



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung



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

Donauausbau Straubing-Vilshofen

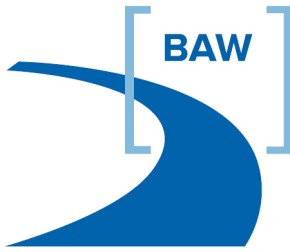
Variantenunabhängige Untersuchungen zum Ausbau der Donau
zwischen Straubing und Vilshofen – 2007-DE-18050-S

Abschlussberichte – B.III. Bericht zur Variante C_{2,80}

**Anlage III.8 Hydraulische Untersuchungen auf Grundlage
des 3D-Hydrnumerischen Modells
(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.

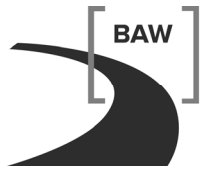


Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

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

**Hydraulische Untersuchungen
auf Grundlage des
3D-hydrnumerischen Modells
- Variante C_{2,80} -**

A39530210127-18



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

**EU-Studie zum Donauausbau
Straubing - Vilshofen
Hydraulische Untersuchungen
auf Grundlage des
3D-hydrnumerischen Modells
- Variante C_{2,80} -**

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

Auftrag vom: 17.6.2010
RMD-Maßnahme: 4203, 5203, 6203;
RMD-Auftrag: 80 000 038

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A39530210127-18

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Binnenbereich
Referat: W2, Flusssysteme II
Bearbeiter: Dr. Regina Patzwahl
Nikolai Stache
Sabine Baumeister

Karlsruhe, 15.11.2012

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

Zusammenfassung

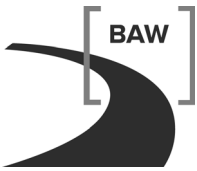
Im Rahmen der Aktivität 5 „Hydraulische Berechnungen, Regelungskonzept“ der EU-Studie zum Donauausbau wurde die BAW durch die RMD Wasserstraßen GmbH in Vertretung der Bundesrepublik Deutschland mit der Planung des Regelungskonzeptes und den verkehrswasserbaulich und naturschutzfachlich erforderlichen hydraulischen Abflussberechnungen beauftragt.

In der ersten Phase der Bearbeitung wurde die Variante C/C_{2,80}* auf Grundlage des Regelungs- und Sohlsicherungskonzeptes des Raumordnungsverfahrens erstellt und hydraulisch untersucht. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen konnte in der zweiten Phase der Bearbeitung die Variante C_{2,80} mit einem verbesserten Regelungs- und Sohlsicherungskonzept entwickelt werden. Die hydraulischen Berechnungen und Nachweise wurden sowohl für verkehrswasserbaulich als auch für naturschutzfachlich relevante Abflusszustände durchgeführt.

Die Wasserspiegellagen für die berechneten Abflusszustände der Variante C_{2,80} im Herstellzustand wurden jeweils mit dem morphologischen Nachlauf aus der 1D-Feststofftransport-Modellierung überlagert.

Die wesentlichen Ergebnisse der hydraulischen Untersuchungen für die Variante C_{2,80} (Herstelltiefe 2,80 m unter RNW_{künftig}) können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Mindestwassertiefen von 2,80 m oberstrom der Isar, 2,85 m unterstrom der Isar und 3,00 m in der Felsstrecke bei Q(RNW₉₇) für den Herstellzustand werden erreicht.
- Die Wasserspiegeländerungen betragen nach Berücksichtigung des morphologischen Nachlaufs bis auf lokale Ausnahmen bei Q(RNW₉₇) und Q(MW) ungefähr ±0,1 m. Im Abschnitt Do-km 2268 – Do-km 2263 kommt es zu Wasserspiegelabsenkungen von ungefähr 0,2 m. Im Rückstaubereich des Wehres kommt es zu größeren Anhebungen (maximal 3,11 m bei Q(RNW₉₇) und 2,00 m bei Q(MW)).
- Die berechnete mittlere Fließgeschwindigkeit liegt im Abschnitt oberstrom der Isarmündung für Q(RNW₉₇) bei 0,69 m/s, für Q(MW) bei 0,90 m/s. Die Fließgeschwindigkeit liegt im Abschnitt zwischen Isarmündung und Aicha (Staubereich) deutlich unter der des IST-Zustands. Auf dem Abschnitt unterstrom des Schleusenkanals weichen die mittleren Geschwindigkeiten für die untersuchten Abflusszustände nur unwesentlich oder lokal von denen des IST-Zustands ab.
- Für die Herstellung der Variante C_{2,80} müssen ca. 55% der Gesamtfahrrinnenfläche mit einer mittleren Tiefe von 0,46 m gebaggert werden.

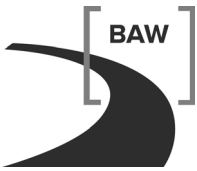


Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen wurden im Rahmen der EU-Studie als Grundlagendaten für die fahrdynamischen und morphologischen sowie die Grundwasseruntersuchungen verwendet und lieferten gleichzeitig die abiotischen Randbedingungen für die Umweltplanungen und naturschutzfachlichen Untersuchungen.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Glossar		1
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	5
2	Unterlagen und Daten	7
2.1	Berichte und Gutachten	7
2.2	Topographische und gewässerkundliche Daten	8
3	Modellerstellung und -betrieb der Variante C/C _{2,80} *	11
3.1	Allgemeines	11
3.2	Geometrie und Berechnungsgitter	13
3.2.1	Gittertypen	13
3.2.2	Digitales Geländemodell und Topographie	14
3.2.3	Fahrinne und Herstellsohle	14
3.2.4	Buhnen, Parallelwerke und Ufervorschüttungen	16
3.2.5	Kolkverbaue	19
3.2.6	Isarmündung und Schüttkegel	21
3.2.7	Wehr und Schleusenkanal	22
3.2.8	Verschiedene Gelände- und Flussbauelemente	24
3.3	Rauheiten	25
3.4	Randbedingungen	26
4	Ergebnisse der Variante C/C _{2,80} *	29
4.1	Allgemeines	29
4.2	Wasserspiegel	30
4.3	Wassertiefe	32
4.4	Durchströmte Breiten und Abflussquerschnitte	33
4.5	Fließgeschwindigkeiten	35
4.6	Herstellfläche und –volumen	37
4.7	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	37
5	Modellerstellung und -betrieb der Variante C _{2,80}	39
5.1	Allgemeines	39
5.2	Geometrie und Berechnungsgitter	40
5.2.1	Digitales Geländemodell und Topographie	40
5.2.2	Herstelltiefe im Modell	40
5.3	Rauheiten	41
5.4	Randbedingungen	42



6	Ergebnisse der Variante C _{2,80}	45
6.1	Allgemeines	45
6.2	Wasserspiegel	45
6.3	Wassertiefe	47
6.4	Durchströmte Breiten und Abflussquerschnitte	48
6.5	Fließgeschwindigkeiten	49
6.6	Herstellfläche und -volumen	51
6.7	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	52
7	Datenübergabe	53
7.1	Allgemeines	53
7.2	Datenaufbereitung	53
7.3	Variante C/C _{2,80} *	55
7.4	Variante C _{2,80}	58
8	Literaturverzeichnis	61

Bildverzeichnis

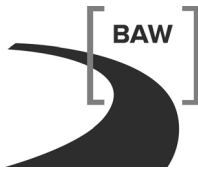
Seite

Bild 1:	Modellgebiet und Teilmodellstrecken	11
Bild 2:	Gitterbereiche des Rechenmodells mit unterschiedlicher Diskretisierung	13
Bild 3:	Lage der Fahrrinne im IST-Zustand und Variante C/C _{2,80} * bei Do-km 2304	15
Bild 4:	Buhnen IST-Zustand (oben) und Variante C/C _{2,80} * (unten) bei Do-km 2294	17
Bild 5:	Ufervorverlegung IST-Zustand (oben), Variante C/C _{2,80} * (unten) bei Do-km 2263,0	18
Bild 6:	Absenkung der Fährrampe: IST-Zustand (oben), Variante C/C _{2,80} * (unten), Do-km 2289	19
Bild 7:	Kolkverbau bei Do-km 2265,00: IST-Zustand (oben), Variante C/C _{2,80} * (unten). Der Hochwasserdeich wurde für Variante C/C _{2,80} * zurückverlegt und mit dem Modellrand gleichgesetzt	20
Bild 8:	DGM des IST-Zustands im Bereich der Isarmündung, basierend auf Sohlpeilung 2005, Peilung des Schüttkegels vom März 2006 und der Befliegung 1997	21
Bild 9:	Geplante Änderungen im Stufenbereich in Variante C/C _{2,80} *	22
Bild 10:	Unterer Modellrand C/C _{2,80} *	23
Bild 11:	Bereich der Uferrehnenabsenkung zwischen Isar-km 0,20 – 0,50	25
Bild 12:	Stark strukturiertes Donauvorland zwischen Isarmündung und Mühlhamer Schleife, NSG Staatshaufen (Do-km 2278 – Do-km 2277)	25
Bild 13:	Prinzipdarstellung zur Berechnung der räumlichen Mittelwerte	29
Bild 14:	Wasserspiegellagen und -differenzen Variante C/C _{2,80} * – IST-Zustand bei Q(RNW ₉₇)	30
Bild 15:	Wasserspiegellagen und -differenzen Variante C/C _{2,80} * – IST-Zustand bei Q(MW)	31
Bild 16:	Wasserspiegellagen und -differenzen Variante C/C _{2,80} * – IST-Zustand bei Q(HNN)	32
Bild 17:	Mittlere Wassertiefen in der Fahrrinne für Variante C/C _{2,80} *	33
Bild 18:	Längsschnitt der Fließgeschwindigkeiten für Variante C/C _{2,80} * und IST-Zustand in der Fahrrinne	35
Bild 19:	Wasserspiegellagen und –differenzen C _{2,80} – IST-Zustand bei Q(RNW ₉₇)	45
Bild 20:	Wasserspiegellagen und –differenzen C _{2,80} – IST-Zustand bei Q(MW)	46
Bild 21:	Wasserspiegellagen und –differenzen Variante C _{2,80} – IST-Zustand bei Q(HNN)	47
Bild 22:	Mittlere Wassertiefen in der Fahrrinne für Variante C _{2,80}	47
Bild 23:	Längsschnitt für Variante C _{2,80} und IST-Zustand der Fließgeschwindigkeiten in der Fahrrinne	50

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Teilmodellstrecken	12
Tabelle 2: Bauwerksparameter der Bühnen	16
Tabelle 3: Bauwerksparameter der Parallelwerke	16
Tabelle 4: Randbedingungen für die Teilmodelle SV1 – SV4 für die Variante C/C _{2,80} *	26
Tabelle 5: Mittlere Fließgeschwindigkeiten [m/s] auf der durchströmten Breite für Streckenabschnitte der Variante C/C _{2,80} *	36
Tabelle 6: Herstelltiefen der Variante C _{2,80}	41
Tabelle 7: Rauheitsbeiwerte k _s für die HN-Modellierung	42
Tabelle 8: Randbedingungen für die Teilmodelle SV1 – SV4 für die Variante C _{2,80}	43
Tabelle 9: Mittlere Fließgeschwindigkeiten [m/s] auf der durchströmten Breite für Streckenabschnitte der Variante C _{2,80}	51
Tabelle 10: Übergebene Datensätze für die berechneten verkehrswasserbaulich relevanten Abflüsse für Variante C/C _{2,80} *	56
Tabelle 11: Übergebene Datensätze für die berechneten ökologisch relevanten Abflüsse für Variante C/C _{2,80} *	57
Tabelle 12: Übergebene Datensätze für die berechneten verkehrswasserbaulich relevanten Abflüsse für Variante C _{2,80}	58
Tabelle 13: Übergebene Datensätze für die berechneten ökologisch relevanten Abflüsse für Variante C _{2,80}	59

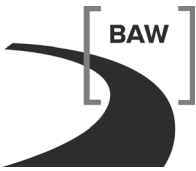
Anhangverzeichnis

Anhang 1: Flussbauliche Maßnahmen der Variante C/C _{2,80} *
Anhang 2: Flussbauliche Maßnahmen der Variante C _{2,80}
Anhang 3: Anpassung der Berechnungsgitter an das Hochwasserschutzkonzept
Anhang 4: Variante C/C _{2,80} * und Variante C _{2,80} im Längsschnitt

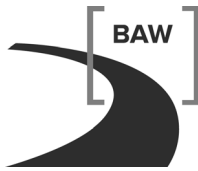


Glossar

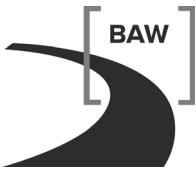
Abladetiefe	Derjenige Schiffstiefgang, der am betrachteten Binnenschiff an der diesbezüglich ungünstigsten Stelle im Ruhewasser auftritt. Die Summe aus Squat (fahr-dynamisches Einsinken) und Abladetiefe (statischer Tiefgang) ergibt die Tauchtiefe
Abschnitt OSI	Donaustrecke mit Fahrrinnenunterhaltung <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 ³]	Volumen, das im 2D-FTM der Sohle im Rahmen einer Unterhaltungsbaggerung entnommen wurde
Baggersohle [m+NN]	RNW _{künftig} 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



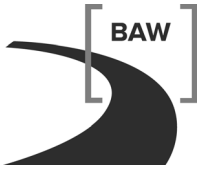
Herstelltiefe, HT [m]	Tiefe, die (bezogen auf Bezugswasserspiegel) bei der Bagge- rung hergestellt wird (= Fahrrinntiefe + Tiefenreserve + Baggertoleranz + Unebenheit)
Herstellzustand	Bezeichnet die Gewässertopographie nach Umsetzung der geplanten Sohlsicherungs- und Regelungsmaßnahmen inkl. der notwendigen Fahrrinnenbaggerungen unter dem Bezugs- wasserspiegel
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, Kornzusam- mensetzungen 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 physika- lischer Größen (Wasserstand, Sohlhöhen) zwischen dem Her- stellzustand und dem Zustand nach Simulation eines 25- jährigen Zeitraums
MQ ₉₇ [m ³ /s]	Siehe Q _{MW}
MW [m+NN]	Mittelwasser; Wasserstand, dessen Abfluss dem mittleren Abfluss der langjährigen Jahresreihe 1961 bis 1990 entspricht
MW _{ROV} [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_{HNN} [m ³ /s]	Abfluss zum HNN $Q_{\text{HNN}} = 1375/ 1765$ m ³ /s (oberstrom/unterstrom der Isarmündung)
Q_{MW} [m ³ /s]	Abfluss zum MW $Q_{\text{MW}} = 463/ 642$ m ³ /s (oberstrom/unterstrom der Isarmündung)
Q_{RNW} [m ³ /s]	Abfluss zum RNW $Q_{\text{RNW}} = 211/ 324$ m ³ /s (oberstrom/unterstrom der Isarmündung)
Q bei HNN ₉₇ [m ³ /s]	Siehe Q_{HNN}
Reale Baggermengen [m ³]	Historische Baggermengen nach Angaben des WSA Regensburg
RNQ ₉₇ [m ³ /s]	Siehe Q_{RNW}
RNW ₉₇ [m+NN]	„Regulierungsniederwasserstand“; Wasserstand, dessen Abfluss an 94% der Tage einer langjährigen Jahresreihe (hier 1961/1990) erreicht oder überschritten wurde (Verf. WSD Süd T3-221.3/8I vom 25.03.1998).
RNW _{künftig} [m+NN]	Rechnerische Wasserspiegellage bei Abfluss des RNW ₉₇ im Herstellzustand
RNW _{ROV} [m+NN]	Rechnerische Wasserspiegellage bei Abfluss des RNW ₉₇ 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 praxismgerechte 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> sarm <u>m</u> ündung
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 _{2,80} *	Ausbauvariante C gemäß ROV
Variante C _{2,80}	Weiterentwickelte Variante C/C _{2,80} * 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



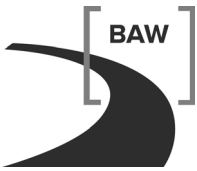
1 Veranlassung und Aufgabenstellung

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_{2,80} mit einem Wehr 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 5 „Hydraulische Berechnungen, Regelungskonzept“ wurde die BAW durch die RMD Wasserstraßen GmbH in Vertretung der Bundesrepublik Deutschland mit der Planung des Regelungskonzeptes und den verkehrswasserbaulich und naturschutzfachlich erforderlichen hydraulischen Abflussberechnungen beauftragt.

