



Bundesministerium  
für Verkehr, Bau  
und Stadtentwicklung



Von der Europäischen Union kofinanziert  
Transeuropäisches Verkehrsnetz (TEN-V)

Donauausbau Straubing-Vilshofen

Variantenunabhängige Untersuchungen zum Ausbau der Donau  
zwischen Straubing und Vilshofen – 2007-DE-18050-S

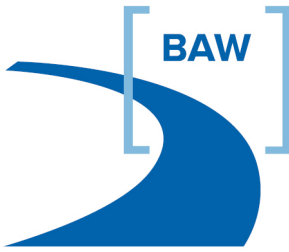
Abschlussberichte – B.III. Bericht zur Variante C<sub>2,80</sub>

**Anlage III.7      Flussmorphologische Untersuchungen auf der  
Grundlage des 1D-Feststofftransportmodells  
(Bundesanstalt für Wasserbau)**

---

Hinweise:

1. Die Durchführung der Untersuchungen und die Erstellung der Berichte wurden von der EU finanziell unterstützt.
2. Die Ausführungen in den Berichten und deren Anlagen binden nur die jeweiligen Verfasser, nicht aber die Europäische Kommission, die auch nicht für die weitere Nutzung der darin enthaltenen Informationen haftet.



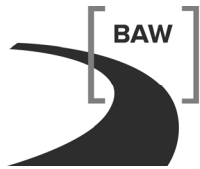
**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

**EU-Studie zum Donauausbau  
Straubing - Vilshofen**

**Flussmorphologische Untersuchungen  
auf Grundlage des  
1D-Feststofftransportmodells  
- Variante C<sub>2,80</sub> -**

**A39530210127-16**





**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

**EU-Studie zum Donauausbau  
Straubing - Vilshofen**

**Flussmorphologische Untersuchungen  
auf Grundlage des  
1D-Feststofftransportmodells  
- Variante C<sub>2,80</sub> -**

Auftraggeber: Bundesrepublik Deutschland,  
vertreten durch die Rhein-Main-Donau AG,  
diese vertreten durch die RMD Wasserstraßen GmbH

Auftrag vom: 16.06.2010  
RMD-Maßnahme 4201 5201 6201  
RMD-Auftrag: 85 000 037

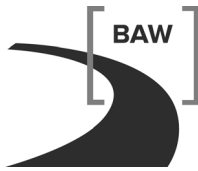
Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A39530210127-16

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Binnenbereich  
Referat: W2  
Bearbeiter: Dipl.-Ing. Jürgen Kellermann

Karlsruhe, 15.11.2012

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.





## Zusammenfassung

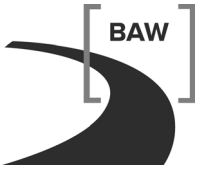
In diesem Bericht werden die Modellerstellungen und Berechnungsergebnisse der Varianten C/C<sub>2,80</sub> zu flussmorphologischen Langzeitsimulationen mit dem eindimensionalen Feststofftransportmodells (1D-FTM) dargestellt.

In einer ersten Phase der Untersuchungen werden die Berechnungen aus einer vereinfachten Modellierung mit Herstelltiefen von 2,55 m bis 2,90 m (entspricht Fahrrinntiefen 2,40 m bis 2,75 m) vergleichend gegenübergestellt. Dabei zeigte sich, dass unter Berücksichtigung von Sohleintiefungen, Unterhaltungsaufwand und Wasserspiegelveränderungen bei Abflüssen des RNW, MW sowie HNN ( $Q_{RNW}$ ,  $Q_{MW}$ ,  $Q_{HNN}$ ) eine Herstelltiefe von 2,65 m für die weitere Optimierung aus morphologischer Sicht eine ausreichende Sohlstabilität aufweist, wenn der Geschiebeeintrag an der Isarmündung geringfügig erhöht wird. Im Rahmen einer Besprechung vom 30.07.2010 in der BAW zwischen der RMD, WSD Süd, dem Ing.-Büro Hunziker, Zarn und Partner sowie der BAW wurde diese Fahrrinntiefe als weiter zu untersuchende Variante mit Wehr festgelegt.

In der zweiten Phase der Untersuchungen wurden zur Überprüfung der Sohlstabilität Weiterentwicklungen hinsichtlich der Dimensionierung der Bauwerke und der Fahrrinnenlage integriert. Darüber hinaus wurde das Hochwasserschutzkonzept übernommen und das Modell um die Straubinger Schleife erweitert. Weitere Verbesserungen der Simulationstechnik, wie z.B. die Berücksichtigung des künftigen RNW in der Modellierung der Fahrrinnenunterhaltung und eine verfeinerte Differenzenbetrachtung, fanden ebenfalls Eingang in die Untersuchungen.

Um die mit Baumaßnahmen verbundenen Wasserspiegeländerungen zu begrenzen und Geschiebedefizite in der Strecke auszugleichen, wurden Geschiebezugaben an den wesentlichen Stellen in das Modell integriert. Da die Sohlschubspannungen der Variante C/C<sub>2,80</sub> sich nicht wesentlich von denen des Vergleichsszenario unterscheiden, entstehen mit Ausnahme des Stauraums diesbezüglich keine wesentlichen Abweichungen zum Vergleichsszenario.

Die Berechnungen zur Variante C/C<sub>2,80</sub>\* (Untersuchungen der ersten Phase) haben die Machbarkeit dieser Variante mit einer Fahrrinntiefe von 2,65 m aus morphologischer Sicht nachgewiesen. Das Unterhaltungskonzept unterscheidet sich in der Art nicht wesentlich von Maßnahmen, die in der Kalibrierung ergriffen wurden. Der wesentliche Unterschied besteht in der Sohlsicherung der Stauhaltung. Durch eine reduzierte Zugabe an der Isarmündung kommt es im Stauraum zu Umlagerungen von Sediment in Richtung des Wehrs bei Aicha. Um einen Durchtransport des eingetragenen Materials zu gewährleisten, ist eine Erhöhung



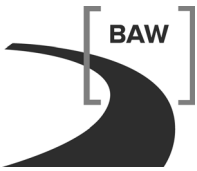
des Geschiebeeintrags nicht vorgesehen. Der Wehrram bei Aicha ist bei Do-km 2267,2 mit einer Sohlsicherung mit Grobmaterial zu sichern, um Sohlintiefungen aus erhöhten Schubspannungen in Folge von Wasserspiegelabsenkungen aus der unterstrom anschließenden Strecke zu begrenzen. Die resultierenden Wasserspiegeländerungen des morphologischen Nachlaufs über 25 Jahre betragen max.  $\pm 0,1$  m. Jedoch ist in der Strecke die Morphodynamik unvermindert hoch und erfordert einen entsprechenden Unterhaltungsaufwand.

## Inhaltsverzeichnis

## Seite

	Glossar	1
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	5
2	Verwendete Unterlagen	7
3	Vorgehensweise	9
4	Grundzüge der Aufbereitung der Varianten C*, Phase 1	11
4.1	Allgemeines	11
4.2	Ausgangsgeometrie	11
4.3	Modellierung der Isarmündung	12
4.4	Modellierung des Wehrs Aicha	14
5	Ergebnisse der Langzeitmodellierungen der Varianten C*, Phase 1	15
5.1	Jahresgeschiebefrachten	15
5.2	Sohlhöhenänderungen	16
5.3	Wasserspiegeländerungen	18
6	Grundzüge der Aufbereitung der Variante C <sub>2,80</sub> , Phase 2 der Untersuchungen	21
6.1	Allgemeines	21
6.2	Geometrische Anpassungen der Bauwerke	23
6.3	Modellierung der Isarmündung in der Phase 2	23
6.4	Geschiebeeintrag im UW Aicha	23
7	Ergebnisse der Langzeitmodellierungen der Varianten C <sub>2,80</sub> , Phase 2	25
7.1	Jahresgeschiebefrachten	25
7.2	Sohlhöhenänderungen	26
7.3	Wasserspiegeländerungen	27
7.4	Sensitivitätsbetrachtungen	28
7.4.1	Ergebnisse der Variante C <sub>2,80</sub> mit variiertem Geschiebebezug	28
7.4.2	Einfluss der Ganglinie auf die Berechnungsergebnisse	31
7.5	Einfluss des Vorlandabflusses der Isarmündung auf die Berechnungsergebnisse	35
7.6	Mittelung der Ergebnisse	38
8	Geschiebemanagement	41
8.1	Allgemeines	41
8.2	Straubinger Schleife	42



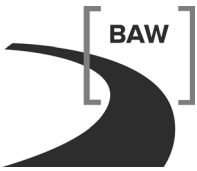


8.3	Straubing bis Isarmündung	42
8.4	Isarmündung bis Winzer	42
8.5	Winzer bis Hofkirchen	43

## Bildverzeichnis

## Seite

Bild 1:	Lageplan der Baumaßnahmen der Variante C/C <sub>2,80</sub> * aus dem Raumordnungsverfahren im Bereich der Isarmündung nach [2]	13
Bild 2:	Modellierung des Isarschüttkegel in Variante C/C <sub>2,80</sub> * am Beispiel des Do-km 2281,6 (in der Darstellung gekürztes rechtes Vorland)	14
Bild 3:	Vergleich der mittleren Jahresgeschiebefrachten einer 25-jährigen Simulation der Varianten C/C <sub>2,80</sub> * mit Fahrrinntiefen von 2,4 m bis 2,75 m	15
Bild 4:	Vergleich der Sohlhöhenänderungen einer 25-jährigen Simulation aller Untersuchungsvarianten (querprofilscharf sowie als gleitendes Mittel über 11 Querprofile)	16
Bild 5:	Sohlhöhenänderung der Variante C/C <sub>2,80</sub> * mit einer Fahrrinntiefe von 2,65 m zu verschiedenen Zeitpunkten	18
Bild 6:	Vergleich der berechneten Wasserspiegeländerungen bezogen auf den Herstellzustand bei Q <sub>RNW</sub> einer 25-jährigen Simulation aller Untersuchungsvarianten	19
Bild 7:	Übersicht Straubinger Schleife mit Fehlkilometrierungen	21
Bild 8:	Mittlere Jahresgeschiebefrachten der Variante C <sub>2,80</sub>	25
Bild 9:	Sohlhöhenänderungen des morphologischen Nachlaufs der Variante C <sub>2,80</sub>	26
Bild 10:	Rechnerische Wasserspiegeländerung aus morphologischem Nachlauf, Variante C <sub>2,80</sub> bei Q <sub>RNW</sub> , Q <sub>MW</sub> und Q <sub>HNN</sub>	28
Bild 11:	Vergleich der mittleren Jahresgeschiebefrachten des morphologischen Nachlaufs der Variante C <sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Geschiebezugaben an der Isarmündung	29
Bild 12:	Vergleich der Sohlhöhenänderungen des morphologischen Nachlaufs der Variante C <sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Geschiebezugaben an der Isarmündung im Vergleich zu mittleren Verhältnissen	30
Bild 13:	Vergleich der Wasserspiegeldifferenzen bei Q <sub>RNW</sub> der Variante C <sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Geschiebezugaben an der Isarmündung	31
Bild 14:	Vergleich der mittleren Jahresgeschiebefrachten des morphologischen Nachlaufs der Variante C <sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Ganglinien	32
Bild 15:	Vergleich der Sohlhöhenänderungen des morphologischen Nachlaufs der Variante C <sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Ganglinien	33
Bild 16:	Vergleich der Wasserspiegeldifferenzen bei Q <sub>RNW</sub> nach 25 Jahren bei unterschiedlichen Ganglinien im Vergleich zur Bezugsvariante	35
Bild 17:	Vergleich der mittleren Jahresgeschiebefrachten des morphologischen Nachlaufs der Variante C <sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Vorlandabflüssen an der Isarmündung	36
Bild 18:	Vergleich der Sohlhöhenänderungen des morphologischen Nachlaufs der Variante C <sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Vorlandabflüssen an der Isarmündung	37



## **Bildverzeichnis**

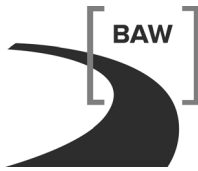
## **Seite**

Bild 19: Vergleich der Wasserspiegeldifferenzen bei $Q_{RNW}$ nach 25 Jahren bei unterschiedlichen Vorlandabflüssen an der Isarmündung im Vergleich zur Bezugsvariante	38
Bild 20: Mittelung der Wasserspiegeldifferenzen aus drei Ganglinien für alle relevanten Abflüsse nach 25 Jahren	39

## **Tabellenverzeichnis**

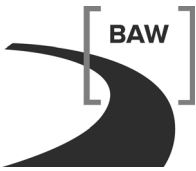
## **Seite**

Tabelle 1: Übersicht der zu untersuchenden Fahrrinntiefen der Phase 1	6
Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Sohlhöhenänderungen aus Sensitivitätsbetrachtungen der Ganglinie bezogen auf die Bezugsberechnung	33

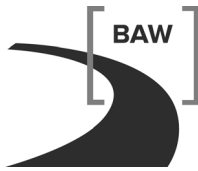


## Glossar

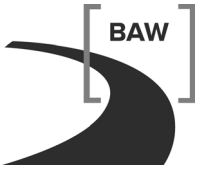
Abladetiefe	Derjenige Schiffstiefgang, der am betrachteten Binnenschiff an der diesbezüglich ungünstigsten Stelle im Ruhewasser auftritt. Die Summe aus Squat (fahrdynamisches Einsinken) und Abladetiefe (statischer Tiefgang) ergibt die Tauchtiefe
Abschnitt OSI	Donaustrecke mit Fahrrinnenunterhaltung <u>o</u> ber <u>s</u> trom der <u>I</u> sar von Straubing bis Isarmündung, Do-km 2319,3 bis 2281,7
Abschnitt USI	Donaustrecke mit Fahrrinnenunterhaltung <u>u</u> nter <u>s</u> trom der <u>I</u> sar von Isarmündung bis Vilshofen, Do-km 2281,7 bis 2249,3
Baggerintervall	Zeitraum zwischen turnusmäßigen Überprüfungen der Fahrrinntiefe bei der 2D-FT-Modellierung, bei Mindertiefen wird eine Baggerung ausgelöst
Baggermenge [m <sup>3</sup> ]	Volumen, das im 2D-FTM der Sohle im Rahmen einer Unterhaltungsbaggerung entnommen wurde
Baggersohle [m+NN]	RNW <sub>künftig</sub> minus Herstelltiefe
Baggertiefe [m]	siehe Herstelltiefe
Baggertoleranz [m]	Maßtoleranz zum Erreichen der Herstelltiefe
Bezugswasserspiegel [m+NN]	Bezugshorizont für die Herstellung und Unterhaltung der Fahrrinntiefe, hier RNW
DGM	Digitales Geländemodell
Fahrrinntiefe, FT [m]	Solltiefe der Fahrrinne unter dem Bezugswasserspiegel
Flottwasser [m]	Abstand zwischen Schiffsboden in Fahrt und der höchsten maßgebenden Erhebung der Sohle
FTM	Feststofftransportmodell
Herstelltiefe, HT [m]	Tiefe, die (bezogen auf Bezugswasserspiegel) bei der Baggerung hergestellt wird (= Fahrrinntiefe + Tiefenreserve + Baggertoleranz + Unebenheit)



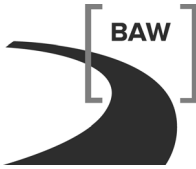
Herstellzustand	Bezeichnet die Gewässertopographie nach Umsetzung der geplanten Sohlsicherungs- und Regelungsmaßnahmen inkl. der notwendigen Fahrrinnenbaggerungen unter dem Bezugswasserspiegel
HNN [m+NN]	„Haut Niveau Navigable“; festgelegter Wasserstand, dessen Abfluss an 1% der Tage der Jahresreihe 1961/1990 erreicht oder überschritten wurde (Verf. WSD Süd M/T3-221.3/8I vom 25.03.1998)
IST-Zustand	Modelltechnische Beschreibung von Geometrie, Kornzusammensetzungen und Landnutzung für den Zustand 2005
Modell OSI	2D-FTM <u>o</u> ber <u>s</u> trom der <u>I</u> sarmündung der Teilstrecke von Do-km 2313,3 bis 2290,8
Modell USI	2D-FTM <u>u</u> nter <u>s</u> trom der <u>I</u> sarmündung der Teilstrecke von Do-km 2268,6 bis 2256,6
Morphologischer Nachlauf	Die mit dem 1D-FTM prognostizierten Veränderungen physikalischer Größen (Wasserstand, Sohlhöhen) zwischen dem Herstellzustand und dem Zustand nach Simulation eines 25-jährigen Zeitraums
MQ <sub>97</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Siehe Q <sub>MW</sub>
MW [m+NN]	Mittelwasser; Wasserstand, dessen Abfluss dem mittleren Abfluss der langjährigen Jahresreihe 1961 bis 1990 entspricht
MW <sub>ROV</sub> [m+NN]	Rechnerische Wasserspiegellage aus dem ROV bei Abfluss des MW
OSI	<u>O</u> ber <u>s</u> trom der <u>I</u> sarmündung
Q <sub>HNN</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Abfluss zum HNN Q <sub>HNN</sub> = 1375/ 1765 m <sup>3</sup> /s (oberstrom/unterstrom der Isarmündung)
Q <sub>MW</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Abfluss zum MW Q <sub>MW</sub> = 463/ 642 m <sup>3</sup> /s (oberstrom/unterstrom der Isarmündung)
Q <sub>RNW</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Abfluss zum RNW Q <sub>RNW</sub> = 211/ 324 m <sup>3</sup> /s (oberstrom/unterstrom der Isarmündung)



