisen- und Stahlprodukten (Scholten und Rothstein, 2016).

Im Donauroaum schränken mehrere Faktoren die Binnenschifffahrt ein, z.B. die Größe und Kurvenradien der Fahrrinne und die Höhe der Brücken begrenzen den Wasserstraßenverkehr auf der Oberen Donau. Andere Faktoren sind die so genannten "Nadelöhre" mit schwierigen Schifffahrtsbedingungen. Niedrige Wasserstände haben zwar entlang des gesamten Flusses Auswirkungen auf die Binnenschifffahrt, am stärksten sind diese jedoch an den Nadelöhen. An diesen Engpässen ist das Wasser dann besonders niedrig (z.B. durch Felsformationen an der Gewässersohle). Mehrere Nadelöhre finden sich sowohl in Österreich als auch in Ungarn, wo die für den guten Schifffahrtszustand erforderliche Mindestfahrwassertiefe von 2,5 m (Muilerman et al., 2018) bei Niederwasser nicht erreicht wird (Scholten und Rothstein, 2016).

3.4 Wasserkraft

Das natürliche Gefälle des Flusses macht die Obere Donau für den Bau von Wasserkraftwerken attraktiv (Bachmann, 2010). Entlang des österreichischen Abschnittes der Donau existiert eine Kette von Wasserkraftwerken, bestehend aus zehn Kraftwerken (einschließlich des KW (Kraftwerk) Jochenstein an der DE-AT-Grenze) (Abbildung 11). Von diesen zehn Kraftwerken wurden neun zwischen 1955 (KW Jochenstein) und 1984 (KW Greifenstein) in Betrieb genommen, das KW Freudenuau wurde im November 1997 fertiggestellt. Die Länge der Stauräume variiert zwischen 16 und 41 km (VHP, 2013). Rund 78% der Donau in Österreich sind gestaut, während nur 22% oder 77 km frei fließende Abschnitte sind (NEWADA duo, 2014). In Österreich stammen rund 34% der jährlich erzeugten Elektrizität aus Wasserkraftwerken entlang der Donau (Wagner et al., 2015).

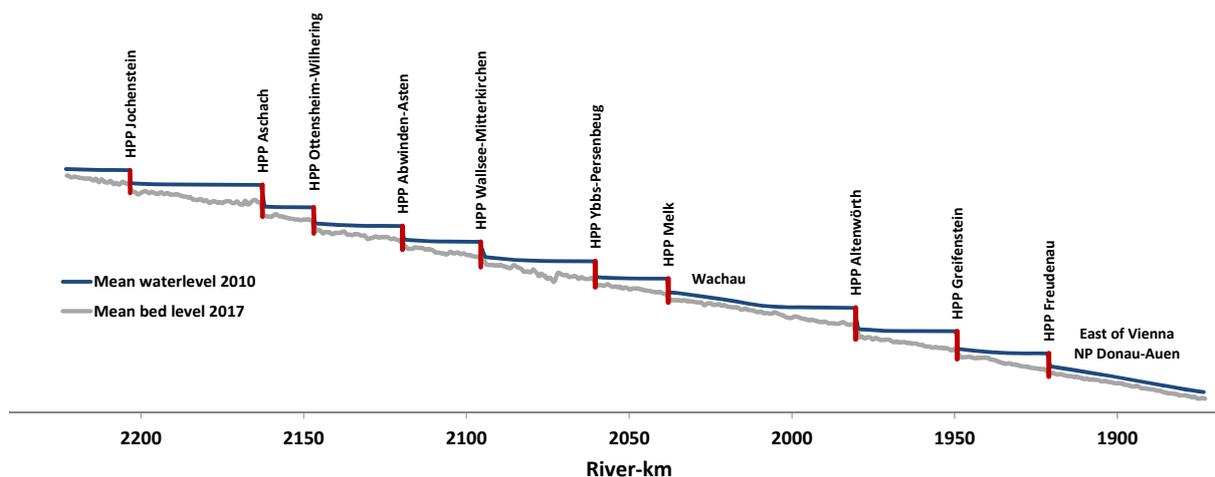


Abbildung 11 Die Donau in Österreich: Standorte der Wasserkraftwerke und der freien Fließstrecken Wachau und östlich von Wien (Sohlhöhen: VHP und viadonau; Wasserstände und Standorte der Wasserkraftwerke: Viadonau (2012))

Am unteren Ende der Oberen Donau wurde in der Slowakei das KW Gabčíkovo errichtet und 1992 in Betrieb genommen. Das KW Gabčíkovo wurde an einem Ausleitungskanal gebaut, wodurch nur ein reduzierter, weitgehend gleichmäßiger Abfluss von etwa 400-600 m³/s im alten Flusslauf der Donau verbleibt. Dadurch wurde die Donau wesentlich verändert und die Strömungsverhältnisse sowie die Sedimentbilanz stark beeinflusst. Die Fläche des Stausees Čunovo beträgt 40 km² und befindet sich ausschließlich auf der slowakischen Seite. Der Stauraum hat eine Länge von mehr als 120 km. Die Grobsedimente (Geschiebe) werden im oberen Stauraum (Strom-km 1.873-1.758) und die Feinsedimente (Schwebstoffe, d.h. Sand, Schluff und Ton) innerhalb des Stausees (Strom-km 1.758- 1.751,75) und des Zulaufkanals abgelagert. Die Unterbrechung der Sedimentkontinuität durch ein Wehrsystem bei Čunovo und dem KW Gabčíkovo hat zu Sedimentdefiziten in den stromab gelegenen Abschnitten geführt.

3.5 Andere relevante Faktoren

3.5.1 Baggerungen

In der Vergangenheit wurden Baggerarbeiten häufig aus kommerziellen Gründen durchgeführt, um Rohmaterial für die Bauindustrie (Gebäude, Straßen, Infrastruktur usw.) zu gewinnen (Habersack et al., 2019c). Zwischen 1971 und 2016 beläuft sich das Baggervolumen in der Donau im Abschnitt von Österreich nach Ungarn (inkl. slowakischer Grenzabschnitte) auf insgesamt ca. 110 Mio. m³, wobei der größte Teil in der ersten Hälfte dieses Zeitraums gebaggert wurde (Abbildung 12). Ein beträchtlicher Teil dieser Sedimente wurde für kommerzielle Zwecke genutzt. In einigen Teilen der Slowakei und Ungarns überstiegen die Baggermengen sogar die von stromauf eingetragene Geschiebemenge. Die entnommenen Sedimente bestehen hauptsächlich aus Geschiebe, das bereits durch Kontinuumsunterbrechungen im Fluss erheblich beeinflusst wird (Habersack et al., 2019c). Heutzutage werden Baggerarbeiten hauptsächlich für den Hochwasserschutz und für die Schifffahrt durchgeführt, und die Sichtweise auf die Baggerarbeiten hat begonnen, sich zu ändern. Beispielsweise wurden zwischen 1996 und 2005 30 % des gebaggerten Materials aus der österreichischen Donau entnommen, seit 2006 wird jedoch die gesamte Menge an Baggergut wieder in das Hauptgerinne eingebracht (Habersack et al., 2019c). In Österreich und Ungarn wird kommerzielles Baggern (von Kies) nicht mehr durchgeführt/erlaubt.

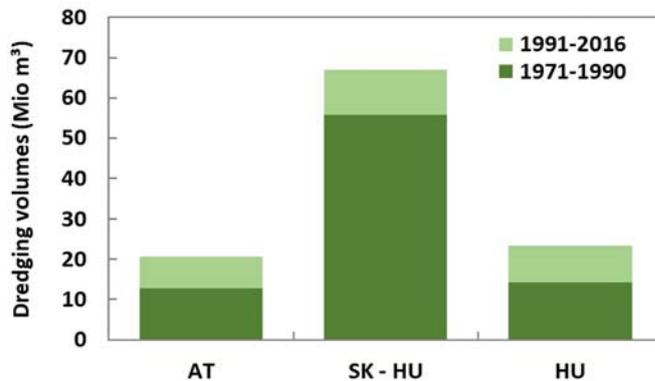


Abbildung 12 Baggervolumen getrennt nach Ländern und in zwei Zeiträume

3.5.2 Wasserversorgung

Im Einzugsgebiet der Donau verwenden viele Wasserwerke entlang der Donau und ihren Nebenflüsse am Ufer gefiltertes Wasser für die Trinkwasserversorgung von Haushalten, die Industrie und die Bewässerung (Natchkov, 1997). In Österreich stammt nur ein kleiner Teil der Wasserversorgung aus Uferfiltrat aus der Donau, z.B. werden ca. 5% des Wiener Wassers aus Grundwasser einschließlich Uferfiltrat aus der Donau gewonnen (Vienna Water, 2020). Einige der wichtigsten Grundwasserspeicher im Osten Österreichs befinden sich an der Donau östlich von Wien: das Marchfeld auf der linken Uferseite, das Gebiet bei Haslau und das Gebiet bei Petronell, beide auf der rechten Uferseite. Hier werden die Grundwasservorkommen hauptsächlich für die landwirtschaftliche Bewässerung, für Trinkwasser und als Brauchwasserversorgung genutzt (Donauconsult, 2006). In Ungarn hingegen wird ein hoher Prozentsatz von 95% des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen (MTA, 2017). Uferfiltrat spielt eine wichtige Rolle und ist Quelle für 40% der Trinkwasserversorgung und für das Trinkwasser fast aller Bürger Budapests. Das dafür verwendete Brunnensystem befindet sich vor allem entlang des oberen und mittleren Abschnitts der Donau, wo Kies und Sand das Flussbett kennzeichnen.

4 Probleme entlang der Projektstrecken der Donau in Österreich und Ungarn

4.1 Obere Donau (Österreich)

4.1.1 Probleme im Zusammenhang mit dem Flussbau

4.1.1.1 Hochwasserschutz

Der Oberlauf der Donau und weite Teile der mittleren Donau wurden durch bauliche Maßnahmen vor Hochwasser geschützt, was sich auf die Hydromorphologie des Flusses ausgewirkt hat. So haben klassische Hochwasserschutzmaßnahmen wie Dämme zu einer Entkopplung des Flusses von der Au und zu einer Abtrennung von Seitenarmen und damit zu einer Verringerung des Hochwasserrückhaltevolumens geführt (Abbildung 13). Weitere Folgen waren eine Verringerung der Flusslänge und -breite, die zu erhöhten Fließgeschwindigkeiten und damit zu erhöhten Sohlschubspannungen und zur Erosion des Flussbettes führten (Habersack et al., 2015; Habersack et al., 2016).

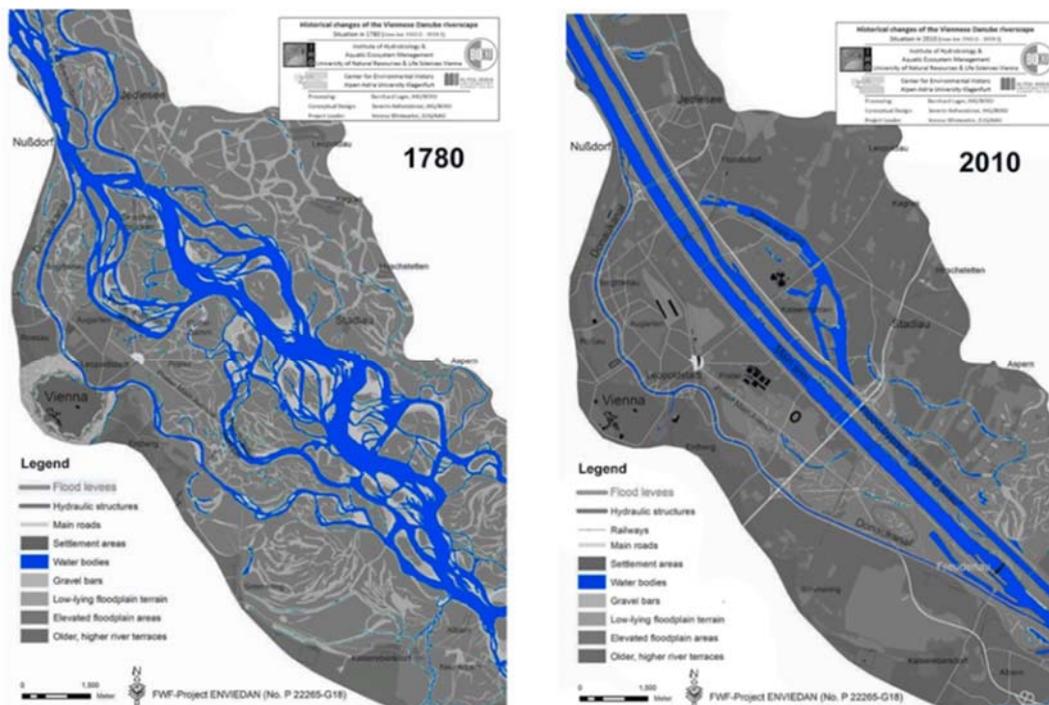


Abbildung 13 a) Darstellung der Wiener Donau von 1780 und b) nach anthropogenen Veränderungen im heutigen Zustand (modifiziert nach Hohensinner & Schmidt, 2012)

4.1.1.2 Regulierungsbauwerke

Flussbauliche Maßnahmen wie Buhnen und Leitwerke dienen der Verbesserung der Schifffahrtsbedingungen (z.B. zur Sicherstellung einer ausreichenden Wassertiefe) und dem Schutz der Ufer vor Erosion, jedoch beeinflussen sie auch die Hydro- und Morphodynamik innerhalb einer Flussabschnitts erheblich. Der Bau von Buhnen und Leitwerken führt zu einer

relativ tiefen Fahrrinne und einem fixierten Verlauf des Flusses, sowie einer Unterbindung seitlicher Morphodynamik. Dies führt zu einer verstärkten Erosion der Gewässersohle im Hauptgerinne, während die Bühnenfelder einer Sedimentablagerung ausgesetzt sind (Habersack et al., 2016; Glas et al., 2018; Ten Brinke et al., 2004).