Grundlage für die hydraulischen Berechnungen bildet ein für den IST-Zustand kalibriertes 3D-hydrnumerisches Modell, das im Vorfeld der Untersuchungen erstellt wurde. Gegenstand der ersten Phase der Bearbeitung waren die Erstellung der Variante C/C_{2,80}* auf Grundlage des Regelungs- und Sohlsicherungskonzeptes des Raumordnungsverfahrens (ROV) und deren hydraulische Untersuchung. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen sollte in der zweiten Phase der Bearbeitung die Variante C_{2,80} mit einem verbesserten Regelungs- und Sohlsicherungskonzept weiter entwickelt werden. Die hydraulischen Berechnungen und Nachweise für Variante C_{2,80} waren sowohl für verkehrswasserbaulich als auch für naturschutzfachlich relevante Abflusszustände durchzuführen.

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen sollten im Rahmen der EU-Studie als Grundlagendaten für die fahrdynamischen und morphologischen sowie die Grundwasseruntersuchungen verwendet werden. Sie waren gleichzeitig dazu vorgesehen, die abiotischen Randbedingungen für die Umweltplanungen und naturschutzfachlichen Untersuchungen zu liefern.



2 Unterlagen und Daten

2.1 Berichte und Gutachten

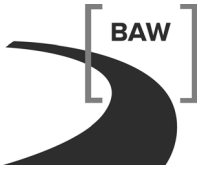
- [B1] BAW 2002 – Vertiefte Untersuchungen zum Donauausbau Straubing – Vilshofen. Modellbildung und Kalibrierung der detaillierten 1D-Strömungs- und Befahrbarkeitsmodelle. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, November 2002.
- [B2] BAW 2000 – Donauausbau Straubing – Vilshofen. Vertiefte Untersuchungen. Konzeption der Regelungs-, Sohlsicherungs- und Unterhaltungsmaßnahmen für die 1-Stufen-Variante C. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, September 2000.
- [B3] BAW 1998 – Donauausbau Straubing – Vilshofen. Flußmorphologischer Statusbericht. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, April 1998.
- [B4] BAW 2000 – Donauausbau Straubing – Vilshofen. Vertiefte Untersuchungen. Vergleichende 1D-HN-Modelluntersuchungen der Variante C. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, November 2000.
- [B5] BAW 2000 – Donauausbau Straubing – Vilshofen. Vertiefte Untersuchungen. Ergebnisse der verkehrswasserbaulichen Untersuchungen. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Dezember 2000.
- [B6] smile consult GmbH – Aktualisierung der Digitalen Geländemodelle der Donau (Donau-km 2248 – Donau-km 2330) und Aktualisierung der Telemac-Modelle der Donau (Donau-km 2248 – Donau-km 2330). Kurzbericht über die durchgeführten Arbeitsschritte, 2006.
- [B7] smile consult GmbH – Aktualisierung des Digitalen Geländemodells der Donau (Donau-km 2255 – Donau-km 2283). Kurzbericht über die durchgeführten Arbeitsschritte, 2008.
- [B8] smile consult GmbH – Anpassung von Bauwerks- und Rechengittergeometrien an die Anforderungen hochaufgelöster UnTRIM3D-mehrdimensionaler Geschiebetransportmodelle. Projektdokumentation, 2010
- [B9] BAW 2010 – Donau Straubing – Vilshofen. Kalibrierung der 3D-HN-Modelle SV1 – SV4; A39530210127-06.
- [B10] BAW 2010 – Ergänzungsbericht zu A39530210127-06 Kalibrierung 3D-HN-Modell Straubing-Vilshofen; A39530210127-07.
- [B11] BAW 2012 – EU-Studie zum Donauausbau Straubing - Vilshofen, Flussmorphologische Untersuchungen auf Grundlage des 1D-Feststofftransportmodell – Variante C_{2,80} –; A39530210127-16 ; Anlage B.III.7 (*).

- [B12] BAW 2012 – EU-Studie zum Donauausbau Straubing - Vilshofen, Flussmorphologische Untersuchungen auf Grundlage des 2D-Feststofftransportmodells – Variante C_{2,80} – ; A395302101127-17 ; Anlage B.III.5 (*).
- [B13] Vorläufige Konfliktanalyse (Durchlauf 3) auf Grundlage Bestandserhebung 2010, Prüfung von sieben Planungsalternativen, ARGE DonauPlan, 2011.
- [B14] BAW 2012 – EU-Studie zum Donauausbau Straubing - Vilshofen, Regelungskonzepte der Variante C_{2,80}; A39530210127-21 ; Anlage B.III.2 (*).
- [B15] BAW 2012 – EU-Studie zum Donauausbau Straubing - Vilshofen, Ergebnisse der fahrdynamischen Untersuchungen – Variante C_{2,80} – ; A39530210127-19 ; Anlage B.III.3 (*).

(*) Variantenunabhängige Untersuchungen zum Ausbau der Donau zwischen Straubing und Vilshofen, RMD Wasserstraßen GmbH, München, 2012

2.2 Topographische und gewässerkundliche Daten

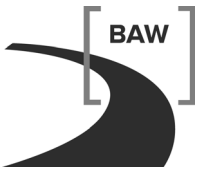
- [U1] Aktualisierte Digitale Geländemodelle der Donau (Donau-km 2248 – 2330), Smile consult (2006).
- [U2] Berechnungsmodell (HydroAS) zur Hochwassersimulation, Übergabe 25. Februar 2008, Stand Februar 2008, RMD Wasserstraßen GmbH.
- [U3] ROV-Unterlagen der Varianten C/C_{2,80}, RMD Wasserstraßen GmbH, 2004.
- [U4] Peildaten Donau/ Isarmündung März 2006, TIMPAN-Datenarchiv.
- [U5] Hydrographische Vermessung „Untere Isar“ km 0,2 bis km 10,2 (Peilung 2005), Büro Geoplan im Auftrag des WWA Deggendorf. Übergeben von RMD Wasserstraßen GmbH am 15.09.2009.
- [U6] Peildaten Altwassersystem Staatshaufen und Isarmündung, übergeben von RMD Wasserstraßen GmbH am 15.09.2009.
- [U7] Geländedaten Hengersberger Ohe, Herzogbach, Kinsach, Schwarzach, übergeben von RMD Wasserstraßen GmbH am 15.09.2009.
- [U8] Geländeinformationen zur Uferrehnenabsenkung Isar 2009, übergeben von RMD Wasserstraßen GmbH am 15.09.2009.
- [U9] Geländedaten Fährzufahrt Thundorf, übergeben von RMD Wasserstraßen GmbH am 15.09.2009.
- [U10] Fahrrinnenpolygone der Variante C aus den „Vertieften Untersuchungen“, übergeben von RMD Wasserstraßen GmbH am 14.04.2008.
- [U11] Gewässerkundliche Daten für den Bereich des Wasser- und Schifffahrtsamtes Regensburg Do-km 2414,84 – 2201,77, WSA Regensburg 1997, gemäß Vermerk WSD



Süd T3 – 221.3/8 I "Erfassung und Auswertung von Daten über Wasserstand, Abfluss und Strömung; Neufestsetzung von RNW u. HNN für die Bundeswasserstraße Donau" vom 25.03.1998.

[U12] Variante C_{2,80}: HWS und HW-absenkende Maßnahmen, Technische Pläne und Rechenmodelle, RMD Wasserstraßen GmbH, 01.07.2011.

[U13] Technische Planung Wehranlage bei Aicha, übergeben von RMD Wasserstraßen GmbH am 29.03.2011



3 Modellerstellung und -betrieb der Variante C/C_{2,80}*

3.1 Allgemeines

Ziel der Ausbauvariante C/C_{2,80}* ist es, durch die in Untersuchungen zum Raumordnungsverfahren (ROV) erarbeiteten Regelungsmaßnahmen die derzeit vorhandenen Fahrrinntiefen zu vergrößern bzw. zu stabilisieren. Die Variante sieht die Errichtung eines Wehrs bei Aicha (Do-km 2273) und Optimierung der Regelungsmaßnahmen für die verbleibenden frei fließenden Streckenabschnitte vor. Der Stau bis zur Isarmündung soll den für eine Fahrrinnenvertiefung schwierigsten Abschnitt „überbrücken“. Durch den Bau eines Schleusenkanals wird die Mühlhamer Schleife Schifffahrt frei gemacht. Damit entfällt eine navigatorisch sehr anspruchsvolle Stelle. Die verbleibenden Abschnitte sollen mit örtlich begrenzten Maßnahmen für größere Fahrrinntiefen ertüchtigt werden. Neben Regelungsmaßnahmen, wie z.B. Einbau oder Verlängerung von Buhnen, sind auch Sohlsicherungsmaßnahmen (Kolkverbau und Tertiärabdeckung) vorgesehen.

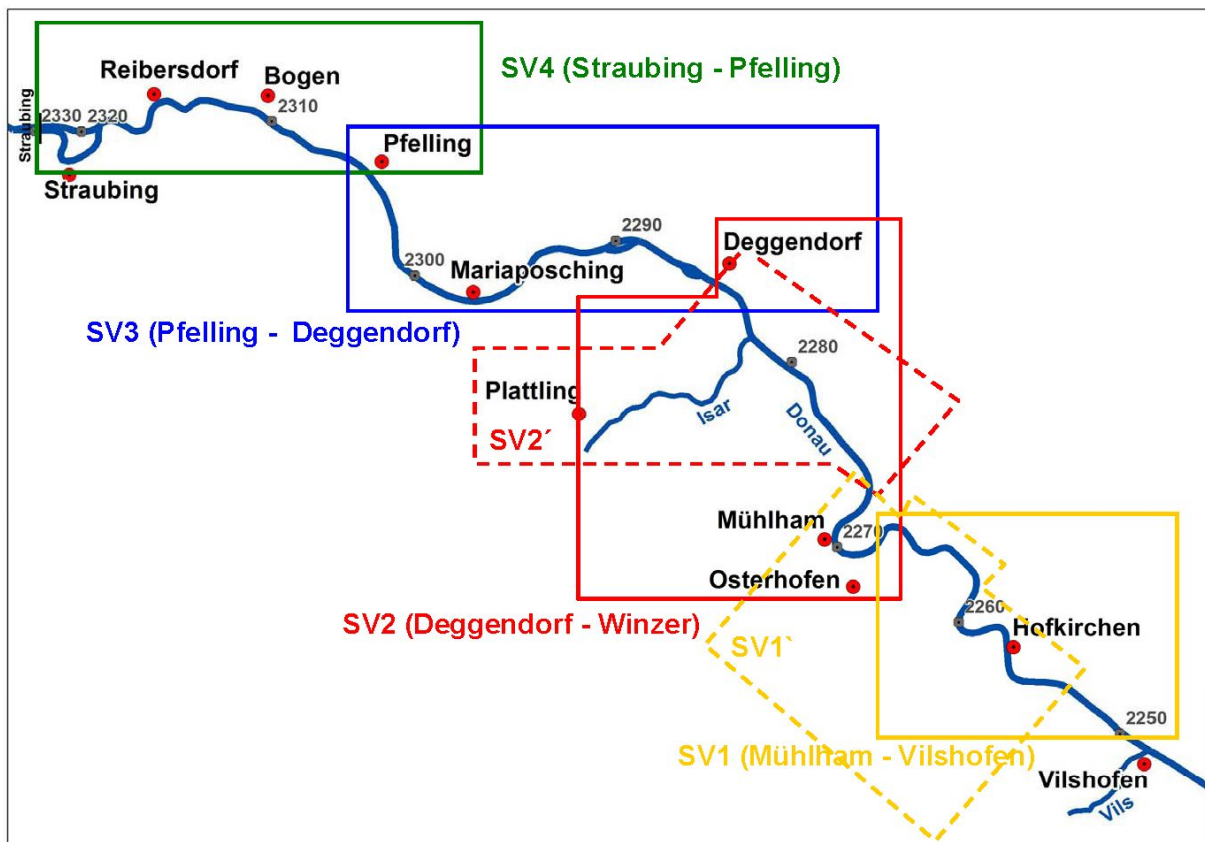


Bild 1: Modellgebiet und Teilmodellstrecken

Zur hydraulischen Simulation der Gesamtstrecke von fast 80 km wurde das Modellgebiet in vier Teilabschnitte unterteilt, welche als eigenständige Modelle betrieben wurden. Für die Berechnungen wurde für jedes Teilmodell die Topologie des jeweiligen Rechengitters aus der Kalibrierung übernommen [B9], [B10]. Für die Variante C/C_{2,80}* ergab sich durch das mitten im Modell gelegene Wehr eine Sondersituation. Für alle Abflüsse unterhalb des höchsten berechneten Abflusses, bei welchem das Wehr vollständig gelegt ist, wurde ein Teilmodell SV2' entsprechend gekürzt erstellt. Das Modellgebiet und dessen Aufteilung in Teilmodelle sind in Bild 1 dargestellt. Tabelle 1 können die genauen Streckenabschnitte entnommen werden.

Abschnitt	von Do-km	bis Do-km	Überlappung [km]
SV1`	2249,70	2272,90	0
SV2`	2273,00	2287,20	3,50
SV1	2249,70	2268,20	2,40
SV2	2265,80	2287,20	3,50
SV3	2283,70	2307,50	2,00
SV4	2305,50	2329,40	

Tabelle 1: Teilmodellstrecken

Das Kapitel 3 beschreibt den Aufbau des Modells der Variante C/C_{2,80}* auf Grundlage des Regelungskonzeptes des Raumordnungsverfahrens. Alle Arbeitsschritte, die zur Erstellung der Varianten-Geometrie und des entsprechenden Berechnungsgitters notwendig waren, behandelt das Kapitel 3.2. Dazu gehören die grundlegende Geometrie, die Berücksichtigung der neuen Fahrrinne, der Einbau der Regelungsbauwerke und Sohlsicherungsmaßnahmen sowie die Behandlung von Geländebesonderheiten (Isarmündung) sowie erst im Laufe des Projektes in der Natur vorgenommene hydraulisch relevante Geländeänderungen. Die Definition der zum Betrieb des numerischen Modells notwendigen Rauheiten und Randbedingungen erfolgt in den Kapiteln 3.3 und Kapitel 3.4.