Q bei HNN <sub>97</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Siehe Q <sub>HNN</sub>
Reale Baggermengen [m <sup>3</sup> ]	Historische Baggermengen nach Angaben des WSA Regensburg
RNQ <sub>97</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Siehe Q <sub>RNW</sub>
RNW <sub>97</sub> [m+NN]	„Regulierungsniederwasserstand“; Wasserstand, dessen Abfluss an 94% der Tage einer langjährigen Jahresreihe (hier 1961/1990) erreicht oder überschritten wurde (Verf. WSD Süd T3-221.3/8l vom 25.03.1998).
RNW <sub>künftig</sub> [m+NN]	Rechnerische Wasserspiegellage bei Abfluss des RNW <sub>97</sub> im Herstellzustand
RNW <sub>ROV</sub> [m+NN]	Rechnerische Wasserspiegellage bei Abfluss des RNW <sub>97</sub> aus dem ROV
ROV	Raumordnungsverfahren für den Donauausbau zwischen Straubing und Vilshofen (2006 abgeschlossen)
Tiefenreserve [m]	Bei Herstellung der Fahrrinne über die Solltiefe hinausgehende Baggerung, um eine praxisgerechte Unterhaltung der Fahrrinne rechnerisch zu gewährleisten
Unebenheit [m]	Rechnerische Größe zur Berücksichtigung von Sohlfluktuationen
Unterhaltungsbaggerung	Im 1D- und 2D-FTM turnusmäßig modellierte Baggerung zur Unterhaltung der Fahrrinne
USI	<u>U</u> nter <u>s</u> trom der <u>I</u> sarmündung
Variante A*	Ausbauvariante A gemäß ROV
Variante A	Weiterentwickelte Variante A* mit einer Herstelltiefe von 2,35/ 2,40/ 2,55 m (oberstrom der Isarmündung/unterstrom der Isarmündung/Felsstrecke)
Variante C/C <sub>2,80</sub> *	Ausbauvariante C gemäß ROV
Variante C <sub>2,80</sub>	Weiterentwickelte Variante C/C <sub>2,80</sub> * mit einer Herstelltiefe von 2,80/ 2,85/ 3,00 m (oberstrom der Isarmündung/unterstrom der Isarmündung/Felsstrecke)



Vertiefte Untersuchungen	Untersuchungen zum Raumordnungsverfahren für den Donauausbau (hier: Untersuchungen der BAW, 1997 - 2001)
Vergleichsszenario	Prognostische instationäre Berechnung ausgehend von der Geometrie des IST-Zustands



## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Im August 2007 beantragte die Bundesrepublik Deutschland eine Förderung der Maßnahme „Variantenunabhängige Untersuchungen zum Ausbau der Donau zwischen Straubing und Vilshofen“ durch die EU, die mit Datum vom 19.11.2008 gewährt wurde. Ziel dieser EU-Studie ist die Erstellung von Unterlagen in Planfeststellungstiefe für den Ausbau der Donau für die Variante A auf Basis von flussregelnden Maßnahmen und für die Variante C/C<sub>2,80</sub> mit einer Stützschwelle bei Aicha. Grundlage für die Arbeiten bildeten die Ergebnisse der „Vertieften Untersuchungen“ aus den Jahren 1997 bis 2000 und die für das Raumordnungsverfahren aus dem Jahr 2004 erstellten Ausarbeitungen.

Im Rahmen der Aktivität 3 „Flussmorphologische Untersuchungen“ wurde die BAW am 16.06.2010 von der Rhein-Main-Donau Wasserstraßen GmbH beauftragt, flussmorphologische Untersuchungen durchzuführen. Ein Teilaspekt umfasst hierbei die Erarbeitung eines Geschiebemanagementkonzepts zur Stabilisierung der Sohle mit zugehörigen Zugabestellen sowie die Wirkung der langfristigen Sohlhöhenänderungen auf Wasserspiegel („morphologischer Nachlauf“) zwischen Abflüssen bei Niedrigwasser und dem höchsten schiffbaren Wasserstand (HNN) unter Berücksichtigung von Ausbau- und Erhaltungsmaßnahmen. Für diese Teilaufgaben wurde ein eindimensionales Feststofftransportmodell (1D-FTM) erstellt und betrieben.

In diesem Bericht werden die Aufbereitung der Modelle sowie die Ergebnisse der Prognoseberechnungen der Varianten C/C<sub>2,80</sub>\* (Phase 1) sowie der weiterentwickelten Variante C<sub>2,80</sub> (Phase 2) beschrieben.

Da die Entscheidung über die Vorzugsvariante mit dem Auftraggeber bis Ende Juli 2010 zu treffen war, wurden die Berechnungen der ersten Phase mit vereinfachten Modellen durchgeführt. Diese Modelle sind in der Nomenklatur mit einem "\*" gekennzeichnet. Die untersuchten Fahrrinntiefen variierten für die Variante C/C<sub>2,80</sub>\* von 2,40 m bis 2,75 m, entsprechend 2,55 m bis 2,90 m Herstelltiefe (Tabelle 1). Die Geometrie der Ausbauvarianten wurde entsprechend den Plänen des Raumordnungsverfahrens (ROV) ohne Berücksichtigung des Hochwasserschutzkonzeptes erstellt. Ziel der Prognoserechnungen war es, den sich langfristig auf Grund morphologischer Einflüsse veränderten RNW zu berechnen und darzustellen. Die Ergebnisse dienten als eine Grundlage zur Entscheidung der Festlegung einer Vorzugsvariante, die in einer zweiten Phase der Untersuchungen optimiert wurden.

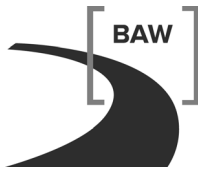


Bezeichnung	Herstelltiefe [m]	Fahrrinntiefe [m]	Bauwerke
Variante C/C <sub>2,80</sub> * FT2,40	2,55	2,40	wie ROV
Variante C/C <sub>2,80</sub> * FT2,55	2,70	2,55	wie ROV
Variante C/C <sub>2,80</sub> * FT2,65	2,80	2,65	wie ROV
Variante C/C <sub>2,80</sub> * FT2,75	2,90	2,75	wie ROV

Tabelle 1: Übersicht der zu untersuchenden Fahrrinntiefen der Phase 1

In dieser zweiten Phase wurden neben Erweiterungen in der morphologischen Modellierung, das Hochwasserschutzkonzept sowie die Straubinger Schleife in das Modell übertragen und die Bauwerke u.a. hinsichtlich ihrer morphologischen Wirkung optimiert. Die Geometrie wurde aus dem DGM des dreidimensionalen hydraulischen Modells (3D-HN-Modell) übernommen [B3]. Dadurch wurde gewährleistet, dass in beiden Modelltypen die gleiche Geometrie zugrunde liegt.

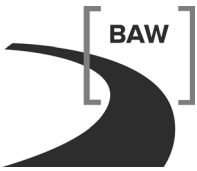
Die Ergebnisanalyse umfasst neben den zwischen Herstell- und Endzustand auftretenden Sohlhöhen- und Wasserspiegeländerungen auch Jahresgeschiebefrachten sowie ein mögliches Bewirtschaftungskonzept zur Sohlsicherung der Donau. Die Sohlsicherung wird hier als ein instationärer Prozess verstanden, der die Sohle nicht auf einem festen Niveau festlegt, sondern dynamisch in Abhängigkeit von Geschiebetransport und Abfluss variabel um einen Wert schwanken lässt. Hierzu waren die Geschiebezugabemengen zu optimieren.



## 2 Verwendete Unterlagen

- [B1] BAW, Ermittlung der Jahresgeschiebefrachten der Donau im Bereich Straubing-Vilshofen, BAW-Nr. A39530210127-02, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Juli 2010
- [B2] BAW, EU-Studie zum Donauausbau Straubing - Vilshofen, Aufbau und Kalibrierung des 1D-FTM BAW-Nr. A39530210127-03, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, November 2012
- [B3] BAW, EU-Studie zum Donauausbau Straubing - Vilshofen, Hydraulische Untersuchungen auf Grundlage eines 3D-hydroneumerischen Modells, -Variante C<sub>2,80</sub> -, BAW-Nr. A39530210127-18, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, September 2012, Anlage B.III.8<sup>(\*)</sup>
- [B4] Plate, E.J., Generierung von gleichzeitigen Abflussganglinien für Donau und Isar, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Mai 1989
- [B5] RMD, Donauausbau Straubing-Vilshofen, Vertiefte Untersuchungen, Unterlagen zum Raumordnungsverfahren, RMD Wasserstraßen GmbH, Niederlassung Regensburg, 15.11.2000

<sup>(\*)</sup> Variantenunabhängige Untersuchungen zum Ausbau der Donau zwischen Straubing und Vilshofen, RMD Wasserstraßen GmbH, München, 2012



Bundesanstalt für Wasserbau  
EU-Studie zum Donauausbau Straubing - Vilshofen  
Flussmorphologische Untersuchungen auf Grundlage  
des 1D-Feststofftransportmodells - Variante C<sub>2,80</sub> -  
A39530210127-16 – November 2012

### 3 Vorgehensweise

Basis für die Modellierung sind die in [B3] beschriebenen Geländemodelle. In diesen Modellen wurden je nach Untersuchungsphase die entsprechenden baulichen Veränderungen eingearbeitet. Diese Geländedaten wurden in das kalibrierte Modell der Donau [B2] übernommen

Für die Durchführung der Berechnungen ist die Wahl der Randbedingungen sowie der Modelleinstellungen von grundlegender Bedeutung. Dies sind in den Variantenuntersuchungen:

- die prognostizierten Abflussganglinien bei Straubing und an der Isarmündung,
- die Wasserstands-Abflussbeziehung bei Vilshofen,
- die Geschiebezugaben zur Sohlstabilisierung an den oberstromigen Rändern bzw. innerhalb des Modells sowie
- die Einstellungen zum Unterhaltungsmanagement.

Als hydraulische Randbedingung wurde am unterstromigen Rand (Do-km 2250,0) die Wasserstand-Abfluss-Beziehung der Kalibrierungsphase übernommen, da weitere Baumaßnahmen in der anschließenden Strecke nicht vorgesehen sind. Darüber besteht der Bereich zwischen Hofkirchen (Do-km 2258) und Vilshofen (Do-km 2250) aus Fels und ist morphologisch keinen wesentlichen Änderungen unterworfen, wenn davon ausgegangen werden kann, dass in diesem Bereich i.d.R. der potentiell mögliche Geschiebetransport den Geschiebeeintrag in die Felsstrecke überschreitet. Es ist somit nur mit temporären Ablagerungen von Geschiebematerial zu rechnen.

An den oberstromigen Rändern der Modelle wurden künstlich generierte Abflussganglinien verwendet. Diese Abflussganglinien sind Teil der Untersuchungsergebnisse die 1989 am Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft von Prof. Plate [B4] durchgeführt wurden. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden 20 hundertjährige Abflussganglinien generiert, die eine vergleichbare statistische Charakteristik wie die zwischen 1901 und 1987 abgelaufenen Ganglinien aufweisen. U.a. wurde festgestellt, dass in diesem Zeitraum weder bei Isar- noch Donauabflüssen ein Trend nachweisbar ist. Dies wurde auch für den Prognosezeitraum angenommen. Mögliche Einflüsse aus Klimaschwankungen wurden nicht berücksichtigt.

Der Fahrrinnenkasten wird zunächst iterativ unter einem mit dem Modell ermittelten rechnerischen RNW hergestellt. Dabei wird wie für die Baggermaßnahmen (s.u.) eine angenommene Unebenheit von 5 cm und eine Tiefenreserve von 10 cm berücksichtigt. Dies bedeutet, dass im Falle einer zu geringen Fahrrinntiefe die Sohle auf 15 cm unter dem Fahrrinnenkasten hergestellt wird. Dieser Zustand ist der s.g. "Herstellzustand". Er umfasst mithin alle baulichen Veränderungen sowie die Erstherstellung der Fahrrinne. Er dient als Vergleichszustand für die dargestellten Änderungen von Sohlhöhen und Wasserspiegel aus dem morphologischen Nachlauf.

Die ermittelten Geschiebeeinträge bei Straubing, an der Isarmündung und bei Aicha sind als Mindestmengen zu verstehen, um die Sohle weitgehend zu stabilisieren und die Unterhaltungsmaßnahmen in Form von Baggerungen zu begrenzen.

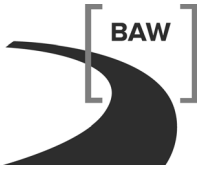
Neben den Geschiebezugaben sind die Unterhaltungsmaßnahmen für die Sohlstabilität von großer Bedeutung. Da eine Entnahme dem Ziel eines gleichmäßigen Geschiebetriebs bei stabiler Sohle teilweise entgegen spricht, wird das Baggermaterial in der Realität ganz oder teilweise an unterschiedlichen Stellen wieder zugegeben.

Die Durchführung der Baggermaßnahmen erfolgt analog der Kalibrierung [B2]. Der Fahrrinnenkasten wird in der Breite und Tiefe vorgegeben. Die Vorgabe der Tiefe erfolgt über den jeweils gültigen rechnerischen RNW, der alle 5 Jahre an die veränderte Sohle angepasst wird, und über die definierte Fahrrinntiefe unter diesem Wasserspiegel. Wird diese Fahrrinntiefe in einem Teilbereich des Querschnitts nicht erreicht, wird die Sohle in diesem Bereich auf die Herstelltiefe (Fahrrinntiefe + 15 cm) gebaggert. In der Felsstrecke im Bereich unterstrom von Do-km 2258,2 wird durch die Annahme eines wirksamen Geschiebefangs bei Hofkirchen die Herstelltiefe auf Fahrrinntiefe + 0,80 m festgelegt. Da die Sohle in diesem Bereich aus reinem Fels besteht wird von einer erhöhten Rauheit um ca. 0,0025 s/m<sup>1/3</sup> (Manning-Wert) ausgegangen. Die Zugabe des Baggermaterials erfolgt ebenfalls analog der Kalibrierung.

Da sich die Strecke im Jahre 2005 bereits im Erosionszustand befindet, wird sich durch eine Geschiebezugabe, die ein dynamisches Sohlgleichgewicht zum Ziel hat, das Sohlregime zunächst wieder umkehren. Die daraus resultierende Störung muss für die Interpretation des Modellgebiet verlassen haben, um die Sohlstabilität belastbar zu beurteilen. Der längste morphologisch von anderen Teilstrecken unabhängige Bereich ist die Strecke von der Isarmündung bis zum unterstromigen Rand mit einer Länge von ca. 32 km. Mit der Ermittlung der Wandergeschwindigkeit der Störung von ca. 1,4 km/a [B2] ergeben sich daraus Simulationszeiträume von ca. 22 Jahren.

Die Erfahrung zeigt, dass Simulationen, die mit Veränderungen des Querprofils im Simulationszeitraum durch Baggerungen verbunden sind, nur eine begrenzte Prognose in die Zukunft erlauben. Sie sind umso genauer, je kürzer diese Zeiträume sind. Voraussetzung dabei ist eine angestrebte Sohlstabilität mit nur begrenzten Sohlhöhenänderungen. Somit wurde für die Prognosen ein Zeitraum von 25 Jahren gewählt.

Die Ermittlung von realistischen Baggermengen ist mit einem 1D-FTM nur begrenzt möglich, so dass im Rahmen dieses Berichts keine Baggermengen ermittelt werden.



## **4 Grundzüge der Aufbereitung der Varianten C\*, Phase 1**

### **4.1 Allgemeines**

Die Vorgehensweise zur Aufbereitung der 1D-FT-Modelle zur Variante C/C<sub>2,80</sub>\* mit unterschiedlichen Fahrrinntiefen ist grundsätzlich identisch. Die Unterschiede sind lediglich durch die jeweiligen Fahrrinntiefen begründet.

Die Modellerstellungen der 1D-FT-Variantenmodelle basieren auf dem kalibrierten Modell des IST-Zustands [B2] sowie dem DGM der 3D-HN-Modellierung [B3]. Aus dem DGM wurden dabei die Bauwerke, die gegenüber der Kalibrierung zu verändern waren, herausgelesen und in die Variantenmodelle übernommen.

Die Modellierungsmethodik der Variantenmodelle entspricht der des kalibrierten Ist-Zustandes. Somit kann von der in der Kalibrierung ermittelten Prognosefähigkeit ausgegangen werden.

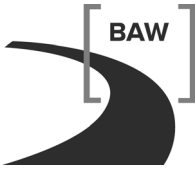
In der ersten Phase der Untersuchungen des vorliegenden Berichts sind für Vergleichsbeachtungen der Variantenrechnungen die Geschiebezugaben so einzustellen, dass eine Begrenzung der Sohlhöhenveränderungen erreicht wird. Hierzu ist ein möglichst gleichmäßiger Geschiebetransport zu realisieren. Die Geschiebezugabe bei Straubing orientiert sich an der Geschiebefrachtkapazität, wie sie sich aus den ermittelten heutigen Jahresgeschiebefrachten [B1] ergibt. Die Kornverteilung des zugegebenen Materials entspricht derjenigen aus der Kalibrierungsphase. Die Geschiebemenge wird zu ca. 18.000 m<sup>3</sup>/a gewählt. Die Geschiebezugabe an der Isarmündung beträgt ca. 10.000 m<sup>3</sup>/a (Kap. 4.3). Auf weitere Geschiebezugaben wurde in der Phase 1 verzichtet.