Abbildung 14 Orthogonale Bühnen bei Mittelwasser (als Folge der Sohlerosion) (Habersack et al., 2012)

4.1.1.3 Sohleintiefung

Stauräume in der Oberen Donau beeinflussen das Sedimentkontinuum flussabwärts erheblich. Durch flussaufliegende bauliche Maßnahmen, wie Wildbachverbauungen im Einzugsgebiet und Wasserkraftwerke, wird fast kein Geschiebe in den Abschnitt der Donau östlich von Wien transportiert. Das daraus resultierende Geschiebedefizit führt zu erheblichen Eintiefungen der Gewässersohle (Abbildung 15a). Trotz einer Geschiebezufuhr von 186000 m³/a in den Jahren 1996 bis 2017 (mittlerweile auf 235000 m³/a erhöht) kommt es nach verschiedenen Autoren in der Projektstrecke zu einer Erosion von ca. 1 - 2 cm pro Jahr mit einem Trend der Verlangsamung durch ein geändertes Baggermanagement der viadonau (Pessenlehner, 2016). Diese Eintiefung erhöht auch das Risiko eines Sohldurchbruchs (z.B. Salzach, Abbildung 15b), der auftreten könnte, wenn die quartären Kiesschichten vollständig erodiert sind und sich die Donau in die darunter liegenden feineren Meeresablagerungen einschneiden könnte, was zur Bildung eines Canyons führen würde (Habersack et al., 2016).

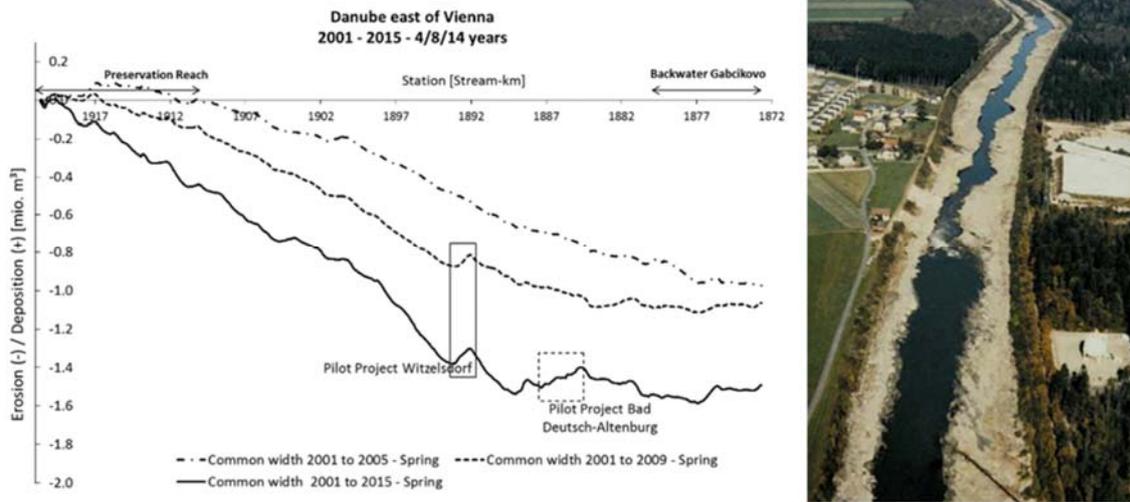


Abbildung 15 a) Kumulierte Sohlvolumenänderung der Donau zwischen dem Wasserkraftwerk Freudenu und der slowakischen Grenze (Strom-km 1920,6 bis 1872,7) für den Zeitraum 2001 bis 2015 (Pessenlehner et al., 2017) b) Sohdurchbruch an der Salzach, Österreich (WRS, 2000)

4.1.1.4 Verminderte Seitenerosion

Eingeschränkte Seitenerosion durch flussbauliche Maßnahmen (z.B. Uferschutz, Flussbegradigung, Dämme) reduziert den seitlichen Sedimenteintrag in die Donau. Zusammen mit einer erhöhten Sedimenttransportkapazität durch eine verringerte Gerinnebreite infolge der Begradigung und Einengung des Flusses, erhöhtem Gefälle und rückschreitender Erosion in Folge einer Sohlenabsenkung zum Hochwasserschutz in der Stadt Bratislava trägt die verminderte Seitenerosion zur Eintiefung des Flussbettes bei (Habersack et al., 2016).

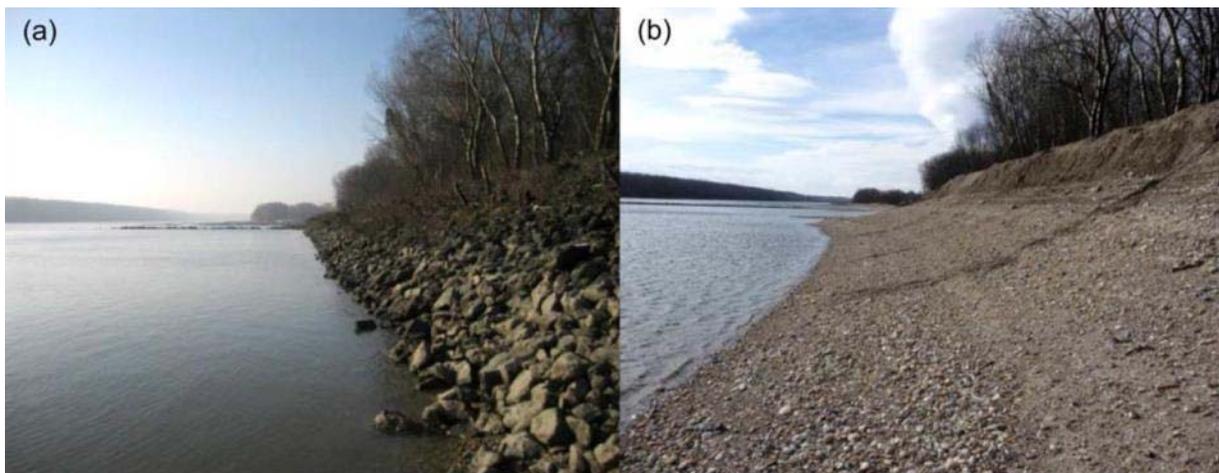


Abbildung 16 Beispiel des linken Donauufers bei Witzelsdorf (Blick flussaufwärts) (a) vor und (b) nach dem Renaturierungsprojekt 2009 (Fotos: viadonau)

4.1.1.5 Entkopplung von Fluss und Au

Der frei fließende Abschnitt der Donau östlich von Wien ist Teil des Nationalparks Donau-Auen, der einem zunehmenden Druck ausgesetzt ist und langfristig gefährdet sein könnte. Flussregulierungsmaßnahmen (z.B. Uferbefestigung, Buhnenbauwerke) und das Geschiebedefizit durch Wildbachverbauungen im Einzugsgebiet und Wasserkraftwerke flussauf des Nationalparks führen zu einer Eintiefung des Flussbettes im Hauptgerinne und zu sinkenden Grundwasserständen. Gleichzeitig ist eine Ablagerung der Feinsedimente im Auenbereich durch die befestigten Ufer zu beobachten, wodurch es zusammen mit der Eintiefung des Hauptgerinnes zu einer Auenentwässerung kommt. Eine Absenkung des Grundwasserspiegels führt zu einer Abnahme bzw. zum Verlust von Feuchtlebensräumen und der entsprechenden Flora und Fauna und kann negative Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung hinsichtlich Menge und Qualität sowie Probleme für landwirtschaftliche Nutzung haben (Habersack et al., 2016; Pessenlehner et al., 2016).

4.1.1.6 Abtrennung von Seitenarmen

Aufgrund der Eintiefung werden das Hauptgerinne der Donau und das Überschwemmungsgebiet nach und nach voneinander abgetrennt. Häufigkeit und Dauer der Zuflüsse in die Seitenarme des Flusses nehmen ab und im Zusammenhang mit der Verlandung verwandeln sich diese Seitenarme in Auenwald oder trocknen aus (Klasz et al., 2013).



Abbildung 17 a) Lage des Johler-Seitenarms bei Hainburg und b) die Situation unterhalb des Mittelwasserstandes vor der Wiederanbindung im Rahmen des Pilotprojektes Bad Deutsch-Altenburg (Fotos mit freundlicher Genehmigung von Nationalpark Donauauen & viadonau)

2.1.1.8 Ökologie

Die Donau östlich von Wien bildete ursprünglich ein verzweigtes, aktives Flusssystem mit einem Hauptgerinne, mehreren Seitenarmen und ausgedehnten Auenwäldern (Hohensinner et al., 2004). Aktuelle und vergangene Flussregulierungsmaßnahmen haben eine stark verminderte Flusssdynamik und Veränderungen der Lebensraumvielfalt bewirkt. Die Größe der

Wasserkörper, die Fläche der Kiesbänke, die Länge der Uferlinien und die Anzahl der Inseln haben dramatisch abgenommen. Darüber hinaus wurden in den letzten Jahren mehrere Barrieren entlang der Donau errichtet. All diese Faktoren stellten für viele Organismen eine große Herausforderung dar. Beispielsweise sind Flussfische während ihres gesamten Lebenszyklus auf eine breite Palette von Lebensräumen angewiesen und die Belastungen durch anthropogene Einflüsse haben zu einer Verringerung des Artenreichtums geführt (Reckendorfer et al., 2005). Die Mehrheit der Fischarten in der Donau steht auf der Roten Liste der gefährdeten Arten. Obwohl der frei fließende Abschnitt flussabwärts von Wien Teil eines Nationalparks ist, haben der Bau von Staudämmen flussauf- und flussabwärts, die Flussregulierung in der Strecke und die teilweise Abtrennung von Seitenarmen und Auen zu ökologischen Defiziten geführt. So sind z.B. die großen diadromen Störe in den oberen Abschnitten der Donau verschwunden, weil ihre Wanderrouten durch stromabwärts gelegene Barrieren blockiert wurden (Keckeis und Schiemer, 2002). Die Fischbiomasse als Indikator für einen guten ökologischen Zustand, der in der EU-Wasserrahmenrichtlinie genannt wird, ist in den letzten Jahren stark zurückgegangen. Von 248,4 kg/ha im Jahr 2007 droht die Biomasse nun unter den Schwellenwert von 50kg/ha zu fallen (Scheiblechner, 2018).

2.1.1.9 Erholung

Verschiedene sedimentbezogene Probleme an der Donau östlich von Wien beeinträchtigen die Erholung oder stellen zumindest eine potentielle Gefahr für die Erholung dar. Die Folgen sinkender Niederwasserstände beeinflussen die Schiffbarkeit dieses Abschnitts (Habersack, 2007; Habersack et al., 2016) und sind daher für den Kreuzfahrttourismus von entscheidender Bedeutung. Darüber hinaus reduziert die Entkopplung von Fluss und Au die Zugänglichkeit für Paddler und führt zusammen mit anderen Faktoren zu einer abnehmenden Fischbiomasse in der Donau östlich von Wien (Scheiblechner, 2018) mit negativen Auswirkungen für die Fischerei.