3.2 Geometrie und Berechnungsgitter

3.2.1 Gittertypen

Die Gitternetze der Teilmodelle setzen sich aus drei unterschiedlichen Gittertypen zusammen (Bild 2): ein kartesisches Gitter für das Vorland, ein zur Flussachse orthogonales Gitter für den Flussschlauch und ein dreiecks-diskretisierter Übergangsbereich. Das Vorland wurde mit einer Kantenlänge von 10 m abgebildet. Der Vorlandbereich zwischen Isarmündung und Staatshaufen wurde mit einer Kantenlänge von 5 m diskretisiert, um die feinen Strukturen des vorhandenen Rinnensystems detaillierter wiedergeben zu können. Das Flussschlauchgitter wurde mit einer Kantenlänge von 3 m generiert.

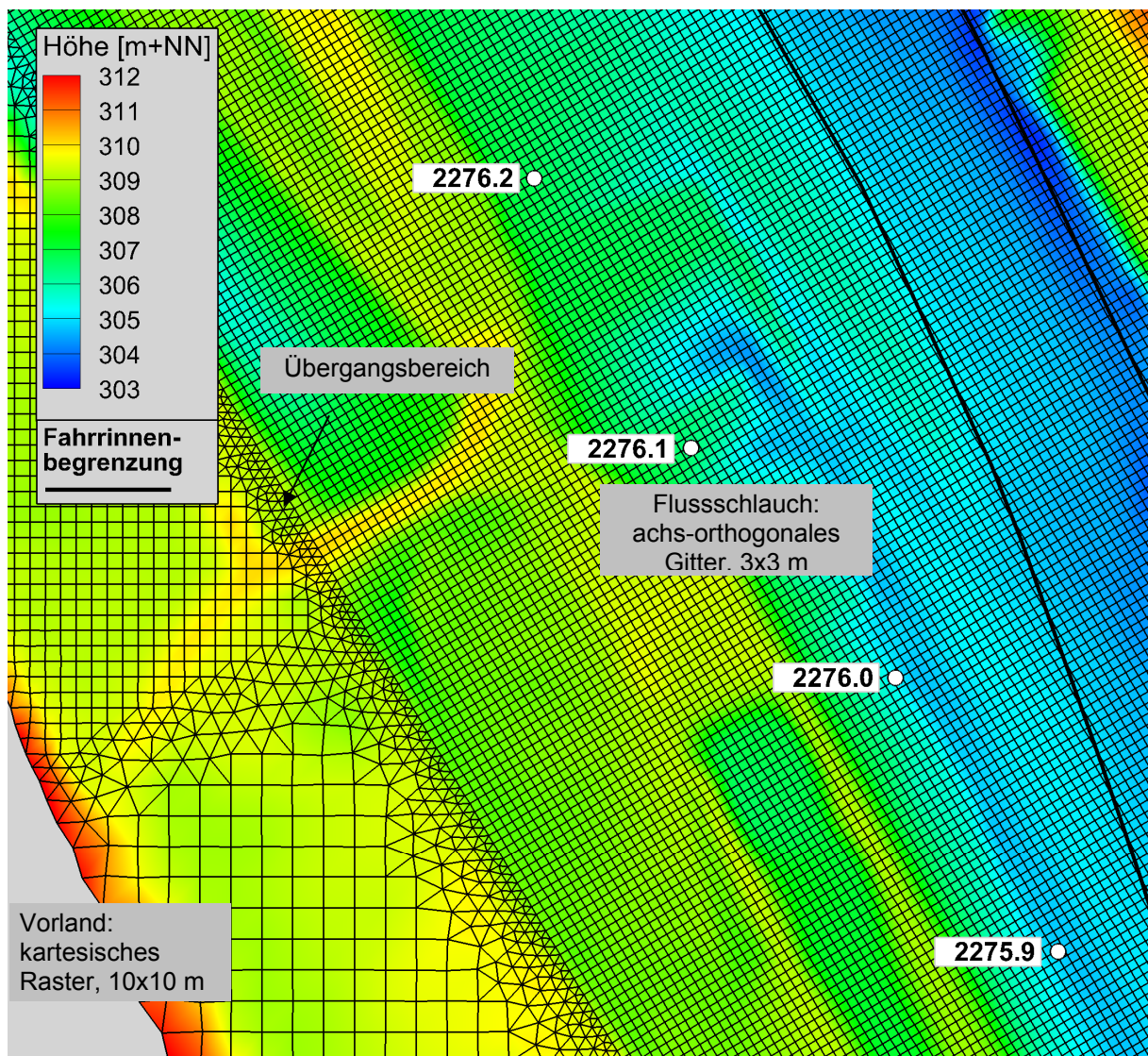


Bild 2: Gitterbereiche des Rechenmodells mit unterschiedlicher Diskretisierung

Die Höheninformationen des digitalen Geländemodells (DGM) wurden linear auf das Rechengitter interpoliert. Die Höheninformationen der Rechengitter liegen bei dem hier verwendeten hydronumerischen Verfahren UnTRIM (Casulli, V., Zanolli, P. (2002)) auf der Kantenmitte der Elemente.

Die geplanten Maßnahmen der Variante C/C_{2,80}* sind in Anhang 1 tabellarisch und grafisch zusammengefasst.

3.2.2 Digitales Geländemodell und Topographie

Für die Variante C/C_{2,80}* wurde ein DGM auf der Basis von [U2] erstellt, dessen Höheninformationen auf das Berechnungsgitter interpoliert wurden [B8].

Als Ausgangsdatensatz diente das DGM 2000 [B6], das auf der Befliegung des Vorlandes aus dem Jahr 1997 und der Sohlpeilung aus dem Jahr 2000 basiert. Im Bereich des Flussschlauchs wurde in das DGM die Flächenpeilung der Flusssohle aus dem Jahr 2005 integriert [B7].

Im ersten Schritt wurde aus dem DGM des Kalibrierzustands ein sogenanntes *Grund-DGM* erstellt. Dafür wurden sämtliche Flussbauwerke wie Buhnen und Parallelwerke aus dem Flussschlauch entfernt. Anschließend wurden die in den Varianten gegenüber dem IST-Zustand unveränderten Bauwerke wieder eingefügt. Ziel dieses Arbeitsschritts war eine gleichförmige Gestaltung aller Bauwerke im Geländemodell. Im nächsten Schritt wurden die nach [U2] zusätzlich geplanten Regelungsmaßnahmen der Variante in das neu erstellte DGM eingebaut. Danach die geplanten Sohlsicherungsmaßnahmen in das Geländemodell übernommen [B8].

Im Bereich der Mühlhamer Schleife (Do-km 2273 – Do-km 2266) wurden 2010 Flachwasserpeilungen durchgeführt. Diese wurden nicht in das DGM für die Variante C/C_{2,80}* eingebaut, da sie zum Zeitpunkt der Modellerstellung und Berechnungen noch nicht abgeschlossen waren. Eine ausführliche Dokumentation zur Berücksichtigung der aktuellen Flachwasserpeilungen findet sich in [B10].

3.2.3 Fahrrinne und Herstellsohle

Die Lage der Fahrrinne für Variante C/C_{2,80}* wurde aus den „Vertieften Untersuchungen“ ([B1] – [B2]) übernommen. Die Fahrrinne weicht in der Variante C/C_{2,80}* sowohl in der Tiefe als auch in der Lage in Teilbereichen vom IST-Zustand ab. Zusätzlich vorgesehene Regelungsbauwerke sowie fahrdynamische und sicherheitstechnische Aspekte begründen die Verlegung der Fahrrinne gegenüber dem IST-Zustand. Bild 3 zeigt ein Beispiel einer Fahrrinnenverlegung aufgrund einer in Variante C/C_{2,80}* modifizierten Buhnengruppe am rechten Ufer.

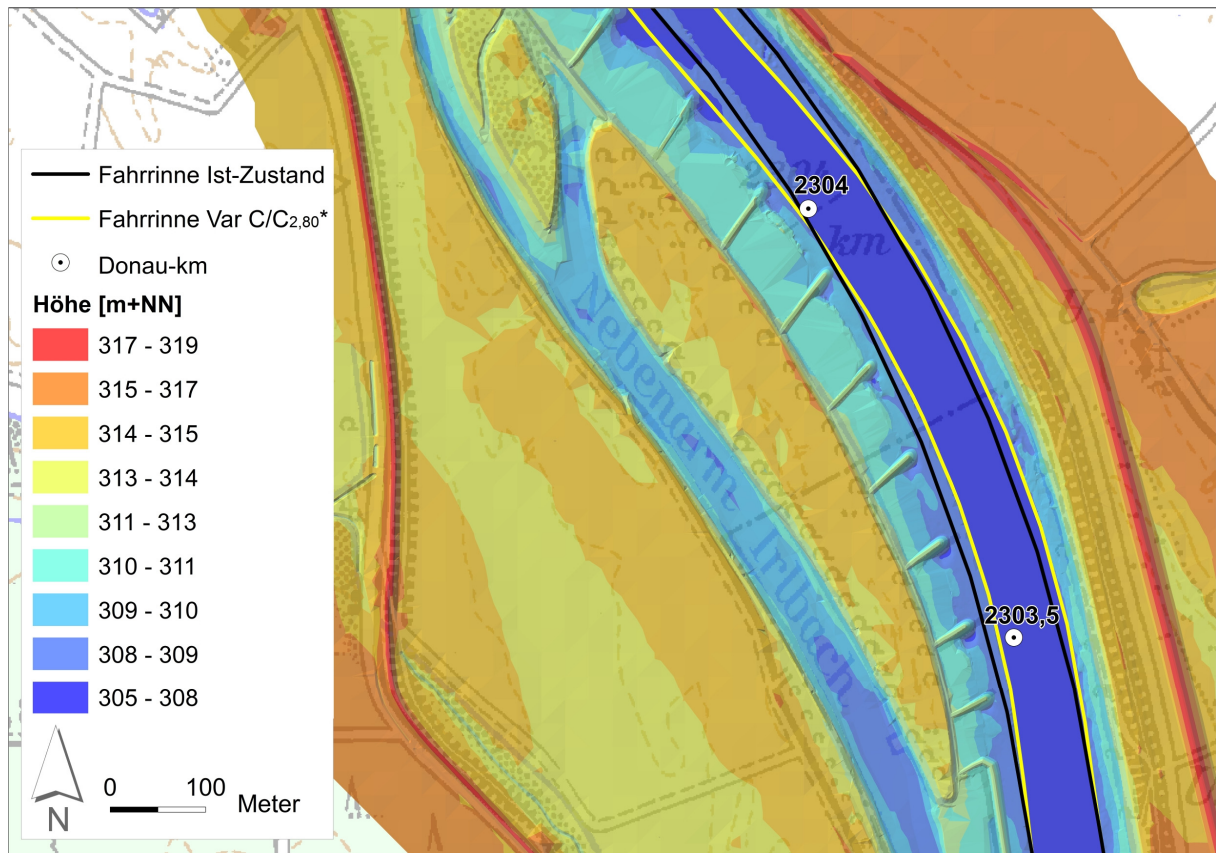


Bild 3: Lage der Fahrinne im IST-Zustand und Variante C/C_{2,80}* bei Do-km 2304

Die Höhenlage der Herstellsohle (Herstellsohle = Fahrinnensohle – 0,15 m (Tiefenreserve + Unebenheit + Baggertoleranz)) wird wie folgt in mehreren Iterationsschritten in Abhängigkeit der Wassertiefe unter dem $RNW_{\text{künftig}}$ berechnet.

Um für die Variante C/C_{2,80}* eine Herstellsohle zu erstellen, die das Wassertiefenkriterium X m unter $RNW_{\text{künftig}}$ in der Fahrinne erfüllt, wird für ein Variantenmodell mit der Sohle aus dem IST-Zustand der Wasserspiegel $RNW_{\text{künftig},0.\text{Iteration}}$ für Q(RNW₉₇) berechnet. Anschließend werden alle Rechengitterkanten, die die vorgegebene Tiefe X m unter Wasserspiegel in der Fahrinne nicht erreichen, auf $RNW_{\text{künftig},0.\text{Iteration}} - X$ m herabgesetzt (wird im Weiteren als „Fräsen“ bezeichnet), und der Wasserspiegel $RNW_{\text{künftig},1.\text{Iteration}}$ erneut berechnet. Diese Iteration wird solange durchgeführt, bis das Wassertiefenkriterium X m unter $RNW_{\text{künftig},n.\text{Iteration}}$ überall in der Fahrinne mit einer Genauigkeit von 5 mm erreicht wird. Die derart gefrästen Flächen weisen eine ebene Oberfläche und somit eine reduzierte Formrauheit auf.

Unter der Annahme, dass kein Kiesfang oberstrom der Felsstrecke besteht und somit in der Felsstrecke eine vollständige Überdeckung mit Kies vorliegt, wurde in Phase 1 der Untersuchungen auf eine Erhöhung des Flottwassers um 0,20 m im Felsbereich verzichtet.

In Phase 1 der Untersuchungen wurde die Variante C/C_{2,80}* auf der gesamten Strecke mit einer Herstelltiefe von 2,55 m, 2,70 m, 2,80 m und 2,90 m unter $RNW_{\text{künftig}}$ in dem oben be-

schriebenen iterativen Verfahren hergestellt. Die resultierenden Wasserspiegellagen für $Q(RNW_{97})$ wurden jeweils als Baggerhorizonte für die Prognosen der Unterhaltsbaggermengen mit dem 2D-Feststofftransport-Modell verwendet [B12].

3.2.4 Buhnen, Parallelwerke und Ufervorschüttungen

Grundlage für den Einbau aller Regelungsbauwerke in das 3D-HN-Modell war die Lage und Höhe der Bauwerke in den Berechnungsmodellen der RMD Wasserstraßen GmbH [U2] und die Planunterlagen aus dem Raumordnungsverfahren [U3]. Die Lage und Höhen der Buhnen und Parallelwerke wurde aus den Berechnungsmodellen der RMD Wasserstraßen GmbH abgegriffen. Die Bauwerke wurden mit den in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellten Bauwerksparametern eingesetzt:

Rückenneigung	1:100
Böschungsneigung nach oberstrom	1:2
Böschungsneigung nach unterstrom	1:3
Kopfneigung	1:4

Tabelle 2: Bauwerksparameter der Buhnen

Böschungsneigung zur Fahrrinne und zum Ufer	1:2,5
Böschungsneigung des Queranschlusses nach oberstrom	1:6

Tabelle 3: Bauwerksparameter der Parallelwerke

Zusätzlich zu den schon im IST-Zustand bestehenden Bauwerken wurden in Variante C/C_{2,80}* insgesamt 68 neue Buhnen und 4 neue Parallelwerke/ Hakenbuhnen eingebaut. Hinzu kommen zahlreiche Veränderungen an den bestehenden Buhnen wie Erhöhung, Verlängerung oder Kopfkolkverfüllungen. Bild 4 zeigt beispielhaft einen Vergleich von eingebauten Buhnen im IST-Zustand und Variante C/C_{2,80}*. Sämtliche Maßnahmen der Variante C/C_{2,80}* sind Anhang 1, Bild 1 zu entnehmen.

