

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Kellermann, Jürgen

Langfristige Sohlentwicklungen in der Donau zwischen Straubing und Vilshofen vor dem Hintergrund von Unterhaltungsmaßnahmen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100801>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kellermann, Jürgen (2011): Langfristige Sohlentwicklungen in der Donau zwischen Straubing und Vilshofen vor dem Hintergrund von Unterhaltungsmaßnahmen. In: HTG-Kongress 2011, 7.- 10.09.2011 in Würzburg. Hamburg: HTG. S. 29-43.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Langfristige Sohlentwicklungen in der Donau zwischen Straubing und Vilshofen vor dem Hintergrund von Unterhaltungsmaßnahmen

Grundlagen für die Anpassung von Unterhaltungsmaßnahmen

Herr Jürgen Kellermann
Kellermann, Jürgen

Zusammenfassung

Der Zweck der Unterhaltung einer Bundeswasserstraße ist die Erhaltung eines ordnungsgemäßen Zustands des Fließgewässers für den Wasserabfluss und die Erhaltung der Schifffbarkeit (WaStrG §8 (1)). In diesem Rahmen wird die Donaustrecke zwischen Straubing und Vilshofen (Bild 1) vom Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Regensburg instand gehalten. Der derzeit bestehende Regelungszustand muss erhalten und sichergestellt werden, um einer Verschlechterung der Schifffahrtsverhältnisse vorzubeugen und einen ordnungsgemäßen Wasserabfluss zu gewährleisten. Veränderungen im System sind hinsichtlich der morphologischen Wirkungen auszugleichen.

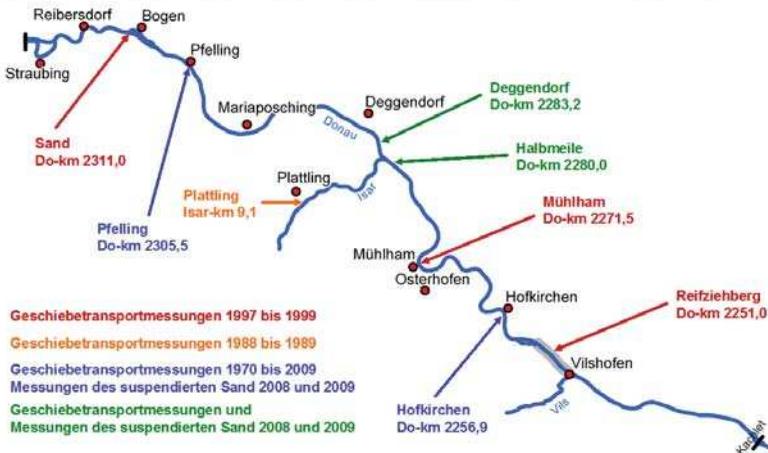


Bild 1: Übersicht über das Projektgebiet mit Geschiebetransportmessstellen

Um das Jahr 1995 nahmen die Staustufe Straubing in der Donau und die Stützkraftstufe Pielweichs bei Plattling in der Isar ihren Betrieb auf. 1997 wurde die Unterhaltung oberhalb der Isar von 1,70 m unter RNW₈₇ auf 2,00 m unter RNW₉₇, der ca. 10 cm unter dem RNW₈₇ liegt, geändert. Ab 1999 wurde die gesamte Strecke auf 2,00 m unter RNW₉₇ unterhalten. Zwischen 1998 bis 2002 wurde das s.g. Bürgerfeld bei Vilshofen ausgebaut. Der Naturversuch „Sohldeckwerk“ bei Mühlham erforderte Maßnahmen zwischen 1998 (Einbau) und 2004 (Rückbau). Die genannten Maßnahmen lassen Änderungen in der Hydraulik und im Geschiebetransportverhalten der Donau erwarten. Im flussmorphologischen Statusbericht der BAW von 1998 [2] wird bereits auf die ab Ende der 1990er Jahre zu erwartende Erosion in der Projektstrecke hingewiesen.

Um neue Erkenntnisse hinsichtlich des heutigen flussmorphologischen Zustands der Donau zwischen Straubing und Vilshofen zu erlangen, wertete die BAW die bis 2009 verfügbaren Naturdaten aus und erstellte dabei Diagramme der Jahresgeschiebefrachten auf Basis der Peilungen 1990, 1998 und 2005. Die hierbei erzielten Ergebnisse zeigen deutliche Eintiefungstendenzen im Unterwasser der Staustufe Straubing und unterstrom der Isarmündung auf.

Wesentliche Einflüsse auf die großräumige Morphologie der Donau im 20. Jahrhundert

Die morphologische Entwicklung der Donau ist in historischer Zeit stark von anthropogenen Einflüssen überprägt worden. Die prägendsten Eingriffe des 20. Jahrhunderts sind im Folgenden zusammengestellt:

- Die Korrektur der Unteren Isar um die vorletzte Jahrhundertwende hat den Geschiebeeintrag in die Donau erhöht. Dies führte zu einer Vergrößerung des Isarschüttkegels in der Donau und in der Folge zu einem Wasserspiegelanstieg im Bereich des Deggendorfer Hafens. Durch die erhöhte Rückstauwirkung wurden in dem genannten Bereich das Gefälle und die Geschiebefrachten reduziert.
- Der Ausbau der Isar zur Nutzung der Wasserkraft hat zu einer Verminderung des Geschiebeeintrags in die Donau im Verlauf des 20. Jahrhunderts geführt.
- Die während des zweiten Weltkriegs reduzierten Geschiebeentnahmen führten wiederum zu Sohlerhöhungen mit Wasserspiegelanstiegen von bis zu 1 m.
- Durch den Bau von Hochwasserdeichen, die Mittelwasser-Korrektur vor und nach dem zweiten Weltkrieg und die Niedrigwasser-Regulierung bis in die 1960er Jahre hinein, wurden der Donau relevante Mengen von Sohlmaterial und die Möglichkeit zur Seitenerosion entzogen. Dies machte sich durch eine Eintiefung der Sohle mit absinkenden Wasserständen bemerkbar.
- Die in den 1970er Jahren veränderte Baggerstrategie sollte die durch die Geschiebeentnahmen verursachten Erosionstendenzen eindämmen. Im Projektgebiet konnte durch diese Maßnahme die Erosion weitgehend gestoppt werden.

Untersuchungen zum Geschiebehaushalt von Bauer, 1965

Bauer hat in seiner 1965 publizierten Arbeit [1] zum Geschiebehaushalt die Donau sowie wesentliche Nebenflüsse zwischen der Illermündung (Do-km 2590) und Jochenstein (Do-km 2200) untersucht. An dieser Stelle sollen einige wesentliche, für die Fragestellung relevante Zusammenhänge zusammengefasst werden.