2.1.1.10 Wasserversorgung

In der Donau östlich von Wien gibt es drei Grundwasserkörper - das Marchfeld auf der linken Uferseite, das Gebiet bei Haslau und das Gebiet bei Petronell, beide auf der rechten Uferseite - die zu den wichtigsten Grundwasserspeichern im Osten Österreichs zählen. In vielen dieser Gebiete werden Grundwasservorkommen sowohl für die landwirtschaftliche Bewässerung (z.B. Marchfeld) als auch für die Trinkwasser- (Wasserwerk Lobau, Stadtgemeinde Schwechat) und Brauchwasserversorgung (OMV, Air Liquid, Borealis, Brauerei Schwechat) intensiv genutzt. Aufgrund dieser hohen wirtschaftlichen Bedeutung (Bewässerung, Trink- und Brauchwasser) und der Rolle der für die Umwelt (Wasserversorgung der Pflanzen, Stauung der

Gewässer in Dürreperioden) ist die Menge und Qualität dieser Grundwasserleiter von enormem Interesse. (Donauconsult, 2006)

Sedimentbedingte Probleme wie Sohleintiefung und sinkende Wasserstände sowie die Abtrennung und Verlandung von Seitenarmen haben einen belegten und signifikanten Einfluss auf die angrenzenden Grundwasserkörper und den Grundwasserspiegel. (Donauconsult, 2006)

4.1.2 Probleme im Zusammenhang mit Schifffahrt

Es besteht ein starkes wirtschaftliches Interesse an einem verstärkten Ausbau der Schifffahrt auf der Donau. Es muss jedoch ein Gleichgewicht zwischen den Erfordernissen für die Schifffahrt von mindestens 2,5 m Tiefe und 120 m Breite bei geringer Wasserführung (Abbildung 18), der Hydro- und Morphodynamik des Flusses und der ökologischen Situation gefunden werden.

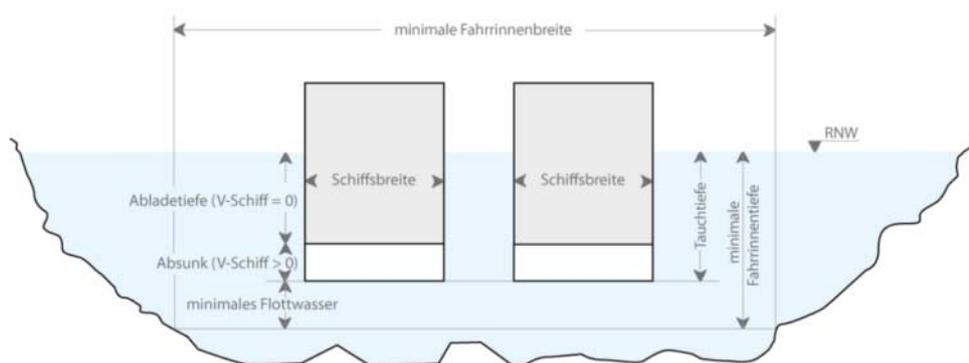


Abbildung 18 Schifffahrtsanforderungen auf der österreichischen Donau (Donaukommission, 2011)

4.1.2.1 Hydro- und Morphodynamik

Flussbegradigungs- und Regulierungsbauwerke für die Schifffahrt (beschrieben in 4.1.1.1 und 4.1.1.2) haben zu erhöhten Sohlgefällen und Sohlschubspannungen und damit zu erhöhten Erosions- und Sedimenttransportraten geführt, was in der Folge zu Eintiefungen im Flussbett führte. Darüber hinaus führen Arbeiten in der Fahrrinne zur Erfüllung der Mindestanforderungen während Niederwasserperioden zu Baggeraktivitäten im Bereich von Furten (Habersack et al., 2016). Bis 2005 wurden nur 50 % der gebaggerten Mengen in die Fahrrinne zurückgegeben, 20 % wurden in Bühnenfeldern verklappt und 30 % wurden dem System vollständig entzogen. Ab 2005 wurde das gesamte Baggermaterial in das Hauptgerinne zurückgeführt. Seit 2009 wird der Kies stromaufwärts transportiert, bevor er in den Fluss zurückgegeben wird, und seit 2015 wurden die Transportdistanzen im Rahmen einer neuen

Sedimentmanagementstrategie zur Verminderung der Sohlerosion an der Donau östlich von Wien auf ~10 km erhöht.

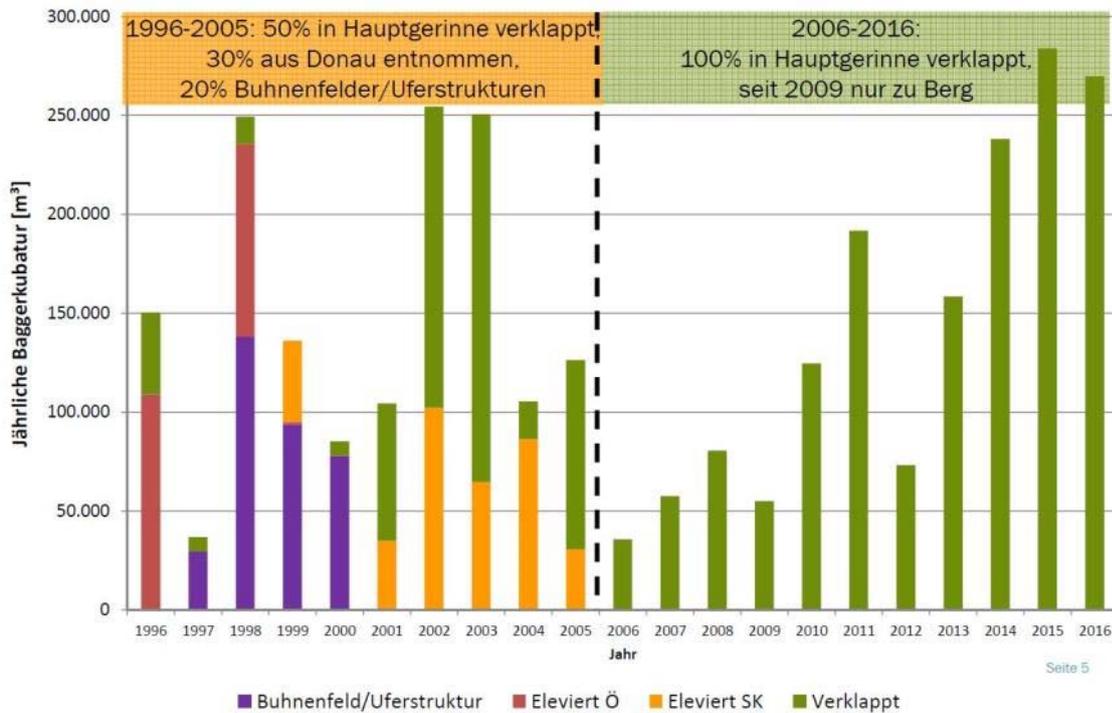


Abbildung 19 Erhaltungs-baggerarbeiten an der Donau östlich von Wien 1996-2016 - Jahresvolumen & Zweck (Simoner & Berger, 2016)

4.1.2.2 Einschränkungen für die Schifffahrt in Niederwasserperioden

Es gibt mehrere Abschnitte der Donau, in denen hydrologische und hydromorphologische Merkmale zu Einschränkungen der Schifffahrt führen. Insbesondere in Bereichen mit Sedimentation, die sich über die gesamte Breite des Gerinnes erstrecken, bestehen erhebliche Engpässe für die Schifffahrt. Vor allem in Niederwasserperioden wird die Mindestfahrwassertiefe von 2,5 m nicht immer eingehalten. Um den Flusskorridor zu erhalten und eine kontinuierliche Schifffahrt zu ermöglichen, sind laufend Instandhaltungsmaßnahmen (z.B. Baggerarbeiten) erforderlich (Habersack, 2007; Habersack et al., 2016).

4.1.2.3 Ökologie

Die verstärkte Schifffahrt auf der Donau hat auch negative Auswirkungen auf die Ökologie. Wellenschlag, Sunk (Gefahr der Strandung) und Einfluss durch Wellenschlag aufgrund der hohen Frequenz der Wellen stellen direkte negative Auswirkungen auf die Lebensräume der Jungfische in Ufernähe dar. Darüber hinaus wirken sich Sedimentturbulenzen, erhöhte Sohlschubspannungen durch Schiffsschrauben und Verschmutzung durch den Schiffsverkehr

negativ auf die Flusslebensräume aus und können zu Habitatverlusten führen (Kucera-Hirzinger et al., 2009, Liedermann et al., 2014, Schludermann et al., 2014).



Abbildung 20 a) Schiff im Gebiet des Nationalparks Donau-Auen (Foto: IWA/BOKU) und b) Schema des Habitatverlustes durch Sunk bzw. Wellengang infolge der Binnenschifffahrt (Schludermann et al., 2014)

4.1.3 Probleme im Zusammenhang mit Wasserkraft

4.1.3.1 Stauraumverlandung

Bauwerke wie Wasserkraftwerke unterbrechen das Sedimentkontinuum, insbesondere von Geschiebe, was zu einem Sedimentüberschuss stromaufwärts und einem Sedimentdefizit stromabwärts der Stauanlagen führt. Die Rückhaltekapazität bestehender Wasserkraftwerke entlang der Donau variiert in Abhängigkeit von der Größe, Form und Tiefe des Stauraums sowie der Vegetation im Stauraum. Während Speicherseen oder Stauräume mit der Zeit zur Verlandung neigen, werden bei extremen Hochwässern große Mengen an Sediment remobilisiert und ausgetragen. Dies steht in starkem Kontrast zur Vergangenheit, als der Sedimenttransport das ganze Jahr über gleichmäßiger verlief (Habersack et al., 2016). Andererseits kann die Sedimentation in Stauseen / Stauräumen zu einer Erhöhung des Hochwasserrisikos führen (Habersack et al., 2013).



Abbildung 21 Wasserkraftwerk Aschach an der Donau (Foto: Verbund AG)

4.1.3.2 Stauraumpülung

Der Verlust von Speicherkapazität von Kraftwerksanlagen (siehe 4.1.3.1) macht manchmal die Spülung von Stauseen erforderlich. Diese Maßnahmen können jedoch drastische Folgen für die Ökologie haben. So kann z.B. ein plötzlicher Anstieg der Sedimentfracht zu einer Kolmation der hyporheischen Interstitial führen, was wiederum zu einer verminderten Sauerstoffverfügbarkeit in den benthischen Zonen führt. Die Spülung von Speichern und Stauräumen kann auch zu erhöhtem Stress oder sogar zur Verletzung von Fischen und anderen Organismen sowie zum Verlust oder zur Veränderung von Habitaten führen (Jungwirth et al., 2003; Habersack et al., 2013; Habersack et al., 2016). Dabei bestimmen die Sedimentkonzentration und die Auftretungsdauer die Auswirkungen der Spülung auf das Ökosystem. Auf der anderen Seite werden flussab Sedimente für Laichplätze und Habitatdynamik etc. benötigt.

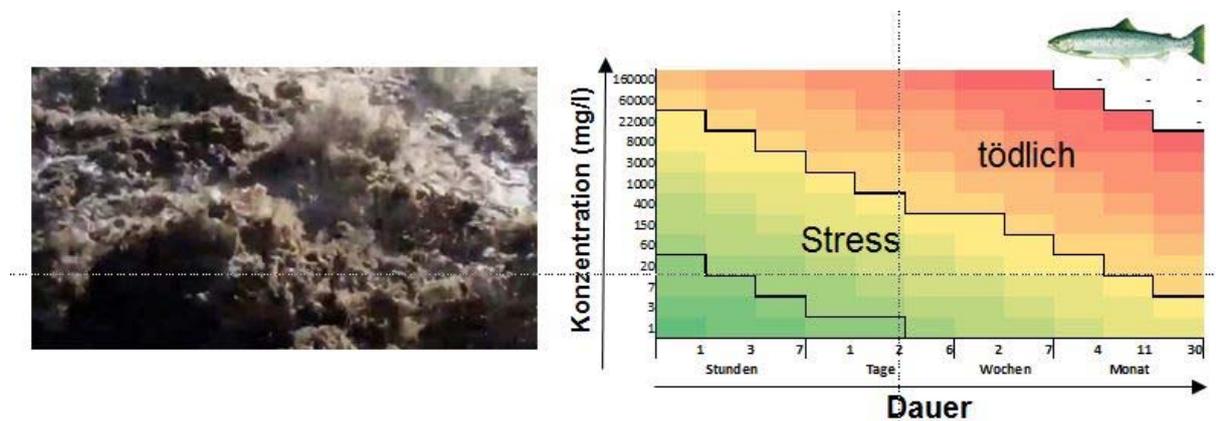


Abbildung 22 a) Stauraumpülung der Mur (Foto: YouTube) und b) Belastungsindikator der Feinsedimente auf Fische in Abhängigkeit von Dauer und Konzentration (Abbildung modifiziert nach Newcombe & Jensen, 1996)

Im Falle von Spülungen oder größeren Hochwasserereignissen können Feinsedimente aus Speichern oder Stauräumen wieder mobilisiert werden. Ein solches Ereignis kann zu großen Problemen für das Flussökosystem führen, z.B. können die Atmungsorgane der Fauna verstopfen, Laichplätze kolmatieren, Pflanzen überdeckt werden, der Sauerstoffbedarf kann erhöht werden und Sedimente in das Vorland eintragen werden (Abbildung 23). Die Sedimentation in Vorländern und Siedlungen kann die Schäden und damit das Hochwasserrisiko deutlich erhöhen.