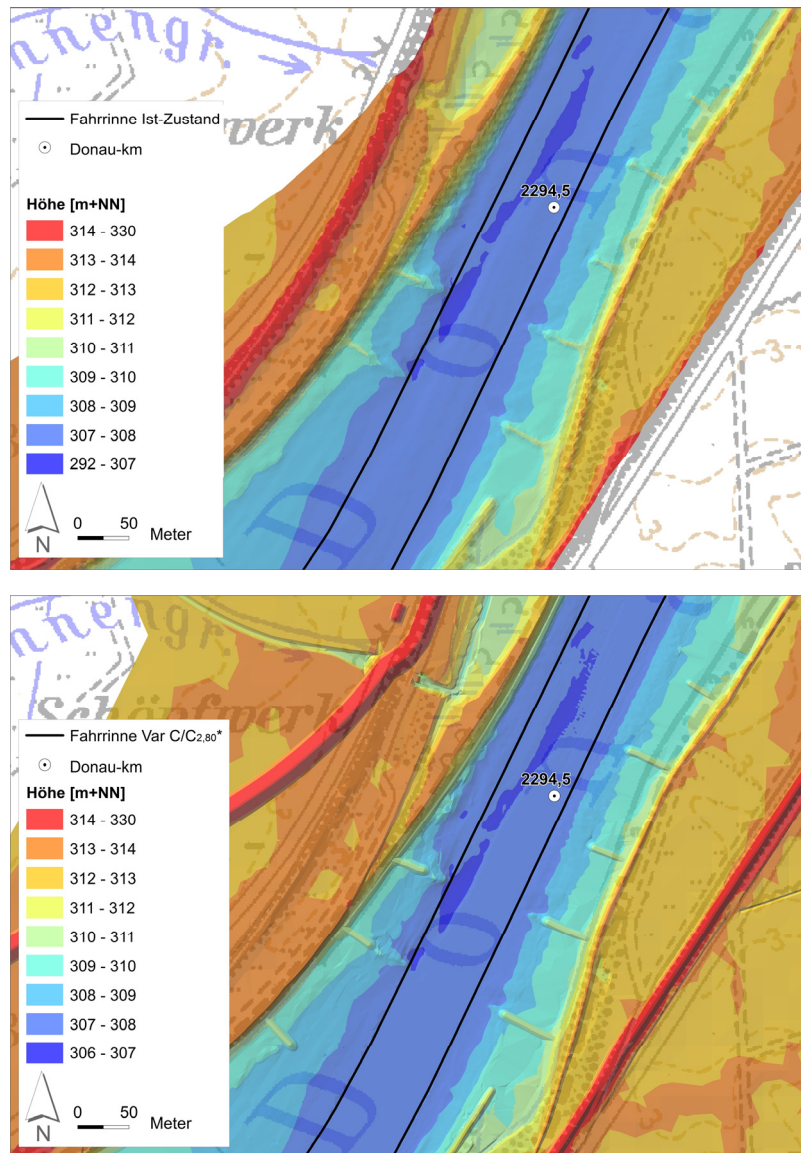


Bild 4: Buhnen IST-Zustand (oben) und Variante C/C_{2,80}* (unten) bei Do-km 2294

Neben dem Einbau von Buhnen und Parallelwerken wurden mehrere Ufervorverlegungen und Parallelwerksvorschüttungen (Bild 5) im DGM realisiert. Die Ausdehnungen dieser Maßnahmen wurden entweder, soweit vorhanden, aus dem RMD-Modell oder direkt den ROV-Plänen [U3] entnommen.

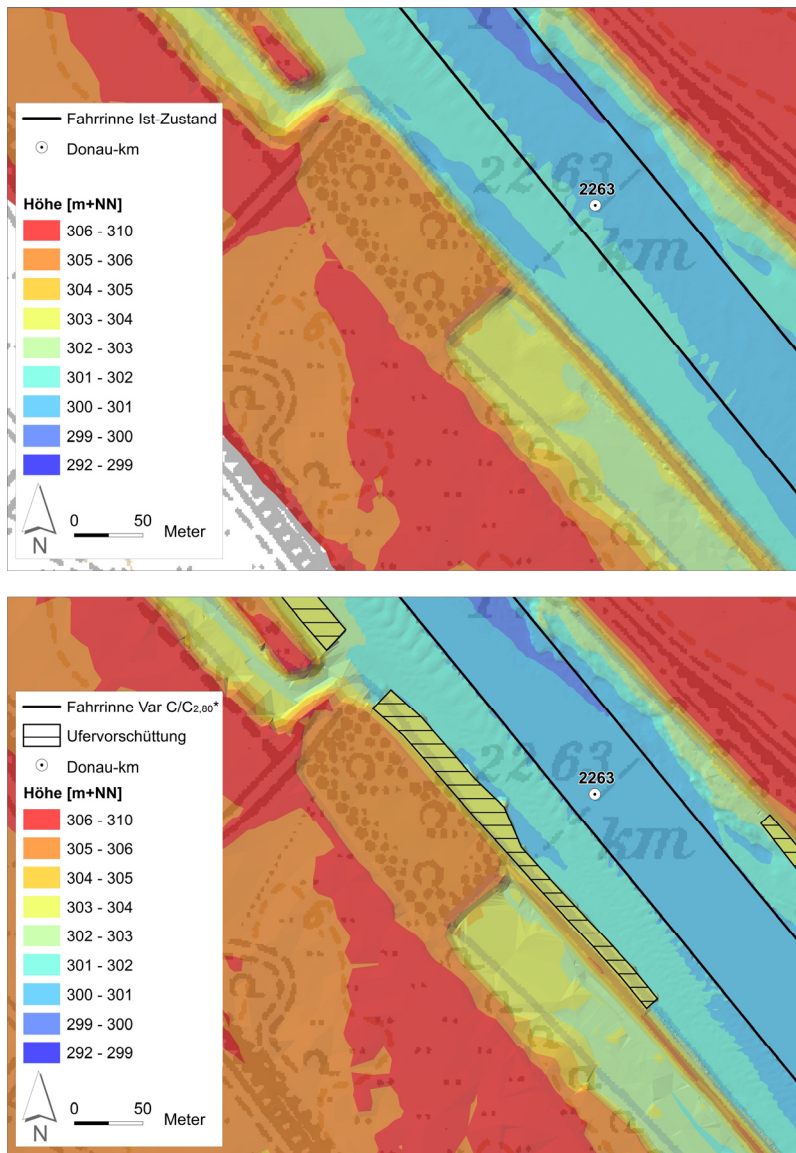


Bild 5: Ufervorverlegung IST-Zustand (oben), Variante C/C_{2,80}* (unten) bei Do-km 2263,0

In der Variante C/C_{2,80}* sind als Teil des Regelungskonzeptes nach ROV weitere lokale Änderungen, wie z.B. eine Absenkung und Kürzung der Fährrampe bei Metten (Do-km 2289,000) vorgesehen (Bild 6).

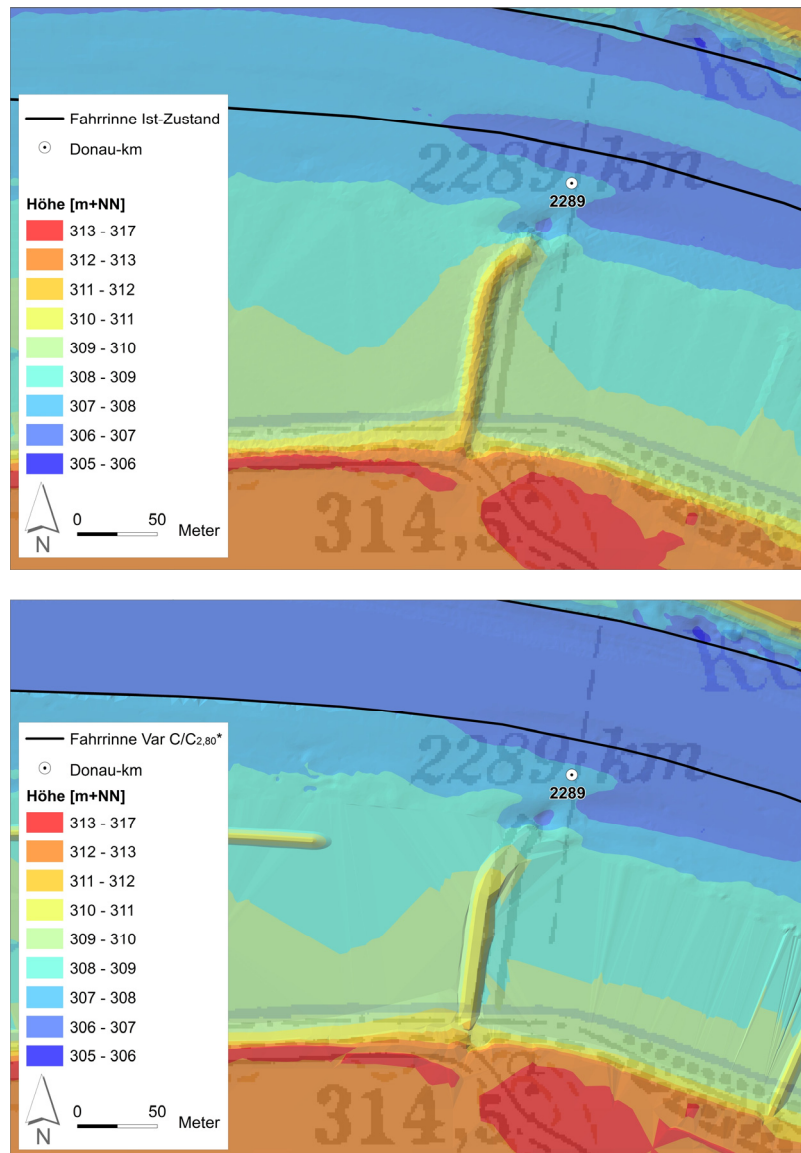


Bild 6: Absenkung der Fährrampe: IST-Zustand (oben), Variante C/C_{2,80}* (unten), Do-km 2289

3.2.5 Kolkverbaue

Weitere vorgesehene Maßnahmen sind die Verfüllungen von Übertiefen und Kolken, durch die zum einen eine zusätzliche Stützung des Wasserspiegels und zum anderen eine Sicherung der Sohle in diesem Bereich erreicht werden soll. Gleichzeitig kann bei der vorgenommenen Querschnittsverengung in Krümmungen davon ausgegangen werden, dass eine morphologische Reaktion erfolgt, welche den Fließquerschnitt am Gleithang (eine aus verkehrswasserbaulicher Sicht geeignete Stelle) wieder vergrößert.

Insbesondere werden auch Sohlbereiche gesichert, bei denen durch Erosionsprozesse der Anschnitt tertiärer Sedimente erfolgen könnte. Diese, in den technischen Planungen als

„Tertiärabdeckung“ bezeichneten Sohlsicherungen werden bautechnisch und damit auch im Modell wie Kolkverbaue behandelt. Der Verbau erfolgt durch Einbringung von deutlich gröberem als das anstehende Material in die Kolke auf ein vorgegebenes Niveau.

Bereiche mit Kolkverbau sind die Endlauer Kurve bei Do-km 2260, die Außenkrümmung bei Do-km 2262, bei Winzer (Do-km 2265), im Bereich der Mühlhamer Schleife (Do-km 2273 – 2266), auf Höhe des Staathaufens bei Do-km 2278, der Abschnitt oberstrom der Isarmündung bis Do-km 2284 sowie im Bereich der Reibersdorfer Kurven (Do-km 2318 – Do-km 2314). Bei Variante C/C_{2,80}* wird im Modell die Flusssohle im Bereich des Kolkes auf eine Solltiefe von RNW₉₇ – 3,60 m angehoben. Bild 7 zeigt beispielhaft den Kolkverbau bei Do-km 2265,00 für die Variante C/C_{2,80}*.

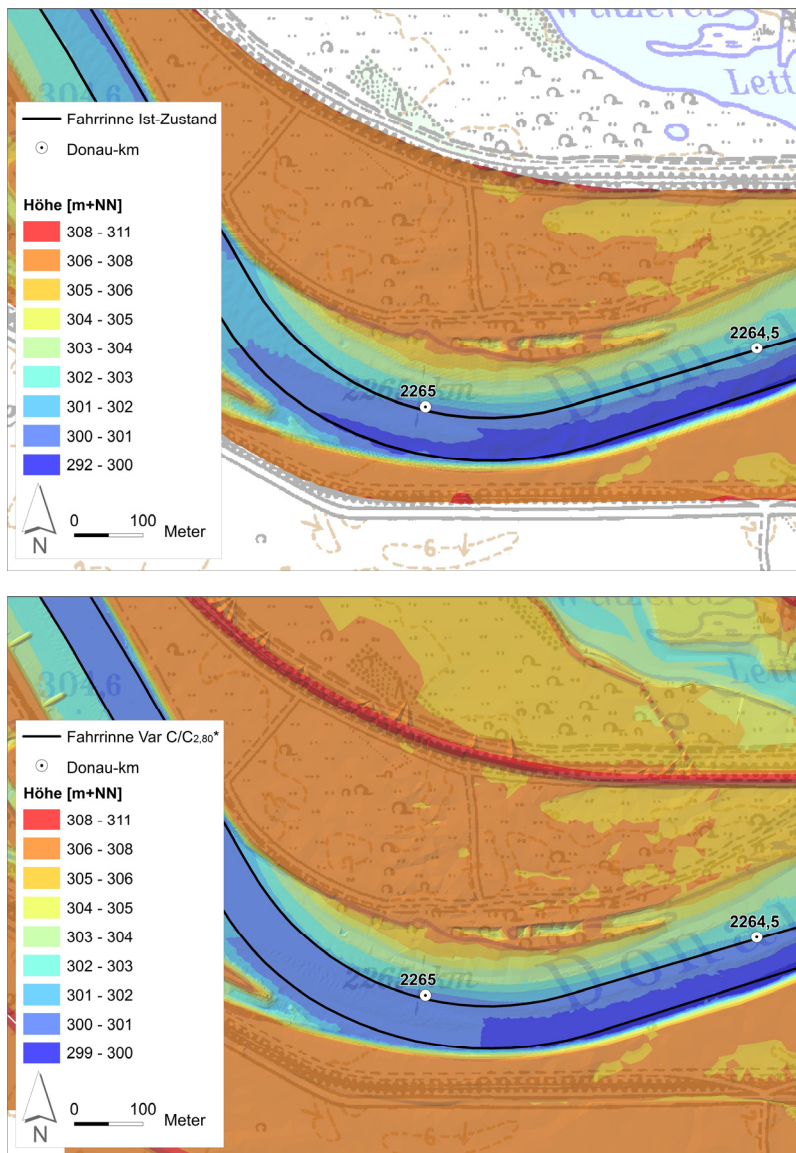


Bild 7: Kolkverbau bei Do-km 2265,00: IST-Zustand (oben), Variante C/C_{2,80}* (unten). Der Hochwasserdeich wurde für Variante C/C_{2,80}* zurückverlegt und mit dem Modellrand gleichgesetzt

3.2.6 Isarmündung und Schüttkegel

Im März 2006 fand eine Fächerpeilung der Isarmündung und eines Abschnitts der Isar bei hoher Wasserführung statt [U4]. Während dieser Peilung wurde auch der uferseitige Teil des Schüttkegels, welcher bei der Gesamtpeilung 2005 nicht mit aufgenommen wurde, erfasst. Die Kalibrierung des Modells wurde mit einem Rechenmodell durchgeführt, in welches die im März 2006 erstellte Sohle im gesamten Peilbereich eingefügt wurde [B9]. In einer Sensitivitätsstudie wurde außerdem die hydraulische Wirkung des Isarschüttkegels bei unterschiedlichen Peilungen und damit variierenden räumlichen Ausdehnungen untersucht [B9].