### **4.2 Ausgangsgeometrie**

Zunächst wurden die Daten der Geländemodelle der entsprechenden 3D-HN-Modellierung, in denen die baulichen Veränderungen gemäß der Planungen zum Raumordnungsverfahren (ROV) der RMD integriert wurden, in die 1D-FT-Modellierung übertragen.

Buhnen wurden als Buhnenschatten in eine Datei geschrieben und automatisiert in das 1D-FTM übernommen. Die Buhnenkopfeigung der neuen Buhnen beträgt einheitlich 1:3. Die Neigung der Buhnenrücken beträgt 1:100. Diese Werte entsprechen denen der "Vertieften Untersuchungen".

Parallelwerke werden baulich im Querprofil erfasst. Dem Bereich zwischen Bauwerk und dem Ufer wird ein eigener Rauheitsbereich zugewiesen, der die Durchströmung steuert.



Im 1D-FTM der Kalibrierung sind die gegenwärtigen Fahrrinnenlagen eingetragen. Die Lage der Fahrrinne wird in erforderlichen Teilstrecken gemäß Planungen angepasst.

Kolkverbaumaßnahmen und Ufervorschüttungen wurden als Geometrieänderung in das Modell übernommen. Der morphologisch aktive Bereich ist bei Bedarf ebenfalls angepasst worden, damit das Deckwerk des Bauwerks nicht mehr an Sohlentwicklungen teilnimmt. Es wurden alle Maßnahmen des DGMs der RMD aus der ROV-Planung übernommen. Dabei wurden kleinere Kolkverbaumaßnahmen, wie z.B. an Bühnenköpfen, nicht übernommen, da sie in der eindimensionalen Modellierung nicht adäquat abgebildet werden können. Einzelne größere Maßnahmen wie der Kolkverbau bei Do-km 2316,5 sowie einzelne weitere Maßnahmen, die ebenfalls eine Auswirkung auf die Morphologie haben können und nicht im DGM vorhanden sind, wurden in dieser Untersuchungsphase nicht übernommen. Es wurde somit davon ausgegangen, dass das DGM eine höhere Priorität als die Planversion besitzt.

Weitere geplante Hochwasserschutzmaßnahmen wurden in der ersten Phase nicht umgesetzt. Da das 1D-FTM der Ermittlung von morphologischen Änderungen dient, kann von der Annahme ausgegangen werden, dass dies eine "worst case Betrachtung" ist, da auf Grund der Hochwasserschutzmaßnahmen eine Reduzierung der Sohlschubspannungen im Flussbett zu erwarten ist.

### **4.3 Modellierung der Isarmündung**

Im 1D-FTM des Ist-Zustandes wird von einem variablen Isarschüttkegel ausgegangen. Dabei wird das aktive Bett auf die Breite des Schüttkegels beschränkt und die je nach Geschiebeeintrag aus der Isar eintretenden Sohlhöhenänderungen bedingen die Dynamik des Schüttkegels [B2].

Im Ausbauzustand wird die Wasserstand stützende Wirkung des Schüttkegels bei Niedrig- bis Mittelwasserständen durch den Rückstau des Wehrs Aicha erreicht und somit ist eine weitere Sohlsicherung in diesem Bereich nicht erforderlich ist. In der Planung der Varianten C/C<sub>2,80</sub>\* (Bild 1) wird von einer Fahrrinnenbreite von 70 m ausgegangen. Im Bereich der Fahrrinne sind keine weiteren Sohlschwellen zur Stabilisierung der Sohle vorgesehen.

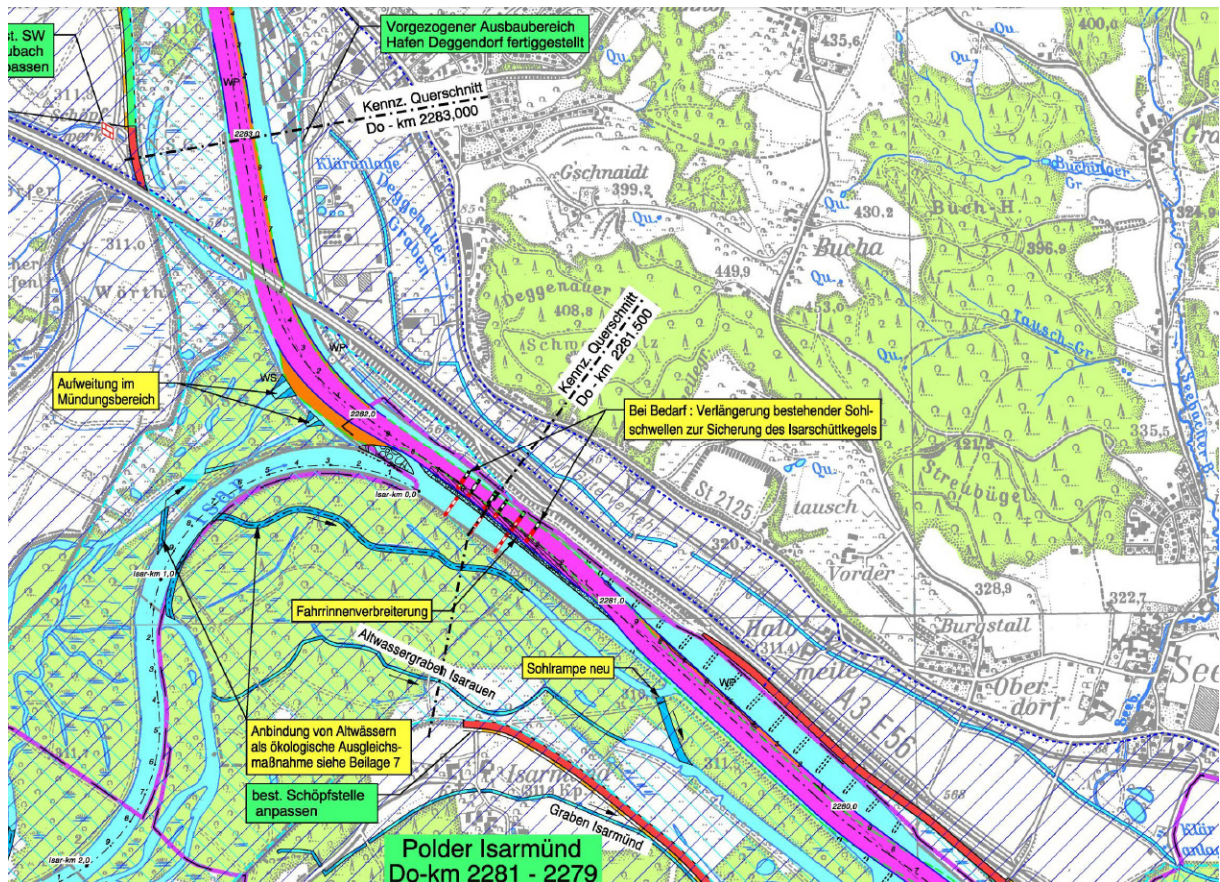


Bild 1: Lageplan der Baumaßnahmen der Variante C/C<sub>2,80</sub>\* aus dem Raumordnungsverfahren im Bereich der Isarmündung nach [2]

An der Isarmündung kann davon ausgegangen werden, dass ein Restgeschiebeeintrag aus der Isar vorhanden sein wird. Da dieser mit dem bestehenden Modell nicht quantifiziert werden kann und zum Zeitpunkt der Modellerstellung keine Angaben der bayerischen Landesbehörden vorlagen, orientieren sich die Zugabemengen nur aus der Notwendigkeit, die eingetragenen Sedimentmengen zuverlässig durch den Stauraum zu transportieren. Für die Berechnungen der Varianten C/C<sub>2,80</sub>\* wird bei allen untersuchten Fahrriinntiefen von einer Geschiebemenge von ca. 10.000 m<sup>3</sup>/a ausgegangen.



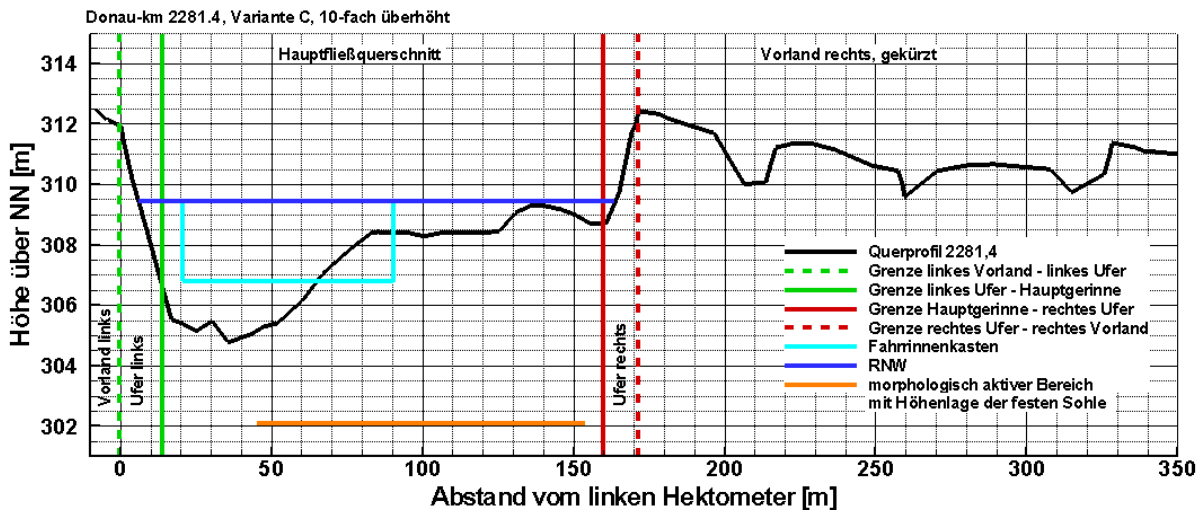


Bild 2: Modellierung des Isarschüttkegel in Variante C/C<sub>2,80</sub>\* am Beispiel des Do-km 2281,6 (in der Darstellung gekürztes rechtes Vorland)

#### 4.4 Modellierung des Wehres Aicha

Im Modell ist am Do-km 2273,0 ein Wehr mit einem Stauziel von 309,00 m+NN vorgesehen. Bei Abflüssen, die an der unterstromigen Seite des Wehres das Stauziel unterschreiten, wird der oberstromige Wasserstand rechnerisch auf das Stauziel gesetzt. Bei Abflüssen, bei denen unterwasserseitig das Stauziel überschritten wird, wird dieser rechnerische Wasserstand nach oberstrom übertragen. Das Geschiebe wird bei ausreichender Schubspannung im Stauraum modellseitig über das Wehr transportiert.

Der Abfluss durch das geplante Umgehungsgewässer wird durch Geometrie Anpassungen im Querprofil berücksichtigt.

## 5 Ergebnisse der Langzeitmodellierungen der Varianten C\*, Phase 1

### 5.1 Jahresgeschiebefrachten

In Bild 3 sind vergleichend die aus der 25-jährigen Simulation ermittelten mittleren Jahresgeschiebefrachten aller untersuchten Fahrrinntiefen gegenüber gestellt. Die Modellierung unterschiedlicher Fahrrinntiefen führt nur in Teilbereichen im Rahmen der Genauigkeiten zu relativ geringen Veränderungen in der Jahresgeschiebefracht.

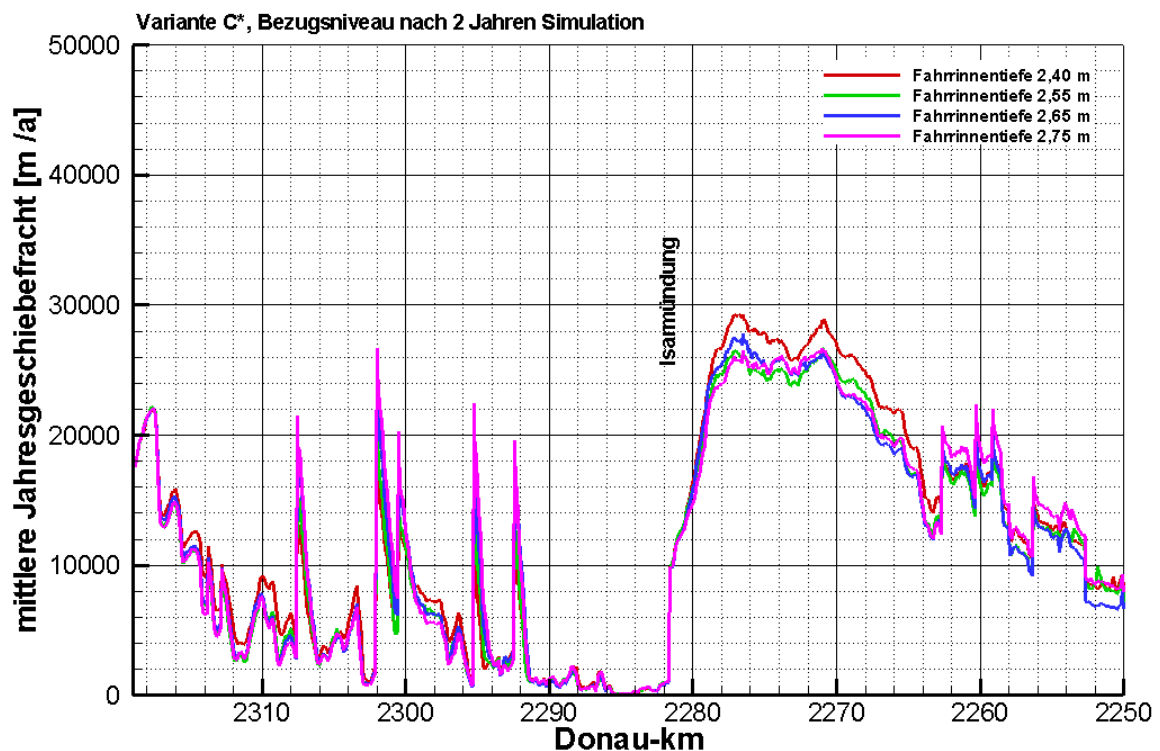


Bild 3: Vergleich der mittleren Jahresgeschiebefrachten einer 25-jährigen Simulation der Varianten C/C<sub>2,80</sub>\* mit Fahrrinntiefen von 2,4 m bis 2,75 m

Die im Modell an diskreten Stellen, wie z.B. Do-km 2303 auftretenden Spitzen werden durch die rechnerische Berücksichtigung der Verklappung des in einem Segment gebaggerten Materials begründet (siehe auch [B2]). Sie sorgen lokal für höhere Gefälle und damit für höheren Sedimenttransport, um die durch die Verklappungen hervorgerufenen Sohlaufhöhungen abzubauen.

Für die vergleichende Interpretation der Jahresgeschiebefrachten hinsichtlich morphologischer Prozesse sind die Gradienten der Jahresgeschiebefracht von großer Bedeutung. Die

größten Unterschiede treten bei unterschiedlichen Fahrrinntiefen im Bereich unterstrom der Isarmündung zwischen Do-km 2279 bis Do-km 2264 auf. Vor dem Hintergrund erheblicher Schwankungen in den Naturmessungen bez. Kornverteilungen, Geschiebetransport und Sohlhöhen einerseits und eindimensionaler Modellierungstechnik andererseits ist die Bedeutung solcher rechnerischer Differenzen gering. Durch die wechselseitige hohe Sensitivität der Kornverteilungen auf den Geschiebetransport mit geringen Überschusschubspannungen und umgekehrt, ist davon auszugehen, dass sich nicht an jeder Stelle des Modells eine eindeutige Reihung der Sohlhöhenänderungen in Abhängigkeit der Fahrrinntiefe ergibt. Darüber hinaus sind Fahrrinnenbaggerungen bei unterschiedlichen Fahrrinntiefen in differierendem Umfang und zu unterschiedlichen Zeitpunkten erforderlich.

## 5.2 Sohlhöhenänderungen

Da die Baggermaßnahmen zur Herstellung der Sohle in den Simulationslauf eingebunden sind, wird für die Darstellung der Sohlhöhenänderungen das Bezugsniveau auf den Zustand nach zwei Jahren Simulation festgelegt. Es kann davon ausgegangen werden, dass rechnerisch dann die Fahrrinne weitgehend hergestellt ist.

In Bild 4 sind die ungeglätteten und geglätteten Sohlhöhenänderungen, die sich nach 25 Jahren Simulationszeit für die untersuchten Fahrrinntiefen ergeben, dargestellt.

