

Wiss. Mitt. Niederösterr. Landesmuseum	17	275-308	St. Pölten 2005
--	----	---------	-----------------

Natürliche Charakteristik der Donau-Auen im Machland und hydromorphologische Veränderungen durch menschliche Eingriffe (1812-1991)

Severin Hohensinner¹, Helmut Habersack, Mathias Jungwirth,
Gerald Zauner

Zusammenfassung

Vorliegende Arbeit untersucht die natürliche Flusslandschaft eines 10,25 km langen Donauabschnittes im österreichischen Machland vor Beginn der Regulierungsarbeiten auf Basis detaillierter historischer Vermessungen des Jahres 1812. Die anthropogen verursachten Veränderungen der Fließgewässerdynamik, der hydrologischen Konnektivität und der aquatischen Habitatzusammensetzung werden diskutiert und mit den Situationen nach der Regulierung (1925) und den Kraftwerkserrichtungen (1991) verglichen. 1812 bestand das Fluss-Auen-System der Donau aus einem komplexen Netzwerk von Flussarmen, zahlreichen Schotterbänken und großflächigen Inseln. Hauptstrom und Nebenarme (Eupotamon) nahmen ca. 97 % aller Gewässerflächen bei Niederwasserführung ein. Das Augebiet war durch relativ flaches Gelände und zahlreiche natürliche Gräben (vormals aktive Flussarme), die mit dem Hauptarm verbunden waren, gekennzeichnet. Diese hydromorphologischen Bedingungen führten zu einer merklichen Expansion bzw. Kontraktion der Wasserfläche bei Wasserstandsschwankungen unter bordvollem Wasserstand („Flow pulse“). Der hohe Grad der hydrologischen Intensität ermöglichte intensive Austauschprozesse und begünstigte die Migration aquatischer Organismen zwischen dem Fluss und den Habitaten im Augebiet über einen Zeitraum von ungefähr 90 Tagen pro Jahr. Insgesamt wurden im Jahr 1812 57 % der aktiven Zone (aktive Flussarme und Augebiet) bei bordvollem Wasserstand überflutet. Flussregulierungen und die Errichtung von Wasserkraftwerken führten zu einer wesentlichen Beeinträchtigung des Flusssystem. Folglich verringerten sich die eupotamalen Gewässer um 65 %, Schotter-/Sandbänke um 94 % und bewachsene Inseln um 97 %, während sich die Fläche der unterschiedlichen Altwässer hingegen verdoppelte. Bis 1991 wurde der frühere „Flow pulse“ durch Dämme und Uferbefestigungen halbiert, wobei die hydrologische Konnektivität weitgehend reduziert und große Anteile des Augebietes vom Hauptstrom abgetrennt wurden. Aktive Überflutungsvorgänge, welche früher eine bedeutende Rolle spielten, wurden durch Rückstauüberflutung und Grundwasserinfiltration in isolierten Augewässern abgelöst.

1) Autor für Korrespondenz

Abstract

Characteristics of the natural alluvial Danube river landscape in the Austrian Machland and hydromorphological changes following human interferences (1812-1991)

Based on detailed historical surveys from 1812, the natural riverine landscape of a 10.25 km-long Danube River reach in the Austrian Machland region prior to channelisation is analysed. Anthropogenically induced changes of fluvial dynamics, hydrological connectivity and aquatic habitat composition are discussed, comparing the situations following channelisation (1925) and flow regulation (1991). In 1812 the alluvial river-floodplain system of the Danube River comprised a highly complex channel network, numerous gravel bars and extensive islands, with the main channel and side arms (eupotamon) exhibiting about 97 % of the entire water surface at low flow. The floodplain was characterised by relatively flat terrain and numerous natural trenches (former active channels) connected to the main channel. These hydromorphological conditions led to marked expansion/contraction of the water surface area at water level fluctuations below bankfull ("flow pulse"). The high degree of hydrological connectivity enabled intensive exchange processes and favoured migrations of aquatic organisms between the river and floodplain habitats over a period of approximately 90 days a year. Overall, in 1812 57 % of the active zone (active channels and floodplain) was inundated at bankfull water level.

Channelisation and construction of hydropower plants resulted in a truncated fluvial system. Consequently, eupotamal water bodies decreased by 65 %, and gravel/sand bars and vegetated islands decreased by 94 % and 97 %, respectively, whereas the area of the various backwaters doubled. In 1991 the former "flow pulse" was halved due to artificial levees and embankments, greatly diminishing hydrological connectivity and decoupling large areas of the floodplain from the main channel. Active overflow, formerly playing an important role, is now replaced by backwater flooding and seepage inflow in isolated water bodies.

Keywords: Danube River, river landscape, alluvial floodplain, fluvial dynamics, hydrological connectivity, river morphology, historical change, Machland

Einleitung

Flusssysteme sind weltweit durch eine Vielzahl anthropogener Nutzungsformen erheblich degradiert (BENKE 1990, DYNESIUS & NILSSON 1994, ARTHINGTON

& WELCOMME 1995, SPARKS 1995, RAVEN et al. 1998, MUHAR et al. 2000). Flussregulierungen und im Besonderen Wasserkraftnutzung werden heute als Umwelteingriffe von hoher gesellschaftspolitischer Relevanz betrachtet (KARR 1993, NAIMAN et al. 1995), wie es auch von der kürzlich angenommenen EU Wasserrahmenrichtlinie (Europäisches Parlament und der Rat der europäischen Union 2000, CHOVANEC et al. 2000) anerkannt wurde. Daher gewinnen fundierte Kenntnisse über gewässerökologische Zusammenhänge zunehmend an Bedeutung um die definierten Ziele moderner Gewässerpolitik zu erreichen (JUNGWIRTH et al. 2000, 2002). Verbesserungs- und Rückbaumaßnahmen an regulierten Flussabschnitten werden international diskutiert und erste größere Projekte auch schon realisiert (z.B. HABERSACK & NACHTNEBEL 1995, TOTH 1995, 1996, BROOKES & SHIELDS 1996, DIEPLINGER et al. 1996, TOCKNER & SCHIEMER, 1997, CALS et al. 1998, SCHIEMER et al. 1999, BOON et al. 2000). Für Planung, Untersuchung und Monitoring derartiger Projekte empfiehlt sich dabei, die spezifischen abiotischen und biotischen Parameter des jeweiligen Flusssystem im Sinne von Referenzbedingungen („Visionäres Leitbild“) genau zu definieren (PETTS et al. 1989, KERN 1992a, 1992b, MUHAR 1994, MUHAR et al. 1995, EBERSTALLER & HAIDVOGL 1997, JUNGWIRTH et al. 2002). Da von den meisten größeren Flüssen West- und Mitteleuropas kaum mehr ursprüngliche Referenzstrecken erhalten sind, ist man bei der Erstellung eines Leitbildes zunehmend auf Analysen historischer Quellen und modellhaften Beschreibungen angewiesen (HOOKE & REDMOND 1989, HOOKE 1997, MUHAR et al. 1998). Auch an der österreichischen Donau fehlen auf Grund der Regulierungsbauten im 19. Jhd. und der Errichtung von Kraftwerksketten im 20. Jhd. „ursprüngliche“ Flussabschnitte.

Im Rahmen vorliegender Studie werden daher die hydromorphologischen Bedingungen der Donau in der alluvialen Beckenlandschaft des österreichischen Machlandes basierend auf historischen Daten aus dem Jahr 1812 analysiert. Wesentliches Ziel ist es, den natürlichen Zustand eines Auegebietes, welches typisch für die österreichische Donau vor Beginn menschlicher Eingriffe war, zu beschreiben. Unterschiedlichste Elemente der Flusslandschaft wie Gewässertypen, Schotter-/Sandbänke, Inseln und natürliche Gräben (vormals aktive Flussarme) werden quantifiziert um ihre Bedeutung innerhalb des Fluss-Auen-Systems zu beurteilen. Von besonderem Interesse ist die Frage, inwiefern die hydrologische Konnektivität und folglich der Austausch von Wasser, Sedimenten, Nährstoffen und Organismen durch bestimmte Strukturen der Auenlandschaft bei variierenden Wasserständen bestimmt wurde. Dementsprechend sind Auegebiete

als integrale Komponenten eines multidimensionalen Fließgewässersystems mit verschiedensten lateralen Wechselwirkungen zwischen Fluss und Umland zu betrachten (AMOROS et al. 1987, AMOROS & ROUX 1988, JUNK et al. 1989, WARD 1989, NAIMAN & DECAMPS 1990, STANFORD & WARD 1993, WARD & STANFORD 1995a, 1995b, PETTS & AMOROS 1996, NAIMAN & DECAMPS 1997, JUNGWIRTH 1998, WARD & TOCKNER 2001, WARD & WIENS 2001).

Da bereits mehrere Studien in Bezug auf die hydromorphologischen Bedingungen in alluvialen Auegebieten der österreichischen Donau nach der Flussregulierung vorliegen (HEILER et al. 1995, HEIN et al. 1999, TOCKNER et al. 1999, 2000a), ist diese Studie auf die hohe Komplexität der ursprünglichen Donau-Flusslandschaft vor Beginn der Regulierungsmaßnahmen im Jahr 1812 fokussiert. Während sich die meisten Untersuchungen historischer Fluss-Auen-Systeme auf Grundrissparameter von Flussarmen wie Flächenausdehnungen, Uferlinienlängen, Sinuosität und Verzweigungsindizes konzentrieren (HOOKE & REDMOND 1989, ROUX et al. 1989, HOOKE 1995, RECKENDORFER & SCHIEMER 2001, WARNER 2000), bezieht sich diese Studie auch auf die topographischen Verhältnisse im Auegebiet und die historischen Wasserspiegellagen.

Weiters wird der Wandel des natürlichen Fluss-Auen-Systems durch Flussbegradigung und Errichtung von Wasserkraftwerken im Hinblick auf zukünftige Managementstrategien diskutiert. Hierbei werden Karten von 1925 und 1991 herangezogen um die Veränderungen hinsichtlich hydrologischer Konnektivität und Flussdynamik zu analysieren. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen dienen als wertvolle Grundlagendaten im Sinne eines gewässertypspezifischen Referenzzustandes (Leitbild) für zukünftige Verbesserungs- und Rückbaumaßnahmen in vergleichbaren Donauabschnitten (z.B. im Nationalpark Donau-Auen).

Untersuchungsgebiet und historische Entwicklung

Der untersuchte Donau-Abschnitt ist 10,25 km lang und liegt im östlichen Machland (Strom-km 2.094-2.084) an der Grenze zwischen Ober- und Niederösterreich (Abb. 1). Als Machland wird die östlichste der drei oberösterreichischen Donau-Niederungen bezeichnet, welche jeweils durch anschließende Donaudurchbrüche durch die Böhmisches Masse voneinander getrennt sind. Das Machland ist stark von den drei großen alpinen Zubringern Inn, Traun und Enns beeinflusst, welche im natürlichen Zustand reich an Geschiebe und Schwebstoffen waren. Die Enns mündet kurz oberhalb des untersuchten Bereiches in die Donau.