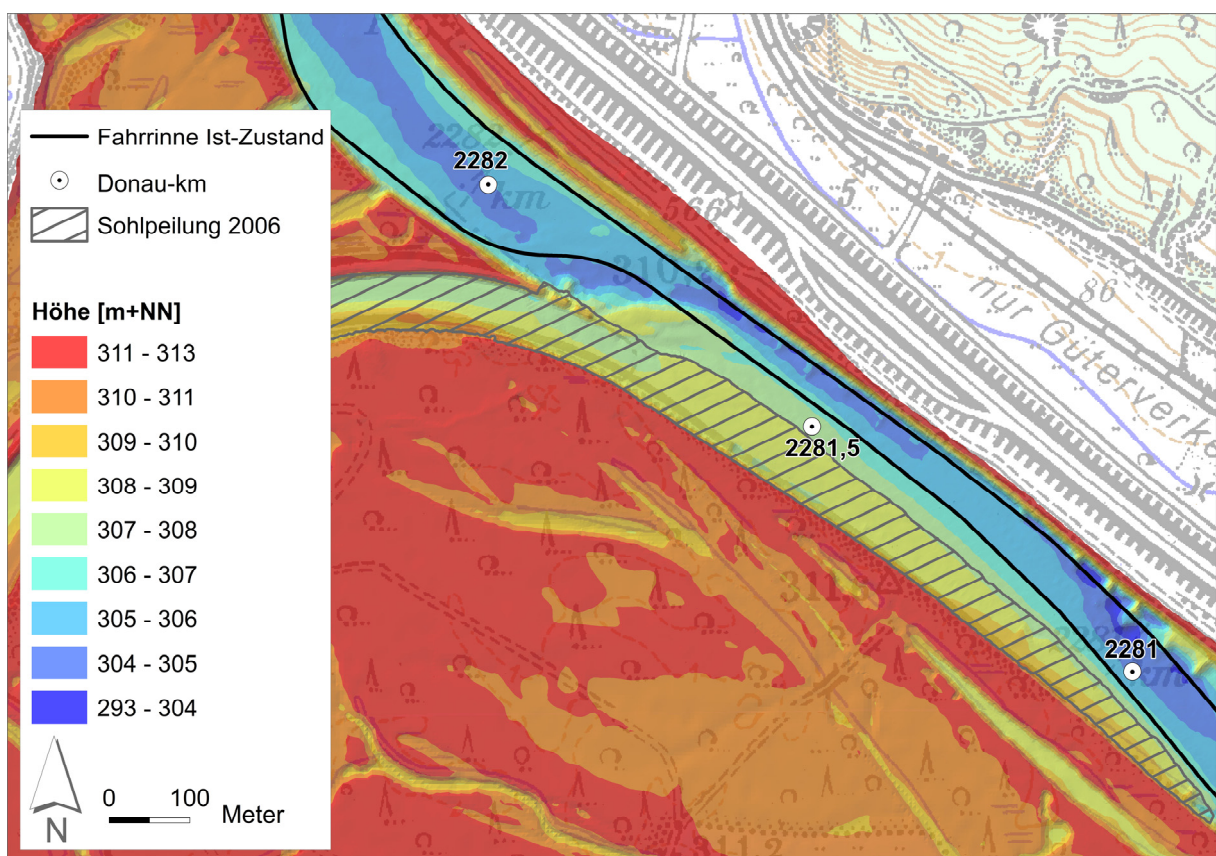


Bild 8: DGM des IST-Zustands im Bereich der Isarmündung, basierend auf Sohlpeilung 2005, Peilung des Schüttkegels vom März 2006 und der Befliegung 1997

Im DGM für die Variante C/C_{2,80}* wurde nach eingehender Prüfung der Peilungen die Sohle der Peilung 2005 im Bereich des Schüttkegels belassen, um in der Donau eine einheitliche Sohle für das gesamte Modellgebiet herzustellen. Dort, wo die Peilung 2005 keine Daten liefern konnte, wurde die Peilung von März 2006 in das Geländemodell übernommen. Bild 8 zeigt den Bereich der Isarmündung. Auf dem Schüttkegel ist der Übergang zwischen Gesamtpeilung 2005 und der Peilung der Isarmündung zu erkennen. Die Sohle auf dem Schüttkegel liegt uferseitig höher als im Bereich der Gesamtpeilung 2005.

3.2.7 Wehr und Schleusenkanal

In Variante C/C_{2,80}* ist neben den flussbaulichen Regelungen ein Wehr mit variablen Wehrfeldern vorgesehen. Dieses ist in der Donau im Bereich Aicha geplant und soll den Wasserspiegel nach oberstrom anheben. Linksseitig ist ein Schleusenkanal mit dazugehöriger Schleuse angeordnet (Bild 9). Geometrie und Lage des Wehres wurden dem Modell der RMD WASSERSTRÄßEN GMBH [U2] entnommen und in das DGM eingebaut. Im Modellbetrieb wird die Höhe der Wehrfelder manuell im Rechengitter geändert. Dabei muss darauf geachtet werden, dass das geforderte Stauziel von 309,00 m+NN bei Do-km 2273,10 mit der Berechnung erreicht wird. Somit muss die endgültige Wehrstellung für jeden Abfluss neu iteriert werden.

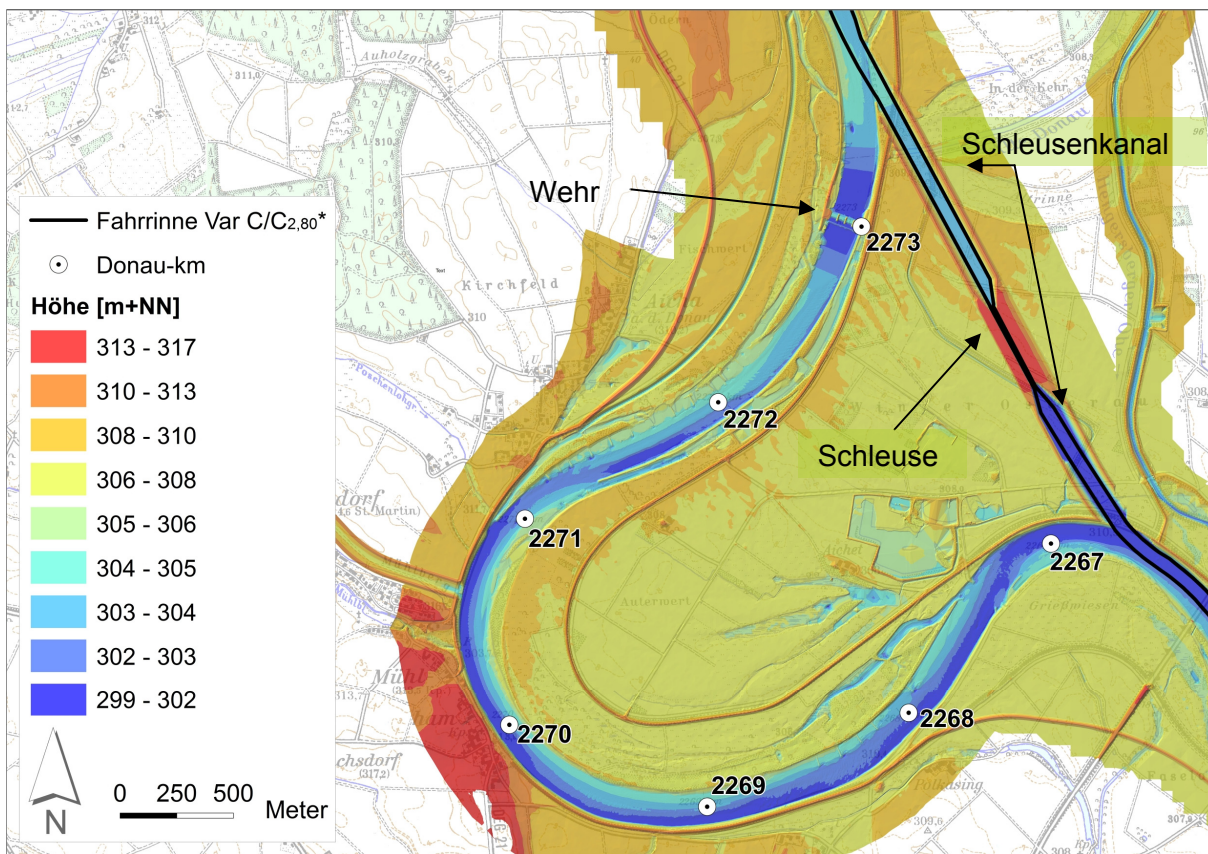


Bild 9: Geplante Änderungen im Stufenbereich in Variante C/C_{2,80}*

Im Verlauf der Rechnungen zeigte sich, dass das Iterieren des exakten Stauziels einen erheblichen Aufwand verursacht. Für die flussbaulichen Optimierungen spielt das exakte Erreichen des Stauziels im Modell SV2 eine untergeordnete Rolle. So wurde für das durchgehende Modell für Q(RNW₉₇) und Q(MW) bis auf 5 cm unter Stauziel heran iteriert. Dienen die berechneten Wasserspiegel als Randbedingung für ein Grundwassermodell oder abiotische Untersuchungen im Untersuchungsgebiet, muss das Stauziel jedoch exakt erreicht werden. Dafür wird das Vorgehen beim Modellieren leicht verändert: Das Teilmodell SV2 wird auf

dem Wehr bei Do-km 2273,00¹ getrennt und in einer separaten Rechnung das Stauziel als untere Randbedingung in das nun entstehende Modell eingearbeitet. Die untere Randbedingung wird für Fluss und Vorland getrennt gesetzt. Damit kann die Aufteilung des Strömungsfeldes abgebildet werden. Das Vorland wird jenseits der Uferaufhöhung mit dem Wasserstand aus den Berechnungen für den jeweiligen Abfluss für den IST-Zustand als Randbedingung belegt. Dieses Teilmodell wird für alle berechneten Abflüsse unter Q(HNN) verwendet.

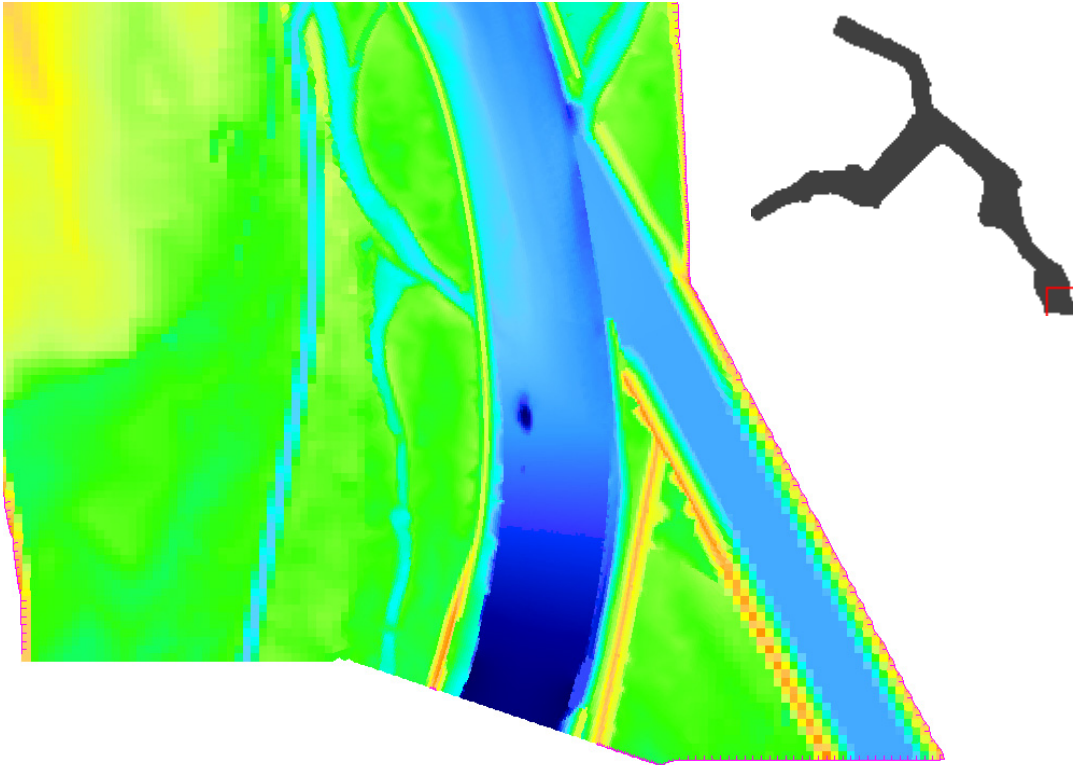


Bild 10: Unterer Modellrand C/C_{2,80}*

Eine Ausnahme bildet Q(HNN). Bei diesem Abfluss ist das Vorgehen nicht notwendig, da das Stauziel auch bei vollständiger Legung aller Wehrfelder überschritten wird.

¹ Wehr wurde im Verlauf des Projektes um 100 m nach oberstrom verlegt

3.2.8 Verschiedene Gelände- und Flussbauelemente

Da die Daten für das Vorland aus dem Jahr 1997 stammen, wurden im Bereich des Vorlandes folgende Änderungen vorgenommen und somit der Datensatz einem aktuelleren Zustand angepasst:

- a. Deichrückverlegungen gemäß ROV (Bild 7): Es wurden die Planungen zu Deichrückverlegungen aus den Planungen nach ROV umgesetzt.
- b. Absenkung der Fährzufahrt bei Thundorf [U9]
- c. Zwei Uferrehnenabsenkungen an der Isar (Bild 11): Die baulichen Veränderungen im Bereich der Isarmündung wurden als vorbereitende Maßnahmen zum Hochwasserschutzkonzept bereits im Jahre 2009 umgesetzt und entsprechend auch in die Modelle eingepflegt .
- d. Einbau Peilung 2005 Isar [U5]
- e. Isarmündungsbereich und Staatshaufen (Bild 2 und Bild 12):
 - neue Vermessungen des Altwassersystems [U6]
 - Verfeinerung des Berechnungsgitters im Bereich Isarmündung/ Staatshaufen
- f. Anschluss Nebengewässer
 - Hengersberger Ohe
 - Herzogbach
 - Kinsach
 - Schwarzach
- g. Absenkung der Kreisstraße bei Isarmünd: Die baulichen Veränderungen wurden als vorbereitende Maßnahmen zum Hochwasserschutzkonzept bereits im Jahre 2009 umgesetzt und entsprechend in die Modelle eingepflegt.
- h. Einbau der Bühne bei Do-km 2267,40, rechts. Die Bühne wurde erst im Jahre 2007 fertig gestellt und war entsprechend in den verwendeten Unterlagen nicht vorhanden.