Abbildung 23 Sedimentation im Vorland (Foto: Verbund AG)

4.1.3.3 Unterbrechung des Sedimentkontinuums

Heute gibt es auf der gesamten Donau nur noch fünf frei fließende Abschnitte, zwei davon in Österreich (Abbildung 24). Als Folge mehrerer Staustrecken ist der Fluss von starken hydrologischen und hydraulischen Veränderungen betroffen. Veränderungen im Sedimenthaushalt machen sich zunehmend bemerkbar, darunter ein unterbrochenes Geschiebekontinuum, eine Ablagerung von Schwebstoffen in gestauten Abschnitten und ein Sedimentdefizit in den freien Fließstrecken (Habersack et al., 2016).



Abbildung 24 Die Donau in Österreich: Standorte der Wasserkraftwerke und der freien Fließstrecken Wachau und östlich von Wien (Sohlhöhen: VHP und viadonau; Wasserstände und Standorte der Wasserkraftwerke: Viadonau (2012))

4.2 Mittlere Donau (Ungarn)

4.2.1 Probleme im Zusammenhang mit dem Flussbau

4.2.1.1 Hochwasserschutz

Ähnlich wie in Österreich wurden entlang des ungarischen Donauabschnitts ab dem 19. Jahrhundert erhebliche Maßnahmen zur Minderung des Hochwasserrisikos durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden entlang des Flusses Ufersicherungen gebaut, wodurch sowohl die Breite als auch die Länge des aktiven Gerinnes verringert wurde (Abbildung 25). Die Hauptauswirkung dieser Art von Baumaßnahmen ist die zunehmende Fließgeschwindigkeit im Hauptgerinne und folglich die zunehmende Sohlschubspannung, die zu einer Sohlerosion führt. Neben der Geometrie des Hauptgerinnes hat sich auch die Landnutzung in der Au verändert. Bis Mitte des 20. Jahrhunderts wurden das Auengebiet und die Inseln hauptsächlich zur Beweidung genutzt. Heutzutage sind Überschwemmungsgebiete jedoch mit dichten Wäldern bewachsen, die bei Hochwasser einen höheren Abfluss in das Hauptgerinne lenken. Im Gegensatz zur Eintiefung des Hauptgerinnes und der damit verbundenen Absenkung der Niederwasserstände steigen die Wasserstände bei Hochwasserereignissen dadurch an (EDUVIZIG, 2014).



Abbildung 25 a) Grundriss der ungarischen Donau in den Jahren 1782-1785 (Erste militärische Landesaufnahme) und b) nach anthropogenen Veränderungen im heutigen Zustand (2018)

4.2.1.2 Regulierungsbauwerke

Konventionelle Regulierungsbauwerke, wie Buhnen und Leitwerke, wurden im Fluss errichtet, um die Hauptrinne zu verengen und so eine ausreichende Fahrwassertiefe zu gewährleisten (Abbildung 26 und Abbildung 27). Neben der Konstruktion von Bauwerken werden Seichtstellen für die Schifffahrt kontinuierlich gebaggert. Darüber hinaus wurden zwischen 1970-1991 entlang der oberen ungarischen Donau extreme Kiesmengen für die Gewinnung

von Baumaterial ausgebaggert. Das in den 21 Jahren gewonnene Volumen betrug 64 Mio. m³ zwischen Strom-km 1810-1702.



Abbildung 26 Flussbauwerke bei Niedrigwasserniveau um Strom-km 1799 (Luftaufnahme von 2011)



Abbildung 27 Flussbauwerke entlang des ungarischen Projektstrecke, Strom-km 1800-1790 (Quelle: eduvizig.hu)

4.2.1.3 Sohleintiefung

In den letzten Jahrzehnten fand entlang der oberen ungarischen Donau eine erhebliche Eintiefung des Hauptgerinnes statt. Der dynamischste Teil des Flusses befindet sich zwischen Sap und Gönyű, zwischen den Kilometern 1811-1793. Die permanente Sohlenerosion ist das kombinierte Ergebnis verschiedener menschlicher Eingriffe. Wie bereits erwähnt, wurden zunächst konventionelle Flussregulierungsmaßnahmen zur Minderung des Hochwasserrisikos mit dem Bau von Dämmen entlang des Flusses sowie der Stabilisierung der Flussufer durchgeführt. Zweitens wurden Buhnenfelder zusammen mit Leitwerken im Hauptgerinne gebaut, um die Fahrwassertiefe für Schiffe sicherzustellen. Drittens wurden aufgrund der intensiven Siedlungstätigkeit zwischen 1970-1991 mehrere Millionen m³ Kies aus dem Flussbett gewonnen. Und schließlich beeinflussen die aufgestauten Bereiche in der Oberen Donau und vor allem das Wasserkraftwerk bei Bős (SK) das Sedimentkontinuum flussabwärts erheblich. Aufgrund der Rückhaltekapazität des Wasserkraftwerks wird fast kein Geschiebe in den ungarischen Abschnitt transportiert. Als Folge der genannten anthropogenen Maßnahmen konnten in den letzten Jahrzehnten erhebliche Eintiefungen im Flussbett beobachtet werden. Die Erosion lässt sich gut erfassen, wenn man die zeitliche Entwicklung der Niederwasserstände betrachtet (Abbildung 28). Darüber hinaus ist die zeitliche Variation der mittleren Sohlagen (berechnet innerhalb der Fahrrinne) von zwei charakteristischen Abschnitten in Abbildung 29 dargestellt. Abschnitt 1797.318 ist ein typischer Furtabschnitt, während Strom-km 1795.149 ein tieferer, typischer Abschnitt in einer Flusskrümmung ist. Für den ersteren ist ein signifikanter Rückgang der Eintiefung zwischen 1957-2007 und ein eher dynamisches Gleichgewicht im letzten Jahrzehnt zu erkennen, während sich der tiefere Abschnitt im Laufe der Zeit kontinuierlich eintieft, mit einigen kurzfristigen Schwankungen aufgrund des Einflusses von nassen und trockenen Jahren.

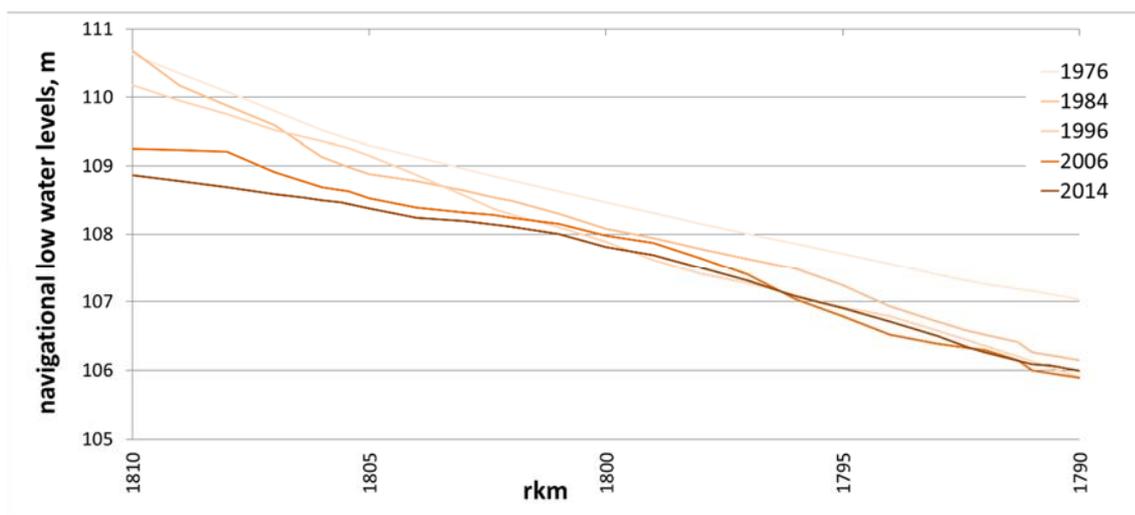


Abbildung 28 Niedrigwasserstände in der Schifffahrtsrinne zwischen Strom-km 1810-1790 in Ungarn

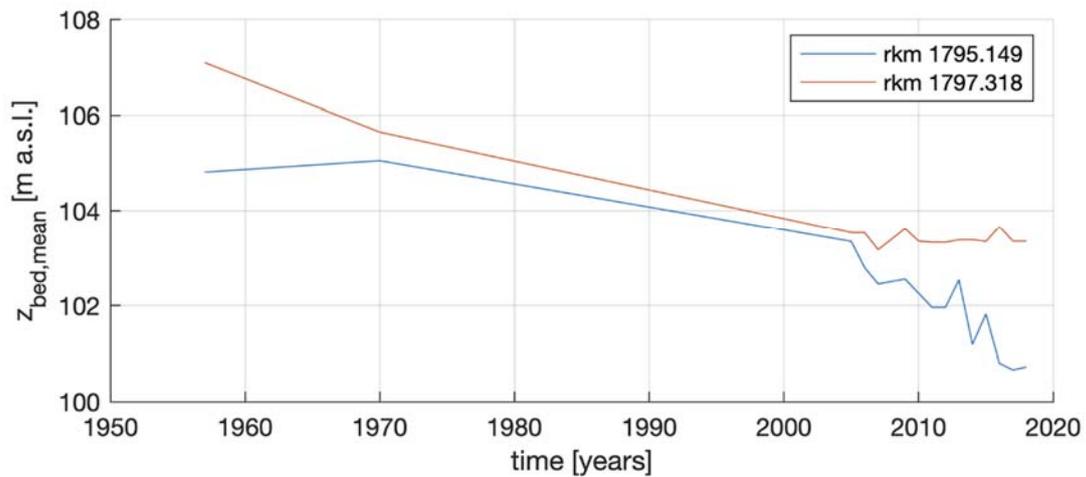


Abbildung 29 Mittlere Sohlagenänderungen (innerhalb der Fahrrinne) an zwei charakteristischen Abschnitten der oberen ungarischen Donau

4.2.1.4 Verminderte Seitenerosion

Die Flussufer entlang des Hauptabschnitts der oberen ungarischen Donau sind durch Ufersicherungen geschützt, die eine natürliche Seitenerosion des Flussbetts verhindern und die Sohlerosionsprozesse im Hauptgerinne erhöhen. Abbildung 30 zeigt beispielhaft den Schutz des rechten Donauufers bei Vámoszabadi und einen schematischen Querschnitt des Bauwerks.

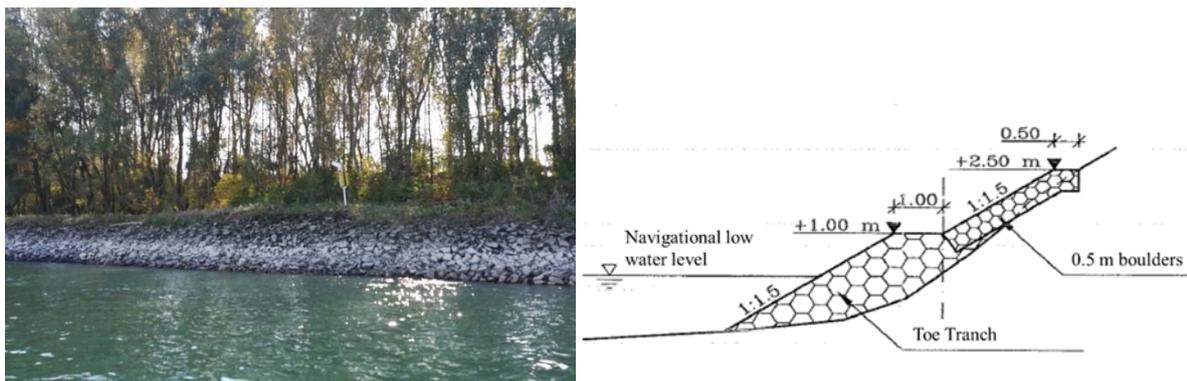


Abbildung 30 a) Beispiel für den Schutz des rechten Donauufers bei Vámoszabadi (Quelle: ÉDUVIZIG) b) Querschnitt des Schutzes des rechten Donauufers (HU-SK River regulation plan 1996)

Andererseits sind natürliche Steilufer, die nicht mit Blockwurf stabilisiert wurden, Unterspülung und Instabilität ausgesetzt (Abbildung 31). Fortschreitende Sohlerosion erhöht die Wahrscheinlichkeit des Versagens solcher Böschungen stark.