Natürliche Charakteristik der Donau-Auen im Machland

279

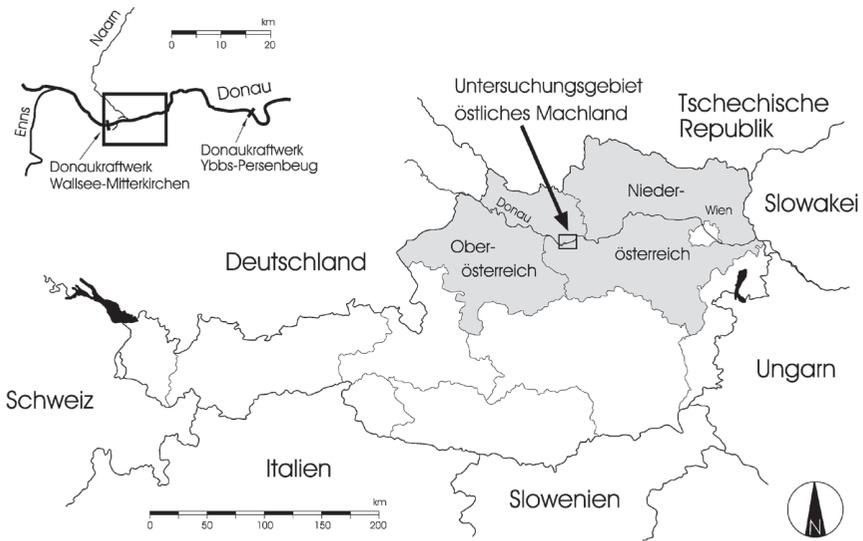


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes

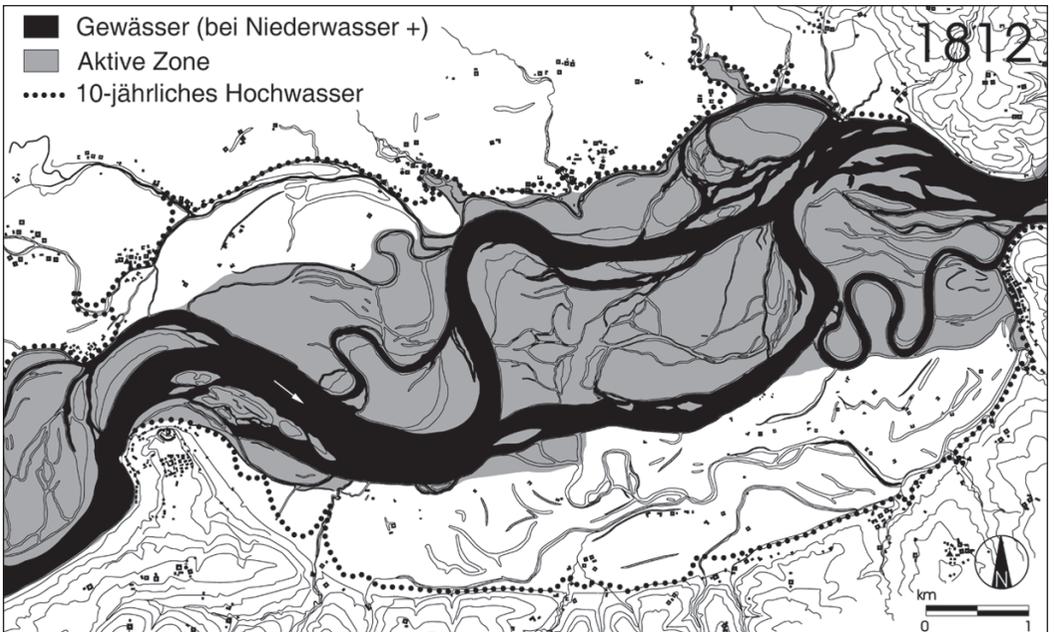


Abb. 2: Abgrenzung des Untersuchungsgebietes: aktive Zone und Überflutungsbereich des 10-jährlichen Hochwassers im Jahr 1812.

Bis 1859 hatte die Donau den Charakter eines großen, durch Inseln verzweigten, alluvialen Flusses (Abb. 4a), der primär vom alpinen Abflussregime mit hohen Spiegelschwankungen bis zu 3 m mehrmals pro Jahr beeinflusst war.

In Folge der Schneeschmelze treten die Abflussmaxima generell im Frühjahr/Sommer auf (Abb. 5).

Als Grenze des Untersuchungsgebietes gilt die Wasseranschlaglinie des 10-jährlichen Hochwassers, welche im Norden durch die Niederterrasse des Würmglaziales und im Süden durch das tertiäre Hügelland gebildet wird. 1812 betrug diese Fläche 33,8 km², wobei nur 22,2 km² (66 %) von der aktiven Zone der Donau eingenommen wurden (Abb. 2).

Die aktive Zone (AZ) inkludiert das aktive Flussarmsystem (Gewässer und unbewachsene Schotter-/Sandflächen), bewachsene Inseln und das angrenzende rezente Augebiet. Das rezente Augebiet entspricht der jüngsten und somit niedrigsten Terrasse der Flusslandschaft, welche unter den hydrologischen Bedingungen der Neuzeit (seit ca. 1500) entstanden ist. Natürlicherweise erfolgten in der AZ Überflutungen zumindest ein Mal pro Jahr. Die restliche Fläche des Untersuchungsgebietes (bzw. des HQ₁₀-Bereiches) ist bereits einer älteren und daher geringfügig höheren alluvialen Terrasse, dem so genannten „Unteren Hochflutfeld“ (UHF) zuzuordnen (KOHL 2000). Das UHF entstand bereits während der Römerzeit oder im Früh-/Hochmittelalter und ist teilweise besiedelt (KOHL 1990). Auf Grund zahlreicher Geländesenken innerhalb des UHF, weist dieser Terrassenkörper jedoch teilweise ähnliche Höhenlagen wie die AZ auf. Überflutungen treten hier durchschnittlich zwischen zwei und zehn Jahren je nach Höhenlage des Geländes auf. Im Mittel war das gesamte Untersuchungsgebiet (HQ₁₀-Gebiet) 3.200 m breit, die aktive Zone 2.100 m (berechnet basierend auf 42 Transekten mit einem regelmäßigen Abstand von 250 m).

Als erste Regulierungsmaßnahme wurde in diesem Donauabschnitt um 1826 ein Leitwerk aus Faschinen (Bündel aus Ästen und Steinen) errichtet um das oberstromige Ende des damaligen südlichen Hauptarmes zu schließen und die Wasserführung im nördlichen Arm zu konzentrieren. 1859 wurde bereits die erste große Regulierungsphase abgeschlossen (Abb. 4b). Im 20. Jhd. erfuhr die Flusslandschaft nochmals gravierende Veränderungen durch die Errichtung der beiden Donau-Kraftwerke Ybbs-Persenbeug (1957, 23 km stromab) und Wallsee-Mitterkirchen (1968, stromauf direkt an der Grenze des Untersuchungsgebietes). Dadurch bildet der untersuchte Donauabschnitt nunmehr die Stauwurzel des Kraftwerkes Ybbs-Persenbeug (Abb. 1). Im Zuge der Kraftwerksbauten wurden die meisten Augewässer durch Uferabdämmungen und zwei Pumpwerken, wel-

Tab. 1: Charakteristische Kennwerte des Abfluss- und Feststoffregimes der Donau im östlichen Machland, Österreich

Flussordnungszahl	9
Sohlgefälle im Jahr 1812, Strom-km 2094-2084 (m m^{-1})	0,00055
Regulierungsniederwasser-Abfluss, Strom-km 2094 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	900
Mittelwasser-Abfluss, Strom-km 2094 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	1.800
Mittlerer jährlicher Hochwasser-Abfluss, Strom-km 2094 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	5.800
10-jährlicher Hochwasser-Abfluss (HQ_{10}), Strom-km 2094 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	7.300
Mittlere jährliche Geschiebefracht vor Regulierung, Strom-km 2060 ($\text{m}^3 \text{a}^{-1}$)	490.000
Mittlere jährliche Geschiebefracht aktuell, Strom-km 2094-2084 ($\text{m}^3 \text{a}^{-1}$)	*
Mittlere jährliche Schwebstofffracht vor Regulierung, Strom-km 2110 (t a^{-1})	6.950.000
Mittlere jährliche Schwebstofffracht aktuell, Strom-km 2094 (t a^{-1})	2.750.000
Mittlere Korngröße vor Einstau im Jahr 1937, Strom-km 2084 (mm)	20
Mittlere Korngröße aktuell, Strom-km 2084 (mm)	22

* nur lokaler Transport innerhalb des Stauraumes oder bei Hochwässern

Quellen: Österreichische Wasserstraßendirektion (WSD), VERBUND-AHP AG, HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO (1937), UNESCO (1993), SCHMAUTZ et al. (2000)

che zur Entwässerung des Auegebietes und Absenkung des Grundwasserspiegels errichtet wurden, von der Donau abgetrennt. Andererseits entstand durch die Errichtung des neuen Flussbettes im Kraftwerkbereich aus dem ehemaligen Hauptstrom ein neuer Altarm (Abb. 4c). Tabelle 1 zeigt charakteristische Kennwerte der Donau im Untersuchungsgebiet.

Datenquellen und Methodik

Da die Donau im östlichen Machland seit jeher die Grenze zwischen verschiedenen Herrschaftsgebieten bildete, existieren bereits seit 1714 genaue Vermessungen des Auegebietes zur Festlegung der Besitzgrenzen. Außerdem gab es hier schon seit ca. 1800 konkrete Planungen zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse, weshalb es zahlreiche detaillierte Stromkarten gibt. Wiederholte Aktualisierungen der Karten ermöglichen es, auch kleine Veränderungen der Flussmorphologie exakt nachzuvollziehen (z.B. wandernde Inseln oder Erosion von Flussufern).

Über 100 historische Unterlagen dieses Donauabschnittes wurden in öster-

Tab. 2: Charakteristische Wasserstände der Donau im Jahr 1812 und vergleichbare Abflüsse (Q) im Jahr 2000 (östliches Machland, Strom-km 2094-2084); vgl. Abb. 3 und Kapitel Datenquellen und Methodik

Wasserstand	Abkürzung	m über NW	Q (m ³ s ⁻¹)
Bordvoller Wasserstand (Mittel)	BW	ca. 3,00	ca. 4.800
Sommerliches Mittelwasser (= Vegetationsgrenze)	SMW	1,70	2.150
Mittelwasser	MW	1,30	1.800
Niederwasser + (Aufnahmewasserstand 1812)	NW+	0,30	*
Niederwasser (Nullpunkt des Pegels 1812)	NW	0,00	900
Extremes Niederwasser	NW-	< 0,00	700

* keine Daten verfügbar

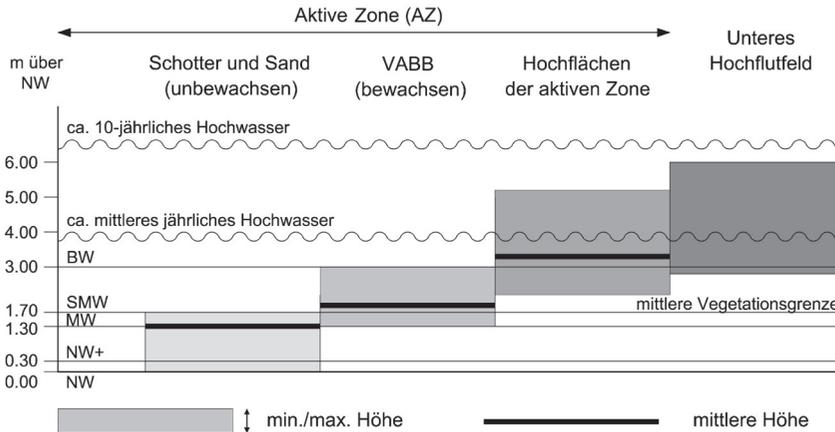


Abb. 3: Geländehöhenzonen innerhalb des Untersuchungsgebietes (Bereich des 10-jährlichen Hochwassers) bezogen auf den Niederwasserstand (NW) im Jahr 1812. (VABB = vegetated area below bankfull/Vegetationsfläche unter bordvollem Wasserstand; die Definitionen der charakteristischen Wasserstände sind Tab. 2 und Kapitel Datenquellen und Methodik zu entnehmen)

reichischen Bundes-, Landes-, Herrschafts-, Stifts- und Privatarchiven gesichtet. Davon beinhalten 41 Kartenwerke brauchbare Informationen zur Geländetopographie, Flussmorphologie und Landnutzung. Die genauesten Karten wurden mit Hilfe von AutoCAD Overlay auf aktuelle detaillierte topographische Vermessungen projiziert und die Lagegenauigkeit mittels 20-30 Passpunkten (Kirchen, Straßen, Geländestrukturen, ...), welche sich seither nicht verändert haben, kontrolliert. In einigen Fällen wichen die beobachteten Passpunkte bis zu 50 m im Grundriss auf Grund von Messfehlern und Kartenverzerrungen von der aktuellen Vorlage ab. Um diese Fehler auszugleichen wurden die Karten digital an Hand der Passpunkte entzerrt und anschließend vektorisiert (Originalmaßstäbe 1: 6.900 bis 1: 25.000). Dadurch wurden die Lageungenauigkeiten auf 0-10 m reduziert. Diese Arbeitsschritte erfolgten schrittweise beginnend mit der genauesten Karte aus dem Jahr 1991. Die historischen Karten wurden danach in chronologischer Reihenfolge von 1991 rückwärts computerunterstützt kontrolliert und editiert. Um festzustellen, ob bestimmte Lageabweichungen durch Kartenungenauigkeiten begründet sind oder Veränderungen von Flussarmen anzeigen, wurden innerhalb der Zeitreihe die aufeinander folgenden Karten miteinander verglichen. Als Ergebnis liegt eine standardisierte Kartenserie in chronologischer Reihenfolge zwischen 1714 und 1991 vor. Für diese Studie wurde eine der detailliertesten Karten von 1812 ausgewählt um den früheren natürlichen Zustand der Flusslandschaft zu beschreiben. Eine zweite Karte aus dem Jahr 1925 zeigt die Veränderungen durch die Flussbegradigungen. Mehrere aktuelle Kartenwerke wurden für die Untersuchung der Situation im Jahr 1991 herangezogen.