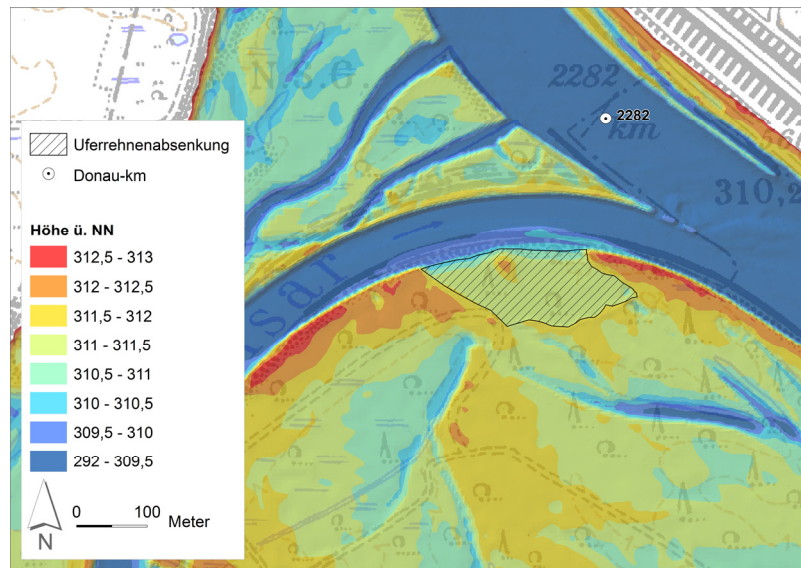


Bild 11: Bereich der Uferrehnenabsenkung zwischen Isar-km 0,20 – 0,50

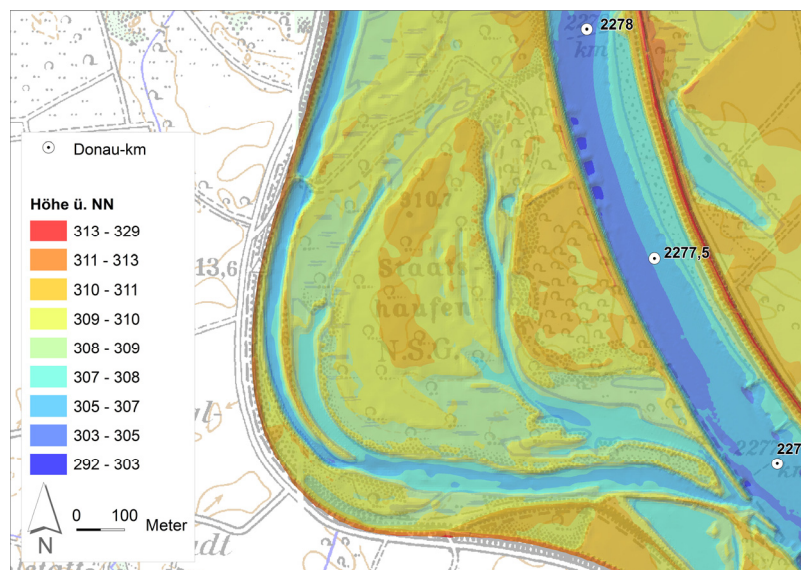


Bild 12: Stark strukturiertes Donauvorland zwischen Isarmündung und Mühlhamer Schleife, NSG Staatshaufen (Do-km 2278 – Do-km 2277)

3.3 Rauheiten

Das für die Berechnungen verwendete Rauheitsmodell entspricht dem der Kalibrierung [B9]. Auf eine Erhöhung der Rauheitsbeiwerte aufgrund der Verringerung der Formrauheit in Bereichen, die für die Herstellung der Sohle gefräste Flächen aufweisen (siehe Kapitel 3.2.3), wurde in der Phase 1 der Untersuchungen verzichtet.

Auf eine Berücksichtigung von Änderungen des Rauheitsbeiwertes aufgrund des Einbringens von Wasserbausteinen im Kolkverbau wurde im Sinne einer für die Schifffahrt relevanten Abschätzung hin zu kleineren Wassertiefen verzichtet.

3.4 Randbedingungen

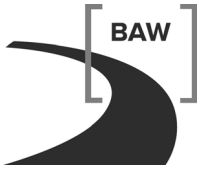
Die Randbedingungen für die Teilmodelle SV1 – SV4 [B9] werden folgendermaßen bestimmt: Durchfluss und Wasserstand am Auslauf des unterstromigsten Teilmodells SV1 wurden von der RMD Wasserstraßen GmbH als W-Q-Beziehung zur Verfügung gestellt. An die Teilmodelle SV2 – SV4 wurde der Wasserstand vom jeweils unterstrom gerechneten Teilmodell an definierten Stellen übergeben. Für alle Abflüsse < Q(HNN) wurde bei SV2 mit einem kürzeren Modell SV2' (Do-km 2287,20 – Do-km 2273,00) noch einmal gerechnet und dabei dieses Mal das Stauziel von 309,0 m+NN als untere Randbedingung für den Fluss-schlauch eingesetzt. Das Vorland wird bei SV2' jenseits der Uferaufhöhungen mit dem Wasserstand aus den Berechnungen für den jeweiligen Abfluss für den IST-Zustand als Randbedingung belegt. Bei Q(HNN) ist dieses Vorgehen nicht notwendig, da auch bei vollständiger Legung aller Wehrfelder das Stauziel überschritten wird.

	Q oberstrom Isar	Q Isar	Q unterstrom Isar	W(SV1)	W(SV2') (Stauziel)	W(SV3) (aus SV2 übergeben)	W(SV4) (aus SV3 übergeben)
Bezeichnung	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m+NN]	[m+NN]	[m+NN]	[m+NN]
NQ03	168	97	265	300,000	309,00	309,550	310,567
Q(RNW₉₇)	211	113	324	300,100	309,00	309,550	310,889
SLNG	251	107	358	300,150	309,00	309,643	311,149
WA	410	130	540	300,400	309,00	310,109	312,018
Q(MW)	463	179	642	300,600	309,00	310,346	312,259
HA	750	260	1010	301,100	309,00	311,152	313,240
Q(HNN)	1375	390	1765	302,200	307,280¹	312,414	314,812
¹ : Aus SV1 übergeben, Auslauftrand gegenüber den Teilmodellen SV2' 7,3 km weiter unterstrom							

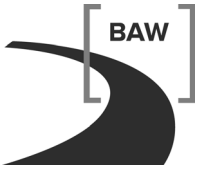
Tabelle 4: Randbedingungen für die Teilmodelle SV1 – SV4 für die Variante C/C_{2,80}*

Tabelle 4 können die eingesetzten Randbedingungen für den Abfluss Q am oberstromigen und den Wasserstand W am unterstromigen Modellrand entnommen werden.

Die Berechnungen für die Abflusszustände mit Kürzel NQ03 (MNQ₂₀₀₃), SLNG (biotischer Bezugswasserstand „Schlammling“), WA (biotischer Bezugswasserstand „Weichholzaue“) und HA (biotischer Bezugswasserstand „Hartholzaue“) werden von den an der EU-Studie beteiligten und für die Untersuchung ökologischer Fragenstellungen beauftragten Umwelt-



planern genutzt. Die Abflusszustände wurden durch die am Verfahren beteiligten Naturschutzfachbehörden festgelegt. Die Festlegung der zu simulierenden Abflussmengen erfolgte durch die RMD Wasserstraßen GmbH.



4 Ergebnisse der Variante C/C_{2,80}*

4.1 Allgemeines

Vorgehensweise

In Kapitel 4 werden die Berechnungsergebnisse der Variante C/C_{2,80}* dargestellt. Nach Analyse aller bis zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Untersuchungsergebnisse und in Abstimmung mit dem Auftraggeber und der WSD Süd wurde die Variante C/C_{2,80}* mit einer Herstelltiefe von 2,80 m unter RNW_{künftig} für die Weiterentwicklung des Regelungssystems herangezogen. Sämtliche Berechnungen für Abflüsse größer Q(RNW₉₇) wurden ausschließlich mit dieser Variante durchgeführt und entsprechend dargestellt.

Zunächst wird die Bearbeitung der Ergebnisse beschrieben und anschließend werden die einzelnen hydraulischen Größen Wasserspiegel, Wassertiefe, durchströmte Breite, Fließquerschnitt, Fließgeschwindigkeiten sowie Herstellflächen und –volumina diskutiert (Kapitel 4.2 – 4.6). Kapitel 4.7 liefert die wichtigsten Ergebnisse in einer Zusammenfassung.

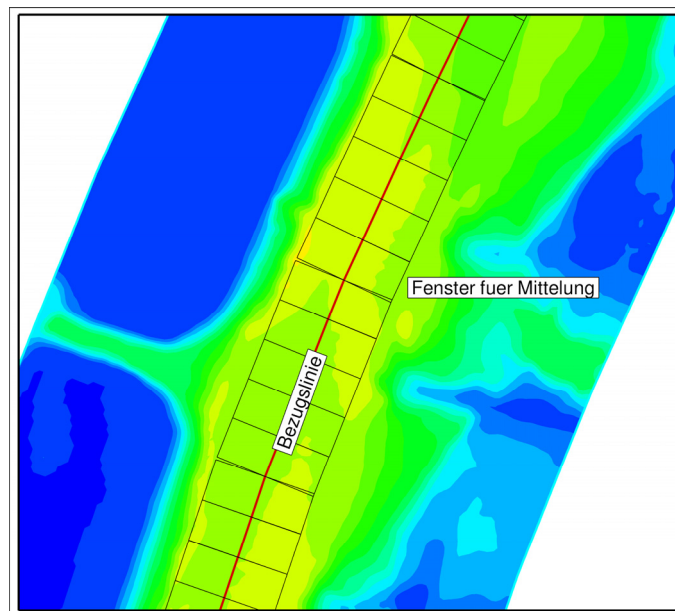


Bild 13: Prinzipdarstellung zur Berechnung der räumlichen Mittelwerte

Die berechneten hydraulischen Größen sind zur besseren Übersicht in Längsschnitten zusammengefasst und über die gesamte Strecke dargestellt. Die Wasserspiegel-Längsschnitte basieren auf Interpolation auf Linien. Die Längsschnitte für Geschwindigkeiten und Wasser-

tiefen werden über eine Mittelung auf einer definierten Breite in Schrittlängen von 25 m erstellt. Bild 13 zeigt in einer schematischen Darstellung, mit welcher räumlichen Diskretisierung diese Mittelwerte in einem automatisierten Verfahren berechnet werden. Dabei kann die seitliche Begrenzung durch die Fahrrinne oder durch eine andere seitliche Begrenzung (z.B. 0,5 m/s-Isotache, durchströmte Breite) definiert werden. Weiterhin wird die durchströmte Breite selbst, ebenso wie die Abflussfläche unter dieser Breite, ausgewertet. Alle diese Werte sind, auf die Kilometrierung der Donau bezogen, in Liniengrafiken dargestellt. Die Topographie unter dem Wasserspiegel ist durch den Verlauf der mittleren Wassertiefe indirekt abgebildet. Die Gesamtdarstellung aller Liniengrafiken findet sich in Anhang 4, Bild 1 bis Bild 3.

4.2 Wasserspiegel

Die Wasserspiegellage für Variante C/C_{2,80}* für Q(RNW₉₇) ist Bild 14 ebenso zu entnehmen wie die Wasserspiegeldifferenz zum IST-Zustand (blaue Linie). Die sich aus dem morphologischen Nachlauf [B11] ergebenden Wasserspiegeldifferenzen (rote Linie) wurden dem berechneten Wasserspiegel überlagert. Der morphologische Nachlauf wurde auf Grundlage eines 1D-Feststofftransportmodells für die Gesamtstrecke berechnet [B11]. Die schwarze Linie stellt die Gesamtänderung des Wasserspiegels dar.

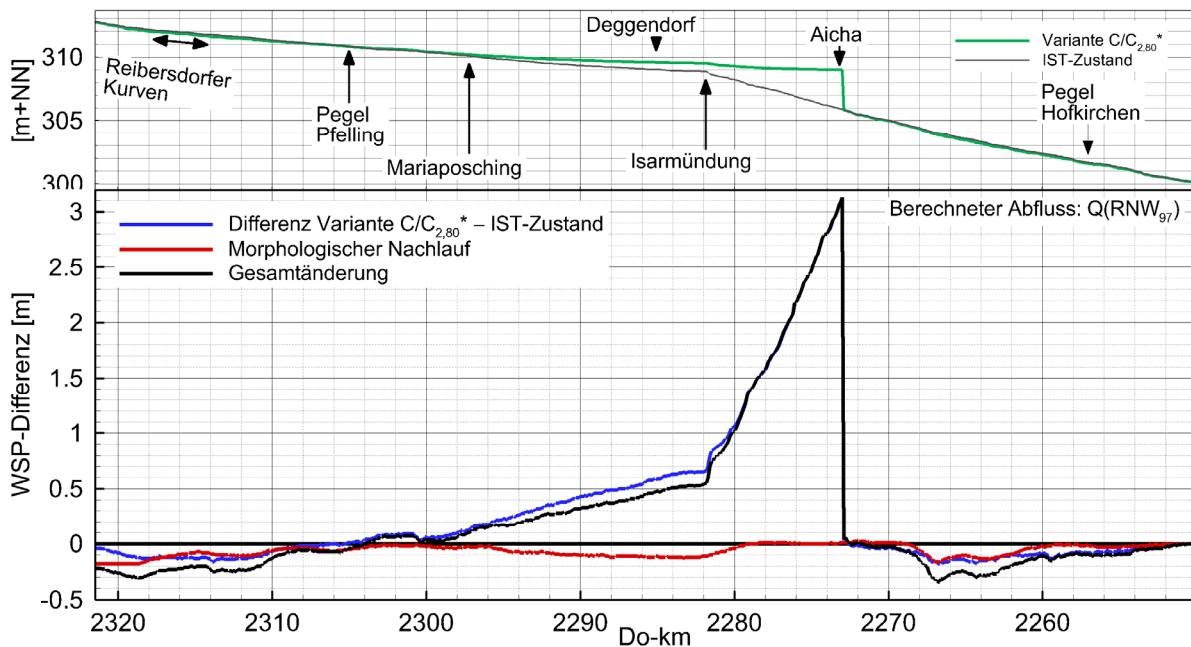


Bild 14: Wasserspiegellagen und -differenzen Variante C/C_{2,80}* – IST-Zustand bei Q(RNW₉₇)

Dominiert wird bei der Variante C/C_{2,80}* die Wasserspiegelanhebung durch den Stau. Für Q(RNW₉₇) beträgt diese 3,10 m. Deutlich bildet sich der Gefällewechsel an der Isarmündung im IST-Zustand in der Differenzlinie ab. Die Summe der resultierenden Wasserspiegelän-

derungen bestehend aus der Wasserspiegeldifferenz aus dem Herstellzustand und der Prognose für den morphologischen Nachlauf liegt für $RNW_{\text{künftig}}$ größtenteils in einem Wertebereich von -0,10 m – 0,20 m. Im Bereich zwischen Do-km 2279 und Do-km 2269 liegen die prognostizierten Wasserspiegeländerungen aus dem morphologischen Nachlauf bei ungefähr 0 m (siehe Bild 14). Gleiches gilt für die Abschnitte Do-km 2262 – Do-km 2250 und Do-km 2309 – Do-km 2296. Unterstrom der Mühlhamer Schleife (Do-km 2267) und oberstrom der Isarmündung bis Do-km 2296 wird ein Wasserspiegelabsenk von bis zu 0,16 m prognostiziert. Dies sind Streckenabschnitte, die schon bei der Herstellung einen Wasserspiegelabfall aufwiesen. Beide addieren sich zu einem Absenk von bis zu 0,30 m sowohl im Bereich der Reibersdorfer Kurven als auch im Bereich zwischen Do-km 2267 und Do-km 2260.