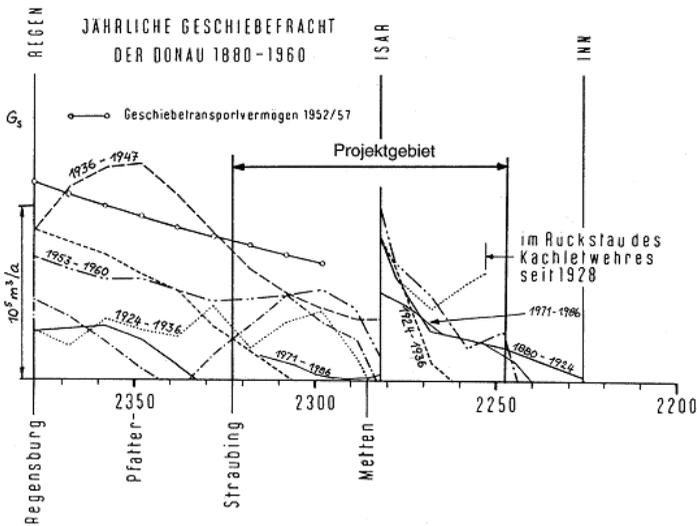


Bild 2: Jährliche Jahresgeschiebefrachten nach Bauer (— 1947 bis 1953, --- 1953-1960)

Bild 2 stellt die jährlichen Geschiebefrachten an der schiffbaren Donau zwischen Regensburg und Jochenstein gemäß der genannten Untersuchung, ergänzt durch Erkenntnisse aus [2], dar. Dabei zeigen in Fließrichtung fallende Tendenzen der Jahresgeschiebefrachten Anlandungs- und steigende Tendenzen Erosionsbereiche auf.

Auffällig ist die teilweise große Varianz der jährlichen Geschiebefrachten je nach betrachtetem Zeitintervall. Dies betrifft im Projektgebiet vor allem den Bereich oberstrom der Isarmündung. Tendenziell nehmen hier die Geschiebefrachten in Fließrichtung ab. Lediglich in der Teilstrecke zwischen Straubing und Do-km 2300 kommt es in einigen Zeitabschnitten zu einer steigenden Geschiebefracht. Im Bereich unterstrom der Isarmündung ist die Varianz der Geschiebefrachten kleiner. Hier unterliegt die Jahresgeschiebefracht im Wesentlichen einer fallenden Tendenz.

Nach Bauer wurde dem Gewässer für den Bau von Hochwasserschutzdämmen und für die Bauindustrie in größerem Umfang Kies entnommen. Dies betraf in besonderem Maße den Bereich der Isarmündung und die Strecke unterstrom von Straubing, wobei die Entnahmemengen im Mittel die Jahresgeschiebefrachten erheblich überschritten. Im Bereich der Isarmündung konnte diese Entnahme teilweise durch das zeitweise Überangebot aus der Isar kompensiert werden. Dies erklärt zum Teil die relativ geringe Varianz der Jahresgeschiebefrachten unterstrom der Isar. Nach Bild 2 beträgt der Geschiebeeintrag aus der Isar ca. 50.000 - 100.000 m³/a. In [2] wird von einem Geschiebeeintrag von knapp 50.000 m³/a für die Zeitspanne zwischen 1971 und 1986 ausgegangen. Unter Berücksichtigung der erheblichen Geschiebeentnahmen in diesem Bereich werden die relativ hohen Geschiebeeinträge plausibel. Der Grund für die Reduktion des Geschiebeeintrags zwischen den Jahren um 1930 und den 1980er Jahren ist nicht geklärt. Möglicherweise spielen der Ausbau bzw. Korrekturmaßnahmen der Isar eine Rolle. Bauer geht von einem reduzierten Geschiebeeintrag aus der Isar infolge der Wasserkraftnutzung aus.

Im Bereich Straubing bis zur Isarmündung konnte die Materialentnahme aus der Donau auch durch den Geschiebeeintrag bei Straubing nicht kompensiert werden. Aus diesem Grund trat zu Zeiten mit erheblicher Geschiebeentnahme (1920er bis 1940er Jahre) in den Bereichen unterstrom der Geschiebeentnahmen Erosionen auf. Nach Beendigung der Entnahmemaßnahmen stellte sich tendenziell das frühere Verhalten wieder ein.

Heutiger Geschiebeeintrag der Isar in die Donau

Seit der Stauerrichtung der Stützkraftstufe Pielweichs im Jahre 1994 wird seitens der bayerischen Wasserwirtschaft mit einer Eintiefung der Sohle im Unterwasser des Wehres gerechnet. Aus diesem Grund wurden seit 1999 Geschiebezugaben unterhalb Pielweichs von im Mittel ca. 31.000 m³/a (1999 bis 2005) durchgeführt. Da die Massensummenlinie aus den Peilungen an der Mündung bei etwa Null liegt, kann der Eintrag von Geschiebe in die Donau mit ca. 31.000 m³/a angenommen werden.

Die Korngrößen der Geschiebezugabe in die Isar sind signifikant größer als das anstehende Geschiebe, daher ist zukünftig mit weiter fallenden Geschiebeeinträgen in die Donau zu rechnen.

Verwendete Sohlpeilungen der Donau bis 2005

Im Folgenden wurden zur Beurteilung der Sohlentwicklung und damit verbunden der Jahresgeschiebefrachten, die Peilungen 1990, 1995, 1998, 2000, 2003 und 2005 des WSA Regensburg begutachtet. Die Peilungen der 1990er Jahre wurden als Linienpeilungen, die Peilungen seit dem Jahr 2000 als Flächenpeilungen ausgeführt.

Wie schon in [2] festgestellt wurde, wies die Peilung von 1995 z.T. erhebliche Differenzen in der Sohlage zu früheren Peilungen auf, die nicht mit morphologischen Prozessen erklärt werden konnten.

Bild 3 zeigt für die vorliegenden Peilungen bis 2005 den Abfluss, der zu dem Zeitpunkt der Peilung an den entsprechenden Stellen gemessen wurde. Zusätzlich ist als schwarze Linie der Mittelwasserabfluss eingetragen, der für die Strecke den Geschiebetransportbeginn markiert. Nicht nur bei der Peilung 1995, sondern auch bei den Peilungen 2000 und 2003 wurden wesentliche Streckenbereiche bei Abflüssen deutlich über MQ aufgenommen. Es ist davon auszugehen, dass bei dem dann herrschenden Geschiebetrieb die Bestimmung der Sohlage nicht mehr ausreichend genau gewährleistet ist. Erfahrungen u.a. vom Rhein haben gezeigt, dass in diesem Fall mit gemessenen Sohlagen in einer Größenordnung von über einem dm über der Ruhelage zu rechnen ist. Aus diesem Grund wurden die drei Peilungen 1995, 2000 und 2003 für die Ermittlung der Jahresgeschiebefrachten nicht verwendet. Aber auch die übrigen Peilungen weisen zum Peilzeitraum in Teilstrecken über MW liegende Abflüsse auf. Diese sind aber vom Umfang, als auch von der Größe des Abflusses beschränkt, so dass die Jahresgeschiebefrachten auf der Basis der Peilungen 1990, 1998 und 2005 ermittelt wurden.