Als Grundlage für die Situation im Jahr 1812 dient die Karte „Geometrisch-hyrotechnische Aufnahme des Donaustromes“ (Vermessung und Kartierung durch die ehemalige k.k. Landesbaudirection, Maßstab 1: 6.900, Oberösterreichisches Landesarchiv), die beim damaligen „gewöhnlichen“ Niederwasserstand plus 0,3 m (NW+) aufgenommen wurde. Sie beinhaltet Informationen zu Geländehöhen, charakteristischen Wasserständen bzw. Wasserspiegellagen (niederer und mittlerer Wasserstand sowie der „gewöhnlich“ höchste Wasserstand, welcher im Vergleich zu bekannten historischen Hochwasserständen im Projektgebiet einem mittleren jährlichen bis 5-jährlichen Hochwasser entspricht, wurden an mehreren Stellen aufgezeichnet). Ebenso wurden Fließgeschwindigkeiten am Stromstrich, Angaben zur Vegetation bzw. Landnutzung und Ufererosion im Kartenwerk verzeichnet. Ein zusätzlicher Längenschnitt zeigt Wassertiefen, die Flusssohle entlang des Stromstriches und das Wasserspiegelgefälle. Obwohl einige Abflussdaten aus dem 19. Jhdt. vorliegen,

sind diese nur eingeschränkt vertrauenswürdig und daher werden im Rahmen dieser Studie charakteristische Abflusswerte aus dem 20. Jhdt. verwendet (Tab. 2).

Die „Karte der österreichischen Donau“ (herausgegeben vom Bundesministerium für Handel und Verkehr, Maßstab 1 : 10.000, Österreichisches Staatsarchiv) beinhaltet topographische Daten bezogen auf Niederwasser für die Situation im Jahr 1925. Zusätzliche hydrologische Informationen können einigen, nicht publizierten Manuskripten der Verläuferorganisation der Wasserstraßendirektion (WSD) entnommen werden.

Die aktuelle Situation des untersuchten Donauabschnittes ist relativ einfach basierend auf verschiedenen Karten und Vermessungen zu ermitteln (z.B. Österreichkarte ÖK 25, BEV, Maßstab 1 : 25.000, Carte de Pilotage du Danube, WSD, 1 : 10.000, Luftbildauswertungen, VERBUND-Austrian Hydro Power AG, 1 : 2.000, ...). Hydrologische Daten und Stromsohlvermessungen wurden von WSD (z.B. KWD 1941 – 1996) und Austrian Hydro Power AG bereitgestellt (vgl. Tab.1).

Die weitere Auswertung der drei Situationen 1812, 1925 und 1991 wurde mit Hilfe der CAD/GIS-Software Autodesk Land Development Desktop durchgeführt. Die Flächenauswertungen der Strukturen der Flusslandschaft im Jahr 1812 wurden für eine Niederwassersituation (NW+) und für den mittleren Wasserstand während der Sommermonate (SMW) durchgeführt. Während die Situation bei NW+ durch den ehemaligen Aufnahmewasserstand eindeutig definiert ist, ergibt sich jene bei SMW auf Grund der Vegetationsgrenze, dem Übergang von offenen Rohböden zur geschlossenen mehrjähriger Vegetation (junge Weiden). Die Vegetationsgrenze wurde an Hand der historischen Geländehöhen, die 1812 gemessen und kartiert wurden, berechnet. Tabelle 2 zeigt die charakteristischen Wasserstände im Jahr 1812. Entsprechend den charakteristischen Wasserständen und Geländehöhen 1812 war der bordvolle Wasserstand (BW) niedriger als der mittlere jährliche Hochwasserstand (vgl. Abb. 3). In dieser Studie wird als topographischer Referenzpunkt der Pegelnullpunkt des Jahres 1812 angenommen, der dem damaligen „gewöhnlichen“ Niederwasserstand (NW) entspricht.

Um die morphologische Dynamik zu analysieren, wurden die vektorisierten Karten von 1812, 1925 und 1991 übereinander gelegt und die Flächenänderungen der Gewässer, Schotter-/Sandbänke, Inseln und Gräben (frühere aktive Flussarme) berechnet. Obwohl in den drei Karten die gemessenen Wasserstände nicht exakt übereinstimmen, sind die Unterschiede vergleichsweise klein (1812: NW+ entspricht NW+0,3 m, 1925: ca. NW, 1991: NW entspricht RNW). Dementsprechend würden die Gewässer 1812 bei NW geringere Flächen aufweisen als bei NW+

gemessen, während Schotter-/Sandflächen bei NW größer wären. Die Gewässertypen sind in Anlehnung an die Klassifikation von AMOROS et al. (1982, 1987) sowie AMOROS & ROUX (1988) definiert. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit dient die aktive Zone (AZ) im Jahr 1812 auch als räumliche Vergleichsbasis für die Situationen 1925 und 1991, obwohl heute große Flächenanteile der früheren AZ hydrologisch vom Hauptstrom abgetrennt sind.

Ergebnisse

Generelle hydromorphologische Verhältnisse

1812 war die Donau im untersuchten Abschnitt durch zahlreiche bewachsene Inseln und Schotterbänke in mehrere Arme verzweigt (Abb. 4a). Die mittlere Breite des gesamten Gewässernetzes (summierte Breiten der Flussarme) betrug 550 m bei NW+ und 730 m bei SMW. Ein Hauptstrom war klar erkennbar, dieser teilte sich jedoch abschnittsweise in zwei morphologisch annähernd gleichwertige Arme. Im Mittel erreichte die Breite des Hauptstromes bzw. der Hauptstromarme 340 m bei NW+ und 450 m bei SMW. Die Sinuosität des Hauptstromes (Länge des Hauptstromes in Relation zur Länge des Flusstales/Luftlinie) betrug – gemessen entlang des längeren nördlichen Hauptarmes – 1,32, wodurch die Donau im Jahre 1812 entsprechend der Klassifikation von LEOPOLD & WOLMAN (1957) als gewundener Flusstyp einzustufen ist. Da die Donau mehrere kleinere Nebenarme aufwies, eignen sich andere Parameter besser zur Beschreibung der damaligen Verhältnisse. So ergibt das Verhältnis der summierten Längen aller Flussarme zur Länge des Flusstales (Luftlinie) eine Gesamt-Sinuosität von 5,22 („Total sinuosity“, nach RICHARDS 1982, ROBERTSON-RINTOUL & RICHARDS 1993). Die Intensität der Verzweigung, berechnet auf Basis von 42 Transekten mit einem regelmäßigen Abstand von 250 m, ergibt für 1812 einen „Braiding Index“ von 4,1 (BRIDGE 1993).

Die beiden Arme des Hauptstromes erreichten entlang des Stromstriches mittlere Tiefen von 3,8 m bezogen auf NW, wobei die minimale Tiefe lediglich 1,9 m betrug. Die Analyse der historischen Sohllage an Hand des 1812 erstellten Längenschnittes ergibt ein mittleres Sohlgefälle von $0,00055 \text{ m}^{-1}$ (0,55 ‰) bezogen auf den gesamten Flussabschnitt (das durchschnittliche Gefälle der österreichischen Donau beträgt 0,43 ‰).

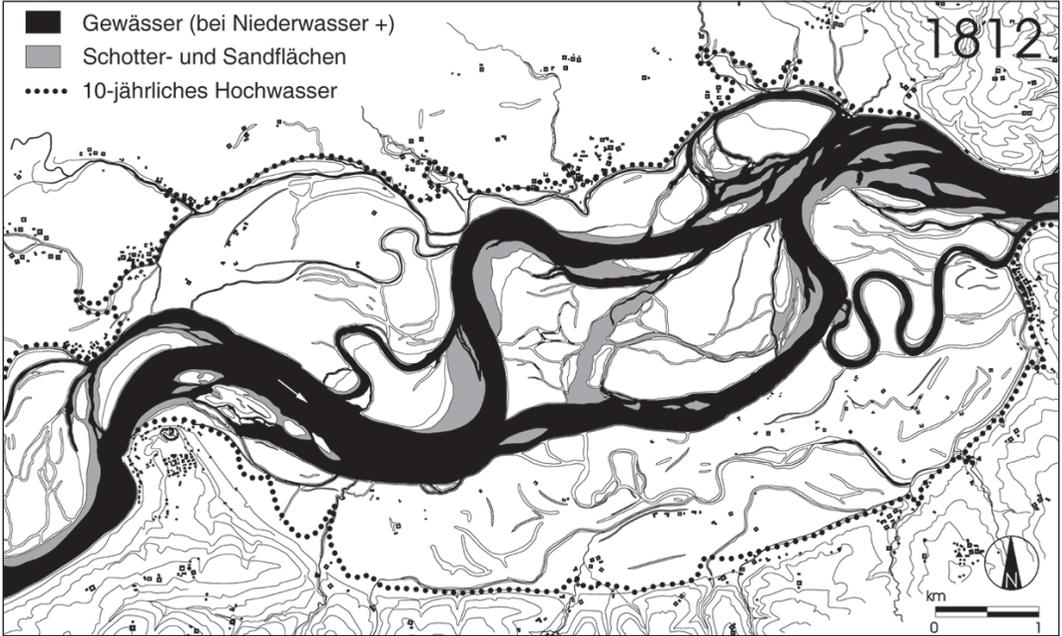


Abb. 4a

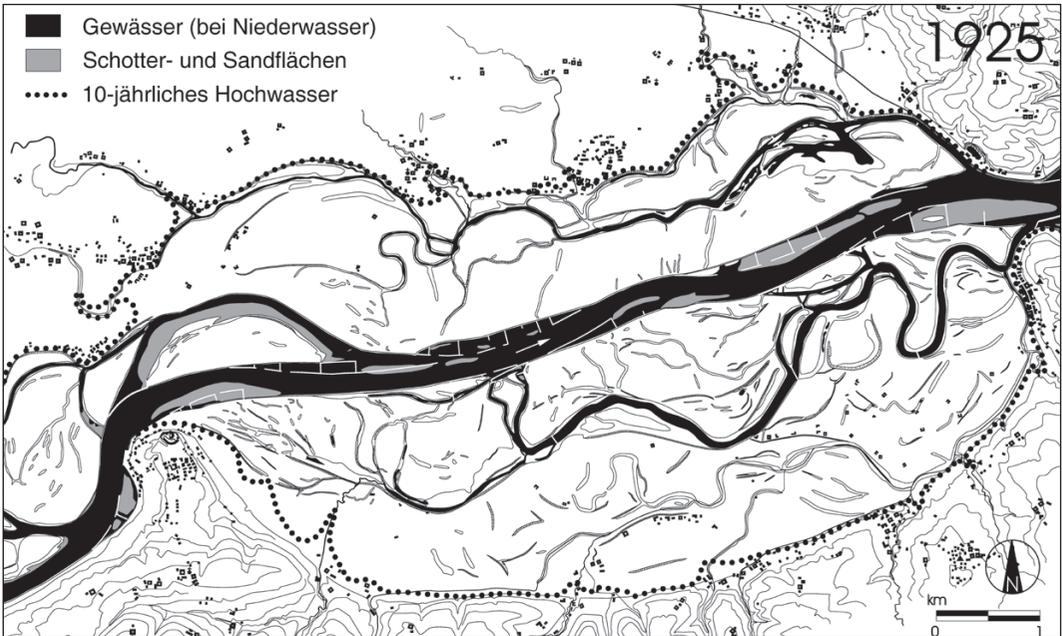


Abb. 4b

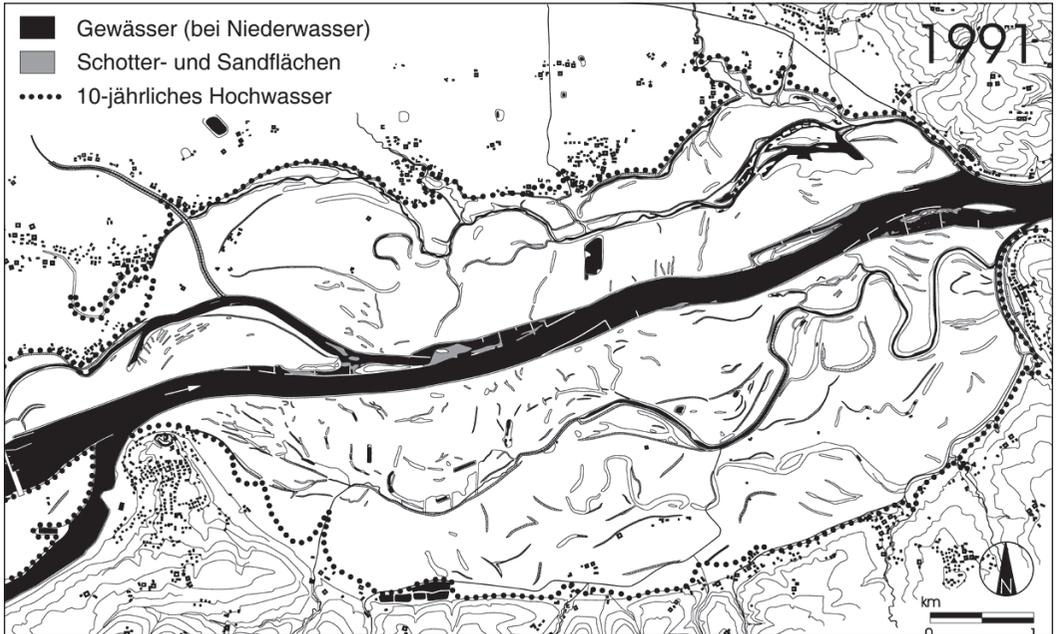


Abb. 4c

Legende zu Abb. 4:

- (a) Donau vor der Flussregulierung in ihrem ursprünglichen Zustand 1812.
- (b) Donau nach der Regulierung 1925.
- (c) Donau nach Errichtung der Wasserkraftwerke 1991.

schwarze Flächen: Wasserflächen, grau: unbewachsene Schotter-/Sandflächen, weiß: Vegetationsflächen; die länglichen umrandeten Formen sind bewachsene Gräben (ehemalige aktive Flussarme) innerhalb des Auegebietes; 1925 und 1991: die grauen linearen Strukturen im Hauptstrom sind Leitwerke und Buhnen zur Niederwasserregulierung.

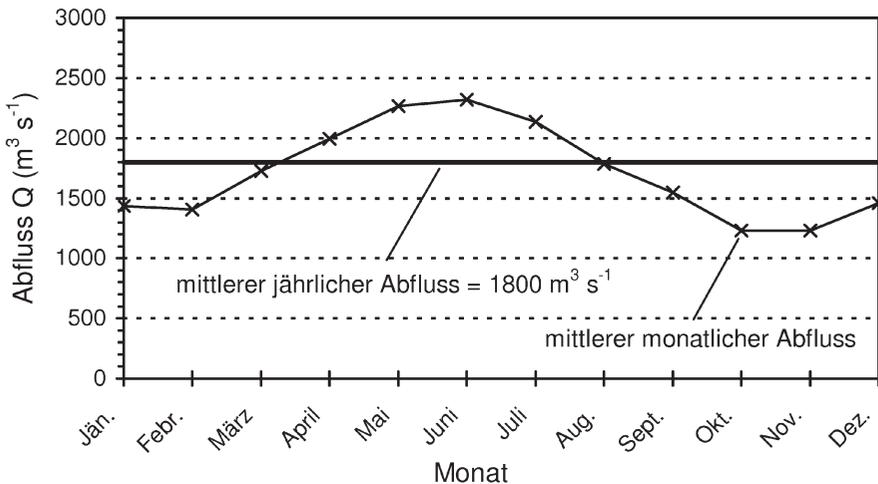
Geländetopographie in der aktiven Zone

Die 1812 gemessenen Geländehöhen erlauben eine näherungsweise Bestimmung der ursprünglichen Höhenverhältnisse in der aktiven Zone. Zur besseren Vergleichbarkeit mit anderen Flusssystemen sind diese auf NW bzw. MW bezogen (Tab. 3). In dieser Studie wird zwischen drei Geländehöhenzonen innerhalb der AZ unterschieden (Abb. 3). Die niedrigste Höhenzone des Auegebietes umfasst die Schotter- und Sandflächen ohne Vegetation, die bis 1,7 m über NW reichen. Dies entspricht ungefähr dem sommerlichen Mittelwasserstand (SMW) im Jahr 1812.

Tab. 3: Geländehöhenzonen im Jahr 1812 bezogen auf charakteristische Wasserstände (m)

Geländehöhenzone	NW		MW	
	Mittel	Bereich	Mittel	Bereich
Schotter- und Sandflächen (ohne Vegetation)	1,30	0,00 – 1,70	0,00	0,00 – 0,40
VABB (mit Vegetation)	1,90	1,30 – 3,00	0,60	0,00 – 1,70
Hochflächen des Auegebietes	3,30	2,20 – 5,20	2,00	0,90 – 3,90

Die Mittelwerte wurden als arithmetische Mittel der verfügbaren historisch vermessenen Höhenkoten berechnet. Die angegebenen Bereiche der Höhenzonen beschreiben die minimalen und maximalen Höhen innerhalb der aktiven Zone (AZ) (vgl. Abb. 3). VABB = vegetated area below bankfull (Vegetationsfläche unter bordvollem Wasserstand)

**Abb. 5:** Abfluss-Ganglinie Wallsee/Machland: mittlere monatliche Abflüsse (1982 -1999) und mittlerer jährlicher Abfluss (1961 – 1990).

Die nächst höhere Zone entspricht der „Vegetated area below bankfull“ (VABB, Vegetationsfläche unter bordvollem Wasserstand), welche 1,3-3,0 m über NW angesiedelt war. Die VABB umfasst bewachsene Uferzonen, tief liegende Inseln, kürzlich angelandete Vegetationsflächen und das Grabensystem (ehemalige Flussarme) innerhalb des Auegebietes und liegt höhenmäßig zwischen den Schotter-/Sandbänken und dem bordvollen Wasserstand (BW). Im Mittel lagen

Tab. 4: Flächen verschiedener morphologischer Elemente innerhalb der aktiven Zone (AZ) bzw. des 10-jährlichen Hochwasserbereiches in den Jahren 1812, 1925 und 1991

Elemente der Flusslandschaft	1812		1925		1991	
	ha	%	ha	%	ha	%
Gewässer in der AZ gesamt ¹	739	33	439	20	413	19
<i>Hauptstromarme</i> ¹	588	26	300	14	288	13
<i>Augewässer</i> ¹	151	7	139	6	125	6
Schotter-/Sandflächen in der AZ ¹	234	11	130	6	15	1
VABB in der AZ (mit Vegetation)	283	13	275	12	255	11
Hochflächen der AZ (über BW)	964	43	1.376	62	1.537	69
Inseln mit Vegetation in der AZ gesamt ²	1.048	47	461	21	29	1,3
<i>Kleine flache temporäre Inseln</i>	125	6	56	3	15	0,7
<i>Große höhere stabile Inseln</i>	923	41	405	18	14	0,6
VABB im 10-jährl. HW-Bereich gesamt	430	13	380	11	294	9
Grabensystem im 10-jährl. HW-Bereich	240	7	244	7	246	7

AZ = ursprüngliche aktive Zone im Jahr 1812 (räumliche Vergleichsbasis)

VABB = vegetated area below bankfull, BW = bordvoller Wasserstand.

Die angeführten Prozentsätze sind auf die Fläche der AZ bzw. den Bereich des 10-jährlichen Hochwassers bezogen.

¹ Wasserstand zum Aufnahmezeitpunkt 1812: NW+, 1925 und 1991: NW (vgl. Tab. 2)

² Inseln mit Vegetation haben Anteile an der VABB und den Hochflächen der AZ

die 1812 gemessenen Geländepunkte des VABB lediglich 1,9 m über NW, also knapp oberhalb der Schotter/Vegetations-Grenze bzw. SMW. Daraus ist ersichtlich, dass diese tief liegenden Vegetationsflächen teilweise bereits bei leicht erhöhtem Mittelwasser überstaut bzw. überströmt wurden. Auf Basis der aktuellen Abfluss-Ganglinie der Donau (historische hydrologische Daten vor der Regulierung sind rar und nur eingeschränkt verwendbar) deutet dies auf häufige Überflutungen der VABB, in Summe bis zu 90 Tagen und mehr pro Jahr, insbesondere von April bis Juli hin (Abb. 5). Folglich wurden diese Flächen von Pionervegetation und Weichholzarten (zumeist Weiden) dominiert. Da derartige Bereiche großteils an den Innenbögen aktiver Flussarme lagen, waren sie – wie in Karten von 1817, 1819 und 1821 ersichtlich – zumeist sukzessiven Auflandung

unterworfen, wobei die Sedimentation durch die aufwachsende Vegetation noch zusätzlich begünstigt wurde. Eine nähere Analyse zeigt auch, dass 1812 rund 23 % (245 ha) aller Inselflächen (1.048 ha) derartig niedrige Geländehöhen aufwiesen (Tab. 4). Ähnliche Höhenlagen hatten auch Gräben und Mulden des Augebietes sowie die Uferbereiche der Zubringer, speziell der größeren nördlichen Zubringer (z.B. Naarn, vgl. Abb. 1 und Abb. 4a, b, c, linker oberer Bildrand).

Die höchste Geländezone innerhalb der AZ entspricht den Hochflächen des Augebietes, welche mit Höhenlagen von 2,2 - 5,2 m und einer mittleren Höhe von 3,3 m über NW sehr heterogen waren. Historischen Beschreibungen zufolge wiesen diese Bereiche zum Teil bis zu 2,8 m mächtige Feinsedimentlagen auf (HÖCHSMANN 1848). Der Anteil dieser Höhenzone betrug 43 % (964 ha) der gesamten AZ, wobei der Großteil davon durch größere Inseln gebildet wurde (803 ha, 83 %). Um die Flurabstände im Augebiet abzuschätzen, wurden die im Jahr 1812 an mehreren Stellen gemessenen Höhenlagen des Wasserspiegels zwischen den Flussarmen interpoliert. Betrachtet man die Hochflächen des Augebietes in der AZ in Bezug auf den mittleren jährlichen Wasserstand (MW), so zeigt sich, dass die relativ geringen Flurabstände fast durchwegs feuchte bis frische Auwaldgesellschaften begünstigten (mittlerer Flurabstand der Hochflächen in der AZ = MW + ca. 2,0 m).

Tab. 5: Flächenanteile einzelner Gewässertypen an der gesamten Wasserfläche innerhalb der aktiven Zone im Jahr 1812

Gewässertyp	NW+		SMW		Differenz ¹	
	ha	%	ha	%	ha	%
Hauptstromarme (Eupotamon)	588	79	752	77	164	28
Nebenarme (Eupotamon)	131	18	159	16,5	28	21
angebundene Altarme (Parapotamon)	14	2	53	5,5	39	279
isol. Altwässer (Plesio-, Palaeopotamon)	3	0,5	5	0,5	2	67
Zubringer	3	0,5	4	0,5	1	33
Gesamtfläche	739	100	973	100	234	32

Nebenarme: bei NW+ durchströmte Flussarme

angebundene Altarme: bei NW+ oder SMW angebunden

isolierte Altwässer: keine Anbindung bei SMW

¹ Differenz: Zunahme (Expansion) der Wasserfläche zwischen NW+ und SMW

(um zum Vergleich mit anderen Gewässern ha/km-Werte zu erhalten sind die absoluten Flächenwerte durch die Länge der geradlinigen Talachse = 10,25 km zu dividieren)

Hauptstromarme und Augewässer

Die Flächenverteilung der verschiedenen Gewässertypen verdeutlicht die zentrale Stellung von Hauptstrom und Nebenarmen (Eupotamon). 1812 betrug die gesamte Wasserfläche in der aktiven Zone (AZ) 739 ha bei NW+ und 973 ha bei SMW, wobei auf die Hauptstromarme 588 ha (79 %) bzw. 752 ha (77 %) entfielen. Nebenarme, welche auch bei niederen Wasserständen ständig durchströmt wurden, wiesen mit 131 ha (18 %) bei NW+ und 159 ha (16,5 %) bei SMW den flächenmäßig zweitgrößten Anteil auf. Tabelle 4 zeigt die Flächenausdehnung der verschiedenen morphologischen Elemente, Tabelle 5 die relativen Flächenanteile der unterschiedlichen Gewässertypen bezogen auf die gesamte Wasserfläche. Die hohen Anteile der eupotamalen Gewässer verdeutlichen den Charakter der früheren Donau als komplexes und dynamisches Flusssystem im untersuchten Abschnitt. Altarme, die bei NW+ oder bei SMW einseitig an die Hauptarme angebunden waren (Parapotamon), isolierte Altwässer ohne Anbindung bei SMW (Plesio- und Paläopotamon) sowie Zubringer hatten in diesem System flächenmäßig nur untergeordnete Bedeutung. Summiert man die Flächen dieser Nebengewässer, so zeigt sich, dass sie bei NW+ nur rund 3 % und bei SMW nur 6,5 % der gesamten Wasserfläche ausmachten.