Auch die Wasserspiegeländerung für Q(MW) (Bild 15) wird dominiert durch den Stau bei Aicha. Die Anhebung beträgt dort 2,03 m. Unterhalb der Mühlhamer Schleife kommt es zu einem Gesamt-Wasserspiegelabsenk der bei Q(MW) bis zu 0,24 m (Do-km 2266,80) beträgt. Der Wasserspiegelverfall in den Reibersdorfer Kurven beträgt maximal 0,17 m.

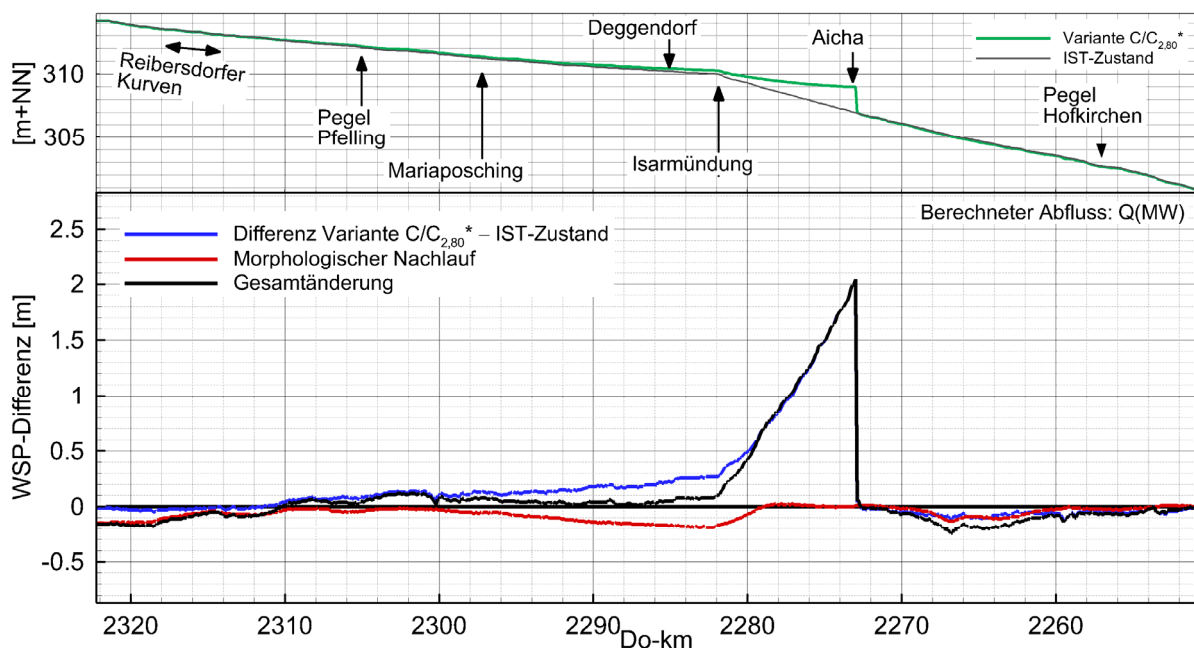


Bild 15: Wasserspiegellagen und -differenzen Variante C/C_{2,80}* – IST-Zustand bei Q(MW)

Die Wasserspiegellagen für Variante C/C_{2,80}* für Q(HNN) (Bild 16) weichen von denen des IST-Zustands im Herstellzustand in der Strecke oberstrom Do-km 2300 ab. Dort kommt es zu einem Wasserspiegelanstieg, wahrscheinlich aufgrund der verschärften Regelung (Flächenverbau) und der damit erhöhten Formrauheit durch Bühnen. Direkt am Wehr (Do-km 2273) kann ein lokaler Wasserspiegelanstieg beobachtet werden. Der eingengte Querschnitt am Wehr aufgrund der Wehrgeometrie führt auch bei vollständig gelegtem Wehr zu einem lokalen Stau effekt (Länge ≈500 m). Auch die starke Querschnittseinengung bei Do-

km 2259,40 durch Kolkverbau, verjüngende Uferabstände und Parallelwerk mit ausgeprägtem Queranschluss direkt im Anschluss an den Kolkverbau führen zu lokalen Effekten. Die Gesamtwasserspiegeländerung kombiniert aus der Änderung durch die Herstellung und dem morphologischen Nachlauf führt auf der Gesamtstrecke zu Änderungen im Bereich von $\pm 0,10$ m. Lediglich im Abschnitt zwischen Do-km 2294 und Do-km 2280 werden Änderungen von bis zu $-0,27$ m prognostiziert.

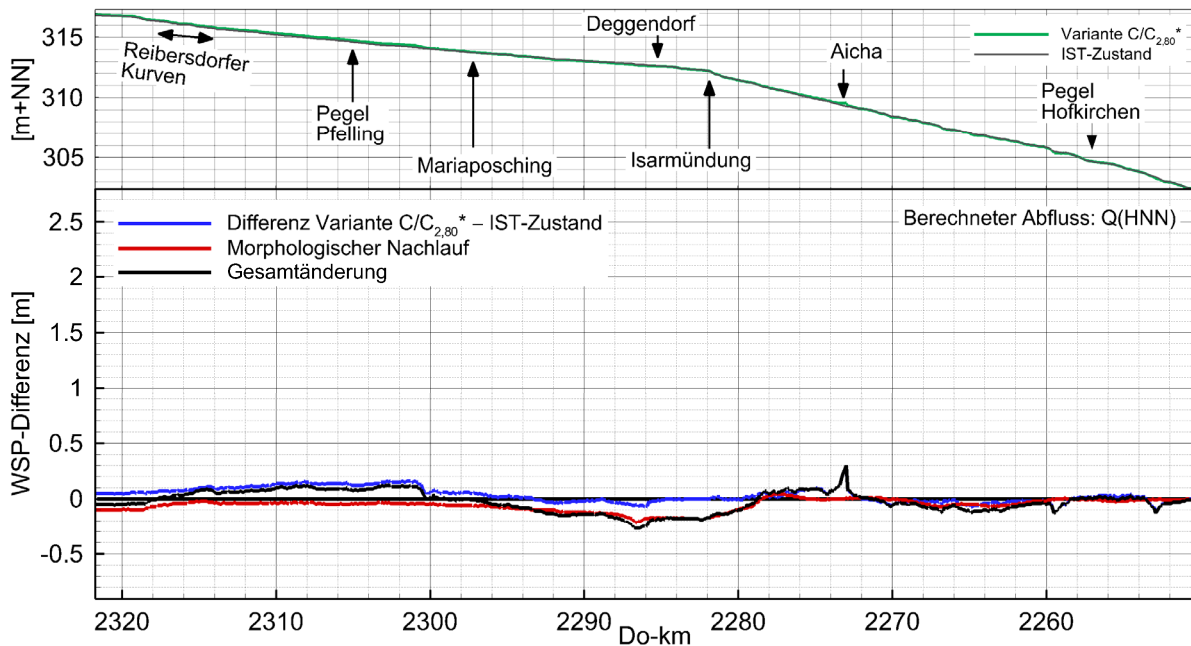


Bild 16: Wasserspiegellagen und -differenzen Variante C/C_{2,80}* – IST-Zustand bei Q(HNN)

4.3 Wassertiefe

Für die Variante C/C_{2,80}* wurde für Q(RNW₉₇) eine Mindestwassertiefe von 2,80 m hergestellt. Bild 17 zeigt die mittlere Wassertiefe in der Fahrrinne bei den Abflüssen Q(RNW₉₇) und Q(MW). Im Bereich des Schleusenkanals (Do-km 2273 – Do-km 2266) werden keine Daten ausgewertet. Die angestrebte Wassertiefe konnte für Q(RNW₉₇) für die Variante erreicht werden. Günstig wirkt sich für diesen Abfluss die Stauwurzel der Staustufe Kachlet aus, die bei Q(RNW₉₇) bis in die Modellstrecke hineinreicht.

Bei Q(MW) nimmt die Wassertiefe von Straubing bis Deggendorf (Do-km 2285) kontinuierlich von 4,20 m auf 3,68 m ab. Im Staubereich kommt es zu einer Zunahme der Wassertiefe hin zum Wehr auf 5,17 m. Unterstrom des Wehrs nimmt die Wassertiefe zum Ende der Untersuchungsstrecke hin von 3,96 m auf 3,60 m (3,40 m bei Do-km 2251) kontinuierlich ab.

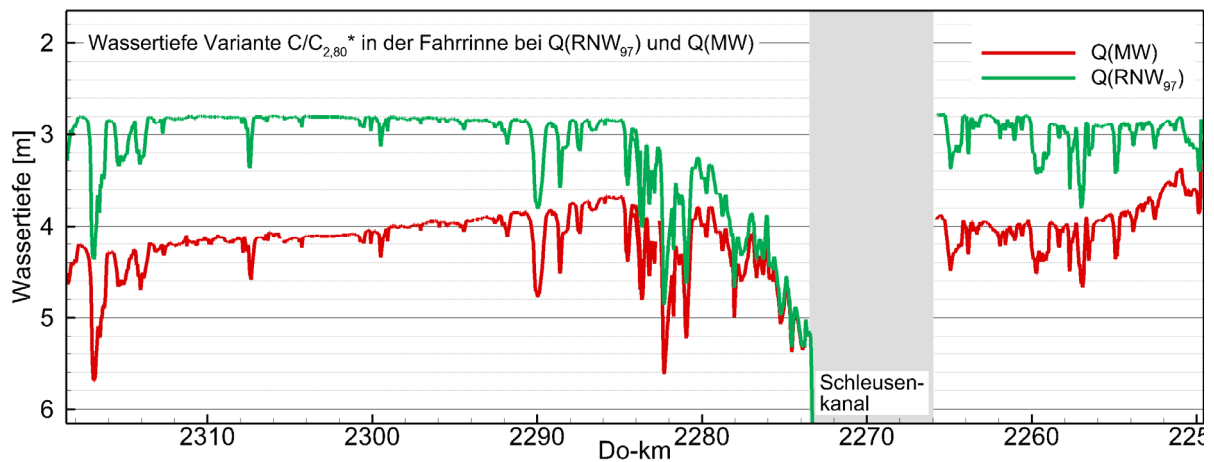


Bild 17: Mittlere Wassertiefen in der Fahrrinne für Variante C/C_{2,80}*

Eine solche Abnahme der Wassertiefe für Q(MW) in Richtung des Staus hängt mit dem Unterhaltungswasserspiegel und den unterschiedlichen Wasserspiegelgefällen im Bereich der Stauwurzel zusammen. Diese Abnahme kann durch zusätzliche Unterhaltung auf MW auf den betroffenen Streckenabschnitten ausgeglichen werden.

4.4 Durchströmte Breiten und Abflussquerschnitte

Die durchströmte Breite (DB) wird definiert als der Abstand der 0,5 m/s-Isotachen zu beiden Seiten. Die Erfahrung hat gezeigt, dass dieser Wert ähnlich einer Streichlinienbreite für einen Abflusszustand ist und somit als Überprüfungs-kriterium eines Regelungssystems dienen kann. In Verbindung mit dem Abflussquerschnitt und der mittleren Wassertiefe dargestellt, liefert die durchströmte Breite eine zusätzliche Information über das hydraulische Gesamtsystem. Die 0,5 m/s-Isotache wird aus den tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten extrahiert. Anschließend wird der Abstand zwischen linker und rechter Linie (Isotachen) berechnet. In der Wendestelle bei Do-km 2285 sinken bei Q(RNW₉₇) die Fließgeschwindigkeiten für Variante C/C_{2,80}* unter 0,5 m/s ab. Das hat zur Folge, dass das verwendete Verfahren zur Ermittlung der durchströmten Breite keine sinnvollen Werte liefert und deswegen die Werte in der Grafik (Anhang 4, Bild 1) nicht dargestellt wurden.

Bei dem hier betriebenen Modell handelt es sich um ein Modell mit fester Sohle. Morphologische Sohlreaktionen aufgrund von Querschnittsänderungen werden nicht berücksichtigt. Es muss daher bei der Interpretation der Werte bedacht werden, dass sich eine solche Reaktion einstellt, d.h. dort wo ein Querschnitt stark verbaut und die Sohle nicht befestigt wird, ist damit zu rechnen, dass sich die Querschnittsflächen wieder denen des IST-Zustands angleichen, was durch Eintiefung oder seitlichen Abtrag geschehen kann.

Anhang 4, Bild 1 zeigt, dass die durchströmte Breite für die untersuchte Variante in den überwiegenden Streckenabschnitten unter der des IST-Zustands liegt. In den Abschnitten

Do-km 2318 – Do-km 2314 und Do-km 2265 – Do-km 2260,5 sind die durchströmten Breiten quasi gleich. Im Abschnitt Do-km 2314 – Do-km 2282 ist die durchströmte Breite gegenüber dem IST-Zustand verringert. Die Ursache hierfür liegt in der gegenüber dem IST-Zustand verschärften Regelung der Variante C/C_{2,80}*. Im Staubereich kommt es lokal zu Aufweitungen. Grund hierfür ist der höhere Wasserstand und die damit verbundene, durch die lokale Geometrie in den Flachwasserbereichen begründete veränderte Durchströmung. Auch unterstrom Do-km 2265 kommt es durch Regelung zu einer Vergleichmäßigung der Größe „durchströmte Beite“. Lokale Aufweitungen (z.B. Do-km 2260,3) wurden eliminiert, also Regelungslücken geschlossen.

Die Abflussflächen liegen für Q(RNW₉₇) bis zur Isarmündung im Wertebereich zwischen 200 m² und 300 m² und weisen kaum Schwankungen auf (Anhang 4, Bild 1). Zwischen Do-km 2300 – Do-km 2292 sind die Querschnitte gegenüber dem IST-Zustand leicht erhöht. Die Begründung hierfür kann in den größeren Wassertiefen und höheren Wasserspiegeln liegen. Im Staubereich kommt es naturgemäß zu einer starken Erhöhung der Abflussquerschnitte in Richtung Wehr. Ab Do-km 2266 nimmt die Abflussfläche wie beim IST-Zustand zum Auslauf hin stetig zu. Dort, wo Kolke verbaut wurden, unterscheiden sich die Querschnitte deutlich von denen des IST-Zustands, (z.B. Do-km 2259,50, Endlauer Kurve).

Bei Q(MW) ist die Verringerung der durchströmten Breite gegenüber dem IST-Zustand ebenso erkennbar (Anhang 4, Bild 2). Zwischen Do-km 2300,5 und Do-km 2288,5 zeigt die durchströmte Breite bei Q(MW) im IST-Zustand lokale deutliche Erhöhungen. In der Variante C/C_{2,80}* wird die durchströmte Breite an diesen Stellen in einem gewissen Maße vergleichmäßig,

Die ermittelten Abflussflächen für Q(MW) sind, von lokalen Ausnahmen (Bsp. Do-km 2300,5, Schließen einer Regelungslücke) abgesehen, oberstrom der Isarmündung auf fast der gesamten Strecke gegenüber dem IST-Zustand leicht erhöht (Anhang 4, Bild 2). Grund hierfür kann die Herstelltiefe für C/C_{2,80}* in Zusammenhang mit dem erhöhten Wasserspiegel sein, welcher trotz eingeschnürter Fließbreite zu einer leichten Erhöhung der Abflussfläche führt. Der Bereich zwischen Isarmündung und dem Wehr weist aufgrund der höheren Wasserspiegel auch entsprechend erhöhte Abflussflächen aus. Kolkverbaue zeigen sich auch in den Berechnungen für Q(MW) durch eine lokale Verringerung der Querschnittsflächen (z.B. Do-km 2259,50, Endlauer Kurve).