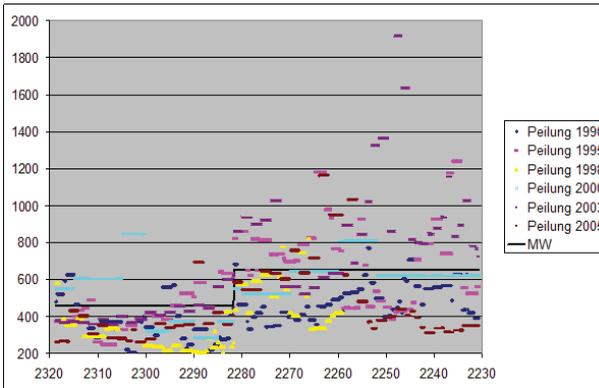


Bild 3: Abflüsse zum Zeitpunkt der Hauptpeilungen zwischen 1990 und 2005

Neuere Messungen zum Sedimenttransport

Zum besseren Verständnis der morphologischen Prozesse und zur Überprüfung der früheren Geschiebetransport-Abfluss-Relationen werden an der Donau seit 2008 regelmäßig Sedimenttransportmessungen durch das WSA Regensburg durchgeführt. Die Lage aller Messstellen sind in Bild 1 dargestellt. Die beiden Messstellen an den Pegeln Pfelling (Do-km 2305,5) und Hofkirchen (Do-km 2256,9, beide in blau im Bild angezeigt) dienen dabei der Fortführung der bisherigen Messreihen für Geschiebe, um gegebenenfalls Veränderungen erkennen zu können. Die beiden Messstellen bei Deggendorf (Do-km 2283,2) und Halbmeile (Do-km 2280,0, im Bild in grün) dienen der Quantifizierung des Isareintrags. Die in rot dargestellten Messstellen zeigen darüber hinaus die Stellen, die in früheren Jahren beprobt wurden. Zusätzlich wurde Ende der 1980er Jahre auch eine Stelle in der Isar beprobt.

Im Jahre 2008 wurden Messungen bei relativ geringen Abflüssen durchgeführt, so dass im Wesentlichen der Bereich des Geschiebetransportbeginns erfasst wurde. Im Jahre 2009 wurden Messungen bis zu etwa dem doppelten Mittelwasserabfluss durchgeführt. Für höhere Abflüsse liegen keine neueren Messungen vor.

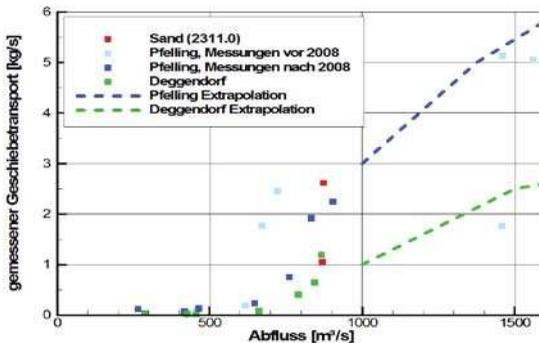


Bild 4: Geschiebetransport-Abfluss-Relationen in der Donau im Bereich oberstrom der Isarmündung

In Bild 4 sind die Ergebnisse der Geschiebetransportmessungen für den Bereich oberstrom der Isarmündung dargestellt. Es zeigt sich, dass die früheren Messwerte zum Geschiebetransport am Pegel Pfelling durch die neueren Messungen bestätigt werden. Sie weisen im Rahmen der Messgenauigkeit eine ähnliche Größenordnung auf. Die Messungen bei Deggendorf zeigen tendenziell einen geringeren Geschiebetransport als die bei Pfelling. Jedoch liegen

hier in dem für die Jahresgeschiebefracht wichtigen Bereich noch keine Erfahrungen größerer Abflüsse vor. Alle Messungen bestätigen im Wesentlichen die bisherigen Erkenntnisse.

Geht man davon aus, dass über die Staustufe Straubing kein Geschiebe transportiert wird, so muss seit Stauerrichtung das bei Pfelling durchtransportierte Geschiebe erosiv aus der Sohle der Donau zwischen Straubing und Pfelling aufgenommen worden sein.

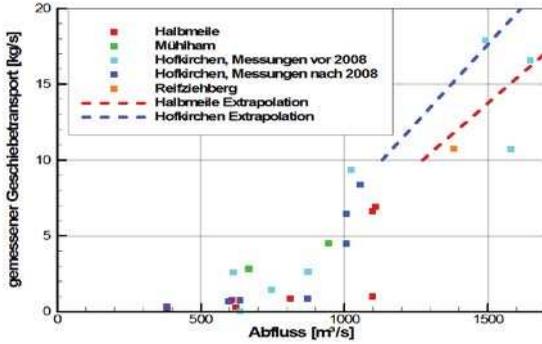


Bild 5: Geschiebetransport-Abfluss-Relationen in der Donau im Bereich unterstrom der Isarmündung

Bei Hofkirchen bestätigen die neueren Ergebnisse ebenfalls die bisherigen Erkenntnisse (Bild 5). Somit sind hier keine wesentlich veränderten Jahresgeschiebefrachten zu erwarten. Auch die Werte des Geschiebetransports an den Messstellen Halbmeile, Mühlham und Reifzieberg weisen die gleiche Größenordnung auf wie bei Hofkirchen. Die Geschiebetransportwerte bei Halbmeile direkt unterstrom der Isarmündung sind am geringsten, was eine leichte Eintiefungstendenz der unterstromigen Strecke bis Hofkirchen andeutet. Die geringeren Geschiebetransportwerte können aus einem geringeren Geschiebeeintrag aus der Isar resultieren.

Da sich die an den Pegeln Pfelling und Hofkirchen früher ermittelten Geschiebetransport-Abfluss-Relationen bestätigen, werden diese im Rahmen dieser Untersuchung beibehalten.

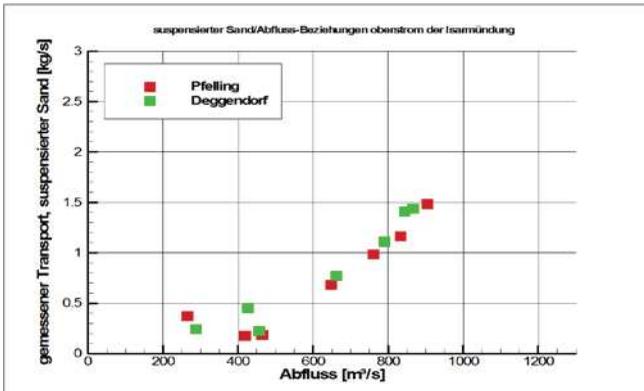


Bild 6: Suspendierter Sandtransport-Abflussrelationen in der Donau oberstrom der Isarmündung

Seit 2008 werden neben den Messungen des Geschiebetransports auch Messungen des Transports von suspendiertem Sand durchgeführt. Diese wurden an den gleichen Messstellen und -zeiten wie die Geschiebetransportmessungen ermittelt. Die Ergebnisse der Messungen des suspendierten Sandes sind in Bild 6 für den Bereich oberstrom und in Bild 7 für den Bereich unterstrom der Isarmündung dargestellt.

