

Extended Abstract

Sedimentdynamik und Flussmorphologie als Grundvoraussetzung für Auenökosysteme: Entwicklung, Stand und Perspektiven

Helmut Habersack, Marlene Haimann, Marcel G. Liedermann

Der Sedimenttransport ist ein wesentliches Element eines jeden Flusssystems. Er wirkt sich auf eine Vielzahl von natürlichen Prozessen sowie anthropogene Nutzungen aus, die direkt oder indirekt mit dem Fluss verbunden sind. Dazu gehören in erster Linie Wasserkraftnutzung, Binnenschifffahrt, Landwirtschaft, Hochwasserschutz, Wasserversorgung, aber auch eine Vielzahl ökologischer Funktionen, durch die Lebensräume, die der Fluss für Tiere und Pflanzen bietet. Gerade die anthropogenen Nutzungen haben aber insbesondere seit Ende des 19. Jahrhunderts zu erheblichen Änderungen des Sedimentregimes und der morphologischen Prozesse geführt. In mehreren laufenden und kürzlich abgeschlossenen internationalen Projekten werden Daten gesammelt und numerische sowie physikalische Modellierungen durchgeführt, um das Prozessverständnis über den Sedimenttransport in großen Flüssen wie der Donau zu verbessern. Diese Daten sind eine wichtige Grundlage, um die treibenden Kräfte hinter den Veränderungen im Sedimentregime zu identifizieren und Maßnahmen für ein nachhaltigeres Sedimentmanagement zu prüfen und zu entwickeln. Diese treibenden Kräfte verursachen Schlüsselbelastungen, die sich stark auf das Sedimentregime auswirken, wie z. B. Querbauwerke, Flussausbau und Unterhaltungsarbeiten. Querbauwerke für die Wasserkraftnutzung und Wasserversorgung, wie Dämme und Wehre, unterbrechen die Sedimentkontinuität in hohem Maße. Uferschutzmaßnahmen und abgeschnittene Seitengerinne sowie Hochwasserschutzdeiche behindern morphologische Umlagerungsprozesse und somit die Erosion und Ablagerung von Sedimenten.

Vor allem an der Oberen und Mittleren Donau wurde durch großräumige Eingriffe die ehemals komplexe Flussmorphologie über weite Strecken zu einem einheitlichen Gerinne umgestaltet. Die Flusslänge wurde um 134 Flusskilometer (rkm) reduziert, was bedeutet, dass die Obere Donau um 11 % und die Mittlere Donau um 4 % verkürzt wurden. Die durchschnittliche Breite des Flusses wurde an der Oberen Donau um 39 % und an der Mittleren Donau um 12 % verringert. Die Ergebnisse des Projekts DanubeSediment zeigen, dass die seitlichen Einschränkungen durch die Flussbegradigung im Fall der unteren Donau weniger stark sind. Hier wurde die Länge geringfügig um etwa 1 % und die durchschnittliche Breite um 4 % verringert.

Durch die weitreichenden Eingriffe hat sich das Sedimentregime im Donaueinzugsgebiet stark verändert: frei fließende Abschnitte tiefen sich aufgrund erhöhter Transportkapazitäten und fehlender Sedimentkontinuität ein, während das verringerte Energiegefälle in den Stauräumen zur Sedimentation führt. Insgesamt sind etwa 729 rkm (29 %) der Donau von Erosion und 857 rkm (34 %) von Sedimentation geprägt. In der Unteren Donau weisen 670 rkm (27 %) einen Erosionstrend auf, aber ein Mangel an Daten erschwert hier eine detaillierte Analyse; z. B. gibt es lokale relative Sedimentation in Abschnitten, die eine allgemeine Erosion des Flussbettes aufweisen. Insgesamt weisen etwa 56 % der Flusslänge, einschließlich der Abschnitte ohne ausreichende Daten für eine detaillierte Analyse, Erosionstendenzen auf. Auf 241 rkm (10 %) der Donau herrscht ein dynamisches Gleichgewicht oder es treten keine signifikanten Veränderungen auf, 34 % der Strecke sind durch Staustufen gekennzeichnet und weisen eine Anlandungstendenz auf.