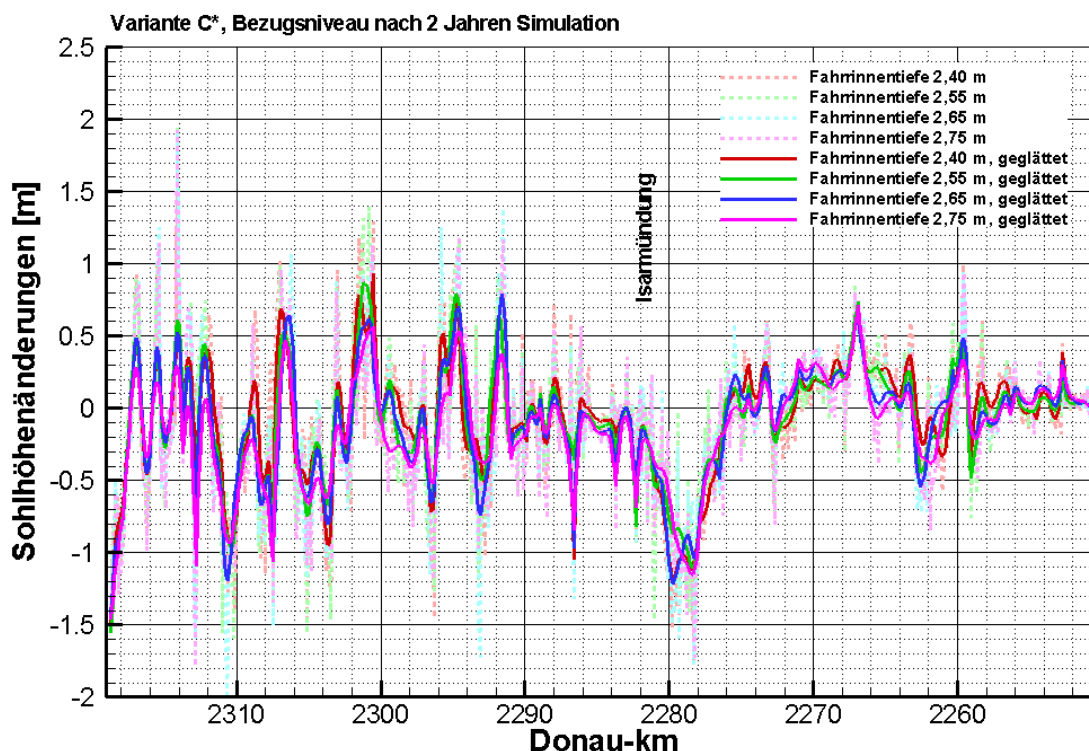


Bild 4: Vergleich der Sohlhöhenänderungen einer 25-jährigen Simulation aller Untersuchungsvarianten (querprofilscharf sowie als gleitendes Mittel über 11 Querprofile)

Die Ergebnisse zeigen die für ein 1D-FTM normalen Schwankungsbreiten, die oberstrom der Isarmündung stärker ausgeprägt sind. Dies hat seinen Grund in der größeren rechnerischen Sensibilität dieser Strecke auf Grund der geringen Überschussschubspannungen. Deutlich erkennbar ist der im Vergleich zur Schwankungsbreite geringe Einfluss der Fahrrinntiefe auf die Sohlentwicklungen.

Die Sohlhöhenänderungen repräsentieren sowohl morphologische Prozesse als auch Maßnahmen aus Baggerung und Verklappung. Insbesondere Verklappmaßnahmen als Folge von Baggerungen sind für einige rechnerische Spitzen der Anlandungen die Ursache. Weiterhin werden Sohlhöhendifferenzen aus zeitlich diskreten Zuständen ermittelt. So kann die Sohle langfristig um einen konstanten Wert schwanken, auch wenn sie zu verschiedenen Zeitpunkten deutlich davon abweicht. Ein typisches Beispiel ist der Bereich bei Bogen um Do-km 2310. Der dortige Altarm ist sehr leistungsfähig und kann einen deutlich verringerten Anstieg der Schubspannungen bei Hochwasser im geschiebeführenden Hauptgerinne bewirken. Die Folge ist eine Ablagerung von Material bei Hochwasser. Bei Abflüssen, in denen der Altarm nicht oder nur wenig beaufschlagt wird, werden diese Anlandungen wieder abtransportiert oder müssen gebaggert werden. In der Natur ist aus diesem Grund an dieser Stelle eine Baggerstelle, die insbesondere nach Hochwasserereignissen kontrolliert werden muss. Diese Dynamik ist somit ebenfalls für einen Teil der Schwankungsbreiten in den Sohlhöhenänderungen verantwortlich.

Unterstrom der Isarmündung kommt es bis etwa Do-km 2276 zu Eintiefungen. Dies wird durch den relativ geringen Geschiebeeintrag aus der Isar bedingt. Da dieser Geschiebeeintrag durch die Transportkapazität im Staauraum begrenzt wird, ist an dieser Stelle mit Eintiefungen zu rechnen, die bei Niedrig- und Mittelwasser durch den Rückstau des Wehrs nur einen geringen Einfluss auf die Wasserstände haben. Der Geschiebeeintrag ist in der zweiten Phase der Untersuchungen weiter zu optimieren. In Richtung des Wehrs bei Do-km 2273 kommt es zu Anlandungen. Sie sind als Reaktion auf die Absenkung des Transportniveaus zu verstehen. Anlandungen unterstrom des Wehrs bis zur Einmündung des Schleusenkanals bei Do-km 2267 resultieren aus der nicht mehr durchgeführten Fahrrinnenunterhaltung sowie der Stützung der Sohle durch eine Sohlsicherung mit Grobmaterial bei Do-km 2267,2. Unterstrom von Do-km 2264 kommt es zu Eintiefungen der Sohle auf Grund lokalen Geschiebedefizits. In Phase 2 ist aus diesem Grund eine weitere Geschiebezugabe zu berücksichtigen.

In Bild 5 sind exemplarisch die Sohlhöhenänderungen der Variante C/C<sub>2,80</sub>\* mit einer Fahrrinntiefe von 2,65 m in Intervallen von jeweils 5 Jahren in einem Ausschnitt dargestellt. Im Bereich zwischen der Isarmündung und Do-km 2277 kommt es zu einer Eintiefung von bis zu 1,5 m, lokal bis zu 2,0 m. Die zeitlichen Veränderungen zeigen, dass die Sohleintiefung rechnerisch erst nach 20-25 Jahren weitgehend abgeklungen sein wird. Es kann jedoch nicht mit Sicherheit angenommen werden, dass die Eintiefung abgeschlossen ist. Hierzu wären weitere Untersuchungen erforderlich. Jedoch dürften die sich gegebenenfalls einstellenden

Eintiefungen nur noch in einem geringen Umfang fortsetzen, die die hier getroffenen Aussagen nur noch wenig beeinflussen.

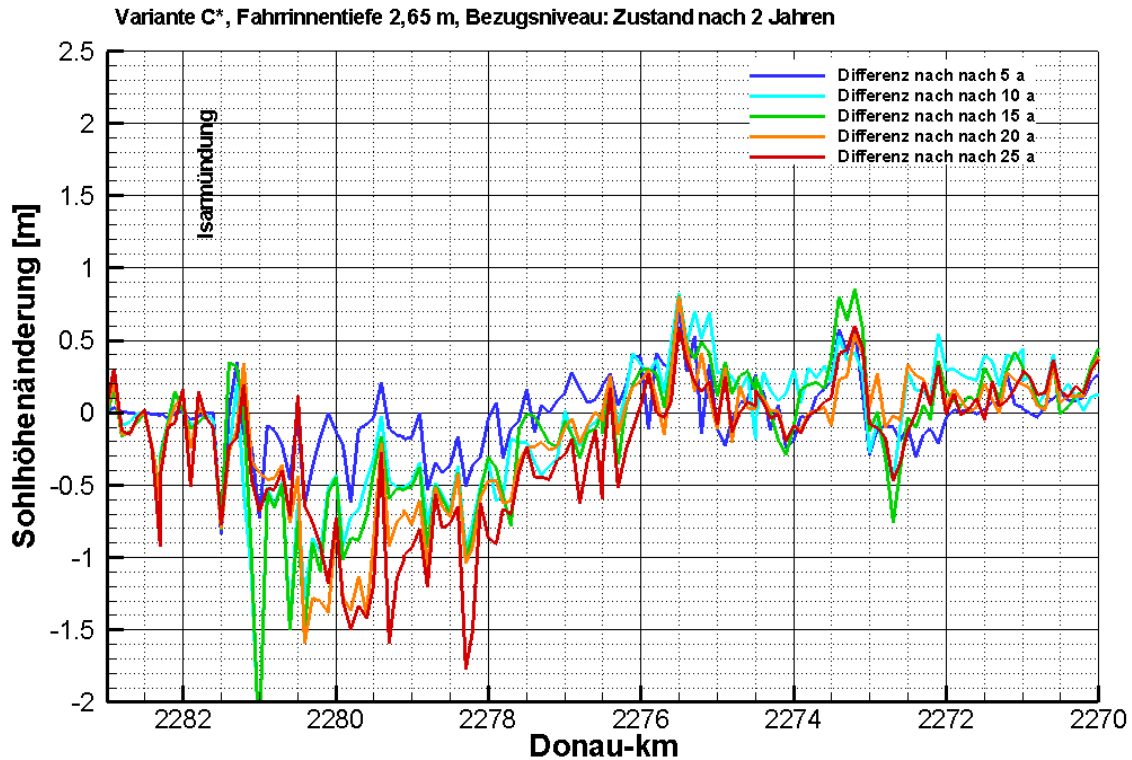


Bild 5: Sohlhöhenänderung der Variante C/C<sub>2,80</sub>\* mit einer Fahrrinntiefe von 2,65 m zu verschiedenen Zeitpunkten

### 5.3 Wasserspiegelländerungen

Bild 6 zeigt die im Untersuchungsgebiet auftretenden Wasserspiegeldifferenzen bei  $Q_{RNW}$  und unterschiedlichen Fahrrinntiefen nach 25 Jahren als Folge der Sohlhöhenänderungen in Bezug auf den Zustand nach zwei Jahren Simulationszeit.

Generell lässt sich feststellen, dass sich die in Kap. 5.2 beschriebenen Effekte in den Wasserspiegellagen widerspiegeln. So sind die Sohleintiefungen unterstrom der Isarmündung bis Do-km 2277 in den Wasserspiegelländerungen zu finden. Sie betragen lokal maximal ca. -15 cm. Anlandungen im Bereich der Do-km 2276 bis Do-km 2273 sind auf Grund der geringen Gefälle bei RNW nicht erkennbar. Bei Do-km 2267 und Do-km 2260 kommt es ebenfalls zu Eintiefungen von bis zu 24 cm.

Im Bereich der Felsstrecke zwischen Do-km 2258 und 2250 kommt es zu geringen Erhöhungen im Wasserspiegel, da in geringem Umfang Kiesmaterial aus der Strecke oberstrom eingetragen wird.

Die Wasserspiegellagenabsenkungen im Bereich direkt oberstrom der Isarmündung sind im Wesentlichen durch den Rückstauereffekt von der Isarmündung bedingt.

Im Bereich Do-km 2319 bis 2292 ist eine deutlicher Einfluss der Fahrrinntiefe auf die Wasserspiegeländerungen erkennbar. Hierfür sind die großen Abflussquerschnitte des Vorlandes von Bedeutung, die bei höheren Abflüssen den Sedimenttransport beeinflussen. Bei steigenden Wassertiefen werden diese erst bei höheren Abflüssen beaufschlagt, was zu höheren Schubspannungen im Hauptgerinne und somit zu größeren Eintiefungen führt. Eine der Fahrrinntiefe angepasste Zugabe kann diesen Effekt mildern.

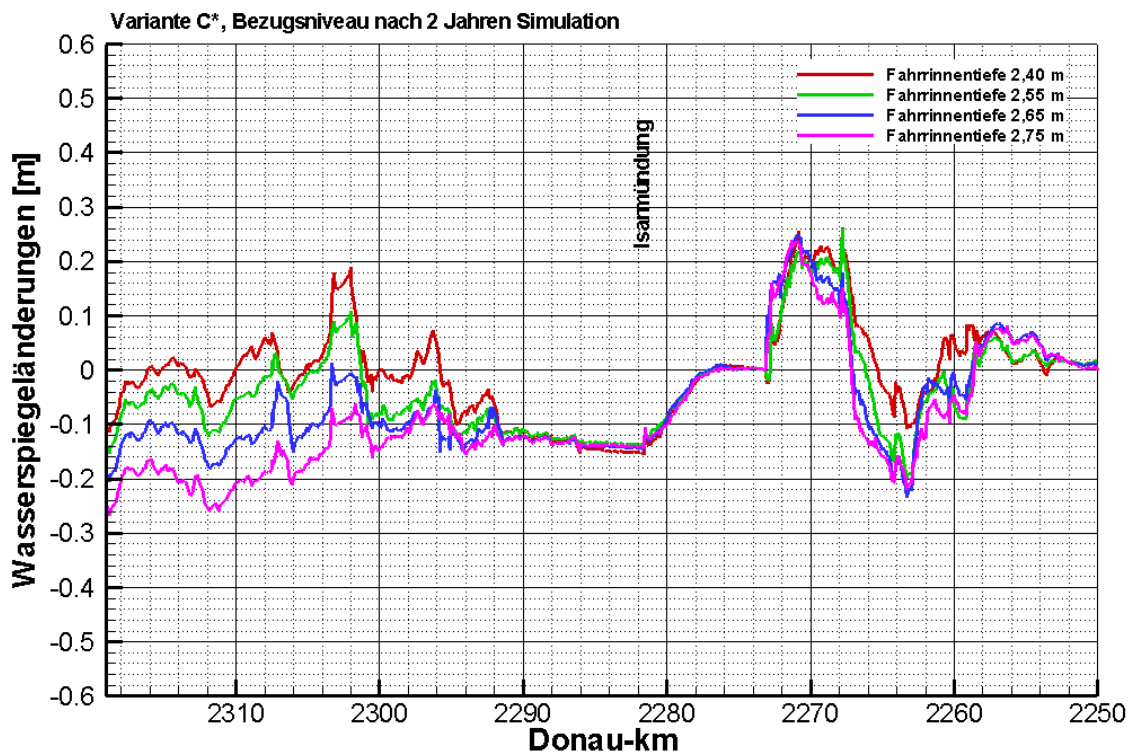
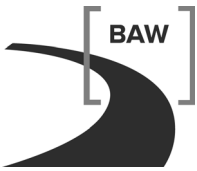


Bild 6: Vergleich der berechneten Wasserspiegelländerungen bezogen auf den Herstellungsstand bei  $Q_{RNW}$  einer 25-jährigen Simulation aller Untersuchungsvarianten



Bundesanstalt für Wasserbau  
EU-Studie zum Donauausbau Straubing - Vilshofen  
Flussmorphologische Untersuchungen auf Grundlage  
des 1D-Feststofftransportmodells - Variante C<sub>2,80</sub> -  
A39530210127-16 – November 2012



## 6 Grundzüge der Aufbereitung der Variante C<sub>2,80</sub>, Phase 2 der Untersuchungen

### 6.1 Allgemeines

Am Ende der ersten Phase der Untersuchungen wurde gemeinsam mit dem Auftraggeber festgelegt, dass für die weitergehende Betrachtung eine Fahrrinntiefe von 2,65 m mit einer Herstelltiefe von 2,80 m unter RNW zu verwenden ist. Aus fahrdynamischen Gründen wurde die Fahrrinntiefe im Bereich unterstrom der Isarmündung um 5 cm erhöht. Sie wird im Folgenden mit "Variante C<sub>2,80</sub>" bezeichnet.



Bild 7: Übersicht Straubinger Schleife mit Fehlkilometrierungen

Für die weitergehenden Untersuchungen wurden Optimierungen sowohl in der Modelltechnik als auch in den Modellen berücksichtigt. Um die Bewirtschaftung der Straubinger Schleife zu berücksichtigen, wurde das Modell um diesen Bereich mit einer Länge von ca. 4 km ergänzt. Zu beachten ist hierbei, dass im Bereich von Do-km 2318,8 eine Fehlkilometrierung von ca. 62 m und bei Do-km 2321,4 eine Fehlkilometrierung von 5700 m vorliegt (Bild 7). Modellseitig wurde die Kilometrierung der Donau übernommen, so dass hier Bereiche entstehen, an



denen keine Daten vorliegen. Da die Fehlstrecke bei Do-km 2318,8 relativ klein ist, wird sie zusammenhängend dargestellt. Der Bereich zwischen Do-km 2321,4 und Do-km 2327,2 wird nicht dargestellt und als "Fehlstrecke" bezeichnet.

Des Weiteren wurde das Modell hinsichtlich der Strategie der Verklappmaßnahmen umgestellt. Statt wie in Phase 1 die in einem Segment gebaggerten Sedimentmengen am dem Segment folgenden Querprofil [B2] zuzugeben, wurden die Baggermengen dem Baggerprofil folgenden Querprofil zugegeben. Dies vermeidet größere temporäre Anlandungen in einem Querprofil.

Für den Anfangszustand der Berechnungen wurden die Sohlhöhenänderungen der Kalibrierung übernommen. Dies hat den Vorteil, dass durch die dort verwendete Vorlaufzeit von 36 Jahren bereits modellbedingte Anpassungen Eingang in die Berechnungen gefunden haben. Die Ergebnisschärfe wird durch diese Maßnahme erhöht.

Die Wasserspiegeländerungen der Variante C<sub>2,80</sub> umfassen zwei Komponenten. Zum einen ergab sich eine Veränderung aus den Baumaßnahmen inklusive der Fahrrinnenherstellung und zum anderen aus den folgenden morphologischen Reaktionen. Für die erste Komponente werden Berechnungen des 3D-HN-Modells verwendet und für die zweite Komponente kommt das 1D-FTM zum Einsatz. Somit werden die Differenzenauswertungen des 1D-FTM nur zwischen den Zeitpunkten des "Herstellzustands (s.u.) und dem Ende der Simulation durchgeführt.

Hierzu wurden zunächst die Bauwerke (Kap. 6.2) in das Modell übernommen und anschließend die Fahrrinne iterativ hergestellt. Dieses Modell bildet die Basis für die Berechnungen der geforderten Wasserspiegellagen des s.g. "Herstellzustands". Nach 25 Jahren Simulationszeit wird der s.g. "Endzustand" erreicht. Er stellt keinen Endzustand im Sinne einer unveränderlichen Sohle dar, da die Sohlstabilität auf Grund der Sohlsicherung mittels Geschiebezugabe und hydrologischen Einflüsse dynamisch ist und somit um eine Sohlhöhe schwankt. Die Differenzbildungen erfolgten zwischen diesen beiden Zuständen und werden "morphologischer Nachlauf" genannt.