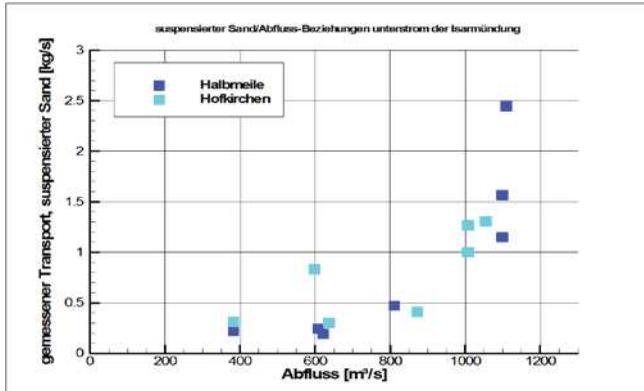


Bild 7: Suspendierter Sandtransport-Abflussrelationen in der Donau oberstrom der Isarmündung

In beiden Teilbereichen ist eine relativ klare Abflussabhängigkeit des Transportes von suspendiertem Sand zu erkennen. An den Pegeln Pfelling und Deggendorf sowie Halbmeile und Hofkirchen sind die Messwerte vergleichbar. Daraus lässt sich schließen, dass das Material in den Teilstrecken durchtransportiert wird.

Inwieweit der suspendierte Sand Anteil an der Erosion unterstrom der Staustufe Straubing hat, wird durch den Eintrag dieses Materials bei entsprechenden Wasserständen über die Staustufe bedingt. In einem Grenzfall kann angenommen werden, dass über die Staustufe kein suspendierter Sand transportiert wird. Dann muss der suspendierte Sand, dessen Transport in Pfelling gemessen wird, zwischen der Staustufe und der Messstelle erosiv aus der Sohle aufgenommen worden sein. Im anderen Grenzfall ist davon auszugehen, dass der Eintrag des suspendierten Sandes die gleiche Größe besitzt, wie dies vor Inbetriebnahme der Staustufe der Fall war. Dann ist von reduzierter Erosionswirkung durch suspendierten Sand auszugehen. Derzeit werden unterstrom des Wehres Straubing weitere Messungen bezüglich des Transports von suspendiertem Sand durchgeführt.

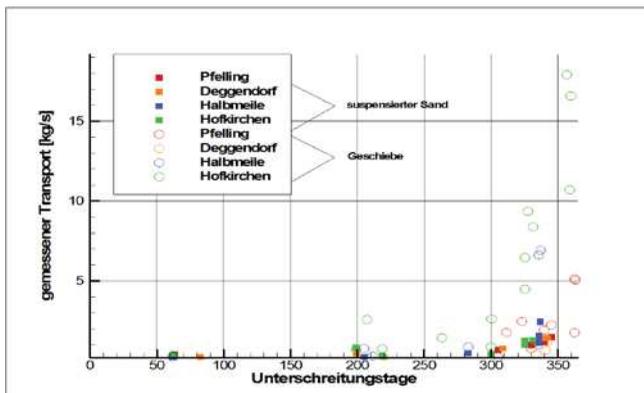


Bild 8: Unterschreitungsdauer des Sedimenttransportes (suspendierter Sand und Geschiebe)

Weitere anthropogene Einflüsse

Eine weitere Größe für die Ermittlung der Jahresgeschiebefracht stellen anthropogene Eingriffe dar. Diese sind Bautätigkeiten, Unterhaltungs- und Geschiebemanagementmaßnahmen.

Innerhalb des Untersuchungsgebietes wurden seit 1990 keine größeren dauerhaften Strombaumaßnahmen wie z.B. die Errichtung von Buhnen oder Parallelwerken vorgenommen. Lediglich im Bereich des Ausgangs der Mühlhamer Schleife wurden zwei Buhnen errichtet, die großräumig keinen Einfluss besitzen.

Im Jahre 1998 wurde bei Aicha der Naturversuch Sohldeckwerk durchgeführt. Hierbei wurde die Sohle bei Do-km 2272 auf 600 m Länge teilweise vertieft und durch ein Deckwerk gesichert. Darüber hinaus wurde oberstrom der Maßnahme ein Geschiebefang eingerichtet. Durch Probleme mit Deckwerksteinen für die Schifffahrt, die im Nachgang des Versuchs durch Anlandungen näher an den Fahrrinnenkasten kamen, wurde das gesamte Deckwerk (ca. 70.000 m³) im Jahre 2004 entnommen. Diese Maßnahmen wurden einmalig ausgeführt.

Die Geschiebemanagementmaßnahmen wurden entsprechend der Querprofile hektometerweise ausgewertet. Die verwendeten Informationen liegen monatsscharf vor und werden als Mittelwerte für den Zeitraum der Baggerungen angenommen. Bild 10 bis Bild 12 zeigen diese Maßnahmen in der Übersicht. Dabei ist jeder Maßnahme ein Punkt in der Mitte des Maßnahmenbereichs zugeordnet.

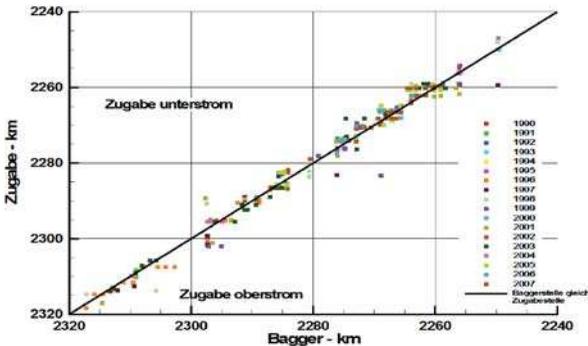


Bild 10: Bagger- und Zugabestellen in der Donau im Bereich Straubing-Vilshofen

In Bild 10 werden die Stellen der Entnahmen und der zugehörigen Zugabe vergleichend dargestellt. Die Linie im Diagramm zeigt dabei die Stellen an, an denen Bagger- und Zugabestelle zusammenfallen. Baggerstellen im Bereich unterhalb dieser Linie zeigen die Maßnahmen an, bei denen die Zugabe des Materials oberstrom der Baggerstelle liegt. Das Material wird weitgehend in einem Kreislauf gehalten. Je näher der Punkt an der Linie liegt, desto kleiner ist der Kreislauf. Liegt ein Punkt im Bereich oberhalb der Linie bedeutet dies, dass das gebaggerte Material über die Anlandungsstelle transportiert wurde und im oberstromigen Bereich nicht mehr zur Verfügung steht.

Bild 11 zeigt die an den Zugabestellen zugegebene Materialmenge. Hierbei ist teilweise eine Konzentration der Zugabe an verschiedenen Stellen (z.B. Do-km 2260) zu erkennen. Offensichtlich werden einige Stellen für die Zugabe von Material bevorzugt. Dies sind in erster Linie die in den Krümmungen vorhandenen tiefen Kolke.