Aus ökologischer Sicht verhindert die Unterbrechung der Flusskontinuität den Geschiebetransport, was zu einem Mangel an jenen Sedimenten führt, die das Flussbett formen. Zudem übersteigt in einigen Flussabschnitten die Baggermenge die Sedimentzufuhr von flussaufwärts. Die Ergebnisse des DanubeSediment-Projekts zeigen deutlich die Auswirkungen des anthropogen veränderten Sedimentregimes von der oberen

Donau bis zum Donaudelta. Der gesamte Eintrag von Schwebstoffen in das Donaudelta bzw. das Schwarze Meer ist um mehr als 60 % zurückgegangen, von ehemals etwa 60 Mio. t/Jahr bzw. 40 Mio. t/Jahr auf heute etwa 20 Mio. t/Jahr bzw. 15 Mio. t/Jahr. Die im Rahmen des Projekts DanubeSediment gesammelten Daten machen aber auch deutlich, dass die Datenbasis derzeit zu unvollständig ist, um eine Sedimentbilanz für die gesamte Donau erstellen zu können. Dennoch zeigen die oben genannten Zahlen, dass die Sedimentbilanz erheblich gestört ist, und sie unterstreichen einen Handlungsbedarf. Das DanubeSediment-Projekt zeigt eindeutig, dass Sedimente ein bedeutendes wasserwirtschaftliches Problem (Significant Water Management Issue – SWMI) darstellen. Gemäß dem Beschluss der Delegationsleiter der IKSD wurde die Veränderung des Sedimenthaushalts als neuer Unterpunkt unter dem bestehenden SWMI „Hydromorphologische Veränderungen“ im dritten Bewirtschaftungsplan für das Einzugsgebiet der Donau ausgewiesen. Zusätzlich sollten Sedimente bzw. Sedimentmanagement ein integraler Bestandteil der nationalen Flussgebiets- und Hochwasserrisikomanagementpläne sein. Somit wurde im Rahmen dieses Projekts eine wichtige Datengrundlage für nationales und internationales Flussgebietsmanagement geschaffen.

Sedimentbezogene Probleme gibt es auch auf der operativen Managementebene an stark anthropogen beeinflussten Fließgewässern. Auf lange Phasen der Sedimentation, primär in Stauräumen, folgen starke Erosionen im Hochwasserfall, durch die speziell insbesondere Feinsedimente in großen Kubaturen remobilisiert werden und durch Ablagerungen im Vorland zu ökonomischen und ökologischen Problemen führen können. In einigen Abschnitten der Donau wird durch Baggerungen mehr Material entnommen, als durch Sedimenttransport eingetragen wird. Dies führt zusätzlich zu einer Verschärfung der Eintiefungstendenz, die durch das gestörte Sedimentkontinuum häufig zu finden ist. Das hat gravierende Auswirkungen auf das Ökosystem, beginnend bei den angrenzenden Auenlandschaften bis hin zur Küstenerosion, die aufgrund der fehlenden Küsten-Morphodynamik einsetzt. Derzeit werden an der mittleren und der unteren Donau deshalb keine kommerziellen Baggerungen mehr vorgenommen. Zur Hintanhaltung der Erosion in der freien Fließstrecke der Donau östlich von Wien wird seit Inbetriebnahme des Wasserkraftwerkes Freudenu Sediment zur Kompensation zugegeben. Jüngst wurde das jährliche Zugabevolumen auf 235.000m³/a erhöht. Da dennoch eine verringerte, aber kontinuierliche Eintiefungstendenz besteht, werden von viadonau im Rahmen des integrativen Maßnahmenkatalogs Flussbaumaßnahmen umgesetzt, die im gesamten Donauabschnitt zwischen dem Kraftwerk Freudenu und der österreichisch-slowakischen Grenze der Sohleintiefung nachhaltig entgegenwirken. Die Projekte umfassen umfangreiche Renaturierungen, haben aber auch das Ziel, für zuverlässige Fahrwasserbedingungen in der Wasserstraße zu sorgen. Im Rahmen von integrativen Planungsprozessen wird versucht, durch Interdisziplinarität und das partnerschaftliche Erarbeiten von Lösungen, ein Optimum für Wasserbau, Schifffahrt und Ökologie zu erreichen. Aktuell hervorzuheben sind das Geschiebemanagement zur Stabilisierung der Wasserspiegellagen, die Wiederanbindung des Spittelauer Arms und des Nebenarmsystems Haslau-Regelsbrunn (Dynamic LIFE Lines Danube) sowie die Revitalisierung der Fischamündung. Die Planung und auch die Umsetzung der Projekte wird durch ein umfangreiches Monitoringprogramm begleitet, durch das die Maßnahmen evaluiert und optimiert werden können. So konnte in der jüngeren Vergangenheit durch die Verwendung von besenderten Tracersteinen das Ausmaß der Wirksamkeit der Zugabe von größerem Sediment analysiert und adaptiert werden. Durch den Einsatz von hydrodynamisch numerischen Modellen konnten innovative Bühnenformen bzw. -konfigurationen optimiert werden, sodass sie die Eintiefungstendenz im Nahbereich minimieren aber dennoch zu keiner ungewollt starken Auflandung im Bereich der Schifffahrtsrinne führen.