Der Tabelle 5 ist ebenfalls die Expansion der einzelnen Gewässertypen zwischen NW+ und SMW zu entnehmen. Insgesamt vergrößerte sich die Wasserfläche um 32 %, wobei vor allem angebundene Altarme die größte relative Flächenzunahme (279 %) aufwiesen. Die historische Verteilung der Wasserflächen spiegelt sehr deutlich ein Gewässersystem wider, das sehr hohe Anteile permanent durchflossener (lotischer) Arme aufwies. Selbst bei Niederwasserführung wurden 97 % aller Gewässer durchströmt. Dies lässt umgekehrt auf vergleichsweise geringe Anteile stagnierender Gewässer schließen. Absolut gesehen wiesen jedoch auch einseitig angebundene Altarme (53 ha bei SMW) und isolierte Altwässer (ca. 5 ha bei SMW) große Flächen auf.

Schotter- und Sandflächen ohne mehrjährige Vegetation

Schotter- und Sandflächen ohne Vegetation wurden entsprechend dem Aufnahmewasserstand bei NW+ ermittelt. In Summe betrug die Gesamtfläche im Jahr 1812 234 ha und entspricht ca. 23 ha pro km Talachse (Luftlinie) oder einem Flächenanteil von rund 11 % bezogen auf die AZ (Tab. 4). Zur genaueren Analyse wurden sämtliche Schotter- und Sandstrukturen basierend auf dem

Tab. 6: Schotter- und Sandflächen ohne Vegetation im Jahr 1812

Kategorie	Fläche (ha)	m. max. Br. (m)	Ul/L
Uferbänke	150	72	1,34
Schotterinseln	47	68	2,18
Schottergerinne (bei NW+ trocken)	37	54	-
Gesamt / gewichtetes Mittel	234	68	1,56

Werte bezogen auf NW+

m. max. Br. = mittlere maximale Breite (Durchschnitt der Maximalbreiten der Schotter-/Sandstrukturen), Ul/L = mittlerer Quotient aus Uferlinienlänge und Länge der Strukturen

Originalmaßstab 1 : 6.900 in vier verschiedene Kategorien unterteilt (Tab. 6). Als flächenmäßig bedeutendste Struktur erweist sich mit 150 ha (64 %) die Kategorie der Uferbänke.

Die mittlere maximale Breite sämtlicher Schotter-/Sandflächen (Uferbänke, Schotterinseln und bei NW+ trocken fallende Gerinne, Tab. 6) ist als Maß für das „moving littoral“ bei Spiegelschwankungen zwischen NW+ und SMW geeignet. 1812 betrug die mittlere maximale Breite 68 m, maximal sogar 330 m.

Als ideales Maß für die Verzahnung von aquatischen Habitaten und Schotter-/Sandhabitaten dient das Verhältnis der Wasseranschlaglinie zur Länge einzelner Schotter-/Sandstrukturen. Die Berechnung für die Kategorie „Uferbänke“ ergibt einen Faktor von 1,34 bezogen auf NW+, Wasseranschlaglinien von Schotterinseln wiesen im Mittel den Faktor 2,18 auf. Das gewichtete Mittel sämtlicher Strukturen betrug 1,56.

Inseln mit mehrjähriger Vegetation

Großflächige, mit mehrjähriger Vegetation bestockte Inseln waren ebenfalls typische Elemente der ursprünglichen Donaulandschaft. Sie erreichten oft dieselbe Höhenlage wie das angrenzende Umland. Vergleicht man Karten von 1714 bis 1859, waren einige Inseln über Dekaden, vielleicht sogar Jahrhunderte, relativ stabil und wiesen massive Feinsedimentlagen auf (HÖCHSMANN 1848). Dadurch prägten sie wesentlich die Umlagerungsdynamik und morphologische Entwicklung einzelner Teilbereiche der Aulandschaft. 1812 erreichten derartige große Inseln mit festlandähnlichem Charakter eine Ausdehnung von 923 ha (= 41 % der

AZ) und mittlere Höhenlagen von 3,0 m über NW (= MW+1,7 m).

Kleinere bewachsene Inseln, welche dem Umlagerungsgeschehen erheblich stärker ausgesetzt waren, hatten zumeist nur kurzfristigen Bestand und wurden nach einigen Jahren wieder erodiert bzw. durch Verlandungsprozesse an das angrenzende Augebiet angebunden. Mit 125 ha (6 % der AZ) wiesen sie im Mittel einen wesentlich geringeren Flächenanteil auf und erreichten auf Grund ihrer kurzen Lebensdauer durchschnittlich nur Höhen von 2,3 m über NW (= MW+1,0 m, Tab. 4). Bei höheren Wasserständen, wenn größere Inseln und das angrenzende Augebiet noch größtenteils aus dem Wasser ragten, wurden diese Inseln bereits überflutet.

In welchem Ausmaß früher Totholz an der Neuentstehung von Inseln beteiligt war, lässt sich aus heutiger Sicht kaum mehr beantworten. Laut SLEZAK (1975) geben Verordnungen aus dem Jahre 1540, Beschreibungen von 1770 sowie Regulierungsplanungen 1776 - 1779 darüber Auskunft, dass immer wieder größere Mengen von angeschwemmtem Totholz im Flussbett der Donau abgelagert wurden und dadurch die Anlandung neuer Schotterbänke und Inseln gefördert wurde. Insgesamt wurden 1812 47 % der AZ von bewachsenen Inseln gebildet. Bezogen auf die geradlinige Talachse entsprach dies einer Fläche von 102 ha pro km.

Vegetated area below bankfull

Die „Vegetated area below bankfull“ (VABB, Vegetationsfläche unter bordvollem Wasserstand) bezieht sich auf alle bewachsenen Zonen zwischen der Schotter/Sandzone und den Hochflächen des Augebietes. Dazu zählen neben tief liegenden Uferbereichen bzw. Inselnflächen und jungen bewachsenen Auflandungen auch die natürlichen Graben- und Muldensysteme des Augebietes, die bei Wasserständen zwischen SMW und BW überflutet wurden. Als aquatisch-terrestrische Ökotope der Flusslandschaft, bietet diese Zone zahlreiche räumlich und zeitlich variierende Standortsbedingungen, die ein breites Spektrum sich häufig ändernder Habitats und vielfältige Sukzessionsprozesse zur Folge haben (NAIMAN & DECAMPS 1990, WARD & WIENS 2001).

Da zahlreiche Grabensysteme von der AZ weit in die ältere alluviale Terrasse des „Unteren Hochflutfeldes“ reichten, bezieht sich die Analyse der VABB auf das gesamte Untersuchungsgebiet (= HQ₁₀-Bereich). 1812 erstreckte sich die VABB über rund 430 ha (42 ha/km Talachse), wovon 240 ha (23 ha/km Talachse) dem Grabensystem zuzuordnen sind (Grabensystem-Gesamtlänge: 90 km = 8,8 km/km Talachse). Insgesamt betrug der Anteil der VABB am HQ₁₀-Bereich 13 % (Tab. 4).

Diese Flächen wurden häufig durch Überströmung, Rückstaueffekte und/oder Grundwasserüberstauung bis zu ungefähr 90 Tagen pro Jahr überschwemmt. Betrachtet man nur jene Flächen, die direkt an das Gewässernetz der Donau oder Zubringer angebunden waren und damit die Migration aquatischer Organismen ermöglichten, betrug die Ausdehnung der VABB 1812 ca. 400 ha.

Uferlinien

Eine einfache Methode zur Beurteilung der Heterogenität von Uferzonen ist die Quantifizierung der Uferlinienlänge in Relation zur untersuchten Abschnittslänge oder pro km² Auegebietsfläche. Für die Situation 1812 wurde die Länge der Uferlinie für NW+ und SMW basierend auf dem Originalmaßstab 1:6.900 ermittelt. Betrachtet man nur das zusammenhängende Gewässernetz der Donau (Hauptstrom, Nebenarme, angebundene Altarme), so ergibt dies für NW+ 12,6 km pro km Talachsenlänge, bei SMW hingegen 11,0 km. Bezieht man auch vollständig isolierte Altwässer und Zubringer innerhalb des gesamten Untersuchungsgebietes mit ein, so erhöht sich die Länge der Uferlinie erheblich auf 21,5 km (NW+) bzw. 20,4 km (SMW) pro km Talachse. Die längere Uferlinie bei NW+ war in erster Linie durch die Wasseranschlaglinien der Schotterinseln in den breiten Abschnitten des Hauptstromes begründet. Erhöhte sich der Wasserstand auf SMW, wurden die Schotterinseln vollkommen überflutet und neue Uferzonen entstanden sukzessiv entsprechend der Variabilität des Geländereiefs im Auegebiet.

Die Untersuchung des Auegebietes allein (ohne Hauptstromarme) zeigt hingegen, dass hier die größte Länge der Uferlinie bei SMW erreicht wurde (NW+: 10,9 km/km² Auegebiet, SMW: 11,7 km/km²).

Die besondere Bedeutung der Nebengewässer im Auegebiet wird ersichtlich durch den Vergleich der Uferlängen der Hauptstromarme mit jenen der übrigen Gewässer. Während 1812 die Ufer des Hauptstromes bei SMW 36,4 km ausmachten, erreichten jene der Nebengewässer (Nebenarme, angebundene Altarme, isolierte Altwässer, Zubringer) eine Gesamtlänge von 172,3 km. Somit betrug die Gesamtlänge der Uferlinien 208,7 km, wobei die Hauptstromarme einen relativen Anteil von 17 % und Nebenarme, Altwässer und Zubringer 83 % aufwiesen.

Abbruchufer entlang des Hauptstromes und einigen größeren Nebenarmen wurden 1812 ebenfalls vermessen und separat kartiert. In Summe betrug die Länge der Abbruchufer 17.500 m (1,7 km/km Talachse) und die mittlere Höhe 2,8 m über NW (= 1,5 m über MW).

Diskussion

Generelle Veränderungen des Fluss-Auen-Systems durch Flussbegradigung und Stauhaltung

Die erhobenen hydromorphologischen Daten von 1812 ermöglichen es, den anthropogen bedingten Wandel der Flusslandschaft detailliert zu quantifizieren. Durch die Flussregulierung beginnend im Jahr 1826 wurde die Donau in ein durchschnittlich 350 m breites Gerinne (bezogen auf SMW) mit massiven Uferbefestigungen gezwungen (mittlere Breite 1812: 730 m). Die Sinuosität verringerte sich von 1,32 (gemessen 1812 entlang des nördlichen Hauptstromarmes) auf 1,08 im Jahr 1925 (Abb. 4b). Weitere Regulierungsmaßnahmen sowie die Errichtung der beiden Donaukraftwerke 1957 und 1968 (vgl. Kapitel Untersuchungsgebiet) führten zu einer weiteren Verringerung der mittleren Breite auf 290 m bei SMW. Heute (1991) ist die Donau im untersuchten Abschnitt durch ein geradliniges Gerinne mit einer Sinuosität von 1,02 gekennzeichnet (Abb. 4c). Tabelle 4 stellt die Flächenänderungen der verschiedenen morphologischen Elemente der Flusslandschaft zwischen 1812 und 1991 dar. Die meisten Elemente wurden signifikant reduziert, wobei Schotter-/Sandflächen und Inseln mit Vegetation die größten Einbußen erlitten. Die gesamte Wasserfläche halbierte sich im Untersuchungsgebiet seit 1812 um mehr als die Hälfte (1812: 973 ha, 1925: 578 ha, 1991: 447 ha bei SMW). Nachfolgend werden die massiven Veränderungen des Fluss-Auen-Systems primär in Bezug auf die Zusammensetzung der aquatischen Habitats, der Gewässerdynamik und der hydrologische Konnektivität diskutiert.