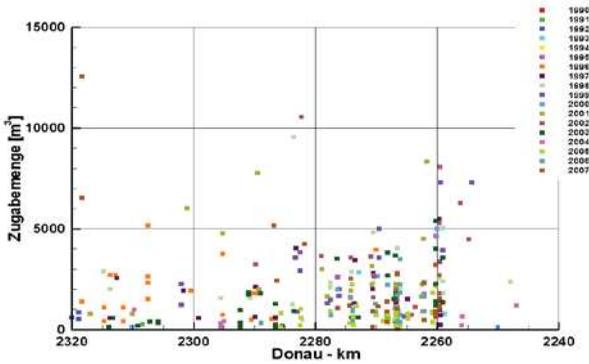


Bild 11: Diagramm der Zugabestellen und -mengen in die Donau im Bereich Straubing-Vilshofen

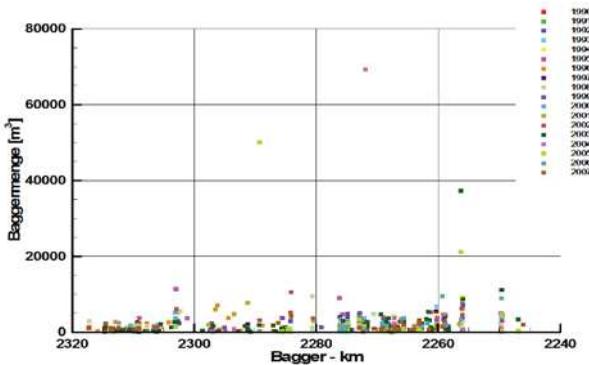


Bild 12: Diagramm der Baggerstellen und -mengen in die Donau im Bereich Straubing-Vilshofen

Bild 12 zeigt die Baggerstellen und zugehörigen -mengen. Hierbei sind sowohl die entzogenen als auch die dem Fluss später wieder zugegebenen Baggermengen aufgeführt. Eine Konzentration von Entnahmestellen ist auch hier an einigen Stellen, wie z.B. die Vorratsbaggerung bei Hofkirchen Do-km 2256) und einige Furten im Bereich der großen Krümmungen zu beobachten. Deutlich ist zu erkennen, dass großräumig betrachtet, nahezu in der ganzen Strecke Unterhaltungsmaßnahmen erforderlich sind.

Analyse des Geschiebetriebs

Zur Bestimmung der Bilanzrandbedingung bzw. zur Kontrolle der Jahresgeschiebefracht sowie zur Ermittlung des hydrologischen Einflusses ist für den Zeitraum zwischen zwei betrachteten Peilungen der summarische Geschiebetransport zu ermitteln. Hierzu stehen die Abflussganglinien und die Geschiebetransport-Abfluss-Relationen an den Pegeln Pfelling, Hofkirchen und für die Isar bei Plattling zur Verfügung. Die Abflussganglinie wurde vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU), Hof für den Zeitraum von 1926 bis 2007 zur Verfügung gestellt.

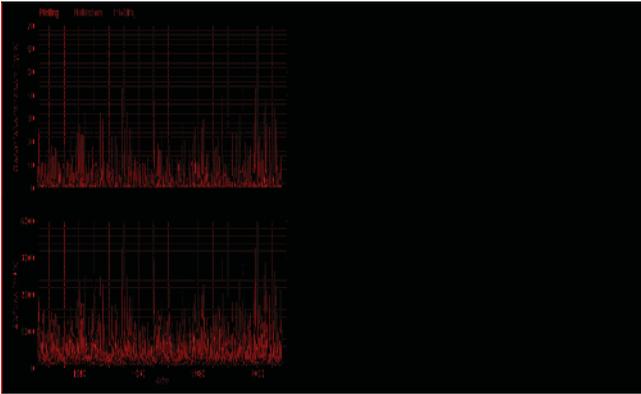


Bild 13: Abflussganglinien und rechnerischer Geschiebetransport an den Pegeln Pfelling und Hofkirchen (Donau) sowie Plattling (Isar) für Abflüsse die zwischen 1926 und 2007 auftraten

Diese Abflussganglinien wurden mit den Geschiebetransport-Abfluss-Relationen aus [2] verschnitten. Die entstandenen Ganglinien des Abflusses und des zugehörigen Geschiebetriebes sind in Bild 13 dargestellt. Jahresweise aufsummiert dienen diese Daten der Ermittlung der Jahresgeschiebefrachten an den Pegeln, die in Bild 14 dargestellt sind. Da die Geschiebetransport-Abfluss-Relationen keine morphologischen Veränderungen der Vergangenheit abbilden, kann aus diesen Werten nur auf den hydrologischen Einfluss auf der Basis der heutigen Randbedingungen geschlossen werden.

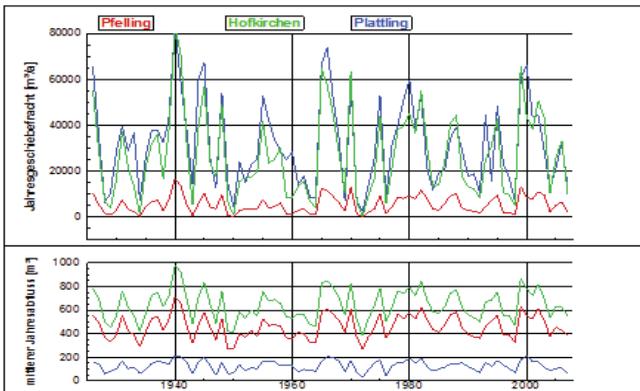


Bild 14: Rechnerische Jahresgeschiebefracht und mittlerer Jahresabfluss an den Pegeln Pfelling und Hofkirchen (Donau) sowie Plattling (Isar) für Abflüsse die zwischen 1926 und 2007 auftraten

Mit Blick auf die rechnerische mittlere Jahresgeschiebefracht an den Pegeln wird die große Spannweite deutlich. In feuchten Jahren kann der Jahresgeschiebetransport erheblich vom mittleren Transport abweichen. In Tabelle 1 sind die wesentlichen statistischen Werte für die Messstellen zusammengefasst. So ist im Zeitraum zwischen 1926 und 2007 am Pegel Pfelling mit einer mittleren Jahresgeschiebefracht von ca. 5.500 m³ und am Pegel Hofkirchen von ca. 27.000 m³ zu rechnen. Rein rechnerisch beträgt der Mittelwert bei Plattling ca. 32.000 m³. Er bestätigt die vor genannten Erkenntnisse zur Geschiebetransportkapazität der Isar.

Geschiebetransport, alle Transportwerte in [m ³ /a]	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum/Jahr des Auftretens	Maximum/Jahr des Auftretens
Pfelling	5524	3806	39/1972	16784/1940
Hofkirchen	27034	18770	229/1972	83950/1940
Plattling	31672	19004	2384/1972	82868/1940

Tabelle 1: Zusammenstellung der mittleren und extremalen, rechnerischen Geschiebetransportraten an den Pegeln Pfelling und Hofkirchen (Donau) sowie Plattling (Isar) auf Basis der Abflussganglinie zwischen 1926 und 2007

Die Standardabweichung zeigt mit ca. 60 bis 70 % der mittleren Jahresgeschiebefracht einen beachtlichen Wert. Dies spiegelt die große Varianz in den Abflüssen wieder. Die Minima des Geschiebetransportes zeigen, dass in extremen Jahren der Geschiebetransport nahezu zum Erliegen kommen kann. Die Maxima übersteigen den Mittelwert um ca. das Dreifache.

Die Abhängigkeit der ermittelten Jahresgeschiebefrachten an den Pegeln vom mittleren Jahresabfluss ist in Bild 15 dargestellt. Dieses Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Geschiebefracht von dem mittleren Jahresabfluss. Somit lässt sich an den Pegeln bereits mit der Kenntnis um den Abfluss eines abgelaufenen Jahres die transportierte Geschiebemenge an den Pegeln abschätzen.