Abbildung 31 Natürliches Ufer bei Gönyű (Quelle: www.gonyu.network.hu)

4.2.1.5 Entkopplung von Fluss und Au

Durch Zunahme von Vegetation in den Überflutungsflächen nimmt die Hochwasserretention dieser Zonen kontinuierlich ab, zudem führen Sedimentationsprozesse bei Hochwasser zu einer zunehmenden Verlandung und Aufhöhung der Überschwemmungsgebiete. Der abnehmende Abfluss im Vorland führt zu höheren Hochwasserabflüssen im Hauptgerinne und erhöht somit insbesondere bei Extremereignissen die Sohlerosion. Langfristig gesehen steigen die Hochwasserstände an, während die Niederwasserstände sinken (Abbildung 32), und letzteres senkt folglich auch die Grundwasserspiegel ab.

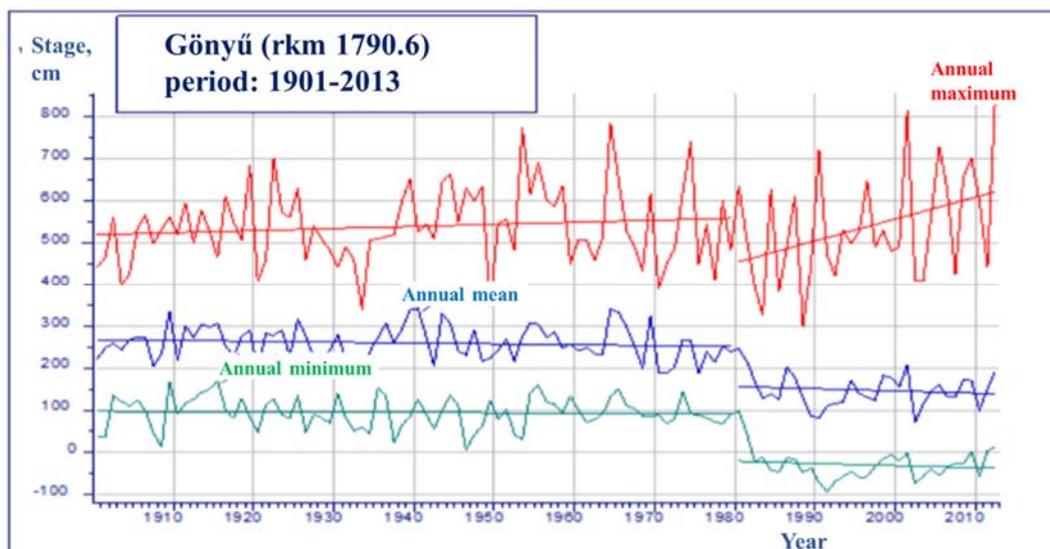


Abbildung 32 Zeitliche Veränderung der Wasserstände bei Gönyű, Ungarn

4.2.1.6 Abtrennung von Seitenarmen

Ähnlich wie bei den Problemen im Zusammenhang mit dem Überflutungsflächen wirkt sich die Sohleintiefung des Hauptgerinnes negativ auf die Verbindung zu den Seitenarmen aus. Darüber hinaus wurden bei Flussregulierungsmaßnahmen die Seitenarme teilweise baulich abgeschnitten und sogar aufgefüllt. Die Dauer der direkten Anbindung an das Hauptgerinne nimmt ebenso ab wie die Wassermenge in den Seitenarmen. Dieses Problem wird durch kontinuierliches Verfüllen der Einlaufbereiche der Seitenarme zusätzlich verstärkt, die die Anbindung sicherstellen sollen.



Abbildung 33 Verlandeter Seitenarm in der Nähe von Vének, Strom-km 1798 (Quelle: ÉDUVIZIG, 2018)

2.1.1.8 Ökologie

Das gesamte ungarische Donaugebiet ist ein Natura2000-Gebiet (Lage der Schutzgebiete entlang der oberen ungarischen Donau in Abbildung 34 dargestellt), wodurch den ökologischen Auswirkungen der eingeschränkten Sedimenttransportprozesse besondere Bedeutung zukommt. Die permanente Sohleintiefung führt zur Besiedlung mit Vegetation auf ehemals flachen Kiesfurten im Hauptgerinne, was das Verschwinden wichtiger Lebensräume und Laichplätze zur Folge hat. Tatsächlich wird der Hauptabschnitt der ungarischen Donau gemäß der Wasserrahmenrichtlinie als "stark veränderte Wasserkörper" deklariert. Die einzigen beiden Ausnahmen befinden sich unmittelbar stromauf von Budapest; diese werden als "Natürliche Wasserkörper" ausgewiesen. Abbildung 35 zeigt den ökologischen Zustand und das ökologische Potenzial der ungarischen Donau - gemäß Danube River Basin Management Plan/Update 2015 - und die kritischen Schifffahrtsabschnitte in Ungarn.

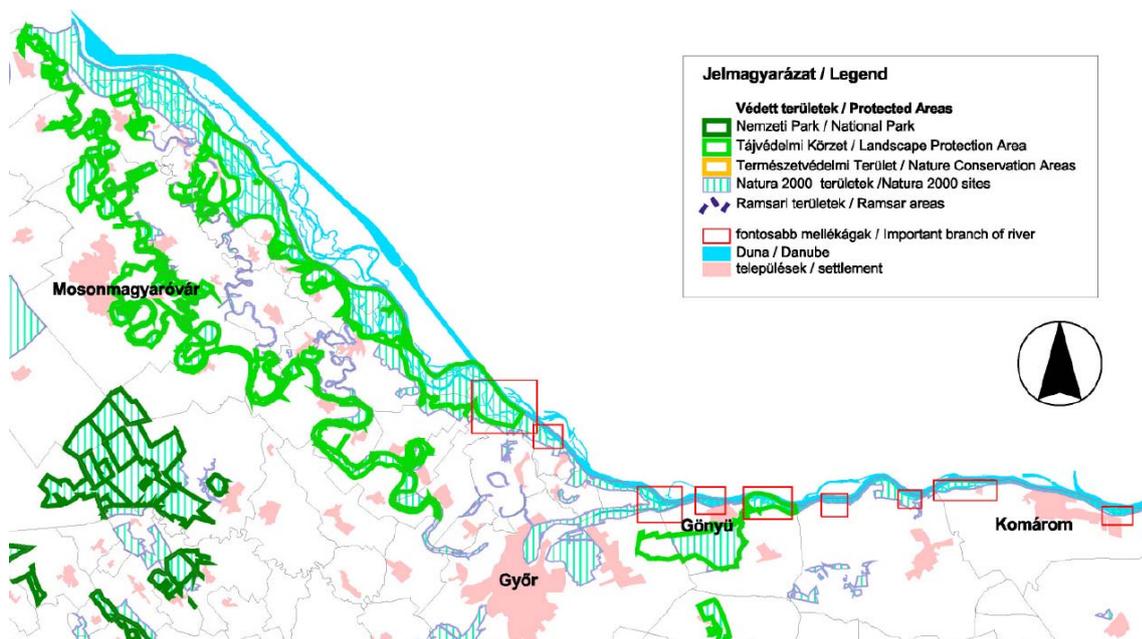


Abbildung 34 Schutzgebiete entlang der oberen ungarischen Donau (Quelle: ÖKO Zrt.)

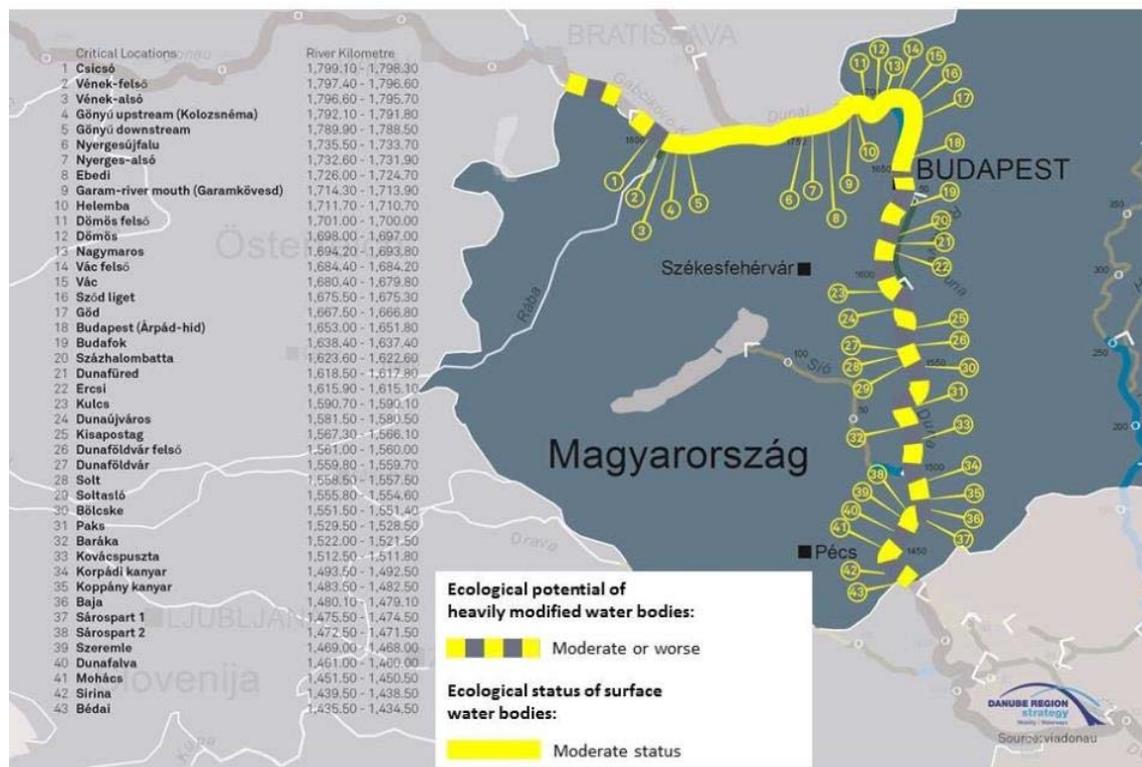


Abbildung 35 Ökologischer Zustand und ökologisches Potenzial von Oberflächengewässern (Quelle: Entwurf des ungarischen NRBM-Plans - Update 2015)

Der ökologische Zustand der beiden natürlichen Wasserkörper ist mäßig; der gute ökologische Zustand wird für 2027 als erreichbar eingeschätzt. Die Ausweisung als "erheblich veränderter Wasserkörper" ist in einem großen Teil der ungarischen Donau hauptsächlich auf die Uferverbauung zurückzuführen, die durch biologische Komponenten unterstützt wurde. Das gute ökologische Potenzial wird wie folgt eingeschätzt: im Jahr 2021 1 St., im Jahr 2027 2 St. und nach 2027 2 St. Für die erheblich veränderten Wasserkörper sollen Maßnahmen durchgeführt werden, um ein gutes ökologisches Potenzial zu erreichen.

Ein generelles ökologisches Problem ist, dass durch die Sedimentation entlang der Auen und Seitenarme die betroffenen Gebiete austrocknen und das Potenzial der Lebensräume kontinuierlich schrumpft.

2.1.1.9 Erholung

Die Sohleintiefung der Donau und der daraus resultierende Rückgang der Niederwasserstände beeinflusst das Niederwasser in den unteren Abschnitten von Nebenflüssen, wie z.B. der Mosoni-Duna, die sich innerhalb der ungarischen Projektstrecke befinden. Die Absenkung der Wasserstände schränkt die Nutzung der Flussufer, die Freizeitaktivitäten sowie den Sport ein (Abbildung 36). Aufgrund der Lage von Győr, der wichtigste Stadt Nordwestungarns, am Ufer des Flusses Mosoni-Duna ist davon eine hohe Zahl von Bürgern betroffen.



Abbildung 36 Niedrigwasser in der Mosoni-Duna bei Győr (Quelle: www.kisalfold.hu)

2.1.1.10 Wasserversorgung

Der Großteil (95%) der Trinkwasserversorgung in Ungarn wird aus Grundwasser bereitgestellt (MTA, 2017), wobei Uferfiltrat eine wichtige Rolle spielen (40% der gesamten Trinkwasserversorgung). Das Brunnensystem befindet sich entlang der Donau, vor allem in den oberen und mittleren Abschnitten, wo Kies und Sand das Flussbett dominieren. Konventionellen Regulierungsbauwerke können sowohl die Wassermenge als auch deren Qualität negativ beeinflussen. Das Ausbaggern des Flussbetts führt zu einer Abnahme der Mächtigkeit der wasserführenden Schicht. Andererseits kann die Sedimentation zwischen Buhnen zu Kolmation und damit zu einer Verringerung der Wasserversorgungskapazität führen.