Veränderungen des Hauptstromes und der Augewässer

Als Folge der Regulierungsarbeiten des 19. Jhdts. veränderte sich die Ausdehnung und Zusammensetzung der Auenhabitats drastisch. 1832 wurde ein künstlicher Durchstich durch zwei große Inseln im Zentrum des Untersuchungsgebietes vorgenommen. Während sich dieser Durchstich zu einem neuen Hauptstrom innerhalb weniger Jahre entwickelte, wurden jene beiden Arme des Hauptstromes, welche die Flusslandschaft im Jahr 1812 geprägt haben, durch künstliche Uferdämme abgetrennt und verschwanden allmählich auf Grund von Verlandungsprozessen. Infolgedessen, büßte dieser Habitattyp die Hälfte seiner ursprünglichen Fläche ein. Eupotamale Nebenarme, welche selbst bei NW oder

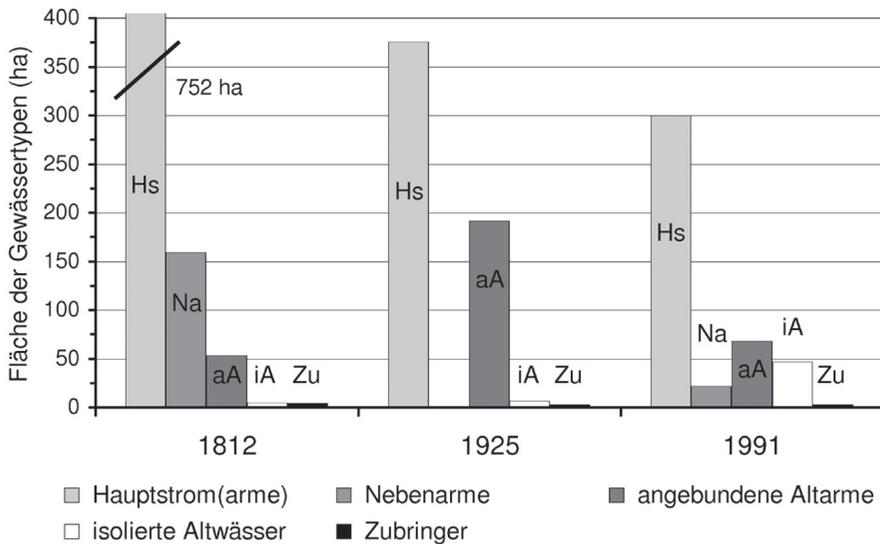


Abb. 6: Flächen der Gewässertypen bei SMW in der aktiven Zone 1812, 1925 und 1991 (ha).

NW+ noch durchströmt wurden, verschwanden bis 1925 vollständig (siehe Abb. 6). Die Konzentration des Abflusses auf ein ca. 350 m breites Profil mit einheitlichen Uferstrukturen (Blockwurf) führte vermutlich zu erhöhten und gleichförmigeren Fließgeschwindigkeiten, besonders bei höheren Wasserständen. Dennoch ermöglichte die Ausformung des Flussbettes im Jahr 1925 noch die Ausbildung großflächiger Schotter-/Sandbänke, welche im Hauptstrom bei NW eine Ausdehnung von ca. 8 ha/km erreichten.

Ehemalige Nebenarme mit hoher Heterogenität hinsichtlich Stukturausstattung, Fließgeschwindigkeit und Sohlsubstrat wurden in Altarme umgewandelt, welche bei NW oder SMW einseitig angebunden waren. Trotz Rückgang der Gesamtwasserfläche gewannen dadurch diese neuen parapotalen Augewässer massiv an Bedeutung, indem deren Fläche von 53 ha bei SMW 1812 auf 192 ha im Jahr 1925 anwuchs. Während die ursprünglichen Altarme relativ klein und kurz waren, entstanden bis 1925 aus den vormaligen Haupt- und Nebenarmen durch Abdämmung ihrer oberstromigen Enden neue, bis zu 10 km lange Altarme. Ursprünglich waren Altarme ziemlich gleichmäßig innerhalb des Auegebietes verteilt, wodurch zahlreiche Migrationsachsen zu Ruhigwasserhabitaten des peripheren Auegebietes zur Verfügung standen. Diese Verbindungswege wurden bis

1925 entscheidend erschwert, da nur mehr 5 Altarm-Anbindungen verblieben.

Durch die Errichtung der beiden Donaukraftwerke verringerte sich abermals die Fläche des Hauptstromes auf nunmehr 300 ha bei SMW. Die Reduktion ergab sich primär aus der Verkürzung des Hauptstromes durch den künstlichen Durchstich, welcher für das Donaukraftwerk Wallsee-Mitterkirchen um 1968 geschaffen wurde. Im Gegenzug entwickelte sich als Folge der intensiven Sedimentation von Sand und Schluff auf einer Schotterbank eine bewachsene Insel, wodurch zugleich ein neuer Nebenarm entstand. Bis 1991 wurden die im Zuge der Regulierungsmaßnahmen im 19. Jhdt. geschaffenen Altarme größtenteils vom Hauptstrom getrennt und haben seither den Charakter isolierter Altwässer mit massiven Verlandungstendenzen.

Konnektivität und „Flow pulse“ 1812 vor menschlicher Eingriffnahme

Die ökologische Funktionsfähigkeit eines alluvialen Auenökosystems beruht im Wesentlichen auf der hydrologischen Konnektivität – dem intensiven Austausch von Wasser, organischen/anorganischen Stoffen und Organismen zwischen dem Hauptstrom und der umgebenden Auenlandschaft (AMOROS & ROUX 1988, WARD & STANFORD 1995a). Dabei spielt das „Pulsieren“ des Abflusses und damit einhergehend die räumliche und zeitliche Expansion/Kontraktion des Wasserspiegels eine entscheidende Rolle. „Flow pulse“ unter bordvollem Wasserstand (PUCKRIDGE et al. 1998) und „Flood pulse“ über bordvollem Wasserstand (JUNK et al. 1989) fördern aber nicht nur diverse Austauschprozesse, sondern ermöglichen auch ein sich ständig veränderndes Habitatspektrum für wassergebundene Organismen (TOCKNER et al. 2000a, 2000b, WARD & TOCKNER 2001).

Die durchgeführten Flächenauswertungen ermöglichen Rückschlüsse auf die „Flow pulse“- und Konnektivitäts-Verhältnisse des ehemaligen Fluss-Auen-Systems. Als Maß zur Beurteilung der Konnektivität dient hierbei der wasserbedeckte Flächenanteil der AZ (als Prozentsatz) bezogen auf einen bestimmten Wasserstand. Der „Flow pulse“ wird an Hand der Expansion/Kontraktion der Wasserfläche bewertet und ist ebenfalls auf die Fläche der AZ bezogen (siehe Tab. 7). Um die ökologische Funktion bestimmter morphologischer Elemente des Fluss-Auen-Systems hervorzuheben, wird zusätzlich zwischen „Low flow pulse“ (LFP), der bei Schwankungen des Wasserstandes zwischen NW/NW+ und SMW auftritt, und „High flow pulse“ (HFP) bezogen auf Schwankungen zwischen SMW und BW, unterschieden. Während LFP und HFP auf die niederen

Geländehöhenzonen beschränkt sind, erstreckt sich der „Flood pulse“ über BW auch über die Hochflächen der AZ oder – abhängig vom Hochwasserstand – über das gesamte Untersuchungsgebiet (= HQ₁₀-Bereich) (Abb. 3).

Im Jahr 1812 waren 33 % der AZ bei NW+ mit Wasser bedeckt und 44 % bei SMW. Somit waren 11 % der AZ (234 ha) unmittelbar durch häufig vorkommende Spiegelschwankungen (LFP) gekennzeichnet, wobei die Amplitude im Mittel 1,4 m betrug. Durch den LFP veränderten sich ständig die Habitatbedingungen, wodurch der Aufwuchs mehrjähriger Vegetation verhindert wurde. Daher bestand die vom LFP beeinflusste Zone aus weitläufigen unbewachsenen Schotter- und Sandflächen und bot ein breites Spektrum sich ständig erneuernder, aquatischer/semi-aquatischer Mikro- und Mesohabitate.

Die weitere Expansion der Wasserfläche zwischen SMW und BW (HFP) betraf zusätzlich 13 % der AZ. Die vom HFP beeinflusste Zone entspricht hier der VABB, die ungefähr 90 Tage pro Jahr überflutet wurde (vgl. Kapitel Geländetopographie in der aktiven Zone). Dadurch erreichte die Wasserbedeckung bei BW insgesamt 57 % der AZ, wobei sich der gesamte „Flow pulse“ zwischen NW+ und BW auf rund 24 % der AZ auswirkte. Diese Werte verdeutlichen die große Bedeutung des HFP im Hinblick auf die hydrologische Konnektivität im ursprünglichen Fluss-Auen-System.

Untersucht man die vom HFP beeinflusste VABB im Jahr 1812, so zeigt sich, dass fast alle dieser Bereiche in irgendeiner Weise an das Donausystem angebunden waren. Primär handelt es sich hierbei um zahlreiche tief liegende, bewachsene Inseln und das weitläufige natürliche Grabensystem im Augebiet. Lange, miteinander verbundene Gräben und Senken waren bei steigendem Wasserspiegel entscheidend für die rasche Expansion aquatischer Habitate und verschiedene Austauschprozesse (Transport von Nährstoffen, Sedimenten und Biomasse) zwischen den Flussarmen und dem Augebiet.

Viele Gräben erreichten natürlicherweise Längen bis zu 1 km oder mehr und hatten intakte Verbindungen zu nahen Gewässern. Das großflächig zusammenhängende Grabensystem (210 ha) bot durchgehende Migrationskorridore und spielte daher eine zentrale Rolle für die aquatischen Organismen der Augewässer. Die hohe Intensität der Konnektivität (Vernetzung) ermöglichte bei BW Stoffaustausch und Migrationswege zwischen den einzelnen verstreuten Habitaten über 56 % der gesamten AZ (vgl. Tab. 7: BW angebunden). Von der VABB innerhalb der AZ wiesen nur 3 % keine direkte Anbindung an benachbarte Gewässer auf und Überflutungen erfolgten daher nur durch Grundwasserüberstauung oder bei Wasserständen über BW.

Abhängig von der Amplitude des HFP, breitete sich die laterale Vernetzung der Gewässerlebensräume vom Hauptstrom über die AZ bis weit in den älteren Terrassenkörper des „Unteren Hochflutfeldes“ aus. Einige Gräben und Senken entlang größerer Zubringer (z.B. Naarn) erstreckten sich sogar in die nördlich angrenzende Niederterrasse und ermöglichten dadurch laterale Vernetzungen zu mehr als 2 km vom Hauptstrom entfernten Habitaten.

Der hohe Grad der lateralen Konnektivität spiegelt sich ebenfalls in der Dichte der Augewässer-Uferlinien wider, welche bei NW+ 10,9 km/km² Augebiet bzw. 11,7 km/km² bei SMW (= MW+0,4 m) betrug. Im Vergleich dazu beträgt heute die maximale Uferlinienlänge im Augebiet des 200 km stromabwärts gelegenen österreichischen Nationalparks Donau-Auen 12,2 km/km² bezogen auf MW+1,8 m (TÖCKNER et al. 2000a). Dieser Vergleich zeigt, dass die Uferlinie im ursprünglichen Augebiet des Machlandes sogar bei Niederwasser ähnliche Längen erreichte wie jene im National-Park Donau-Auen bei hohen Wasserständen.

Menschlich verursachte Veränderungen von Konnektivität und „Flow pulse“

Tabelle 7 veranschaulicht die Entwicklung von Konnektivität und „Flow pulse“ (ausgedrückt als Wasserbedeckung und Expansion der Wasserfläche) als Folge von Flussbegradigungen und Errichtung von Wasserkraftwerken. Durch Regulierungsarbeiten wurde die hydrologische Konnektivität bis 1925 erheblich eingeschränkt. Die vom LFP bei Spiegelschwankungen zwischen NW und SMW betroffene Fläche wurde ungefähr halbiert und betrug 1925 nur mehr 6 % der AZ.

Bis 1991 wurden durch Uferabdämmungen und Uferbefestigungen im Zuge der Kraftwerkserrichtungen weitere Altarme und natürliche Gräben vom Hauptstrom abgetrennt. Die lateralen Austauschvorgänge, die im ursprünglichen System charakteristisch waren, wurden beinahe vollständig unterbunden. 1991 betrug die Wasserbedeckung ähnlich wie 1925 bei NW 19 % der AZ, jedoch wurde der LFP erheblich reduziert und betrifft nur mehr 1 % der ehemaligen AZ. Dementsprechend nahm die bei SMW überflutete Fläche 1991 nur mehr 20 % der AZ ein. Zusammen mit der vom HFP beeinflussten Fläche (11 %) ergab sich somit eine Gesamtwasserfläche von 31 % bei BW.