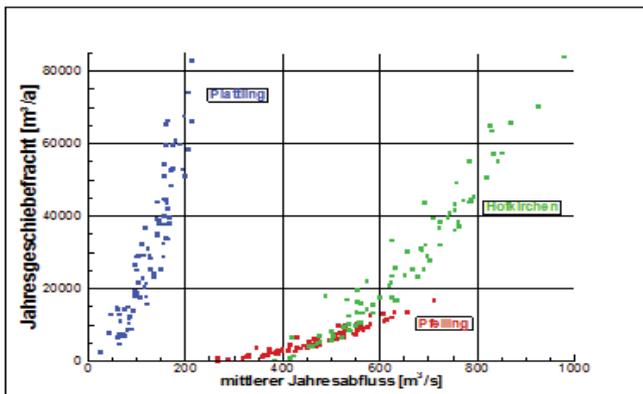


Bild 15: Abhängigkeit der rechnerischen Jahresgeschiebefracht vom mittleren Jahresabfluss an den Pegeln Pfelling und Hofkirchen (Donau) sowie Plattling (Isar) für Abflüsse die zwischen 1926 und 2007 auftraten

Ermittlung der Jahresgeschiebefrachten

Im Folgenden wird die Vorgehensweise beschrieben, mit der die Jahresgeschiebefrachten erstellt werden.

Für ein beliebiges Kontrollvolumen kann dabei eine Bilanzgleichung der Feststoffvolumina angeschrieben werden. Sie lautet:

$$V_{\text{ein}} + V_{\text{Zugabe}} - (V_{\text{aus}} + V_{\text{Baggerung}} + V_{\text{Abrieb}}) = \Delta V$$

mit

V_{ein} : natürlich eingetragenes Volumen

V_{Zugabe} : anthropogen eingetragenes Volumen (Verklappungen)

V_{aus} : natürlich ausgetragenes Volumen

$V_{\text{Baggerung}}$: anthropogen ausgetragenes Volumen (Baggerungen)

V_{Abrieb} : Volumen das durch Abrieb in Schwebstoff übergegangen ist

ΔV : beobachtete Volumenänderung der Sohle

Diese Volumenangaben beziehen sich jeweils auf einen definierten Bilanzzeitraum. Wird für den Bilanzzeitraum der Zeitraum zwischen zwei Peilungen verwendet, können die Massensummenlinien (in m^3) zur Ermittlung des ΔV verwendet werden. Dabei werden die Erosion negativ und Anlandungen positiv angeschrieben. V_{Zugabe} und $V_{Baggerung}$ ergeben sich aus den Baggerstatistiken des Amtes. Der Abrieb wird an dieser Stelle vernachlässigt.

Somit bleiben der Geschiebeeintrag ($V_{Eintrag}$) und der Geschiebeaustrag ($V_{Austrag}$) als Unbekannte übrig. Ist an einer Stelle das im Bilanzzeitraum transportierte Volumen bekannt, z.B. aus einer Geschiebetransport-Abfluss-Relation, lässt sich der Rand eines Kontrollvolumens an diese Stelle legen und somit die Gleichung für die verbliebene Unbekannte vollständig lösen. Für den anschließenden Kontrollabschnitt kann der berechnete Wert wieder als bekanntes transportiertes Volumen eingesetzt werden.

Die Jahresgeschiebefracht wird durch den Bezug auf den Bilanzzeitraum ermittelt:

$$V_{ein} / \Delta t = Q_{s,m,ein} \quad \text{bzw.} \quad V_{aus} / \Delta t = Q_{s,m,aus}$$

mit

Δt : Bilanzzeitraum

$Q_{s,m,ein}$: mittlere Geschiebefracht am oberen Ende des Kontrollvolumens

$Q_{s,m,aus}$: mittlere Geschiebefracht am unteren Ende des Kontrollvolumens

Somit ist an einer Stelle die Jahresgeschiebefracht als Randbedingung zu ermitteln. Dies kann z.B. auf Basis von Geschiebetransport-Abfluss-Relationen und der Abflussganglinien (z.B. an den Pegeln Pfelling oder Hofkirchen) oder durch definierte Stellen wie z.B. kein Geschiebeeintrag im unterstromigen Bereich eines Wehres, erfolgen.

Randbedingungen und Annahmen

Um die Ergebnisse möglichst präzise zu berechnen, wurde die Vorgehensweise im Vergleich zu früheren Ermittlungen verfeinert. So werden als Kontrollvolumen nicht mehr mehrere Kilometer lange Abschnitte, sondern die aus der Massensummenlinie vorliegenden Querprofile im Abstand von 100 m verwendet. Für jeden dieser Kontrollabschnitte wurden die exakten Peildaten tagesscharf betrachtet und als Bilanzzeitraum eingesetzt. Bagger- und Verklappmaßnahmen liegen nach den Unterlagen des WSA monatsscharf für die entsprechenden Bereiche vor. Es wurde von der Annahme ausgegangen, dass innerhalb dieser Bereiche die Entnahme- und Zugabemengen sowohl räumlich als auch in den Baggermonaten zeitlich gleich verteilt waren. Der Geschiebeeintrag aus der Isar wurde tagesscharf berechnet.

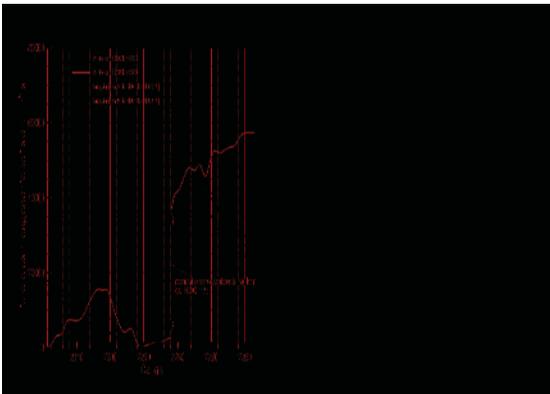


Bild 16: Geglätteter Längsschnitt der Jahresgeschiebefrachten der Zeiträume 1990 bis 1998 sowie 1998 und 2005 im Vergleich zu früheren Zeiträumen

Seit Mitte bis Ende der 1990er Jahre wurde bereits in [2] ein Regimewechsel in der Donau erwartet. In diesem Zeitraum gingen die Staustufen Straubing und Pielweichs/Isar (ca. 10 km oberstrom der Isarmündung) in Betrieb. Es ist daher von einem verringerten (Isar) bzw. ganz ausbleibenden Geschiebetransport (Donau bei Straubing)

auszugehen. Nach Öffnung des Main-Donau-Kanals im Jahre 1992 und der Inbetriebnahme der Staustufe Straubing im Jahre 1995 wurde weiterhin zwischen 1996 und 1998 im Bereich oberstrom der Isarmündung die Fahrinne von 1,7 m auf 2,0 m vertieft. Darüber hinaus liegt der RNW₉₇ im gesamten Projektgebiet unter dem bis Mitte der 90er Jahre gültigen RNW₈₇. Beides führt durch den erhöhten Baggeraufwand ebenfalls zu veränderten morphologischen Vorgängen. Der Einfluss des suspendierten Sandes nach Stauerrichtung in Straubing konnte nicht abschließend geklärt werden.