Um den Effekt eines aus morphologischen Berechnungen veränderten RNW zu berücksichtigen, wurden die Berechnungen alle 5 Jahre unterbrochen und rechnerisch ein neuer RNW ermittelt, der für die folgenden 5 Jahre gültig war. Diese Frequenz entspricht in etwa der Aktualisierung des RNW durch das WSA Regensburg. Dabei wurde zur RNW-Ermittlung eine hydraulische Berechnung mit einer mit gleitendem Mittel über 11 Querprofile (1 km) geglätteten Sohlhöhenänderung durchgeführt, um örtliche "Überhöhungen" im Wasserspiegel durch modellbedingte Anlandungen zu vermeiden. Die Prüfung der Fahrrinne und die gegebenenfalls notwendige Baggerung auf Herstellniveau erfolgten in dem nun folgenden 5-Jahres-Intervall in den morphologischen Rechnungen weiterhin vierteljährlich.

## 6.2 Geometrische Anpassungen der Bauwerke

In der Optimierungsphase wurden die Bauwerke und die für die morphologische Modellierung relevanten Hochwasserschutzmaßnahmen aus dem DGM des 3D-HN-Modells [B3] in das Modell der Variante C<sub>2,80</sub> übernommen. Hochwasserschutzmaßnahmen, die überwiegend Retentionsmaßnahmen darstellen, wurden nicht übernommen, da die Wasserspiegelberechnungen im 1D-FTM stationär durchgeführt werden.

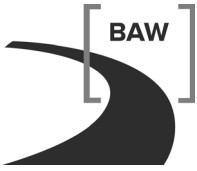
## 6.3 Modellierung der Isarmündung in der Phase 2

Die Modellierung des Geschiebeeintrags an der Isarmündung wurde für die Phase 2 angepasst. Ergebnisse der Berechnungen der Phase 1 zeigen einen etwas zu geringen Geschiebeeintrag. Er wurde auf ca. 18.000 m<sup>3</sup>/a erhöht. Diese Geschiebemenge ist als Bedarf an Geschiebe für die Sohlsicherung in der Donau unterstrom des Isarschüttkegels zu verstehen.

Die reale Geschiebezugabe in die Isar bei Plattling wird nach Aussage des bayerischen Landesamtes für Umwelt maximal 20.000 m<sup>3</sup>/a betragen. Unter der Annahme, dass diese Geschiebemenge an der Isarmündung in die Donau eingetragen wird, ist keine zusätzliche Geschiebezugabe erforderlich.

## 6.4 Geschiebeeintrag im UW Aicha

Um die Absenkungen der Wasserspiegel im Bereich unterstrom des Schleusenkanals (ab Do-km 2267) zu begrenzen, wurde an dieser Stelle eine weitere Geschiebezugabe mit einer Zugabe von ca. 11.000 m<sup>3</sup>/a eingerichtet. Sie wurde mit der gleichen Kornzusammensetzung wie der Geschiebeeintrag an der Isarmündung betrieben. Um eine Sohleintiefung im Bereich unterstrom Aicha bis zur Einmündung des Schleusenkanals zu verhindern, wird die Furt im Bereich Ausgang Mühlhamer Schleife bei Do-km 2267,2 auf etwa 400 m Länge auf dem bestehenden Sohlniveau mit Wasserbausteinen gesichert.



Bundesanstalt für Wasserbau  
EU-Studie zum Donauausbau Straubing - Vilshofen  
Flussmorphologische Untersuchungen auf Grundlage  
des 1D-Feststofftransportmodells - Variante C<sub>2,80</sub> -  
A39530210127-16 – November 2012

## 7 Ergebnisse der Langzeitmodellierungen der Varianten C<sub>2,80</sub>, Phase 2

### 7.1 Jahresgeschiebefrachten

In Bild 8 ist die mittlere Jahresgeschiebefracht über die 25 Jahre Simulationszeit abgebildet. Der erforderliche mittlere Geschiebeeintrag in die Straubinger Schleife beträgt rechnerisch 11.000 m<sup>3</sup>/a. Das Transportniveau beträgt ca. 8000 m<sup>3</sup>/a, die oberstrom der Einmündung des Schleusenkanals bei Straubing wieder entnommen werden, um Verlandungen im Bereich der Fahrrinne zu vermeiden. Somit kann in diesem Bereich ein Geschiebekreislauf etabliert werden.

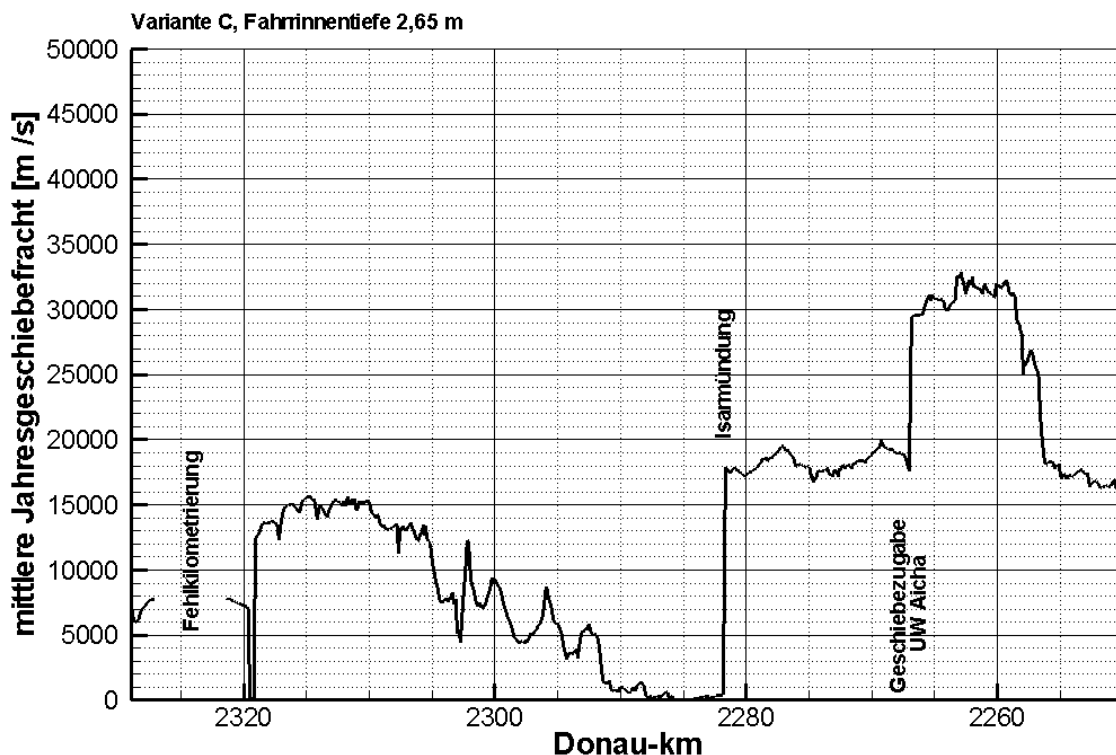


Bild 8: Mittlere Jahresgeschiebefrachten der Variante C<sub>2,80</sub>

An der Isarmündung werden für die Sohlstabilität rund 18.000 m<sup>3</sup>/a erforderlich. Diese werden rechnerisch durch den Stauraum transportiert.

Im Bereich unterstrom der Einmündung des Schleusenkanals wird eine Geschiebemenge von rund 11.000 m<sup>3</sup>/a zugegeben.

Bei Hofkirchen um Do-km 2256 ist ein Geschiebefang vorgesehen, der das eintreffende Geschiebe rechnerisch im Umfang von ca. 10.000 m<sup>3</sup>/a zurückhält. In der Folge verbleiben

ca. 15.000 m<sup>3</sup>/a Sedimenttransport im Fluss und werden in den Bereich der Felsstrecke eingetragen. Da das 1D-FTM nur näherungsweise die quantitative Wirkung eines Geschiebefangs abbildet, ist dies als Hinweis auf die erforderlichen Baggermengen am Geschiebefang bei einer geschiebefreien Felsstrecke zu verstehen.

## 7.2 Sohlhöhenänderungen

Die Ergebnisse für die Sohlhöhenänderungen sind in den jeweiligen 5-Jahres-Berechnungsintervallen in Bild 9 dargestellt. Da sich diese Werte auf den Herstellzustand beziehen, sind hier nur die morphologischen Reaktionen nach einer vollständigen Herstellung der Variante C<sub>2,80</sub> zu sehen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Intervallen sind vergleichsweise gering ausgeprägt. Dies zeigt, dass durch die Geschiebezugabe die Sohle bereits sehr früh stabilisiert wird. Die Unterschiede beruhen im Wesentlichen auf hydrologischen Einflüssen sowie zu verschiedenen Zeitpunkten erforderlichen Baggermaßnahmen. Somit wird deutlich, dass die Sohlsicherung dynamisch und im Jahrgang Schwankungen unterworfen ist.

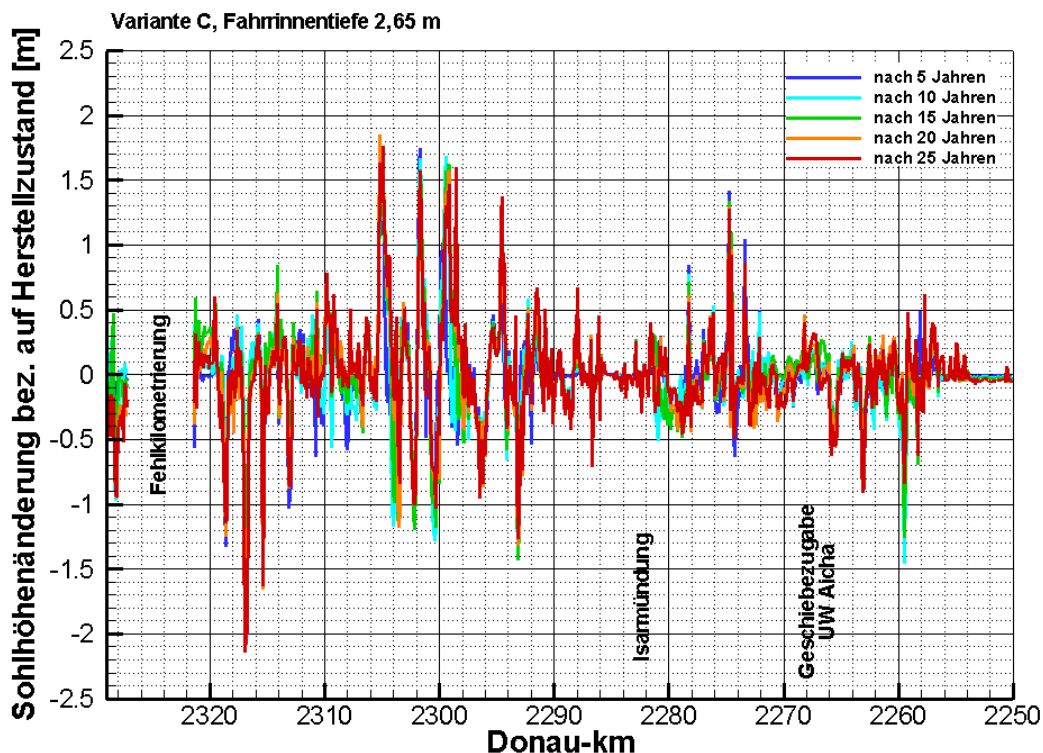


Bild 9: Sohlhöhenänderungen des morphologischen Nachlaufs der Variante C<sub>2,80</sub> in 5-Jahresintervallen nach Herstellung

Die mittleren Sohlhöhenänderungen/Standardabweichungen betragen rechnerisch im Bereich der Straubinger Schleife (Do-km 2329 bis Do-km 2319) ca. -10,1/33 cm, im Bereich der

Do-km 2319 bis zur Isarmündung (Do-km 2281,7) 3,4/18 cm, im Bereich der Isarmündung bis Aicha (Do-km 2273,0) -0,6/30 cm und im Bereich Aicha bis Hofkirchen (Do-km 2258) - 6,6/24 cm.

Grundsätzlich zeigen die geringen Mittelwerte, dass die Sohle im Rahmen der Berechnungsgenauigkeiten stabil ist und, wie sich in Kap. 7.4.2 zeigen wird, in größerem Umfang vor allem von der Hydrologie abhängig ist.

Die Straubinger Schleife zeigt bei relativ großer Standardabweichung eine Eintiefung nach 25 Jahren. Zu anderen Zeitpunkten liegt die Sohle höher als im Herstellzustand. Sie reagiert somit auf Grund der Nähe zur Zugabestelle lokal sehr stark auf Geschiebeeinträge. Darüber hinaus wird diese Teilstrecke bereits heute durch Verklappmaßnahmen gestützt. Dies kann auf einer relativ hohen Sohllage der Ausgangspeilung beruhen. Hierüber liegen jedoch keine gesicherten Kenntnisse vor.

Der Bereich oberstrom der Isarmündung unterliegt im heutigen Zustand seit einigen Jahren der Erosion. Eine Geschiebezugabe, die sich an den Geschiebemengen für Sohlstabilität orientiert, kann daher im Ausgleich zu Beginn zu leichten Anlandungen führen. Der Stauraum Aicha bis zur Isarmündung zeigt im Mittel nur geringe Eintiefungen. Jedoch sind Umlagerungen vom Stauwurzelbereich bei Mittelwasser in den stufennahen Bereich zu erwarten, was sich in einer relativ hohen Standardabweichung ausdrückt. Unterstrom des Wehrs wird die Sohle bei Do-km 2268 durch eine Schwelle gesichert. Ab Einmündung des Schleusenkanals bis zum Beginn der Felsstrecke bei Do-km 2258 wird eine geringe Eintiefung berechnet. Der Bereich unterstrom von Do-km 2258 bedarf vor dem Hintergrund der Sohlstabilität keiner näheren Betrachtung, da es sich um eine Felsstrecke handelt. Es kann rechnerisch von einer Sohlstabilität ausgegangen werden.

### **7.3 Wasserspiegeländerungen**

In Bild 10 sind die rechnerischen Wasserspiegeländerungen aus morphologischen Reaktionen nach 25 Jahren Simulationszeit ("Endzustand") im Vergleich zum Herstellzustand für Abflüsse des RNW, MW und HNN dargestellt. Um eine Vergleichbarkeit von Herstellzustand und Endzustand zu erreichen, wurde die Sollfahrrinnensohle nach Beendigung der Berechnungen, analog zum Herstellzustand, noch einmal gebaggert.

Die maximalen Wasserspiegeländerungen ergeben sich dabei bei RNW zu  $\pm 9$  cm, sind bei MW betragsmäßig tendenziell etwas geringer und betragen bei HNN ca.  $\pm 4$  cm. Lediglich im Bereich um die Isarmündung kommt es zu einer unterschiedlichen Reihung der Wasserstandsänderungen. Dies hat seine Ursache in der Wasserstandsstützung durch das Wehr Aicha, das bei Niedrigwasser stärker wirkt als bei Hochwasser, bei dem sich die Sohleintiefungen stärker im Wasserstand bemerkbar machen.

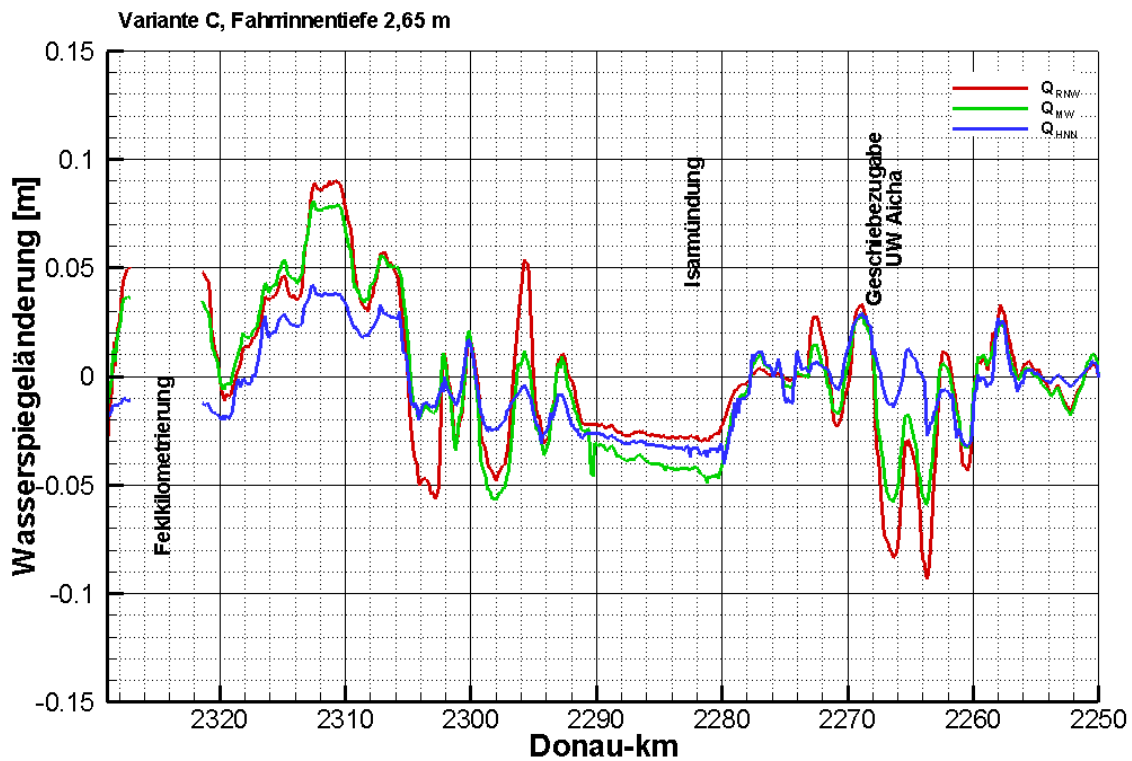


Bild 10: Rechnerische Wasserspiegeländerung aus morphologischem Nachlauf, Variante C<sub>2,80</sub> bei  $Q_{RNW}$ ,  $Q_{MW}$  und  $Q_{HNN}$

## 7.4 Sensitivitätsbetrachtungen

### 7.4.1 Ergebnisse der Variante C<sub>2,80</sub> mit variiertem Geschiebezugabe

Um den Einfluss des Geschiebeeintrags an der Isarmündung zu überprüfen, wurden die gleichen Berechnungen, deren Ergebnisse in Kap. 7.1 bis 7.3 dargestellt wurden, mit einer erhöhten Geschiebezugabe von 20.000 m<sup>3</sup>/a (+11%) und einer verminderten Geschiebezugabe von 16.000 m<sup>3</sup>/a (-11%) an der Isarmündung durchgeführt.