Durch die Umsetzung der Projekte im Rahmen des Maßnahmenkataloges von viadonau konnte in den letzten Jahren eine deutliche Verbesserung in Bezug auf das Geschiebedefizit erreicht werden. Die Maßnahmen haben aber insbesondere durch die bessere Vernetzung mit der Auenlandschaft und einer Rheophilisierung wichtiger Habitats zu einer deutlichen Verbesserung der ökologischen Situation geführt und gleichzeitig die Randbedingungen für die Schifffahrt verbessert. Eine Umsetzung von „win-win nature based solutions“ ist demnach im Falle der Donau östlich von Wien auf einem guten Weg und für andere Flusssysteme anzustreben. Ein verbessertes Prozessverständnis spielt dabei eine unerlässliche Rolle, um innovative Maßnahmen ziel-

gerichtet im jeweiligen Kontext erarbeiten zu können. Auch die Inklusion aller Stakeholder, aller betroffenen Parteien – bis hin zur interessierten Öffentlichkeit – hat sich bei dieser Art von Projekten bewährt und sollte auch bei ähnlichen Umsetzungen Anwendung finden.

Habersack H, Haimann M, Liedermann M G (2023) Sediment dynamics and river morphology as a prerequisite for floodplain ecosystems: development, status and perspectives.

Sediment transport is an essential element of any river system. It affects a variety of sectors that are directly or indirectly related to the river. These include hydropower utilization, inland navigation, agriculture, flood protection, water supply and also the habitats that the river provides for animals and plants. Several ongoing and recently completed international projects collect data and perform numerical as well as physical modelling to improve the knowledge of the sediment transport for example in the Danube River. These data are an important basis to identify the driving forces behind changes in sediment regime and to investigate and develop measures for a more sustainable sediment management. These drivers cause key pressures that strongly impact the sediment regime, such as transversal structures, river training and maintenance works. Transversal structures for hydropower use and water supply, like dams and weirs, interrupt the sediment continuity to a large extent. Bank protection measures and cut-off side channels as well as flood protection dykes hinder the lateral exchange of sediments. Especially in the Upper and Middle Danube, large-scale engineering transformed the formerly complex river morphology to a uniform channel over large stretches. The river length was reduced by 134 river kilometres (rkm), which means the Upper Danube was shortened by 11 % and the Middle Danube by 4 %. The average width of the river was reduced by 39 % in the Upper and by 12 % in the Middle Danube. The results of the project DanubeSediment show, that the lateral restrictions due to river training are less severe in the case of the Lower Danube River. Here, the length was marginally reduced by around 1 % and the average width by 4 %.

Consequently, the sediment regime in the Danube River Basin has severely changed: free-flowing sections are prone to erosion due to higher transport capacities and a lack of sediment continuity, while the reduced energy slope in the impoundments leads to sedimentation. In total, about 729 rkm (29 %) of the Danube River are dominated by erosion and 857 rkm (34 %) by sedimentation. In the Lower Danube, 670 rkm (27 %) show an erosional trend, but a lack of data hinders a detailed analysis, for example local relative sedimentation exists in stretches showing general riverbed erosion. Thus, about 56 % of the river length, including reaches without sufficient data for a detailed analysis, are facing erosional tendencies. Along 241 rkm (10 %) of the Danube River, a dynamic balance prevails, or no significant changes occur.