Insgesamt erfolgte seit 1812 ein signifikanter Rückgang der Konnektivität und eine Halbierung des „Flow pulse“ (Expansion gesamt in Tab. 7) von vormals 24 % auf nunmehr 12 % der AZ, wobei nur mehr 2 % des aktuellen Wertes auf die direkte Überflutung der Donauufer zurückzuführen ist. In Folge der Abtrennung des

Tab. 7: Wasserbedeckung bei charakteristischen Wasserständen und Expansion der Wasserfläche bezogen auf die Fläche der aktiven Zone im Jahr 1812 (%)

Wasserstand Expansion Wasserfläche	1812		1925		1991	
	Wbed.	Exp.	Wbed.	Exp.	Wbed.	Exp.
NW+/NW ¹	33		20		19	
NW+/NW ¹ – SMW (LFP)		11		6		1
SMW	44		26		20	
SMW – BW (HFP)		13		12		11 ²
BW	57		38		31	
BW angebunden ³	56		36		21	
Expansion gesamt (Flow pulse)		24		18		12

Wbed. = Wasserbedeckung der AZ, Exp. = Expansion der Wasserfläche, LFP = Low flow pulse, HFP = High flow pulse;

¹ Aufnahmewasserstand 1812: NW+, 1925 und 1991: NW

² 1 % beruht auf Überflutung durch die Donau, 10 % auf Zustrom von Donau-Sickerwasser und Zufluss einiger kleiner Zubringer

³ BW angebunden: prozentueller Flächenanteil der aktiven Zone bei bordvollem Wasserstand (inklusive Hauptstrom), welcher zusammenhängende Wasserflächen aufweist und daher für migrierende aquatische Organismen erreichbar ist.

Augebietes vom Hauptstrom beruhen die restlichen 10 % auf Sickerwassereintritt von der Donau und Zufluss einiger kleiner Zubringer. Heute spiegelt sich die erheblich beeinträchtigte hydrologische und morphologische Dynamik in der Reduktion der ehemaligen unbewachsenen Schotter-/Sandstrukturen zwischen NW und SMW um 94 % wider. Dieser Rückgang ist hauptsächlich auf die Ablagerung von Feinsedimenten auf früheren Schotter-/Sandflächen und nachfolgendem Aufwuchs von Vegetation zurückzuführen, herbeigeführt durch die Flussbegradigungen des 19. Jhdts. und Stauhaltungen im 20. Jhd. Die Stabilisierung des Gerinnes in Kombination mit mehreren im Donau-Einzugsgebiet stromaufwärts durchgeführten Maßnahmen, wie Stauhaltungen, Geschiebesperren und -entnahmen, unterbindet die frühere Umlagerungsdynamik und verhindert die Entstehung oder Entwicklung neuer Schotterstrukturen.

Die reduzierte laterale Konnektivität führte zu erheblichen Veränderungen im Hinblick auf die verschiedensten ökologischen Funktionen essentieller Elemente der Auenlandschaft. So waren 1812 z.B. bei BW 97 % der VABB (tief liegende

Inseln und Uferbereiche, Graben- und Muldensystem) mit dem Hauptstrom verbunden und boten ein breites Spektrum an für aquatische Organismen erreichbaren Habitaten. 1991 ermöglichten nur mehr 13 % der VABB derartige ökologische Funktionen. Bezogen auf die gesamte AZ, verringerte sich die Erreichbarkeit durch Abtrennungen, Fragmentierungen und Entkoppelungen von 56 % im Jahr 1812 auf 36 % 1925 und zuletzt auf 21 % im Jahr 1991 (vgl. BW angebunden in Tab. 7).

Die veränderte Konnektivität (Vernetzung) lässt sich auch an Hand der Anzahl und des Typs der Zutrittsmöglichkeiten vom Hauptstrom zu entfernten Nebengewässern und Grabensystemen ablesen. 1812 existierten mehr als 100 Verbindungen in Form von Gerinnen und Gräben. Diese Geländemorphologie ermöglichte sehr heterogene und dynamische Strömungsverhältnisse innerhalb und zwischen den verschiedenen Augewässertypen (Para-, Plesio- und Paläopotamon) sowie auch bei Überflutungen. Nach der Flussregulierung verblieben im Jahr 1925 nur mehr 7 intakte Verbindungen und heute existieren noch 4 Verbindungen zu Augewässern. Längere, an die Donau angebundene Grabensysteme sind verschwunden. Das Vorherrschen von der Donau abgetrennter Gräben bedeutet, dass die Gewässer im Auegebiet und im Besondern der HFP nun primär vom Sickerwasserzustrom aus der Donau und dem Zufluss kleiner Zubringer abhängt, während Überströmungsvorgänge nunmehr von geringerer Bedeutung sind. Diese Form der Überflutung führt jedoch zu erheblich veränderten Habitatbedingungen und damit zu einer veränderten Artenzusammensetzung (TOCKNER et al. 2000b, WARD & TOCKNER 2001). Insgesamt wurde die hydrologische Konnektivität seit 1812 – sowohl in longitudinaler als auch lateraler Dimension – beträchtlich eingeschränkt.

Schlussfolgerung

Im Jahr 1812 war das untersuchte Fluss-Auen-System der Donau durch einen sehr hohen Anteil eupotamaler Gewässer (Hauptstromarme und Nebenarme) gekennzeichnet, welche primär lotische Lebensraumbedingungen boten (97 % der gesamten Wasserfläche bei NW+ bzw. 94 % bei SMW). Das aktive Gerinnesystem war stark verzweigt und wies zahlreiche bewachsene Inseln und Schotterbänke auf; Flachwasserzonen mit geringen Sohlgradienten waren ursprünglich prägende Elemente. Diese Rahmenbedingungen förderten eine hohe Diversität im Hinblick auf Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Substratverhältnisse, wodurch sich ein breites Spektrum von Mikro- und Mesohabitaten mit ausgedehnten Uferlinien

ergab. Para-, plesio- und paläopotamale Gewässer waren wesentlich seltener als eupotamale Gewässer. Trotzdem boten sie eine große Vielfalt ausgeprägt lenitischer Habitats (Ruhigwasserhabitats) und trugen so zum hohen Ausmaß aquatisch-terrestrischer Ökotope bei. Die verschiedenen Elemente des Auengebietes unterlagen in Folge intensiver Erosions- und Sedimentationsprozesse anhaltenden Veränderungen und Erneuerungen. Reliktäre Elemente blieben nur auf der älteren und geringfügig höheren Terrasse des „Unteren Hochflutfeldes“ erhalten.

Die ehemaligen hydromorphologischen Verhältnisse ermöglichten ausgedehnte und lang dauernde Überflutungen von Vegetationsflächen (VABB). Untersucht man den „Flow pulse“ bei Spiegellagen unter bordvollem Wasserstand, wird die hohe Bedeutung des „High flow pulse“ (HFP) zwischen SMW und BW für den Wasserhaushalt der Au ersichtlich. Zusammenfassend führten die hochdynamischen hydromorphologischen Prozesse der ehemaligen Auenlandschaft zu ständig veränderten und komplexen Konnektivitäts-Verhältnissen und boten so eine hohe Diversität aquatischer, semi-aquatischer und terrestrischer Habitats.

Forschreitende Flussregulierung und später die Errichtung von Wasserkraftwerken veränderten die Flusslandschaft drastisch und verringerten den „Flow pulse“ um die Hälfte. Die einschneidenden quantitativen Veränderungen (Rückgang der Gesamtwasserfläche bezogen auf SMW um 54 %) wurden begleitet von einer erheblichen Degradierung der strukturellen Heterogenität und Habitatzusammensetzung als Folge der verringerten Flussdynamik. Ehemalige Altarme wurden vom Hauptstrom abgeschnitten, durch Uferdämme isoliert und folglich hydrologisch vom Fluss entkoppelt. In Folge dessen konnten diese Altwässer ihre ursprünglichen Funktionen als essentielle Komponenten der Flusslandschaft kaum oder nur mehr in sehr veränderter Form erfüllen. Dienten Altarme und Grabensysteme im ehemaligen Auengebiet bei höherer Wasserführung und Hochwasserereignissen als Transport- und Migrationswege für gelöste Stoffe, Sedimente, Biomasse und Organismen, so stellen sie heute vermehrt „Fallen“ dar. Der Wandel vom ehemals furkierenden Charakter der Donau zu einem regulierten und gestauten Fluss äußert sich in der Ablösung dynamischer Prozesse und Entwicklungen (morphologische Dynamik, Geschiebedynamik, Austausch organischer/anorganischer Stoffe, Verjüngung) durch einseitige und statische Phänomene (gestörte morphologische Sukzession, Sedimentation, Überalterung).

Die ursprünglichen aquatisch-terrestrischen Übergangszonen und die sich ständig verändernden Habitatbedingungen verdeutlichen die Schlüsselrolle von Flussdynamik und hydrologischer Konnektivität (Gewässernetzung) um die ökologische Funktionsfähigkeit eines natürlichen Fluss-Auen-Systems aufrecht-

zuerhalten. Folglich stellt die Bewahrung, Wiederherstellung und Förderung dynamischer Prozesse ein Schlüsselement in der Leitbildentwicklung für zukünftige Managementstrategien dar. Bei der Planung von Verbesserungs- und Rückbaumaßnahmen in vergleichbaren Donauabschnitten ist es daher notwendig, sich auf diese Referenzfaktoren zu konzentrieren um langlebige, selbsterhaltende und gewässertypspezifische Bedingungen zu gewährleisten.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes durch den Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank (Förder-Nr.: 7086) und dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF, Projekt: P14959-B06). Ebenso sei der via donau - Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH (vormals WSD - Wasserstraßendirektion) sowie der VERBUND - Austrian Hydro Power AG (AHP) für die zur Verfügung gestellten wertvollen Grundlagendaten gedankt.

Literatur

- AMOROS, C., RICHARDOT-COULET, M., PAUTOU, G. (1982): Les 'Ensembles Fonctionnels': des entités écologiques qui traduisent l'évolution de l'hydrosystème en intégrant la géomorphologie et l'anthropisation (exemple du Haut-Rhone francais). – Revue de Géographie de Lyon 57: 49-62
- 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
- AMOROS, C. & ROUX, A. L. (1988): Interactions between water bodies within the floodplains of large rivers: function and development of connectivity. – In: Connectivity in Landscape Ecology, Schreiber K-F (ed). Münstersche Geographische Arbeiten 29: Münster, Deutschland; 125-130
- ARTHINGTON, A. H. & WELCOMME, R. L. (1995): The Condition of Large River Systems of the World. – In: Condition of the World's Aquatic Habitats, Armantrout NB, Wolotira Jr RJ (eds). Proceedings of the World Fisheries Congress, Theme 1: 44-75
- BENKE, A. C. (1990): A perspective on America's vanishing streams. – Journal of the North American Benthological Society 9: 77-88
- BOON, P. J., DAEVIS, B. R., PETTS, G. E. (eds). (2000): Global Perspectives on River Conservation. Science, Policy and Practice. – John Wiley & Sons: Chichester; 564 pp.
- BRIDGE, J. S. (1993): The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport, erosion and deposition in braided rivers. – In: Braided Rivers, Best JL, Bristow CS (eds). Geological Society of London Special Publication No 75: 13-72
- BROOKES, A. & SHIELDS, JR F. D. (1996): River Channel Restoration. – John Wiley & Sons: Chichester; 433 pp.
- CALS, M. J. R., POSTMA, R., BUIJSE, A. D., MARTEIJN, E. C. L. (1998): Habitat restoration along the River Rhine in the Netherlands: putting ideas into practice. – Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 8: 61-70