In Bild 16 ist der um die beschriebenen Annahmen modifizierte Längsschnitt der Jahresgeschiebefrachten geglättet dargestellt. Er weist für das Beobachtungsintervall zwischen der Peilung 1990 und der Peilung 1998 (rote Linie) eine gute Übereinstimmung mit den bisherigen Erfahrungen auf. Das Intervall zwischen 1998 und 2005 (blaue Linie) dokumentiert die einsetzende Erosion als Auswirkung der morphologischen Veränderungen in der Strecke. So entspricht der im Bereich Do-km 2319 bis Do-km 2304 beobachtete Rückgang der Jahresgeschiebefracht einer mittleren Eintiefung von ca. 1 cm/a. Mögliche Maßnahmen des WSA Regensburg sind eine in diesem Bereich angepasste Unterhaltung der Strecke sowie einer Geschiebezugabe am oberstromigen Rand. Unterstrom der Isarmündung ergibt sich prinzipiell ein vergleichbares Bild. Reduzierte Geschiebeeinträge aus der Isar spielen hier eine wichtige Rolle. Die Schlussfolgerungen sind im Vergleich mit dem Bereich unterstrom Straubing nicht so eindeutig, da hier auch ein Einfluss des Geschiebeeintrags aus der Hydrologie besteht. Diese Frage wird derzeit weiter untersucht. Weitere offene Fragen ergaben sich vor allem für den Bereich oberstrom der Isarmündung. Zur Präzisierung des Jahresgeschiebefrachtlängsschnitts und damit der genaueren Eingrenzung der unzweifelhaft erfolgenden Erosion werden in den nächsten Jahren weitere Messungen zum Geschiebe- und suspendierten Sandtransport sowie qualitativ hochwertige Messungen auch in den Randbereichen durchgeführt.

Diskussion der verbleibenden Unsicherheiten

Trotz der detaillierten Betrachtungen verbleibt eine Reihe von Unsicherheiten in der Ermittlung der mittleren Jahresgeschiebefrachten. An erster Stelle ist hierbei die Unsicherheit der Flusspeilungen zu nennen. Bereits geringe systematische Abweichungen haben Auswirkungen auf das Ergebnis. So führt ein systematischer Fehler in einer Peilung von 1 cm in der Höhenlage zu einer Abweichung auf der Gesamtstrecke Straubing – Vilshofen von über 80.000 m³/a in der Jahresdimentfracht. Das entspricht ca. zwei Jahresgeschiebefrachten unterstrom- oder vier Jahresgeschiebefrachten oberstrom der Isarmündung. Diese Problematik ist insbesondere bei den Peilungen 1995, 2000 und 2003 aufgetreten, weshalb sie nicht verwendet wurden.

Die Peildaten umfassen nicht den gesamten Bereich, der der Morphodynamik unterliegt. Flachwasserbereiche, Buhnen und Altwasser unterliegen ebenfalls Sohlhöhenänderungen und müssten idealerweise bei der Ermittlung der Jahresgeschiebefrachten berücksichtigt werden. Insbesondere bei Eintiefungstendenzen, wie sie seit 1998 zu verzeichnen sind, ist zu erwarten, dass eine tendenziell verstärkte Mobilisierung von Sohlmaterial in den Randbereichen einsetzt. Hier steht, im Vergleich zum tieferen und damit stärker durch Schubspannungen belasteten Flussbett, feineres Sohlmaterial an. Dadurch betrifft dies das Volumen des Transportes von suspendiertem Sand in besonderem Maß.

Die beiden o.g. Punkte, die sich aus den Peildaten ergeben, dominieren die Unsicherheiten, die in den folgenden Betrachtungen diskutiert werden. Die vorliegenden Peilungen werden aus technischen, organisatorischen Gründen bzw. durch ablaufende HW-Ereignisse in einem größeren Zeitraum aufgenommen. In Tabelle 2 sind diese Zeiträume der vorliegenden Peilungen zusammengestellt.

	Peilung 1990	Peilung 1995	Peilung 1998	Peilung 2000	Peilung 2003	Peilung 2005
Bereich	Straubing-Kachlet	Straubing-Kachlet	Straubing-Hofkirchen	Straubing-Kachlet	Straubing-Kachlet	Straubing-Kachlet
Peilbeginn	13.09.1989	18.04.1995	11.03.1998	06.04.2000	11.04.2002	27.04.2005
Peilende	28.11.1990	17.09.1996	14.09.1998	01.10.2000	07.05.2003	20.03.2006
Dauer [d]	441	518	187	178	391	327

Tabelle 2: Darstellung der Zeiträume in denen die zugehörigen Peilungen durchgeführt wurden

Teilweise wurden Peilungen in Teilabschnitten über einen Zeitraum von einem bis fast anderthalb Jahren aufgenommen. Da in diesen Zeiträumen auch Hochwasserereignisse auftraten, ist mit örtlichen Umlagerungen zu rechnen, deren Volumen nicht bzw. doppelt aufgenommen wurden. Dies ist in der Praxis nicht immer zu vermeiden. Jedoch sind für die Auswertungen Peilungen mit möglichst kurzen Zeiträumen in Phasen mit max. Mittelwasserabflüssen zu verwenden.

Die Peilungen bis 1998 wurden als Linienpeilungen an den Hektometern und ab 2000 als Flächenpeilungen durchgeführt. Eine Vergleichbarkeit ist bezüglich der Methodik zur Auswertung der Massenbilanzen gewährleistet, jedoch kann auf Grund der veränderten Messmethode eine Veränderung in den Genauigkeiten auftreten. Hierüber liegen keine gesicherten Informationen vor.

Die Genauigkeit einer Peilung ist wesentlich vom während der Peilung herrschenden Sedimenttransport abhängig. In Bild 3 wurden die im Längsschnitt an den jeweiligen Peildaten herrschenden lokalen Abflüsse dargestellt. Bei Peilungen mit Sedimenttransport kann sich eine scheinbar erhöhte Sohllage ergeben. Alle Sohlpeilungen zwischen 1990 und 2005 weisen in Teilstrecken sedimenttransportrelevante Abflüsse auf.

Eine weitere Fehlerquelle ergibt sich aus falschen oder unsicheren Angaben der Bagger- und Verklappmengen. Hier besteht u. a. die Unsicherheit bezüglich des Entnahmeverolumens (unbekannte Porosität) bzw. des Entnahmeorts im Vergleich zu den Peilungen. So ist es möglich, dass die in Seitenbereichen verklappten oder entnommenen Mengen, die in den Baggerstatistiken enthalten sind, ganz oder teilweise nicht durch Peilungen erfasst werden.

Unsicherheiten bestehen auch in den berechneten Jahresgeschiebefrachten aus den Sedimenttransport-Abfluss-Relationen. Die gewonnenen Messdaten basieren in der Hauptsache auf Messungen vor Änderung des morphologischen Regimezustands. Zwar bestärken neuere Messungen aus dem Jahre 2008 im Bereich des Sedimenttransportbeginns die These, dass die bisherige Funktion noch Bestand hat, jedoch fließen aktuelle Messungen bei höheren Abflüssen bisher nicht ein.