4.2.2 Probleme im Zusammenhang mit Schifffahrt

Aufgrund der Überlastung des Straßen- und Schienenverkehrs besteht ein starkes wirtschaftliches und öffentliches Interesse an einer verstärkten Schifffahrt auf der Donau. Es muss jedoch ein Gleichgewicht zwischen den Erfordernissen für die Schifffahrt von mindestens 2,5 m Tiefe und 120 m Breite bei Niedrigwasser, der Hydro- und Morphodynamik des Flusses und der ökologischen Situation gefunden werden.

Auf der Grundlage der Empfehlung der Donaukommission und des AGN-Abkommens der EU (European Agreement on Main Inland Waterways of International Importance) werden die Parameter der Fahrrinne definiert. Das AGN schafft einen internationalen Rechtsrahmen, der einen koordinierten Plan für die Entwicklung und den Bau eines Netzes von Binnenwasserstraßen und Häfen von internationaler Bedeutung durch die Regierungen auf der Grundlage vereinbarter Infrastruktur- und Betriebsparameter festlegt, die sie im Rahmen ihrer jeweiligen Entwicklungsprogramme durchzuführen beabsichtigen. Das Abkommen unterstreicht die Bedeutung der Binnenschifffahrt, die im Vergleich zu anderen Binnenverkehrsträgern wirtschaftliche und ökologische Vorteile bietet und daher zur Verringerung von Staus, Verkehrsunfällen und negativen Umweltauswirkungen im gesamteuropäischen Verkehrssystem beitragen kann.

Die Donaukommission befasst sich mit der Erhaltung und Verbesserung der Schifffahrtsbedingungen auf der Donau von der Quelle in Deutschland bis zu den Mündungen in Rumänien und der Ukraine die zum Schwarzen Meer führen. Sie wurde 1948 von sieben Anrainerstaaten des Flusses gegründet und ersetzte frühere Kommissionen, denen auch Vertreter Nichtanrainerstaaten angehört hatten. Ihre Vorgängerkommissionen gehörten zu den ersten Versuchen, die Befugnisse souveräner Staaten für eine gemeinsame Sache zu internationalisieren. Sie legten Empfehlungen für Mindestanforderungen für Standard-Fahrwasserparameter, hydrotechnische und andere Verbesserungen an der Donau fest (Dok. CD/SES/77/11 trat am 1. Januar 2013 in Kraft).

4.2.2.1 Hydro- und Morphodynamik

Um die Fahrrinne zu erhalten, wird in beiden Ländern entlang des gemeinsamen HU-SK-Abschnitts der Donau kontinuierlich gebaggert. Die Menge des Baggergutes nimmt jedoch aufgrund der immer strengeren Umweltauflagen mit der Zeit ab (Abbildung 37). Baggerungen können zum Aufbrechen der für diese Donaustrecke typischen obersten vergrößerten Schicht führen. Infolgedessen werden feinere Korngrößen der Strömung ausgesetzt (Abbildung 38), was zu einer erhöhten Dynamik und lokaler Zunahme des Geschiebetransportes führt. Ein ähnliches Phänomen tritt auf, wenn Schiffe mit hohem Tiefgang während Niederwasserperioden die natürliche Sohlvergrößerung des Flussbettes aufbrechen.

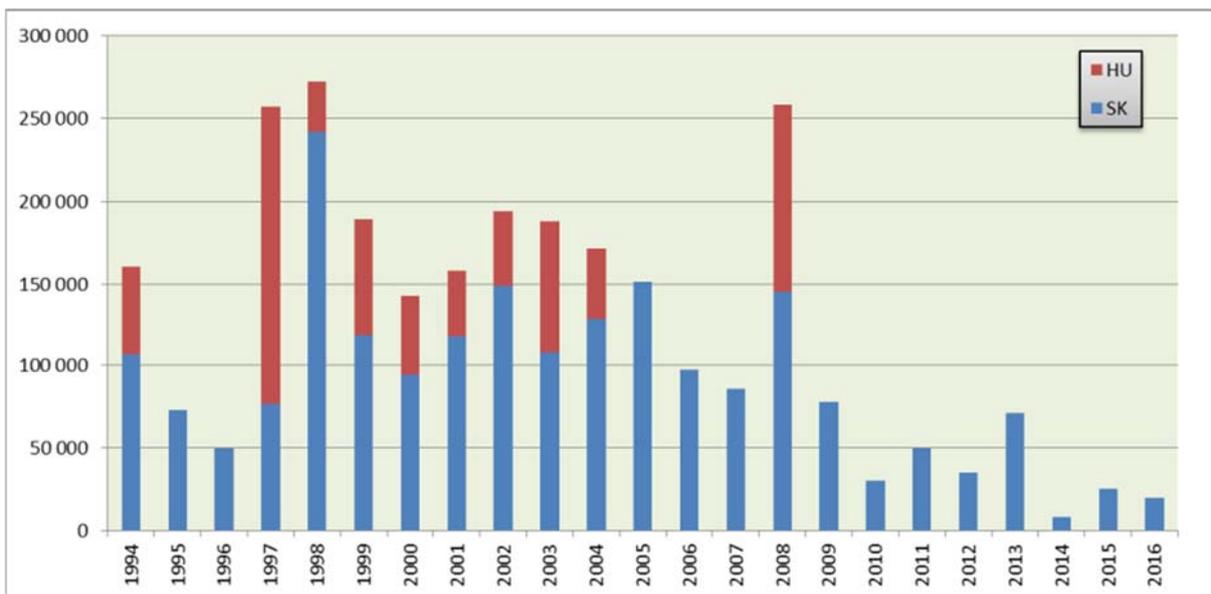


Abbildung 37 Erhaltungsbaggerarbeiten (in m3) in der slowakisch-ungarischen Grenzstrecke

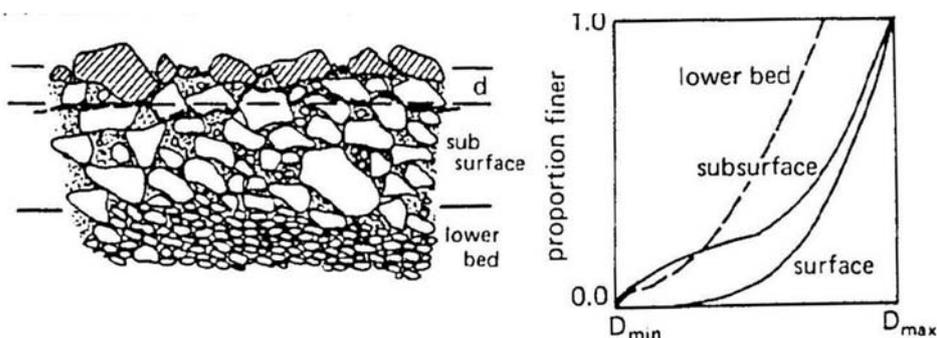


Abbildung 38 Typische Kornzusammensetzung einer vergrößerten Flusssohle

4.2.2.2 Einschränkungen für die Schifffahrt in Niederwasserperioden

Entlang des ungarischen Studienabschnitts gibt es eine beträchtliche Anzahl von Nadelöhren und Furten, an denen bei Niederwasser Einschränkungen bestehen, da die erforderlichen Parameter (Fahrwasserbreite- und Tiefe) in der Fahrrinne nicht erfüllt werden können. Zwischen Strom-km 1810-1790 gibt es 12 kürzere Abschnitte mit Problemen hinsichtlich der Schifffahrt (beispielhaft in Abbildung 39).

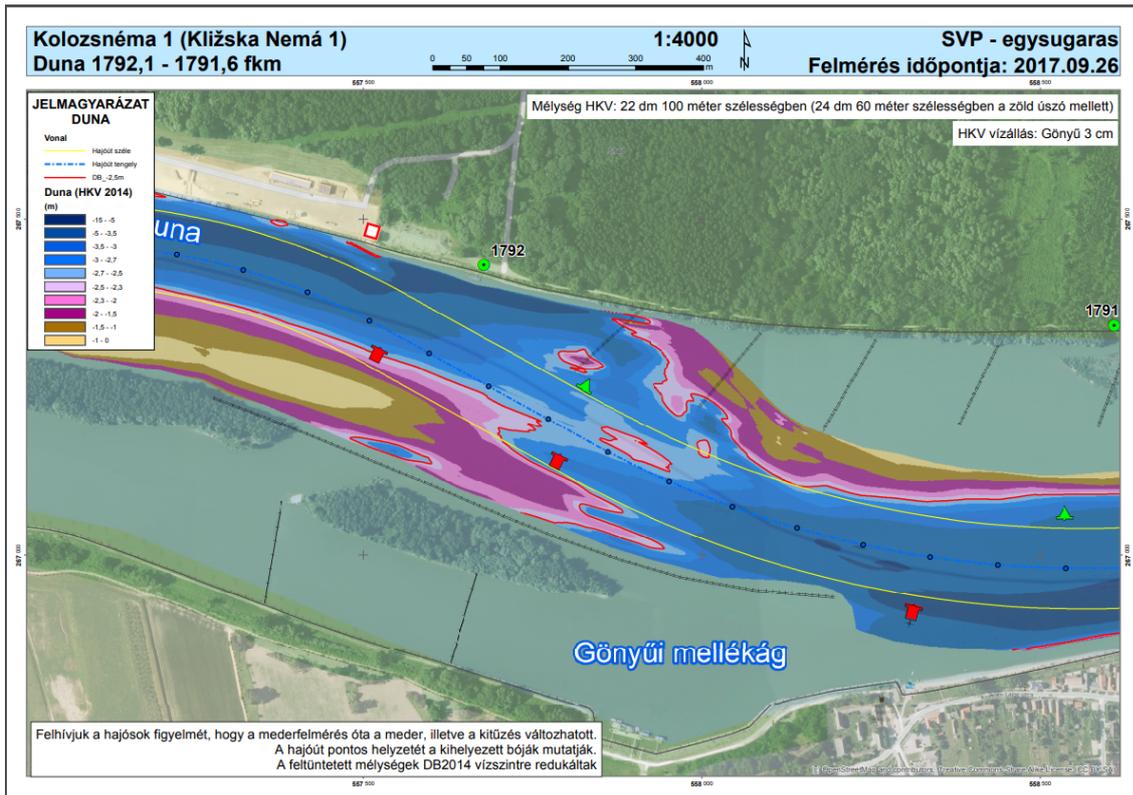


Abbildung 39 Furt bei Gönyű (Strom-km 1791.7) Quelle: www.eduvizig.hu

4.2.2.3 Ökologie

Viele der wichtigsten natürlichen Lebensräume der Donau für einheimische endemische Arten, befinden sich in flachen, kiesigen Flussbereichen, die hohen Fließgeschwindigkeiten aufweisen. Diese Abschnitte sind in der Regel Nadelöhre für die Schifffahrt und damit ein typischer Konfliktherd. Bezüglich der Schiffe kann der direkte Kontakt mit Schiffsrümpfen und/oder Schrauben mechanische Schäden an Wasserlebewesen verursachen (Bulté et al., 2010), während sich Öl- und Treibstoffeinträge negativ auf die Wasserqualität auswirken (Jackvicz und Kuzminski, 1973). Gerinne, die zu Navigationszwecken gebaut werden, heben oft biogeografische Grenzen auf, was zu einer Verschlechterung der Biodiversität führen kann. Die Schifffahrt beeinflusst auch viele biotische und abiotische Variablen durch die zeitliche

Veränderung des lokalen hydraulischen Regimes, d.h. durch die Erzeugung von schiffsinduzierten Wellen und Strömungen, insbesondere bei Niederwasser.



Abbildung 40 a) Schiff im Bereich der Helemba-Insel und b) Kiesbett bei Strom-km 1709 (Fotos von ÉDUVIZIG)

4.2.3 Probleme im Zusammenhang mit Wasserkraft

4.2.3.1 Stauraumverlandung

Wie im vorhergehenden Punkt gezeigt wurde, ist der obere ungarische Abschnitt der Donau stark vom stromauf gelegenen slowakischen Abschnitt und dem dort befindlichen Kraftwerk beeinflusst. Der Stausee des KW Gabčíkovo, genannt Hrušov, ist durch kontinuierliche Sedimentablagerung gekennzeichnet (Abbildung 41). Zwar sind keine vollständigen Sohlgrunddaten zur Bewertung der Sedimentationsrate im Stausee Hrušov verfügbar, wie aber im Projekt DanubeSediment (DanubeSediment, 2019a) gezeigt wird, beträgt das Gesamtvolumen der Ablagerungen ~ 20 Mio. m^3 - veröffentlicht von Water Management Enterprise (WME).