- CHOVANEC, A., JÄGER, P., JUNGWIRTH, M., KOLLER-KREIMEL, V., MOOG, O., MUHAR, S., SCHMUTZ, S. (2000): The Austrian way of assessing the ecological integrity of running waters: a contribution to the EU Water Framework Directive. – In: *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters*, Jungwirth M, Muhar S, Schmutz S (eds). *Hydrobiologia* 422/423: 445-452
- DIEPLINGER, K., LEBERL & S., ZAUNER, G. (1996): Biotop management on the Austrian Danube. – *Archiv für Hydrobiologie Supplement* 113, *Large Rivers* 10: 219-228
- DYNESIUS, M. & NILSSON, C. (1994): Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. – *Science* 266: 753-762
- EBERSTALLER, J. & HAIDVOGL, G. (1997): Fischökologisches Konzept als Grundlage für eine umfassende Revitalisierung des Alpenrheins. Teil 3: Leitbild und Rahmenbedingungen. – Studie im Auftrag von Amt für Umweltschutz, Liechtenstein; Jagd- und Fischereinspektorat, Graubünden; Jagd- und Fischereiverwaltung, St. Gallen; Amt der Vorarlberger Landesregierung, Universität für Bodenkultur: Wien
- Europäisches Parlament und der Rat der europäischen Union. (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. ENV 221, CODEC 513, PE-CONS 3639/1/00, Interinstitutional File No 1997/0067(COD), October 23: Luxembourg
- HABERSACK, H. & NACHTNEBEL, H. P. (1995): Short-term effects of local river restoration on morphology, flow field, substrate and biota. – *Regulated Rivers: Research and Management* 10: 291-301
- HEILER, G., HEIN, T., SCHIEMER, F. (1995): Hydrological connectivity and flood pulses as the central aspects for the integrity of a river-floodplain system. – *Regulated Rivers: Research and Management* 11: 351-361
- HEIN, T., HEILER, G., PENNETZDORFER, D., RIEDLER, P., SCHAGERL, M., SCHIEMER, F. (1999): The Danube restoration project: functional aspects and planktonic productivity in the floodplain system. – *Regulated Rivers: Research and Management* 15: 259-270
- HOOKE, J. M. (1995): Processes of Channel Planform Change on Meandering Channels in the UK. – In: *Changing River Channels*, Gurnell A, Petts GE (eds). John Wiley & Sons: Chichester; 87-113
- HOOKE, J. M. (1997): Styles of Channel Change. – In: *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, Thorne CR, Hey RD, Newson MD (eds). John Wiley & Sons: Chichester; 237-267
- HOOKE, J. M. & REDMOND, C. E. (1989): Use of Cartographic Sources for Analysing River Channel Change with Examples from Britain. – In: *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*, Petts GE, Möller H, Roux AL (eds). John Wiley & Sons: Chichester; 79-93
- HÖCHSMANN, A. (1848): Stromregulierung. Bericht zur Karte „Hydrotechnischer Plan der Donaustrecke von Nieder Wallsee bis Ardagger zum Behufe der Strom Regulierung mit Bezug auf das beigelegte Programm“, nicht publiziertes Manuskript in privatem Besitz: Wien; 27 pp.
- HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO. (1937): Schwebstoff- und Geschiebeaufnahmen einiger österreichischer Flüsse. – Hydrographischer Dienst in Österreich: Wien
- JUNGWIRTH, M. (1998): River Continuum and Fish Migration – Going Beyond the Longitudinal River Corridor in Understanding Ecological Integrity. – In: *Fish Migration and Fish Bypasses*, Jungwirth M, Schmutz S, Weiss S (eds). Fishing News Books, Blackwell Science: Oxford; 19-32
- JUNGWIRTH, M., MUHAR, S., SCHMUTZ, S. (eds). (2000): *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters*. Proceedings of the International Conference, held in Vienna, Austria. – *Hydrobiologia* 422/423
- JUNGWIRTH, M., MUHAR, S., SCHMUTZ, S. (2002): Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes. – *Freshwater Biology* 47: 867-888
- JUNK, W., BAYLEY, P. B., SPARKS, R. E. (1989): The flood pulse concept in river-floodplain systems. – *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences* 106: 110-127

- KARR, J. R. (1993): Protecting ecological integrity: an urgent societal goal. – *Yale Journal of International Law*: 297-306
- KERN, K. (1992a): Rehabilitation of streams in south-west Germany. – In: *River Conservation and Management*, Boon PJ, Calow P, Petts GE (eds). John Wiley & Sons: Chichester; 321-335
- KERN, K. (1992b): Restoration of lowland rivers: the german experience. – In: *Lowland Floodplain Rivers, Geomorphological Perspectives*, Carling PA, Petts GE (eds). John Wiley & Sons: Chichester; 279-297
- KOHL, H. (1990): Kompilierte Geologische Karte 1:20.000 des OÖ Zentral- und Donauraumes. – *Berichte der Geologischen Bundesanstalt* 20: Wien
- KOHL, H. (2000): Das Eiszeitalter in Oberösterreich. Abriss einer Quartärgeologie von Oberösterreich. – *Schriftenreihe des oberösterreichischen Musealvereines* 17: Linz; 487 pp.
- LEOPOLD, L. B. & WOLMAN, M. G. (1957): *River Channel Patterns – Braided, Meandering and Straight*. – United States Geological Survey, Professional Paper 282 B
- MUHAR, S. (1994): Stellung und Funktion des Leitbildes im Rahmen von Gewässerbetreuungskonzepten. Wiener Mitteilungen, Gewässerbetreuungskonzepte - Stand und Perspektiven 120, – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft und Universität für Bodenkultur: Wien; 135-158.
- MUHAR, S., SCHMUTZ, S., JUNGWIRTH, M. (1995): River restoration concepts - goals and perspectives. – *Hydrobiologia* 303: 183-194
- MUHAR, S., JUNGWIRTH, M., EBERSTALLER, J., MORITZ, C., MICHOR, K., EGGER, G., PETUTSCHNIG J. (1998): Der Zustand der Oberen Drau – Wertigkeiten und Defizite aquatischer und semi-/terrestrischer Zönosen. – *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 50: 25-31
- MUHAR, S., SCHWARZ, M., SCHMUTZ, S., JUNGWIRTH, M. (2000): Identification of rivers with high and good habitat quality: methodological approach and applications in Austria. – In: *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters*, Jungwirth, M., Muhar, S., Schmutz, S. (eds). *Hydrobiologia* 422/423: 343-358
- NAIMAN, R. J. & DECAMPS, H. (1990): *The Ecology and Management of Aquatic-Terrestrial Ecotones. – Man and the Biosphere Series 4*, UNESCO, The Parthenon Publishing Group: Carnforth; 316 pp.
- NAIMAN, R. J. & DECAMPS, H. (1997): *The Ecology of Interfaces: Riparian Zones*. – *Annual Review of Ecological Systems* 28: 621-658
- NAIMAN, R. J., MAGNUSON, J. J., MCKNIGHT, DM., STANFORD, J. A. (1995): *The Freshwater Imperative - a research agenda*. – Island Press: Alstone, Washington D.C.; 157 pp.
- PETTS, G. E. & AMOROS, C. (eds). (1996): *Fluvial Hydrosystems*. – Chapman & Hall: London; 336 pp.
- PETTS, G. E., MÖLLER, H., ROUX, A. L. (eds). (1989): *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*. – John Wiley & Sons: Chichester; 355 pp.
- PUCKRIDGE, J. T., SHELDON, F., WALKER, K. F., BOULTON, A. J. (1998): Flow variability and the ecology of large rivers. – *Marine Freshwater Research* 49: 55-72
- RAVEN, J., HOLMES, N. T. H., DAWSON, F. H., EVERARD, M. (1998): Quality assessment using river habitat survey data. – *Aquatic Conservation* 8 (4): 477-500
- RECKENDORFER, W. & SCHIEMER, F. (2001): *Gewässervernetzung und Lebensraummanagement Donau-Auen: Ökologische Grundlagen zukünftiger Gewässervernetzungsmaßnahmen im Nationalpark Donau-Auen*. – Studie im Auftrag der Nationalpark Donau-Auen GmbH. Abteilung für Limnologie, Universität Wien: Wien
- RICHARDS, K. S. (1982): *Rivers: Form and Process in Alluvial Channels*. – Methuen: London.
- ROBERTSON-RINTOUL, M. S. E. & RICHARDS, K. S. (1993): Braided-channel pattern and palaeohydrology using an index of total sinuosity. – In: *Braided Rivers*, Best JL, Bristow CS (eds). Geological Society Special Publication No 75: 113-119.
- ROUX, A. L., BRAVARD, J. P., AMOROS, C., PAUTOU, G. (1989): Ecological Changes of the French Upper Rhone River Since 1750. – In: *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*, Petts GE, Möller H, Roux AL (eds). John Wiley & Sons: Chichester; 323-351

- SCHIEMER, F., BAUMGARTNER, C., TOCKNER, K. (1999): Restoration of floodplain rivers: The "Danube Restoration Project". – *Regulated Rivers: Research and Management* 15: 231-244
- SCHMAUTZ, M., AUFLERGER, M., STROBL, T. (2000): Wissenschaftliche Untersuchung der Geschiebe- und Eintiefungsproblematik der österreichischen Donau. – Gutachten im Auftrag der Verbund-AHP AG: Wien
- SLEZAK, F. (1975): Frühe Regulierungsversuche im Donaustudel bei Grein (1574-1792). – *Der Donauraum. Zeitschrift für Donauforschung*, Wien 20: 58-90
- SPARKS, R. E. (1995): Need for ecosystem management of large rivers and their floodplains. – *Bioscience* 45: 168-182
- STANFORD, J. A. & WARD, J. V. (1993): An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and the hyporheic corridor. – *Journal of the North American Benthological Society* 12: 48-60
- TOCKNER, K. & SCHIEMER, F. (1997): Ecological aspects of the restoration strategy for a river-floodplain system on the Danube River in Austria. – *Global Ecology and Biogeography Letters* 6 (3-4): 321-329
- TOCKNER, K., SCHIEMER, F., BAUMGARTNER, C., KUM, G., WEIGAND, E., ZWEIMÜLLER, I., WARD, J. V. (1999): The Danube restoration project: species diversity patterns across connectivity gradients in the floodplain system. – *Regulated Rivers: Research and Management* 15: 245-258
- TOCKNER, K., BAUMGARTNER, C., SCHIEMER, F., WARD, J. V. (2000a): Biodiversity of a danubian floodplain: structural, functional and compositional aspects. – In: *Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation*, Volume 1, Gopal B, Junk WJ, Davis JA (eds). Backhuys Publishers, Leiden, Niederlande; 141-159
- TOCKNER, K., MALARD, F., WARD, J. V. (2000b): An extension of the flood pulse concept. – *Hydrological Processes* 14: 2861-2883
- TOTH, L. A. (1995): Principles and guidelines for restoration of river/floodplain ecosystems. Kissimmee River, Florida. – *Rehabilitating Damaged Ecosystems*. CRC Press: 49-75
- TOTH, L. A. (1996): Catchment approach to planning channel restoration. River channel restoration. Guiding principles for sustainable projects. – In: *River Channel Restoration*, Brookes A, Shields Jr FD (eds). John Wiley & Sons: Chichester; 369-383
- UNESCO (1993): Schwebstoff- und Geschieberegime der Donau. Die Donau und ihr Einzugsgebiet. Eine hydrologische Monographie. – Folgeband I. Hydrologisches Programm der UNESCO.
- WARD, J. V. (1989): The four-dimensional nature of lotic ecosystems. – *Journal of the North American Benthological Society* 8: 2-8
- WARD, J. V. & STANFORD, J. A. (1995a): Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. – *Regulated Rivers: Research and Management* 11: 105-119
- WARD, J. V. & STANFORD, J. A. (1995b): The serial discontinuity concept: extending the model to floodplain rivers. – *Regulated Rivers: Research and Management* 10: 159-168
- WARD, J. V. & TOCKNER, K. (2001): Biodiversity: towards a unifying theme for river ecology. – *Freshwater Biology* 46: 807-819
- WARD, J. V. & WIENS, J. A. (2001): Ecotones of riverine ecosystems: Role and typology, spatio-temporal dynamics, and river regulation. – *Ecohydrology and Hydrobiology* 1: 1-12
- WARNER, R. F. (2000): Gross channel changes along the Durance River, Southern France, over the last 100 years using cartographic data. – *Regulated Rivers: Research and Management* 16: 141-157
- WSD (Wasserstraßendirektion) (1941-1996): KWD 1941, 1949, 1956, 1970, 1976, 1985, 1996. Die kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau. Bundesstrombauamt: Wien

Anschrift der Verfasser:

Severin Hohensinner,
e-mail: severin.hohensinner@boku.ac.at
Mathias Jungwirth
Institut für Hydrobiologie
und Gewässermanagement
Universität für Bodenkultur Wien
Max Emanuel-Str. 17
1180 Wien, Austria

Helmut Habersack
Institut für Wasserwirtschaft,
Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Universität für Bodenkultur Wien
Muthgasse 18
1180 Wien, Austria

Gerald Zauner
ezb - eberstaller zauner büros
Marktstraße 53
4090 Engelhartzell, Austria

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wissenschaftliche Mitteilungen Niederösterreichisches Landesmuseum](#)

Jahr/Year: 2005

Band/Volume: [17](#)

Autor(en)/Author(s): Hohensinner Severin, Habersack Helmut, Jungwirth Mathias, Zauner Gerald

Artikel/Article: [Natürliche Charakteristik der Donau-Auen im Machland und hydromorphologische Veränderungen durch menschliche Eingriffe \(1812-1991\). \(N.F. 463\) 275-308](#)