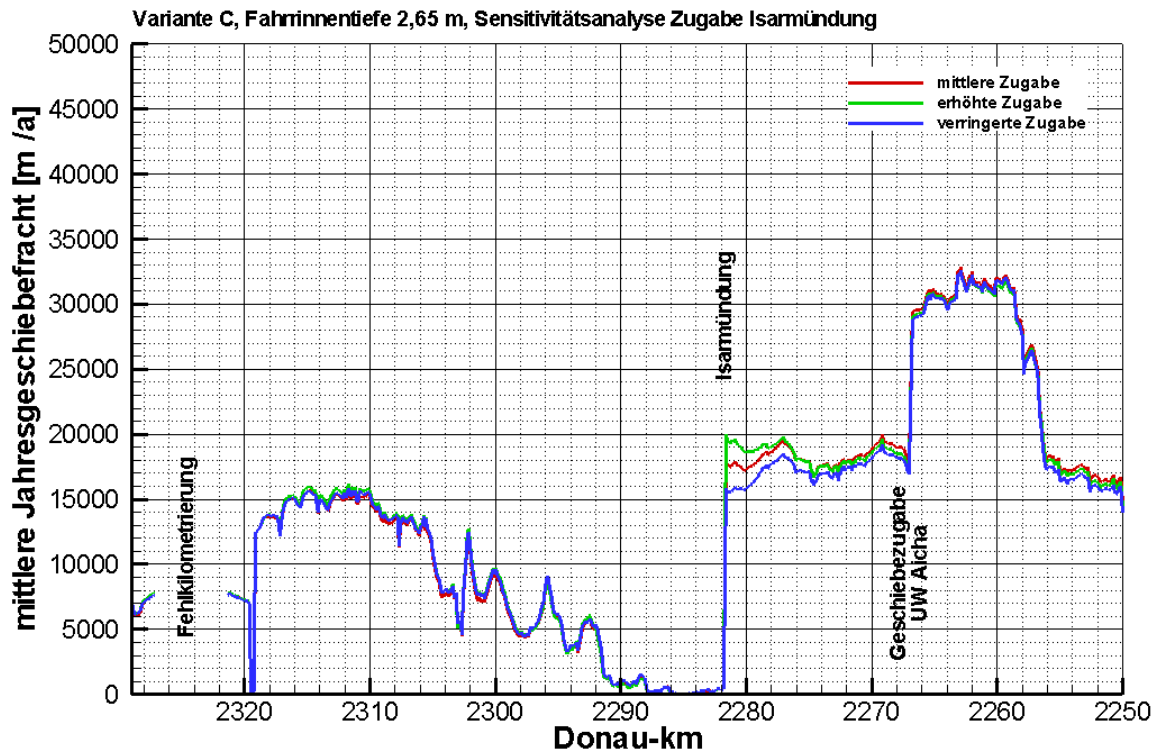


Bild 11: Vergleich der mittleren Jahresgeschiebefrachten des morphologischen Nachlaufs der Variante C<sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Geschiebezugaben an der Isarmündung

In Bild 11 sind die unterschiedlichen mittleren Jahresgeschiebefrachten dargestellt. Deutlich ist der verringerte bzw. erhöhte Geschiebeeintrag an der Isarmündung zu erkennen. Die Reichweite der Auswirkungen ist bei Erhöhung und Absenkung der Zugabe vergleichbar. Ein verringerter Geschiebeeintrag führt zu leichter Erosion direkt unterstrom der Isarmündung (steigende Jahresgeschiebefracht, vgl. Bild 12), während eine Erhöhung der Einträge einen Anlandungsprozess auf einem größeren Abschnitt zur Folge hat. Dies ist rechnerisch auf unterschiedliche Kornverteilungen bei Anlandungs- und Erosionsprozessen zurückzuführen. Bei Anlandungen in einem Abschnitt wird die Kornzusammensetzung des transportierten Materials sich im Wesentlichen aus dem von oberstrom in diesen Abschnitt eingetragenen Geschiebe zusammensetzen, während bei Erosionsprozessen die Kornzusammensetzung aus dem Untergrund eine wesentliche Rolle spielt. Dies wirkt sich in der Transportkapazität geringfügig bis in die Felsstrecke aus.



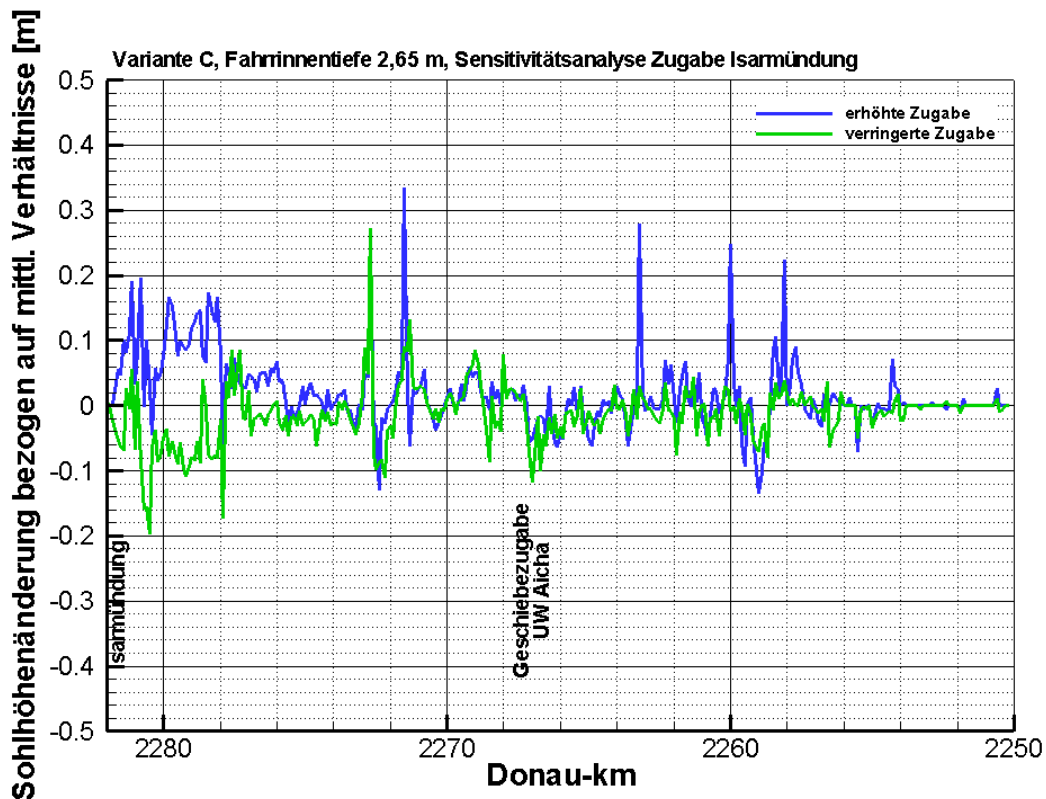


Bild 12: Vergleich der Sohlhöhenänderungen des morphologischen Nachlaufs der Variante C<sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Geschiebezugaben an der Isarmündung im Vergleich zu mittleren Verhältnissen

Die wesentlichen Änderungen in der Sohlage im Vergleich zur Bezugsberechnung (mittlere Zugabe) tritt vor allem im Zugabebereich bis etwa Do-km 2278 auf. Sie weisen eine Differenz von ca. 10 cm auf und sind im Vergleich zur absoluten Sohlhöhendifferenz der Bezugsberechnung (Bild 9) relativ gering.

Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass, im Gegensatz zu Berechnungen bei dynamischer Sohlstabilität, eine Eintiefung bzw. Anhöhung der Sohle nach 25 Jahren noch nicht abgeschlossen sein muss.

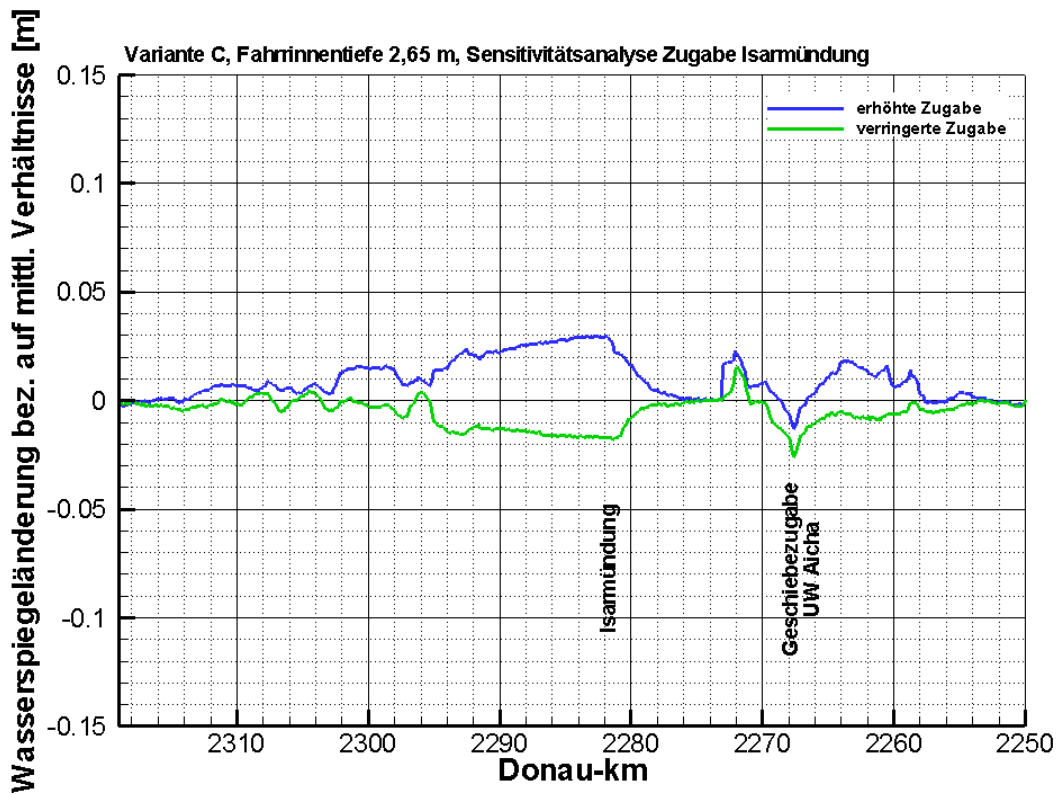


Bild 13: Vergleich der Wasserspiegeldifferenzen bei  $Q_{RNW}$  der Variante C<sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Geschiebezugaben an der Isarmündung

Das Ergebnis der Wasserspiegeländerungen bei  $Q_{RNW}$  aus unterschiedlichen Zugabemengen an der Isarmündung ist, bezogen auf die Berechnungen des Bezugszustands (Zugabe von 18.000 m<sup>3</sup>/a an der Isar), in Bild 13 dargestellt.

Festzustellen ist, dass sich die unterschiedlichen Geschiebeeinträge von  $\pm 11\%$  unterstrom der Isarmündung rechnerisch nur gering auf den Wasserspiegel bei  $Q_{RNW}$  im Vergleich zur Bezugsberechnung auswirken. Durch Rückstaueffekte werden sie jedoch auch auf einen weiten Bereich nach oberstrom der Isarmündung übertragen. Grund hierfür ist das dort herrschende geringe Gefälle.

#### 7.4.2 Einfluss der Ganglinie auf die Berechnungsergebnisse

Um den Einfluss unterschiedlicher Abflussganglinien auf das Ergebnis zu untersuchen, wurden aus den in [B4] beschriebenen Abflussganglinien zwei weitere Ganglinien mit einer Simulationszeit von 25 Jahren ausgewählt, die das Spektrum im Sinne eines niedrigen und eines hohen Mittelwasserabflusses abbilden. Somit ergeben sich für die Pegel Pfelling/Hofkirchen neben einer Ganglinie mit einem mittleren Abfluss von 436/618 m<sup>3</sup>/s, mit der die zuvor beschriebenen Berechnungen durchgeführt wurden, je eine mit niedrigerem

(425/602 m<sup>3</sup>/s) und höherem (468/652 m<sup>3</sup>/s) Mittelwasserabfluss. Daraus wurden die rechnerischen mittleren Jahresgeschiebefrachten ermittelt (Bild 14).

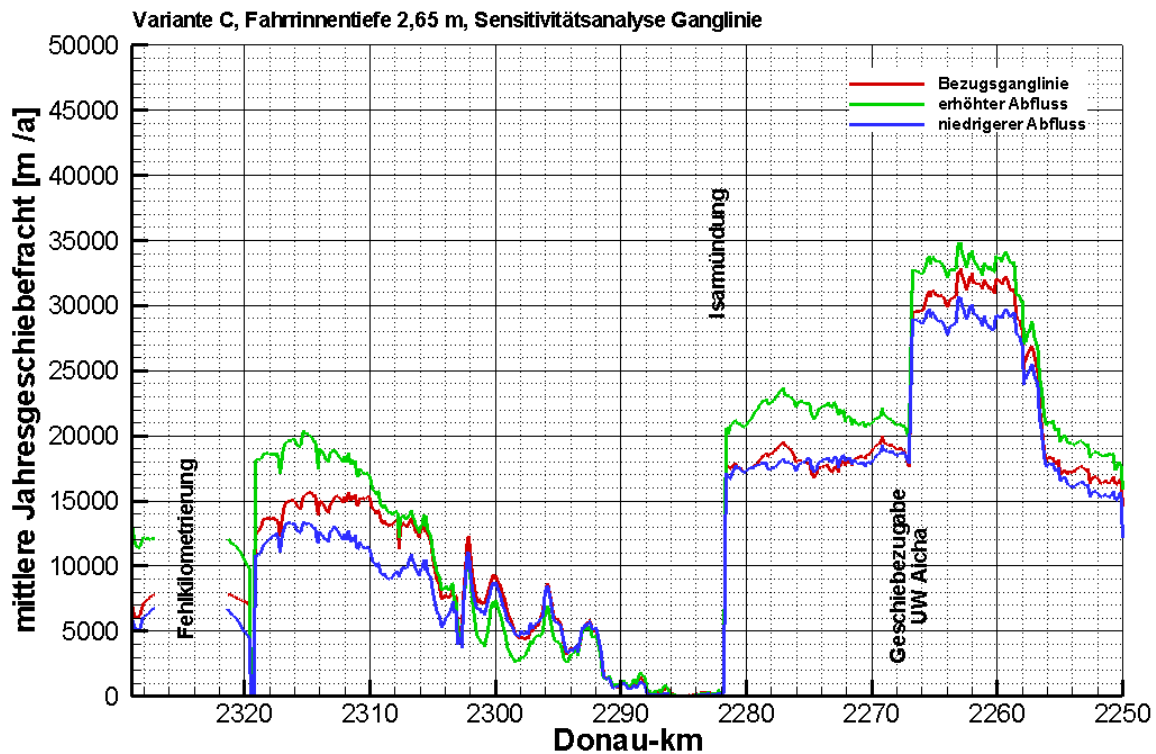


Bild 14: Vergleich der mittleren Jahresgeschiebefrachten des morphologischen Nachlaufs der Variante C<sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Ganglinien

Gut zu erkennen ist die Auswirkung der Ganglinien mit unterschiedlichen Mittelwasserabflüssen auf den Geschiebeeintrag bei Straubing und an der Isarmündung. Die Ganglinie mit höherem Mittelwasserabfluss führt zu einem höheren Geschiebeeintrag (z.B. an der Isarmündung um ca. 3.000 m<sup>3</sup>/a) und entsprechend die Ganglinie mit niedrigerem Mittelwasserabfluss zu niedrigeren Einträgen (um ca. 1000 m<sup>3</sup>/a an der Isarmündung und bei Winzer). Diese resultieren aus den unterschiedlichen Ganglinien bei gegebenen Geschiebetransportabflussbedingungen an den oberstromigen Modellrändern. Besonders die differierenden Ergebnisse im Bereich unterstrom der Zugabestelle Aicha bei unterschiedlichen Ganglinien mit nahezu gleichen Geschiebeeinträgen (rote und blaue Linie) zeigen, dass nicht nur die Fülle, sondern auch die Abflussabfolge einen erkennbaren Einfluss auf das Berechnungsergebnis hat. Da aber die Ganglinie nicht prognostiziert werden kann, bleibt hier eine Unsicherheit bezüglich der erforderlichen Zugabemengen und damit auch der Unterhaltung bestehen. Daraus muss weiterhin gefolgert werden, dass die Geschiebezugabe immer durch das WSA Regensburg beobachtet und angepasst werden muss. Die jährlichen Zugabemengen können im Vergleich zur mittleren Geschiebezugabe in wesentlich größerem Umfang variieren.