Durch die Errichtung der Stützkraftstufe Pielweichs/Isar ist davon auszugehen, dass der Sedimenttrieb an dieser Stelle weitgehend unterbrochen wurde. Die Folge ist eine einsetzende Erosion in der Unteren Isar mit einer damit verbundenen Vergrößerung der Sohle. Dies führt nach einiger Zeit zu einem reduzierten Sedimenteintrag in die Donau. Um die Erosion in der Isar zu begrenzen, wurde unterhalb der Staustufe eine Sohlschwelle angelegt und eine Geschiebezugabe mit größerem Material eingerichtet. Es ist zu erwarten, dass hierdurch der Sedimenteintrag in die Donau weiter reduziert wird.

Durch den Naturversuch Deckwerk bei Aicha im Jahre 1998 wurde die Sohle im Bereich unterstrom der Versuchsstrecke morphologisch gestört. Baggermaßnahmen im Bereich der Versuchsstrecke führten temporär zu Erosionserscheinungen im anschließenden Bereich. Die Wirkung aus diesen Maßnahmen ist nicht separierbar, da sie sich mit den Veränderungen aus dem verringerten Sedimenteintrag aus der Isar überlagern. Jedoch nehmen die Einflüsse aus dem Naturversuch ab und werden vermutlich in einigen Jahren vernachlässigbar sein. Die bei der Berechnung der Jahresgeschiebefracht an einer Stelle aufgetretenen Fehler pflanzen sich in Richtung der Analyse fort und verfälschen die absoluten Beträge auch in Bereichen, die keine systematischen Fehler aufweisen. Diese Fehlerfortpflanzung ist nur durch zusätzliche Informationen zum tatsächlich transportierten Sediment zu erkennen und zu quantifizieren. Hierzu wurden die Sedimenttransportmessstellen ober- und unterstrom der Isarmündung eingerichtet. Derzeit liegen jedoch noch recht wenige Messungen insbesondere bei höheren Wasserständen vor.

Für die Baggermengenermittlung wird seit 1999 ein Verfahren verwendet, das das tatsächliche Volumen in der Klappschute berücksichtigt. Vor 1999 wurden diese Volumina teilweise grob geschätzt. Das veränderte Verfahren dient der präziseren Abrechnung mit den Baggerunternehmen. Insofern ist mit der Umstellung der Verfahren möglicherweise ein systematischer Fehler verbunden. Bei der Ermittlung der Baggermengen ist gegebenenfalls eine andere Porosität anzusetzen. Da hierzu keine Informationen vorliegen, ist von der gleichen Lagerungsdichte wie in der Sohle ausgegangen worden.

Bei der Ermittlung der Jahresgeschiebefrachten haben die Sohlhöhenänderungen in einem Zeitintervall den größten Anteil. Diese Sohlhöhenänderungen werden auf Grund von Geschiebeumlagerungen, als auch durch Transport von suspendiertem Material hervorgerufen. Eine eindeutige Bestimmung des Anteils von suspendiertem Sand ist mit den vorliegenden Unterlagen nicht möglich. Insofern ist besonders im Bereich oberstrom der Isarmündung zu berücksichtigen, dass die dargestellten Jahresgeschiebefrachten unter Umständen auch noch einen Anteil suspendierten Sand beinhalten können. Da der Anteil von Sand in der Sohle ca. 10 % umfassen kann, ist dies auch die Obergrenze des möglichen Anteils in der Jahresgeschiebefracht. Da dieser Wert sich im Längsschnitt verändern kann und hierüber keine Informationen vorliegen, wurde auf eine Darstellung in den Ergebnissen verzichtet.

Generell ist zu beachten, dass der Einfluss der Schifffahrt in den Sedimenttransport-Abfluss-Relationen nicht enthalten ist. Da auf der Donau seit Öffnung des Main-Donau-Kanals 1992 sowie der Unterhaltung der Fahrrinne auf 2 m unter RNW seit Mitte der 1990er Jahre eine deutliche Vergrößerung der installierten Leistungen in den Schiffen

sowie ein geringerer Sohlabstand der Fahrzeuge bei Niedrig- und Mittelwasserständen zu verzeichnen ist, kann ein verstärkter Teil der Sohlumlagerungen auf Schiffsbewegungen zurückzuführen sein. Es ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass die Schifffahrt zumindest bei Abflüssen kleiner als Mittelwasser im Bereich der Fahrrinne eine sich natürlich vergrößerte Kornzusammensetzung tendenziell stärker auf die Sohle wirkt und daher das darunter liegende feine Sohlmaterial an die Oberfläche gelangt. Eventuell wird dadurch die Transportkapazität erhöht. Hierüber liegen noch keine gesicherten Erkenntnisse vor.

Fazit

Die vorliegenden Jahresgeschiebefrachten stellen trotz einiger offener Fragen u.a. im Bereich der Peilgenauigkeit eine Grundlage für weitere Untersuchungen dar. Die BAW empfiehlt auf Grund der Veränderungen im Regimezustand der Donau seit Mitte der 1990er Jahre eine Untersuchung zur Optimierung des Unterhaltungskonzeptes, das diese Veränderungen berücksichtigt. Das optimierte Unterhaltungskonzept sollte nicht nur die Bewirtschaftungsstrategie (z.B. mehr Verklappung von gebaggertem Material nach oberstrom), sondern auch die Prüfung von Bauwerksanpassungen und Maßnahmen zur Sohlstabilisierung umfassen, um einen wirtschaftlichen Betrieb der Wasserstraße zu gewährleisten.

Für künftige Peilungen lassen sich aus den Erkenntnissen der vorliegenden Untersuchung einige Empfehlungen zur Verbesserung der Qualität der Sohlaufnahmen ableiten:

- Peilungen sollten für die gesamte Strecke synoptisch in einer Niedrigwasserperiode durchgeführt werden.
- Die Grenzen der Peilabschnitte sollten neu festgelegt werden.
- Zu jeder Peilung sollte zur Überprüfung der Flächenaufnahme eine Wasserspiegelfixierung in Flussmitte mit Echolotssohlaufnahme durchgeführt werden. Falls eine Peilung durch ein oder mehrere Hochwasserereignisse unterbrochen wird, sollte für jeden Peilabschnitt eine eigene Wasserspiegelfixierung mit Sohlaufnahme durchgeführt werden. Einzelne Peilabschnitte sollten überlappend gepeilt werden, um eine Kontrolle der Peilqualität an den Rändern zu ermöglichen.
- Peilungen bei Abflüssen, bei denen Geschiebetrieb herrscht (Geschiebetransportbeginn ist bei MQ), sind für die Auswertung hinsichtlich der Geschiebefrachten nicht ausreichend genau, und deshalb zu vermeiden.

Literaturverzeichnis

Bauer, F.	1965	Der Geschiebehaushalt der bayerischen Donau im Wandel wasserbaulicher Maßnahmen, Wasserwirtschaft, Heft 4/5, 1965
BAW	1998	Flußmorphologischer Statusbericht (unveröffentlicht), BAW Karlsruhe Juli 1998



VORTRÄGE

HTG-Kongress 2011



Würzburg

07. – 10. September 2011

Congress Centrum Würzburg