Abbildung 41 Sedimentablagerungszonen stromauf des KW Gabčíkovo (Google Earth)

4.2.3.2 Stauraumpülung

Bei Hochwasser und Überschwemmungen wird von den slowakischen Kraftwerken ein erhöhter Abfluss in den alten Arm der Donau in Ungarn abgegeben. Dies bedeutet auch einen erhöhten Feinsedimenteintrag, der in das sekundäre Nebenarmsystem Szigetköz der Donau transportiert wird. Aufgrund der dichten Auenvegetation lagert sich das Sediment entlang der Flussufer ab, was zu Auflandung führt (Abbildung 36). Auch wenn dazu nur begrenzte Informationen verfügbar sind, ist von erhöhtem Sedimenttransport durch den Stauraumbetrieb auszugehen, der die Morphologie des Flusses verändern und die Hochwassertransportkapazität sowie die Ökologie des Flusses beeinflussen kann.



Abbildung 42 Ablagerungen im Vorland während des Hochwassers 2013 in Ungarn (Foto: EDUVIZIG)

4.2.3.3 Unterbrechung des Sedimentkontinuums

Wie in Punkt 4.1.1.3 erwähnt, ist die obere ungarische Donau, auch wenn die gesamte ungarische Donau frei fließend ist, stark von den stromauf gelegenen Stauräumen betroffen, vor allem jenen der slowakischen Wasserkraftwerke (Abbildung 43). Veränderungen im Sedimenthaushalt sind sowohl im Schwebstoff- als auch im Geschiebetransport deutlich zu erkennen. Die im Rahmen des Projekts DanubeSediment (DanubeSediment, 2019b) erstellte Sedimenttransportanalyse für die gesamte Donau ergab einen Rückhalt des Schwebstoffes von 70% im Stauraum von Gabčíkovo (siehe roter Kreis in Abbildung 44). Aufgrund sehr begrenzter Geschiebedaten konnte der Einfluss der Wasserkraftwerke auf den Geschiebetransport quantitativ nicht abgeschätzt werden, jedoch deuten zunehmenden Sohlerosionsprozesse in den freien Fließstrecken stromab der Bauwerke eindeutig darauf hin.

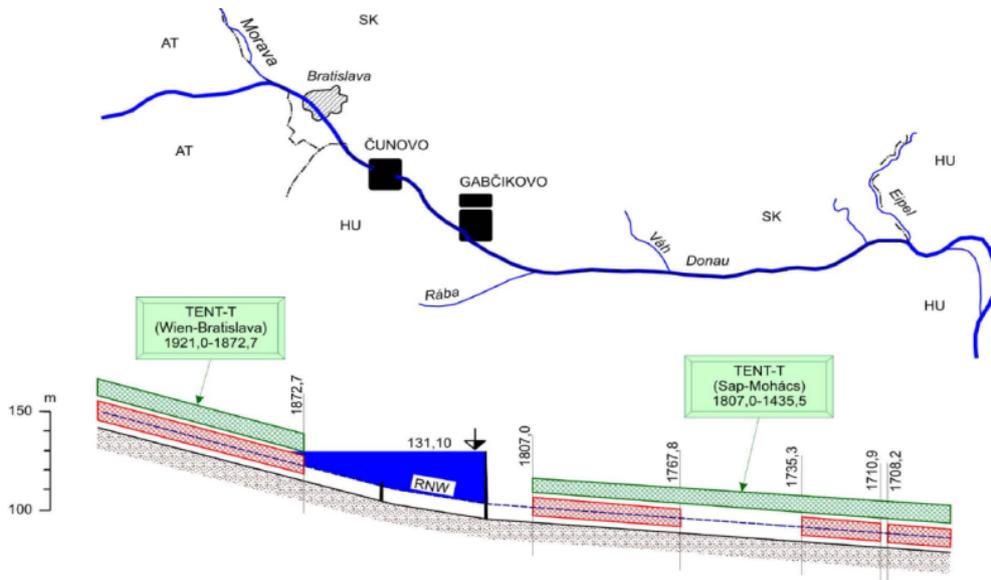


Abbildung 43 Stauräume stromauf der ungarischen Projektstrecke

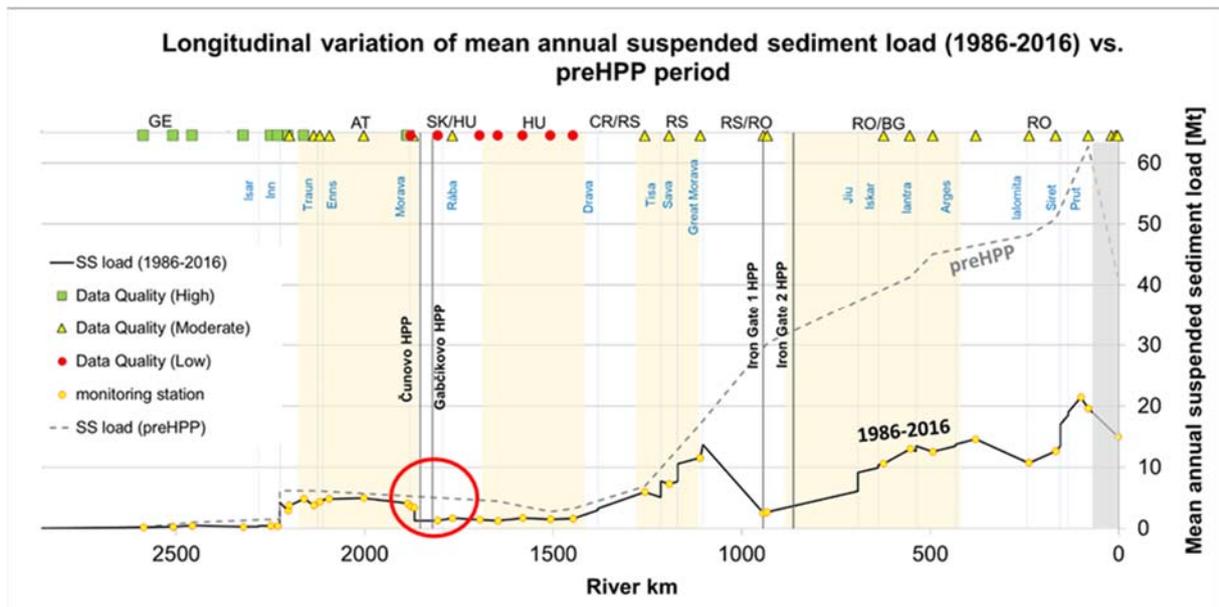


Abbildung 44 Änderungen der langfristigen (1986-2016) mittleren jährlichen Schwebstofffracht entlang der Donau im Vergleich zum Zeitraum vor dem Betrieb der Wasserkraftwerke (Datenquelle AT: viadonau und Verbund)

4.3 Gemeinsame Probleme und Unterschiede der Projektstrecken in AT & HU

Im vorliegenden Bericht wurde deutlich gezeigt, dass beide Projektgebiete mit Problemen im Zusammenhang mit Flusssedimenten konfrontiert sind. Durch die Beschreibung der Projektgebiete und die Formulierung eines gemeinsamen Prozessverständnisses bezüglich Sedimenttransport wurden die Randbedingungen für auftretende Probleme definiert. Wie erläutert, sind beide Flussabschnitte mit zahlreichen anthropogenen Einflüssen im Zusammenhang mit Flussbau, Schifffahrt und Wasserkraftnutzung konfrontiert, die zu ähnlichen Problemen mit unterschiedlichen Auswirkungen führen. Unterschiede ergeben sich aus den festgestellten Unterschieden der beiden Abschnitte in Bezug auf morphologische Merkmale z.B. in Bezug auf Gefälle und charakteristische Korngrößen einerseits und die Nutzung des Flusses z.B. in Bezug auf Trinkwasserversorgung, Erholung oder Schifffahrt andererseits. Tabelle 2 vergleicht die identifizierten sedimentbezogenen Probleme und ihre Auswirkungen auf die Projektgebiete in AT & HU.

Tabelle 2 Identifizierte sedimentbezogene Probleme und ihre Auswirkungen auf die Projektgebiete in AT & HU

Einfluss in der Strecke (AT)			Identifizierte sedimentbezogene Probleme		Einfluss in der Strecke (HU)		
gering	mäßig	stark	Kategorie	Problem	gering	mäßig	stark
	x		Probleme im Zusammenhang mit Flussbau	Hochwasserschutz		x	
		x		Regulierungsbauwerke		x	
		x		Sohleintiefung			x
	x			Verminderte Seitenerosion		x	
	x			Entkopplung von Fluss und Au		x	
	x			Abtrennung von Seitenarmen			x
	x			Ökologie		x	
x				Erholung		x	
x				Wasserversorgung		x	
	x		Probleme im Zusammenhang mit Schifffahrt	Hydro- and Morphodynamik		x	
	x			Einschränkungen für die Schifffahrt in Niederwasserperioden			x
		x		Ökologie		x	
	x		Probleme im Zusammenhang mit Wasserkraft	Stauraumverlandung	x		
	x			Stauraumspülung	x		
		x		Unterbrechung des Sedimentkontinuums			x
		x		Ökologie		x	

Abbildung 45 stellt die identifizierten sedimentbezogenen Probleme und ihre Auswirkungen auf die Projektstrecken in AT & HU in einem Netzdiagramm dar. Im österreichischen Einzugsgebiet wurden sowohl für die Schifffahrt als auch für die Wasserkraftnutzung die Auswirkungen auf die Ökologie schwerwiegender als im ungarischen Einzugsgebiet identifiziert. Leichte Unterschiede sind auch bei flussbaulichen Aspekten sichtbar, z.B. ist bei der österreichischen Strecke eine stärkere Beeinträchtigung durch Regulierungsbauwerke im Gerinne gegeben, während Beeinträchtigungen im Zusammenhang mit Erholung und

Abtrennung von Seitenarmen bei der ungarischen Strecke ein schwerwiegenderes Problem darstellen.

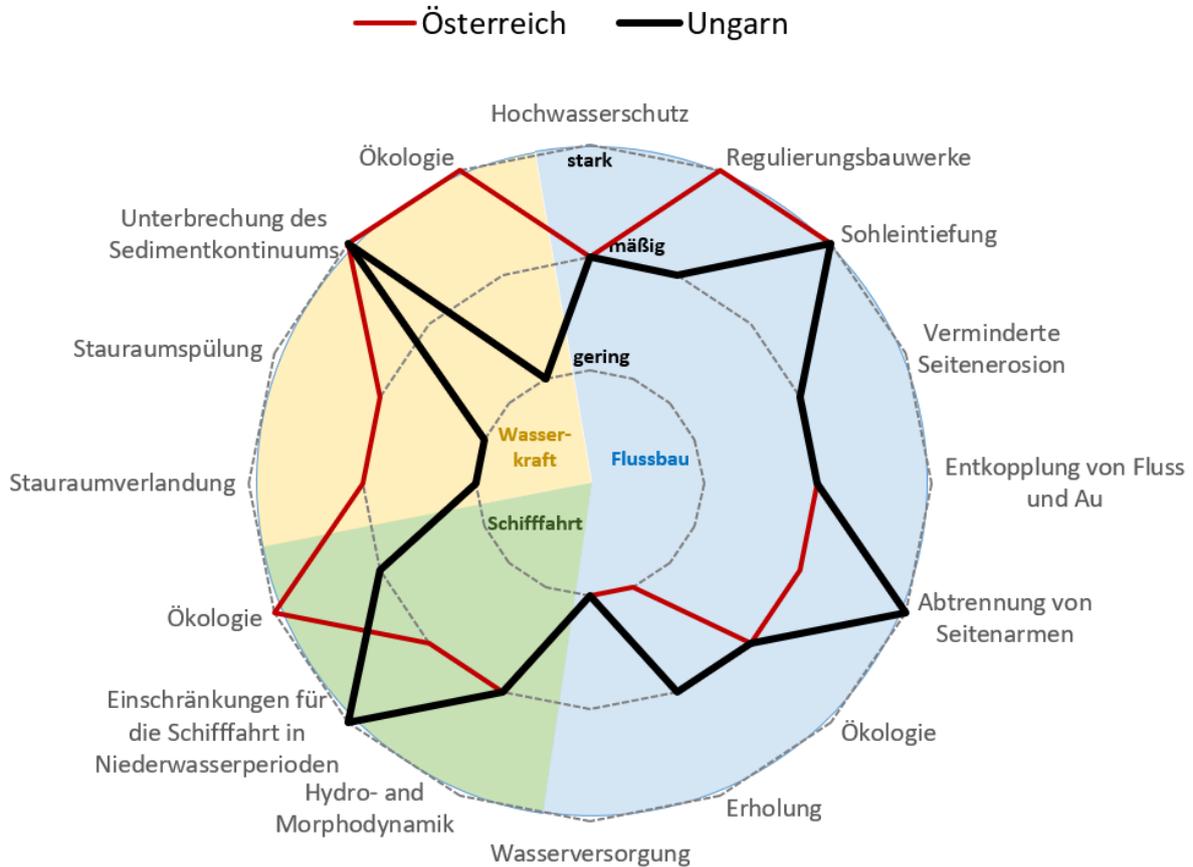


Abbildung 45 Netzdiagramm der identifizierten sedimentbezogenen Probleme und deren Auswirkungen auf die Projektstrecken in AT & HU

5 Zusammenfassung

Die analysierten Ergebnisse und Erkenntnisse, die in diesem Bericht erarbeitet wurden, sind eine wichtige Datenbasis für nachhaltige Standards im Bereich Flussbau. Die Probleme, ihre Auswirkungen sowie die zugrunde liegenden sedimentbezogenen Prozesse wurden in den Untersuchungsgebieten des Projekts SEDDON II an der Donau in Österreich und Ungarn ermittelt, um wichtiges Prozessverständnis für zukünftige Herausforderungen im Bereich des Flussbaues zu gewinnen. Auf Basis des Berichts sollen ingenieurtechnische Maßnahmen verbessert und optimiert werden, um die vielfältigen Probleme verschiedener Interessengruppen bewältigen zu können und die negativen Auswirkungen menschlicher Einflüsse entlang von Flusssystemen kompensieren können.