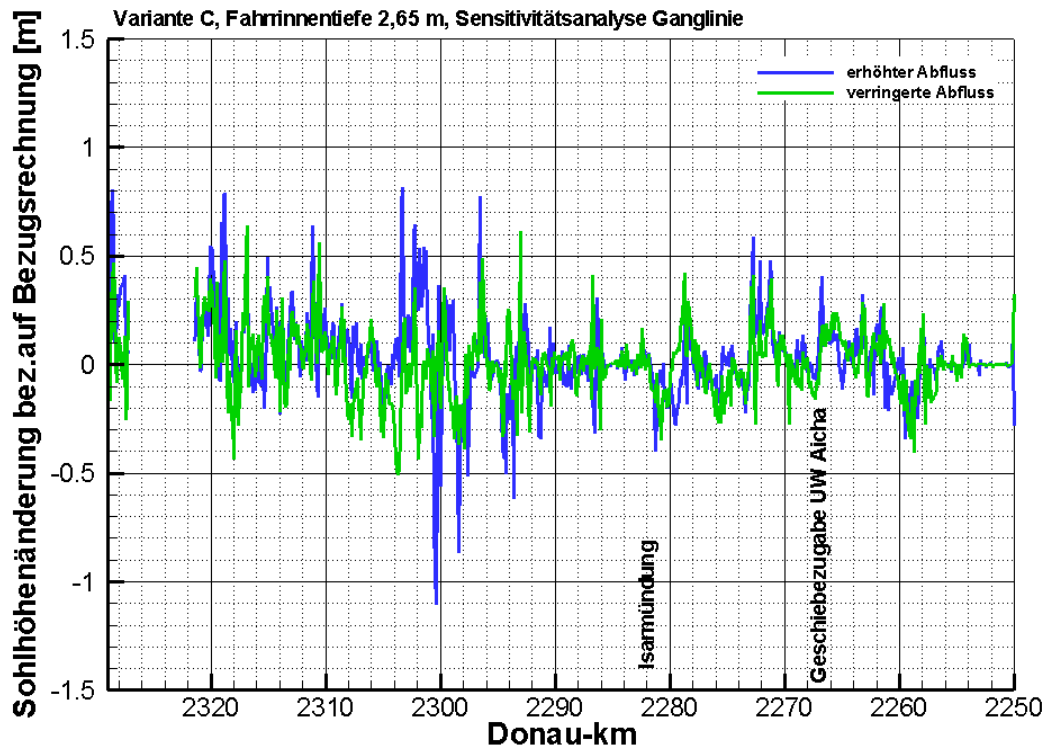


Bild 15: Vergleich der Sohlhöhenänderungen des morphologischen Nachlaufs der Variante C<sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Ganglinien

Wie die Sohlen rechnerisch im Vergleich zur Sohle der Bezugsberechnung auf diese veränderten Randbedingungen reagieren, zeigt Bild 15. Es ist zu erkennen, dass die Sohlhöhenänderungen im Großen und Ganzen keine wesentlichen Unterschiede zeigen. Die Mittelwerte der Abweichungen von den Ergebnissen der mittleren Ganglinie sind in Tabelle 2 zusammen gefasst.

	Höherer mittlerer Abfluss (Mittelwert/Standardabweichung) [m/m]	Niedrigerer mittlerer Abfluss (Mittelwert/Standardabweichung) [m/m]
Straubinger Schleife	0,245/0,207	0,149/0,196
Straubing (Do-km 2319) bis Isarmündung	0,039/0,072	-0,006/0,085
Isarmündung bis Aicha (Do-km 2273)	-0,065/0,114	-0,046/0,142
Aicha bis Hofkirchen (Do-km 2258)	0,058/0,146	0,031/0,142

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Sohlhöhenänderungen aus Sensitivitätsbetrachtungen der Ganglinie bezogen auf die Bezugsberechnung

Außer im Bereich der Straubinger Schleife betragen die Differenzen nur wenige Millimeter bis einige Zentimeter in 25 Jahren. Dies ist ein deutliches Indiz dafür, dass die Sohlstabilität auch bei abweichenden Ganglinien erreicht wurde.

Bei der Ganglinie mit einem höheren mittleren Abfluss kommt es im Bereich der Straubinger Schleife zu relativ starken Anlandungen. Dies hat seine Ursache in dem für diesen Bereich komplexen Strömungsverhältnissen und einer Ganglinie, die im letzten Jahr der Simulation in weiten Bereichen einen relativ hohen Abfluss um 700 m<sup>3</sup>/s, aber keine sehr großen Hochwasserspitzen aufweist. Die Straubinger Schleife hat, abgesehen von Extremereignissen, die größten Schubspannungen bei Abflüssen um  $2 \cdot Q_{MW}$ . Bei höheren Abflüssen macht sich der Abschlag über das s.g. „Bschlacht“ schubspannungsbegrenzend bemerkbar. Dem kann bei der modellseitigen Geschiebezugabe nur begrenzt Rechnung getragen werden, so dass dadurch vergleichsweise große Einträge in diesen Bereich erfolgen. Über einen längeren Zeitraum gleicht sich dies im Mittel aus. Da jedoch im letzten Jahr der genannten Ganglinie in relativ großem Umfang Abflüsse um diesen Wert auftraten, liegt die Sohle temporär höher. Die großen Unterschiede in den Sohlhöhenänderungen sind somit ein Indiz für die Dynamik der Sohle. Im realen Fall wird man die erforderlichen Maßnahmen an die herrschenden Verhältnisse anpassen müssen.

Aber auch die Ganglinie mit niedrigerem mittlerem Abfluss zeigt im Bereich der Straubinger Schleife Anlandungstendenzen. Dies hat seine Ursache in der Abflussganglinie am Ende der Berechnungen relativ hohe Werte zeigt und kurzfristig zu überproportionalen Geschiebeeinträgen führt.

Generell lässt sich kein Trend bei einer Ganglinie mit erhöhtem oder vermindertem Geschiebeeintrag feststellen.

Dies findet auch im Vergleich der Wasserspiegellagen bei  $Q_{RNW}$  in Bezug auf die Ergebnisse der mittleren Ganglinie (Bild 16) ihren Niederschlag. Man erkennt deutlich die lokale Wasserpiegelhebung im Bereich. Die Ganglinie mit erhöhtem Abfluss weist zudem eine Erhöhung des Wasserspiegels an der Schiffswendestelle bei Do-km 2303 auf. Hier werden in Abhängigkeit der Abflussereignisse zu unterschiedlichen Zeitpunkten Baggermaßnahmen durchgeführt. In der Bezugsberechnung wurde am Ende der Berechnungen noch eine Baggerung durchgeführt, während in der Variante mit erhöhtem Abfluss eine Baggerung noch nicht erforderlich war. Die resultierenden Wasserspiegeldifferenzen betragen rechnerisch ca. 13 cm. Unterstrom dieses Bereichs liegen die Wasserspiegeldifferenzen mit einer lokalen Ausnahme bei ca. 5 cm. Für die Ganglinie mit niedrigerem mittlerem Abfluss bleiben die Differenzen auf der ganzen Strecke um 5 cm.

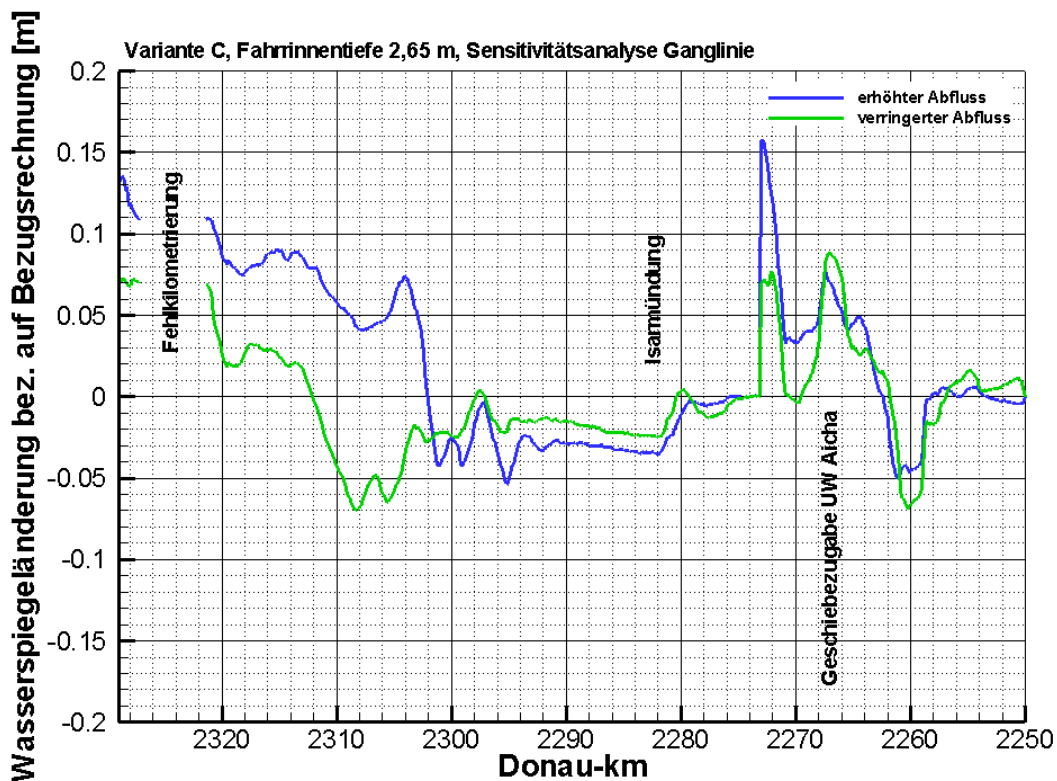


Bild 16: Vergleich der Wasserspiegeldifferenzen bei  $Q_{RNW}$  nach 25 Jahren bei unterschiedlichen Ganglinien im Vergleich zur Bezugsvariante

Abschließend lässt sich festhalten, dass der Einfluss aus der Fülle einer Ganglinie einen geringeren Einfluss auf die Wasserspiegeldifferenzen hat, als Größe und Abfolge der Abflüsse selber.

### 7.5 Einfluss des Vorlandabflusses der Isarmündung auf die Berechnungsergebnisse

Um den Einfluss unterschiedlicher Vorlandabflüsse auf die Morphologie zu untersuchen, wurde in zwei Vergleichsberechnungen der Isarabfluss um 5% bzw. 10% vermindert. Diese 5% bzw. 10% werden im Unterwasser des Wehrs bei Do-km 2272,9 wieder zugegeben. Diese Vorgehensweise simuliert einen höheren Abfluss im Vorland und reduziert somit die Abflussmenge im Hauptgerinne der Donau um den entsprechenden Betrag.

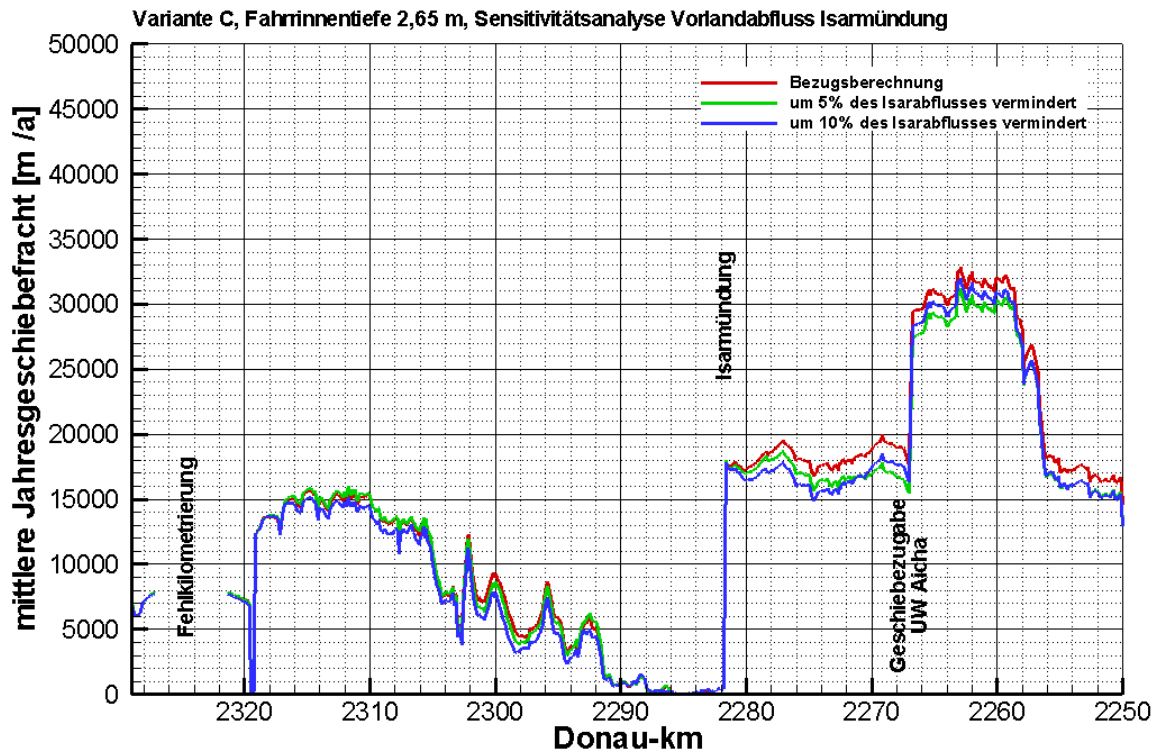


Bild 17: Vergleich der mittleren Jahresgeschiebefrachten des morphologischen Nachlaufs der Variante C<sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Vorlandabflüssen an der Isarmündung

Bild 17 zeigt den Vergleich der mittleren Jahresgeschiebefrachten aus der 25-jährigen Simulation. Es ist zu erkennen, dass sich die transportierte Geschiebemenge durch die geringeren Schubspannungen in geringem Umfang reduziert. Dies führt rechnerisch auch in Bereichen nach Einleitung des Abschlags zu geringeren transportierten Mengen. Auch hier ist die große Abhängigkeit des Geschiebetransportes bei schwachen Überschussschubspannungen von der Kornverteilung an der Sohle von Bedeutung. Unterschiede in den Gradienten, die ein Maß für die Sohlhöhenänderungen sind, sind nur in Teilbereichen zu erkennen.

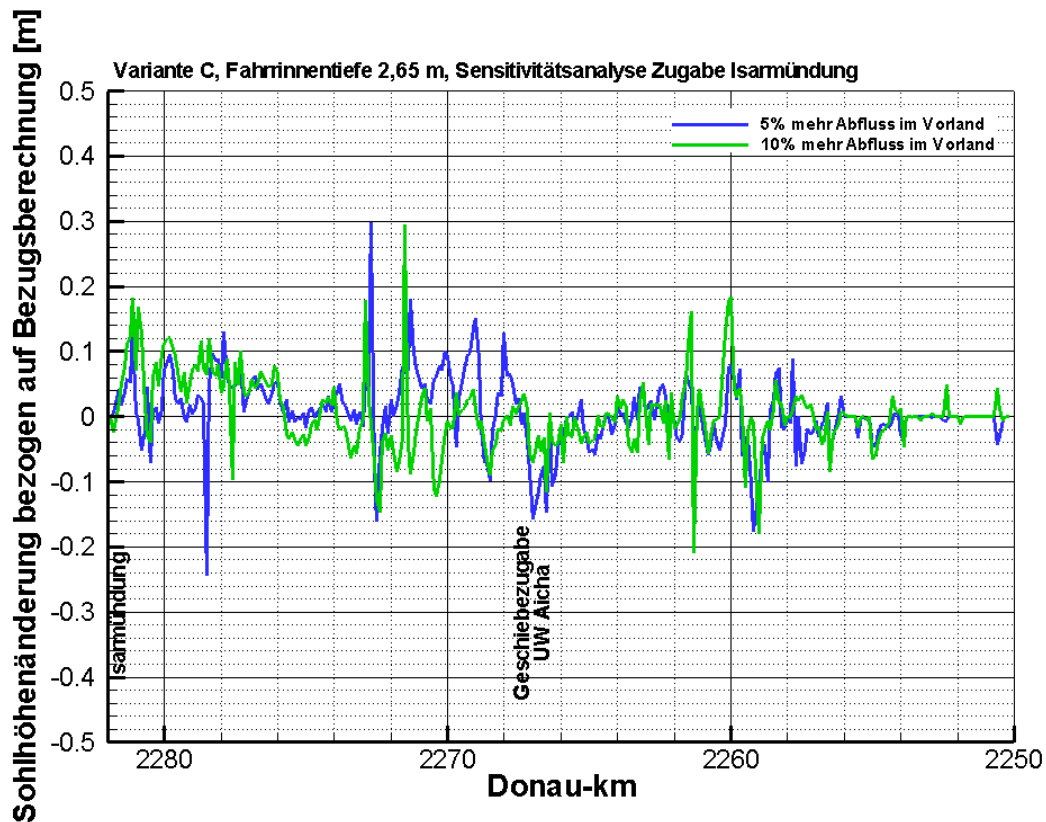


Bild 18: Vergleich der Sohlhöhenänderungen des morphologischen Nachlaufs der Variante C<sub>2,80</sub> bei unterschiedlichen Vorlandabflüssen an der Isarmündung

Bild 18 zeigt die entsprechenden Sohlhöhenänderungen im Vergleich zur Bezugsberechnung. Unterstrom der Isarmündung sind die Sohlagen der Sensitivitätsberechnungen geringfügig höher als bei der Bezugsberechnung. Dies ist zu erwarten, da die Schubspannungen kleiner sind und somit die Erosionstendenz geringer ist. Unterstrom der Zugabe des Abschlags sind die Sohlhöhenänderungen bei einer Reduktion um 10 % des Isarabflusses etwa die gleichen wie in der Bezugsberechnung. Dies steht ebenfalls mit der zuvor beschriebenen Sensitivität des Geschiebetransportes von den berechneten Kornverteilungskurven in Verbindung. Eine weitere mögliche Erklärung liegt in den Baggermaßnahmen, die zeitlich und räumlich in den Varianten unterschiedlich auftreten können. Die genaue Ursache kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abschließend geklärt werden.