The interruption of river continuity prevents bedload transport, which leads to a lack of those sediments that shape the riverbed. Additionally, in some river stretches, the dredging amounts exceeded the sediment supply from upstream. The results of the DanubeSediment project clearly show the effects of sediment alterations from the Upper Danube through to the Danube Delta. The total suspended sediment input to the Danube Delta and the Black Sea decreased by more than 60 %, from former amounts of about 60 Mt/yr and 40 Mt/yr to approximately 20 Mt/yr and 15 Mt/yr nowadays. The data collected within the project DanubeSediment highlight, that at the moment the data base is too incomplete to be able to set up a sediment balance for the whole Danube River. Nevertheless, the numbers above show that the sediment balance is disturbed, and they underline the need for action. The DanubeSediment project concluded that sediments are a Significant Water Management Issue (SWMI). According to the resolution of the ICPDR Heads of Delegations, the sediment balance alteration has been identified as a new sub-item under the existing SWMI “Hydromorphological alterations” in the 3rd Danube River Basin Management Plan. Additionally, sediments, respectively sediment management, should be an integral part of the National River Basin and the Flood Risk Management Plans.

There are also problems in the operational management of the strongly anthropogenically influenced watercourses. Long phases of sedimentation – primarily in reservoirs – are followed by severe erosion during floods, which remobilizes especially fine sediments in large cubic volumes and thus leads to problems. In some sections of the Dan-

ube, dredging exceeds sediment input in terms of sediment volume. This additionally leads to an aggravation of the incision tendency, which is often found due to the disturbed sediment continuum. This has serious impacts on the ecosystem, beginning with the adjacent floodplain landscapes and ending with coastal erosion that begins due to the lack of coastal morphodynamics. Currently, commercial dredging has already been stopped on the middle and lower Danube. In the free-flowing section of the Danube east of Vienna, sediment has already been added for compensation since the hydropower plant was commissioned, and recently the annual augmentation volume was increased to 235,000m³/yr. Since even this is not sufficient to compensate for the continuous incision tendency, viadonau is implementing river engineering measures within the framework of the integrative measures catalog, which sustainably counteract the riverbed incision in the entire Danube section between the Freudenu power plant and the Austrian-Slovakian border. The projects include extensive renaturation measures, but also aim to ensure reliable fairway conditions for Danube navigation. In an integrative planning process, optimal solutions for hydraulic engineering, navigation and ecology are developed through interdisciplinarity and the development of solutions in partnership. Current projects include bedload management to stabilize water levels, reconnection of the Spittelau arm and the Haslau-Regelsbrunn tributary system (Dynamic LIFE Lines Danube), and revitalization of the mouth of the Fischa River. The planning and also the implementation of the projects is accompanied by an extensive monitoring program, through which the measures can be evaluated and optimized. In the recent past, for example, the use of transmitting tracer stones has shown the extent of the effectiveness of adding coarser sediment. Through the use of hydrodynamic numerical models, innovative groyne shapes or configurations could be optimized so that they minimize the tendency for incision in the vicinity, but still do not lead to unintentionally strong sedimentation in the area of the navigation channel. Through the implementation of the projects within the scope of the viadonau catalog of measures, a significant improvement with regard to the bedload deficit has been achieved in recent years. However, the measures have led to a significant improvement of the ecological situation, especially due to better connectivity with the floodplain and a rheophilization of important habitats, while at the same time improving the boundary conditions for navigation. An implementation of "win-win nature-based solutions" is therefore well on its way in the case of the Danube east of Vienna and should be aimed at for other river systems. In any case, an improved understanding of processes plays an important role in order to be able to develop innovative measures in a target-oriented manner in the specific context. Also, the inclusion of all stakeholders, all affected parties up to the interested public, has proven to be successful in this kind of projects and should also be applied in similar implementations.

DanubeSediment was co-funded by the European Union funds ERDF and IPA in the frame of the Danube Transnational Programme (Project reference number: DTP-1-1-195-2.1). The overall budget is: 3 558 581.62 Euros, whereby the ERDF contributes 2 827 421.16 Euros, and the IPA contributes 197 373.19 Euros.

Keywords: Sediment dynamics, river morphology, floodplain ecosystems, Danube.

Eingelangt: 2023 01 01

Anschriften:

Helmut Habersack, E-Mail: helmut.habersack@boku.ac.at (Corresponding author)

Marlene Haimann, E-Mail: marlene.haimann@boku.ac.at

Marcel G. Liedermann, E-Mail: marcel.liedermann@boku.ac.at

Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA),

Universität für Bodenkultur Wien, Am Brigittenauer Sporn 3, A-1200 Wien.