Referenzen

- Bachmann, J. (2010).** Power from the Danube – can it be sustainable? Danube Watch 2/2010, ICPDR, Vienna, 10–11.
- Bulté G., Carriere M.A., Blouin-Demers G. (2010).** Impact of recreational power boating on two populations of northern map turtles (*Graptemys geographica*). Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems 20(1):31-38. DOI: 10.1002/aqc.1063.
- Church, M. (2006).** Bed material transport and the morphology of alluvial river channels. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 34, pp. 325-354
- Danube FloodRisk (2013).** Final Project Report. Report of the project Danube FloodRisk funded by the South East Europe Transnational Cooperation Programme.
- DanubeSediment (2019a).** Long-term Morphological Development of the Danube in Relation to the Sediment Balance. Report of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Bratislava.
- DanubeSediment (2019b).** Analysis of Sediment Data Collected along the Danube. Report of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Budapest.
- Donauconsult (2006).** Integrated Danube river engineering project east of Vienna. Unpublished technical report.
- Donaukommission (2011).** Empfehlungen über die Mindestanforderungen von Regelmaßen für die Fahrinne sowie den wasserbaulichen und sonstigen Ausbau der Donau, 77. Tagung, Budapest.
- EDUVIZIG (2014).** Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság Nagyvízi mederkezelési terv (High water river management plan) 01.nmt.02. (egyeztetési terv) - Duna 1809,76 - 1786,00 fkm.
- Frings, R. M. (2004).** Downstream fining – a literature review. Departement Fysische Geografie,, Universiteit Utrecht. 59 p.
- Glas, M., Glock, K., Tritthart, M., Liedermann, M., and Habersack, H. (2018).** Hydrodynamic and morphodynamic sensitivity of a river's main channel to groyne geometry. Journal of Hydraulic Research, 1-13.
- Habersack, H. (2007).** Innovative river management - combining ecology, navigation and river engineering. Joint Statement 4 (ICPDR 2007).
- Habersack, H., Liedermann, M., Tritthart, M., Hauer, C., Klösch, M., Klasz, G., Hengl, M. (2012).** Maßnahmen für einen modernen Flussbau betreffend Sohlstabilisierung und Flussrückbau – Granulometrische Sohlverbesserung, Bühnenoptimierung, Uferrückbau und Gewässervernetzung. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 64, 571-581.
- Habersack, H., Schober, B., and Hauer, C. (2015).** Floodplain evaluation matrix (FEM): An interdisciplinary method for evaluating river floodplains in the context of integrated flood risk management. Nat Hazards 75, S5-S32.
- Habersack, H., Wagner, B., Schoder, A., and Hauer, C. (2013).** Die Bedeutung von Feststoffhaushalt und Sedimentdurchgängigkeit für eine nachhaltige Nutzung der Wasserkraft. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 65, 354-361.
- Habersack, H., Hein, T., Stanica, A., Liska, I., Mair, R., Jager, E., Hauer, C., and Bradley, C. (2016).** Challenges of river basin management: Current status of, and prospects for, the River Danube from a river engineering perspective. Sci Total Environ 543, 828-845.
- Habersack, H., Aigner, J., Haimann, M., Klösch, M., Liedermann, M., Hauer, C., Piégay, H. (2019a).** The Sediment Balance of Alpine Rivers - Dynamics of Erosion and Sedimentation. In: Muhar, S; Muhar, A; Egger, G; Siegrist, D (Eds.), Rivers of the Alps - Diversity in Nature and Culture, 11; Haupt Verlag, Bern; ISBN 978-3-258-08117-5
- Habersack H., Baranya S., Holubova K., Vartolomei F., Skiba H., Babic-Mladenovic M., Cibilic A., Schwarz U., Krapesch M., Gmeiner Ph., Haimann M. (2019b).** Danube Sediment Management Guidance. Output 6.1 of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Vienna.

- Habersack H., Baranya S., Holubova K., Vartolomei F., Skiba H., Schwarz U., Krapesch M., Gmeiner Ph., Haimann M. (2019c).** Sediment Manual for Stakeholders. Output 6.2 of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Vienna.
- Hein, T., Schwarz, U., Habersack, H., Nichersu, I., Preiner, S., Willby, N., Weigelhofer, G. (2016).** Current status and restoration options for floodplains along the Danube River. *Sci Total Environ.* 2016; 543 (Pt A):778–790.
- Hohensinner, S., Habersack, H., Jungwirth, M., Zauner, G. (2004).** Reconstruction of the characteristics of a natural alluvial river-floodplain system and hydromorphological changes following human modifications: the Danube River (1812-1991). *River Research and Applications*, 20 (1), 25-41.
- Hohensinner, S., Schmidt, M., (2012).** International Conference “Disasters Wet and Dry: Rivers, Floods, and Droughts in World History”, Beijing, Renmin University of China, May 23-26, 2013
- ICPDR (2015).** The Danube River Basin District Management Plan – Update 2015. International Commission for the protection of the Danube River, Vienna.
- ICPDR (2020).** <https://www.icpdr.org/main/issues/dams-structures>
- Jackivicz T.P., Kuzminski L.N. (1973).** The effects of the interaction of outboard motors with the aquatic environment – A review. *Environmental Research* 6(4):436-454. DOI: 10.1016/0013-9351(73)90058-3.
- Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., and Schmutz, S. (2003).** *Angewandte Fischökologie an Fließgewässern.* (Facultas Universitätsverlag).
- Keckeis, H., and Schiemer, F. (2002).** Understanding conservation issues of the Danube river. In *Fishery Science. The unique contributions of early life stages* (Blackwell Publishing), pp. 272-288.
- Klasz, G., Reckendorfer, W., Baumgartner, C., Gabriel, H., and Gutknecht, D. (2013).** River-bed degradation and overbank deposition: A human induced geomorphic disequilibrium in the Donau-Auen National Park. In *5th Symposium for Research in Protected Areas (Nationalpark Hohe Tauern)*, pp. 379-384.
- Kondolf G. M. (1994).** Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape and Urban Planning* 28:225–243.
- Kondolf G. M. (1997).** Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. *Environmental Management* Vol. 21, No. 4, pp. 533–551
- Kucera-Hirzinger, V., Schludermann, E., Zornig, H., Weissenbacher, A., Schabuss, M., and Schiemer, F. (2009).** Potential effects of navigation-induced wave wash on the early life history stages of riverine fish. *Aquat Sci* **71**, 94-102.
- Liedermann, M., Tritthart, M., Gmeiner, P., Hinterleitner, M., Schludermann, E., Keckeis, H., Habersack, H (2014).** Typification of vessel-induced waves and their interaction with different bank types, including management implications for river restoration projects. *Hydrobiologia* ,729, 17–31.
- Magyar Tudományos Akadémia (Hungarian Academy of Sciences) (2017).** Water in Hungary. Status overview for the National Water Programme of the Hungarian Academy of Sciences. Budapest.
- Muilerman, G.-J., Maierbrugger, G., Armbrecht, H., de Schepper, K., Turf, S., van Liere, R., Quispel, M. (2018).** Guidelines towards achieving a Good Navigation Status. European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport Directorate D Waterborne, Luxembourg.
- Natchkov, I. (1997).** Case Study IX – The Danube Basin. *Water Pollution Control – A Guide to the Use of Water Quality Management Principles.* Edited by Richard Helmer and Ivanildo Hespanho, published on behalf of the United Nations Environment Programme, the Water Supply & Sanitation Collaborative Council and the World Health Organization by E. & F. Spon.
- NEWADA duo, (2014).** REPORT ON CURRENT AND FUTURE SURVEYING & MAINTENANCE ACTIVITIES PART 1 - DOCUMENT SCOPE + NATIONAL FAIRWAY PARAMETERS. NEWADA duo Act.6.2 Report 6.2 consolidated Pt-1 final.
- Newcombe, C. P., & Jensen, J. O. (1996).** Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *North American Journal of Fisheries Management*, 16(4), 693-727.

- Pessenlehner, S., Liedermann, M., Tritthart, M., Gmeiner, P., and Habersack, H. (2016).** River Bed Degradation and Morphological Development before and after River Restoration Measures at the Danube River East of Vienna. In 12th International Conference on Hydrosience & Engineering (Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University), pp. 89-92.
- Pessenlehner, S., Liedermann, M., Tritthart, M., Gmeiner, P., Habersack, H. (2017).** Evaluation of morphodynamics at the Danube River east of Vienna. [3rd International Conference on the Status and Future of the World's Large Rivers, New Delhi, INDIA, APR 18-21, 2017]
- Reckendorfer, W., Schmalfuß, R., Baumgartner, C., Habersack, H., Hohensinner, S., Jungwirth, M., and Schiemer, F. (2005).** The Integrated River Engineering Project for the free-flowing Danube in the Austrian Alluvial Zone National Park: contradictory goals and mutual solutions.
- Scholten, A., Rothstein, B. (2016).** Navigation on the Danube - Limitations by low water levels and their impacts; EUR 28374 EN; doi:10.2788/236234
- Scheiblechner, U., (2018).** Flussbauliches Gesamtprojekt -Maßnahmenkatalog Donau östlich Wien, Präsentation am Informationstag zum Maßnahmenkatalog für die Donau östlich von Wien, 23.04.2018, Wien
- Schludermann, E., Liedermann, M., Hoyer, H., Tritthart, M., Habersack, H., Keckeis, H. (2014):** Effects of vessel-induced waves on the YOY-fish assemblage at two different habitat types in the main stem of a large river (Danube, Austria) HYDROBIOLOGIA. 2014; 729(1): 3-15.
- Shumm, S.A. (1977).** The fluvial system. Wiley, New York.
- Ten Brinke WBM, Schulze FH, Van der Weer P. (2004).** Sand exchange between groyne-field beaches and the navigation channel of the Dutch Rhine: the impact of navigation versus river flow. River Research and Applications 20: 899–928.
- viadonau (2012).** Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau – KWD 2010. Vienna, Austria.
- viadonau (2019).** Manual on Danube Navigation, 4th edition, Vienna.
- Vienna Waters (2020).** <https://www.wien.gv.at/wienwasser/versorgung/weg/index.html>
- VHP (2013b).** Strom aus dem Strom. Die Wasserkraftwerke an der Donau. VERBUND Hydro Power AG.
- Wagner, B., Hauer, C., Schoder, A., Habersack, H. (2015).** A review of hydropower in Austria: Past, present and future development. Renewable and Sustainable Energy Reviews 50, 304–314.
- Wohl, E., B. P. Bledsoe, R. B. Jacobson, N. L. Poff, S. L. Rathburn, D. M. Walters, and A. C. Wilcox (2015).** The natural sediment regime in rivers: Broadening the foundation for ecosystem management, Bioscience, 65, 358–371.
- WRS (2000).** Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach. Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach, Fachbericht 2, Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München.