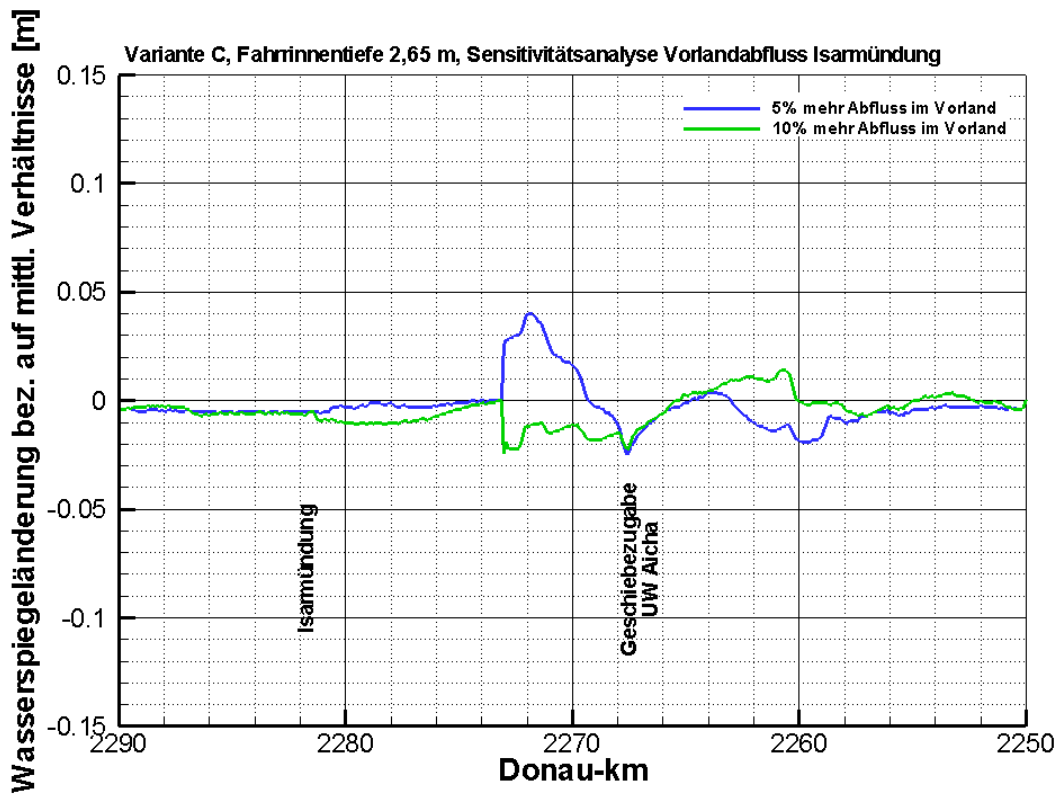


Bild 19: Vergleich der Wasserspiegeldifferenzen bei  $Q_{RNW}$  nach 25 Jahren bei unterschiedlichen Vorlandabflüssen an der Isarmündung im Vergleich zur Bezugsvariante

Bild 19 zeigt die berechneten Abweichungen der Wasserspiegellagen auf den verstärkten Vorlandabfluss. Im Stauraum sind auf Grund der kleinen Gefälle bei Niedrigwasser die Auswirkungen gering. Die größten Veränderungen ergeben sich im Bereich nach der Zugabe der Abschläge, da hier die Gefälle deutlich größer sind. Die Abweichungen betragen nur wenige cm und sind somit unbedeutend.

### 7.6 Mittelung der Ergebnisse

Wie zuvor gezeigt, besteht insbesondere nahe den Gesschiebezugabestellen eine relativ hohe Unsicherheit bezüglich der Sohlagen. Diese sind in der Hydrologie und der Modelltechnik begründet. Um die Aussage hinsichtlich Zufälligkeiten aus dem Einfluss der Ganglinie zu verringern, wurden die Ergebnisse der für weitere Untersuchungen der EU-Studie erforderlichen stationären Wasserspiegelberechnungen aus den drei in Kap. 7.4.2. beschriebenen Berechnungsganglinien gemittelt und dem Auftraggeber zur weiteren Verwendung übergeben. Sie sind grafisch in Bild 20 dargestellt. Die zu verwendenden Abflüsse wurden vom Auftraggeber vorgegeben und repräsentieren die ökologisch und verkehrswasserbaulich relevanten Abflüsse zwischen extremem Niedrigwasser und dem höchsten schiffbaren Abfluss  $Q_{HNN}$ .

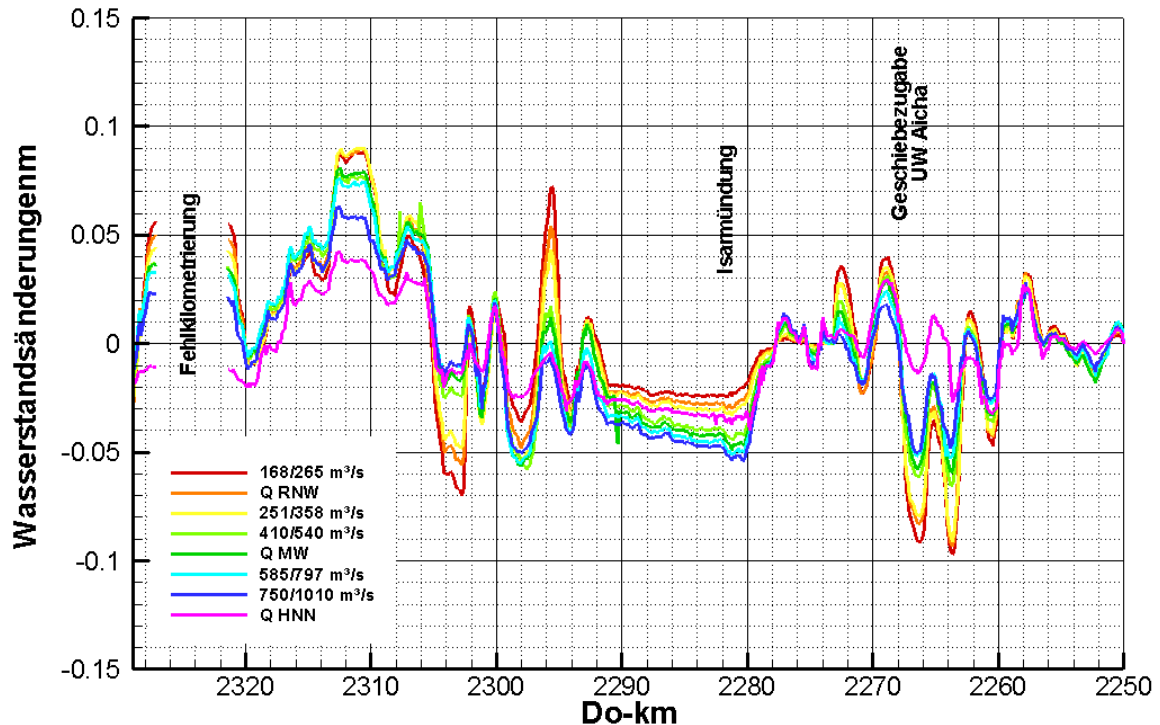
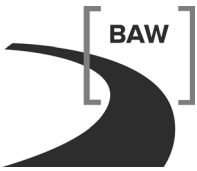


Bild 20: Mittelung der Wasserspiegeldifferenzen aus drei Ganmlinien für alle relevanten Abflüsse nach 25 Jahren

Generell nehmen die Wasserspiegeländerungen mit steigendem Abfluss ab. So liegen die Extremwerte für den niedrigsten untersuchten Abfluss von 168/265 m<sup>3</sup>/s (ober-/unterstrom der Isarmündung) im Bereich zwischen ±0,1 m und nehmen bei Hochwasserereignissen mit einem Abfluss von 1375/1765 m<sup>3</sup>/s auf ±0,05 m ab. Örtlich wird die genannte Tendenz z.B. an der Isarmündung unterbrochen. Grund hierfür ist Rückstau vom Wehr Aicha, der sich bei Niedrigwasserverhältnissen stärker auswirkt, als bei höheren Wasserständen. Diese Effekte betragen maximal nur wenige Zentimeter.



Bundesanstalt für Wasserbau  
EU-Studie zum Donauausbau Straubing - Vilshofen  
Flussmorphologische Untersuchungen auf Grundlage  
des 1D-Feststofftransportmodells - Variante C<sub>2,80</sub> -  
A39530210127-16 – November 2012

## 8 Geschiebemanagement

### 8.1 Allgemeines

Eine weitere mit dem 1D-FTM verbundene Frage gilt der Entwicklung eines Konzepts zur Geschiebemanagement. Da die Variante C<sub>2,80</sub> mit Ausnahme des Stauraums hinsichtlich des Geschiebetriebs sich großräumig nicht wesentlich vom Ist-Zustand unterscheidet, ist zu erwarten, dass die entsprechenden Zugabemengen in ähnlicher Größenordnung liegen wie im Ist-Zustand.

Zur Kalibrierung der Transportformel wurden für die Geschiebezugabe die gleichen Kornverteilungen, wie sie in der Strecke vorliegen, angesetzt. Für die Prognoserechnungen wurden diese Kornverteilungen übernommen.

Für die Geschiebezugabe kommen die Stellen in Frage, die den oberstromigen Rand einer Erosionsstrecke darstellen. Im 1D-FTM sind dies:

- der oberstromige Rand des Modells am Wehr Straubing,
- unterstrom der Einmündung des Schleusenkanals bei Thurnhof (Do-km 2319), da am unterstromigen Ende des Wehrrams bei Do-km 2319,5 ein Geschiebefang installiert ist,
- die Isarmündung

sowie im Unterwasser des Wehrs Aicha.

Da bei jeweiliger genügender Geschiebezugabe an den genannten Stellen mit Ausnahme des Stauraums, in dem es zwangsläufig zu Umlagerungen kommen muss, die Jahresgeschiebefracht fallend ist, gerät die Sohle bei entsprechenden Zugaben nicht in einen Erosionszustand. Auf der anderen Seite darf auch nicht zuviel Material zugegeben werden, um unnötige Anlandungen zu vermeiden. Theoretisch ist ein horizontaler Verlauf der Geschiebefracht für Sohlstabilität ausreichend, jedoch zwingen Umlagerungen und erforderliche Baggerungen innerhalb des Querschnitts zu einer etwas erhöhten Geschiebezugabe.

Mit dem 1D-FTM wurde lediglich der Geschiebebedarf für Sohlstabilität ermittelt, nicht jedoch der Frage nachgegangen, wie dieses Material zur Verfügung gestellt wird. Dies kann durch Geschiebekreislauf, aber auch durch Zugabe von außen erfolgen.

Die Zugabemengen ergeben sich direkt aus den berechneten Jahresgeschiebefrachten (Bild 8). Besonders vor dem Hintergrund der hydrologischen Unsicherheit sind die genannten Mengen nur als Größenordnungen zu verstehen.

## 8.2 Straubinger Schleife

Das Transportniveau der Straubinger Schleife beträgt in Abhängigkeit von der Ganglinie zwischen 6000 m<sup>3</sup>/a und 12.000 m<sup>3</sup>/a. Im Mittel ist von einer Transportniveau von ca. 8.000 m<sup>3</sup>/a auszugehen. Diese Menge wird weitgehend in einem Geschiebefang bei Do-km 2319,4 wieder entnommen, um Anlandungen im Bereich der Fahrrinne zu vermeiden. Diese Vorgehensweise wird in geringerem Umfang bereits heute praktiziert. Gegebenenfalls kann das Material einem Geschiebekreislauf zugeführt werden.

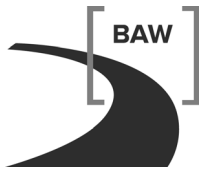
## 8.3 Straubing bis Isarmündung

Der an der Einmündung des Schleusenkanals unmittelbar anschließende Bereich ist mit einer Geschiebezugabe zu sichern. Die vorgesehenen Kolkverbauten dienen im Wesentlichen der Sicherung der Tertiäroberfläche und der Optimierung der Fahrrinne. Ohne Geschiebezugaben ist an den Gleithängen im Querprofil mit einem Sohlabtrag zu rechnen, der über einen Flächenausgleich des Kolkverbauts hinaus geht. Da bis zur Isarmündung die Geschiebefracht stetig abnimmt, sind weitere Zugaben zur Sohlsicherung in diesem Teilbereich nicht erforderlich. Eine Ausnahme hierbei stellen die Fahrrinnenverbreiterungen dar, die die Wirkung lokaler Geschiebefänge haben. Im Anschluss an diese Verbreiterungen steigt wieder die Transportrate und es besteht Erosionsgefahr. Die Zugabe kann durch das Verklappen von lokal gebaggertem Material im Rahmen der Unterhaltung erfolgen und bedarf im Sinne einer großräumigen Sicherung der Sohle keiner weiteren Betrachtung. Die in Fließrichtung abnehmende Jahresgeschiebefracht bedingt, dass nicht alles im Rahmen der Fahrrinnenunterhaltung gebaggerte Material wieder zugegeben werden muss. Die notwendige Entnahmemenge entspricht im Mittel der zugegebenen Menge von 13.000 m<sup>3</sup>/a (Mittelwert aus drei Ganglinien), da nach gegenwärtiger Erkenntnis kaum Geschiebematerial über den Deggendorfer Bereich transportiert wird.

Im Nachgang wurde durch den Auftraggeber eine planmäßige Abdeckung der Kolke im Bereich Deggendorf bis Isarmündung zur Wasserspiegelstützung mit grobkörnigem Material von 16 mm bis 63 mm vorgeschlagen. Diese konnte rechnerisch nicht mehr berücksichtigt werden, kann aber erfahrungsgemäß zu mehr Sohlstabilität im Vergleich zum heutigen Zustand führen.

## 8.4 Isarmündung bis Winzer

Die Geschiebezugabe an der Isarmündung wurde so gewählt, dass dieses Material möglichst keinen Unterhaltungsaufwand im Bereich des Staauraums erzeugt. Somit wird die Zugabemenge durch die Sedimenttransportkapazität im Staauraum begrenzt. Im unterstromigen Bereich des Staauraum liegt diese rechnerisch bei 18.000 m<sup>3</sup>/a. Dies führt jedoch zu Umlagerungen innerhalb des Staauraums, da der obere Bereich eine höhere Transportkapazität besitzt. Für den Bereich der künftig schiffahrtstfreien Sohle ist diese Geschiebemenge in



Verbindung mit einer Sohlstabilisierung der Furt bei Do-km 2267,3 ausreichend. Diese Stabilisierung ist erforderlich, um Erosionen, die durch die Absenkung der Wasserspiegellagen aus Herstellung der Fahrrinntiefe im Unterwasser der Einmündung des Schleusenkanals resultieren, zu verhindern.

### **8.5 Winzer bis Hofkirchen**

Für den Bereich Winzer bis Hofkirchen ist die aus dem Wehrram ankommende Geschiebemenge zu gering und muss durch eine weitere Geschiebezugabe im Bereich Do-km 2267 ergänzt werden. Der Geschiebebedarf beträgt hier ca. 12.000 m<sup>3</sup>/a (Mittelwert aus drei Ganglinien). Auch hier muss im Streckenverlauf teilweise das Material im Rahmen der Unterhaltsbaggerungen entnommen werden.

Um den Unterhaltungsaufwand im Bereich der Felsstrecke zu optimieren, wird von einem Geschiebefang bei Hofkirchen ausgegangen, der in der Lage ist 40.000 m<sup>3</sup> Sediment zurückzuhalten. Mit dem 1D-FTM ist jedoch die Dimensionierung einer solchen Maßnahme nicht durchführbar. Wenn davon ausgegangen wird, dass das ankommende Geschiebe hier vollständig entnommen werden kann, ist von einer Baggermenge von ca. 25.000 m<sup>3</sup>/a auszugehen.

Bundesanstalt für Wasserbau  
Karlsruhe, den 15.11.2012

Im Auftrag

Bearbeiter

gez. Dr.-Ing. Thomas Brudy-Zippelius

gez. Dipl.-Ing. Jürgen Kellermann









**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

Kußmaulstraße 17 · 76187 Karlsruhe  
Tel. 0721 97 26-0 · Fax 0721 97 26-45 40

Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg  
Tel. 040 81 908-0 · Fax 040 81 908-373

[www.baw.de](http://www.baw.de)