Für Q(HNN) wurde keine durchströmte Breite im Sinne der Definition erstellt, da bei diesem hohen Abfluss die 0,5 m/s-Isotache aufgrund der Bauwerksüberströmung deutlich von der „konstruktiven“ Streichlinie abweicht. Stattdessen wurden die Mittelwerte über die Streichlinienbreite ermittelt und sind in Anhang 4, Bild 3 dargestellt.

4.5 Fließgeschwindigkeiten

In Bild 18 sind die Fließgeschwindigkeiten in der Fahrrinne für Q(RNW₉₇) (grüne Linie), Q(MW) (rote Linie) und Q(HNN) (blaue Linie) für die Variante C/C_{2,80}* unterlegt mit den Ergebnissen für den IST-Zustand (schwarze Linien) abgebildet (Schrittweite 500 m).

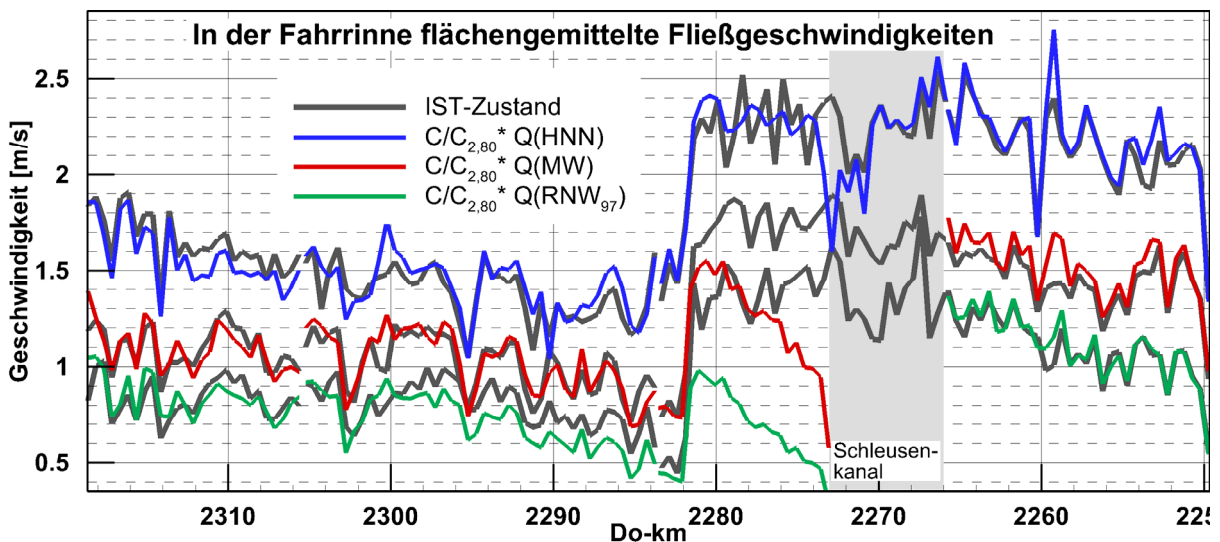


Bild 18: Längsschnitt der Fließgeschwindigkeiten für Variante C/C_{2,80}* und IST-Zustand in der Fahrrinne

Bild 18 zeigt, dass die gemittelte Fließgeschwindigkeit im Abschnitt oberhalb der Isarmündung für Q(RNW₉₇) unter der des IST-Zustands liegt. Obwohl eine schärfere Regelung zunächst höhere Fließgeschwindigkeiten erwarten lässt, kommt es hier, aufgrund der erhöhten Wassertiefe zu einer Verringerung der Fließgeschwindigkeit. Zwischen Do-km 2320 und Do-km 2300 liegen sie, abgesehen von lokalen Schwankungen auf einem Niveau. Von Do-km 2300 bis Do-km 2282 nehmen die Geschwindigkeiten dann zur Isarmündung hin ab. Direkt unterstrom der Isarmündung kommt es für Q(RNW₉₇) zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit von ca. 0,40 m/s auf ca. 1,00 m/s und für Q(MW) von 0,70 m/s auf ca. 1,50 m/s zu. Die Fließgeschwindigkeiten sind kleiner als die des IST-Zustands. Zum Wehr hin nehmen die Fließgeschwindigkeiten für Q(RNW₉₇) und Q(MW) bis auf quasi Null ab. Unterhalb des Schleusenkanals (ab Do-km 2266 stromab) liegt die mittlere Fließgeschwindigkeit auf dem Niveau des IST-Zustands. Sie nimmt zum Modellende bei Do-km 2249,7 ab.

Die mittlere Fließgeschwindigkeit liegt für Q(MW) bis zur Isarmündung im Mittel auf dem Niveau des IST-Zustands. An der Isarmündung nimmt die Geschwindigkeit von ca. 0,80 m/s auf ca. 1,50 m/s zu und nimmt bis zum Wehr auf ca. 0,60 m/s ab. Unterhalb des Schleusenkanals (ab Do-km 2266 stromab) liegt die mittlere Fließgeschwindigkeit leicht über der des IST-Zustands. Dort wo für die niedrigeren Abflüsse zu „Spitzen“ in der Variante kommt (Do-km 2259) handelt es sich um Reaktionen des Modells (feste Sohle) auf eine starke Querschnittseinengung durch die Regulationsmaßnahmen. Hier ist in der Realität von einer Sohl-

reaktion, einem Flächenausgleich und einem damit verbundenem Rückgang der Geschwindigkeit nach einer gewissen Zeit auszugehen.

Tabelle 5 fasst die Ergebnisse für die untersuchte Strecke in verschiedene Bereiche zusammen und liefert mittlere Geschwindigkeiten für die drei Hauptabflüsse. Die oben diskutierten Aussagen finden sich auch in den Resultaten der Tabelle wieder.

Variante C/C _{2,80} *	Mittlere Fließgeschwindigkeiten für die Abflusszustände		
	Q(RNW ₉₇)	Q(MW)	Q(HNN) ¹
Streckenabschnitt Do-km	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Straubing – Mariaposching 2318,7 – 2296,4	0,75	0,96	1,39
Mariaposching - Isarmündung 2296,4 – 2281,7	0,59	0,84	1,23
Isarmündung – Aicha 2281,7 – 2273,0	0,65	1,17	2,04
Aicha – Winzer 2273,0 – 2265,2	1,16	1,53	1,94
Winzer – Hofkirchen 2265,2 – 2255,5	1,04	1,29	2,26
Hofkirchen - Vilshofen 2255,5 – 2249,7	0,92	1,25	1,87
Straubing - Isarmündung	0,69	0,91	1,32
Aicha – Winzer	0,90	1,35	1,99
Gesamt	0,81	1,10	1,66
¹ : auf der Streichlinienbreite gemittelt			

Tabelle 5: Mittlere Fließgeschwindigkeiten [m/s] auf der durchströmten Breite für Streckenabschnitte der Variante C/C_{2,80}*

In Anhang 4, Bild 1 bis Bild 3 sind die Fließgeschwindigkeiten auf der durchströmten Breite für Q(RNW₉₇), Q(MW) und Q(HNN) auf der Streichlinienbreite für die Variante C/C_{2,80}* abgebildet.

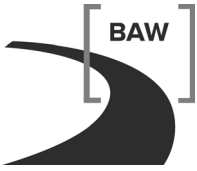
4.6 Herstellfläche und -volumen

Für die Herstellung der Variante C/C_{2,80}* mit einer Herstelltiefe von 2,80 m unter RNW_{künftig} müssen ca. 60% der Gesamtfahrrinnenfläche mit einer mittleren Tiefe von 0,45 m gebaggert werden. Das hierfür notwendige Baggervolumen beläuft sich auf ca. 1 300 000 m³.

4.7 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Zusammenfassend die wichtigsten Ergebnisse:

- Die Mindestwassertiefen von 2,80 m bei Q(RNW₉₇) für den Herstellzustand werden erreicht.
- Wasserspiegelanhebung (Do-km 2304 - Do-km 2273) von 0,10 m bis 3,10 m bei Q(RNW₉₇) und ein Wasserspiegelverfall auf den restlichen Streckenabschnitten um ca. 0,30 m nach Berücksichtigung des morphologischen Nachlaufs.
- Wasserspiegelanhebung bei Q(MW) auf der Strecke zwischen Do-km 2310 - Do-km 2273 von 0,10 m bis 2,03 m und ein Wasserspiegelverfall auf den restlichen Streckenabschnitten um ca. 0,20 m nach Berücksichtigung des morphologischen Nachlaufs.
- Die berechneten Fließgeschwindigkeiten liegen im Abschnitt zwischen Isarmündung und Aicha, wenn stau-beeinflusst, deutlich unter denen des IST-Zustands. Die mittlere Geschwindigkeit für die Gesamtstrecke ist dadurch ebenfalls geringer.
- Auf den anderen Abschnitten weichen die mittleren Geschwindigkeiten für die Abflusszustände Q(MW) und Q(HNN) nur unwesentlich von denen des IST-Zustands ab. Für Q(RNW₉₇) liegt die mittlere Geschwindigkeit im gesamten Abschnitt zwischen Do-km 2312 bis Isarmündung unter der des IST-Zustands.
- Für die Herstellung der Variante C/C_{2,80}* müssen im Modell ca. 60% der Gesamtfahrrinnenfläche mit einer mittleren Tiefe von 0,45 m gebaggert werden.



5 Modellerstellung und -betrieb der Variante C_{2,80}

5.1 Allgemeines

Nach der Berechnung und Analyse der hydraulischen Parameter für die Variante C/C_{2,80}* wurden Streckenabschnitte mit Weiterentwicklungspotenzial identifiziert und Modifikationen des Regelungssystems erarbeitet.

Zu den Kriterien für die Weiterentwicklung gehörten:

- Einhaltung der Sicherheitsabstände zu den Regelungsbauwerken
- Überprüfung der Bauwerkshöhen (auch Bestandsbauwerke)
- Wasserspiegelstützung
- Reduzierung der Fräsflächen
- Vergleichmäßigung des Wasserspiegelgefälles
- Vergleichmäßigung des Geschwindigkeitsverteilung im Längsschnitt
- Vergleichmäßigung des Geschiebetransportes
- Reduzierung der Unterhaltungsbaggermengen

Demgegenüber standen schiffahrtsrelevante Zwangspunkte wie Wendestellen, Wartepplätze und auch der Unterhaltung dienende Kieslagerplätze. Durch die im Zuge der Weiterentwicklung gleichzeitig durchgeführte Konfliktanalyse zur Vermeidung und Minimierung von Auswirkungen auf die Fischfauna [B13], wurden einige im Sinne einer flussbaulichen Optimierung angedachte Maßnahmen für die Planungen modifiziert oder nicht weiter untersucht. Die hydraulische Wirkung fischökologisch optimierter Regelungsbauwerke wurde im Rahmen dieses Auftrages nicht untersucht.

Weiterhin wurde das Hochwasserschutzkonzept [U12], welches von der RMD Wasserstraßen GmbH entwickelt und im Frühjahr 2011 in Form eines Lageplanes und 3D-Polylinien übergeben wurde, in die Varianten integriert.

Das Kapitel 5 beschreibt den Aufbau des Modells der im Rahmen der EU-Studie weiterentwickelten Variante C_{2,80}. Dazu gehört die Erstellung des Modells (Unterkapitel 5.2). Die Definition der zum Betrieb des numerischen Modells wichtigen Parameter Rauheiten und Randbedingungen erfolgt in den Kapiteln 5.3 und 5.4.

5.2 Geometrie und Berechnungsgitter

Die Rechengitter waren zu Beginn des Projektes derart konzipiert worden, dass für den Aufbau der verkehrswasserbaulichen Varianten keine Änderungen an den Gittern notwendig wurden. Damit konnten numerische Effekte infolge einer Anpassung der Gittertopologie in den Berechnungsergebnissen vermieden werden.

Die vier Teilabschnitte, wie bereits in Kapitel 3.1 vorgestellt, wurden für die Berechnungen zum HNN übernommen [B9]. Für die Variante C_{2,80} ergab sich durch das mitten im Modell gelegene Wehr eine Sondersituation. Für alle Abflusszustände unterhalb des höchsten berechneten Abflusszustands wurde ein auf Do-km 2273 gekürztes Teilmodell SV2' und ein bis Do-km 2273,1 verlängertes Modell SV1' erstellt (Bild 1).

Das Regelungskonzept ist in [B14] beschrieben. Einen Überblick über die Regelungsmaßnahmen liefert Anhang 2.

Im Laufe des Projektes zeigte sich, dass durch das von der RMD Wasserstraßen GmbH erarbeitete Hochwasserschutzkonzept (Erläuterungen siehe [B14]) doch Anpassungen der Rechengitter notwendig wurden. Die Änderungen betrafen jedoch nur die Vorlandbereiche und sind in der Hauptsache auf die Teilmodelle SV1 und SV2 begrenzt. Die aufgrund des Hochwasserschutzkonzepts durchgeführten Erweiterungen der Gitternetze können in Anhang 3 eingesehen werden.

Das weiterentwickelte Regelungssystem wurde in die digitalen Geländemodelle übernommen und die neuen Höheninformationen der DGM-Geometrie auf die Rechengitter interpoliert.

5.2.1 Digitales Geländemodell und Topographie

Im Bereich der Mühlhamer Schleife (Do-km 2273 – Do-km 2266) wurden 2010 Flachwasserpeilungen durchgeführt. Diese wurden in das DGM für die Variante C_{2,80} eingebaut. Eine Beschreibung Flachwasserpeilungen findet sich in [B10].

5.2.2 Herstelltiefe im Modell

Die iterative Vorgehensweise zur Bestimmung einer definierten Herstellsohle unter dem RNW_{künftig} für die Variante C_{2,80} wird in Kapitel 3.2 dargelegt.

Aufgrund der Empfehlung aus den „Vertieften Untersuchungen“ zur Gleichwertigkeit der Strecke bezüglich der Abladetiefen [B5] wurde die Strecke unterhalb der Isarmündung bis zur Felsstrecke auf eine Tiefe von 2,85 m unter RNW_{künftig} hergestellt. Mit dieser Vertiefung um 0,05 m gegenüber der Strecke oberstrom der Isarmündung soll das durch die größeren Gefälle erhöhte fahrdynamische Einsinken im Abschnitt unterhalb der Isarmündung kompensiert werden.

Eine Besonderheit bildet die Felsstrecke im Teilmodell SV1 (Bereich von Do-km 2256,70 – Do-km 2249,70). Für diesen Bereich wurde unter der Annahme eines voll funktionsfähigen Kiesfangs bei Do-km 2256,60 eine Herstelltiefe im Bereich der Fahrrinne von 3,00 m unter $RNW_{\text{künftig}}$ angesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass im Felsbereich aufgrund des geplanten Kiesfangs bei Hofkirchen die Kiesüberdeckung abgetragen wird. Aus diesem Grund wird zur nötigen Anpassung des Sicherheitsabstands das Flottwasser für die Felsstrecke um 0,20 m erhöht (Tabelle 6).

Modellabschnitt Do-km	Herstelltiefe
2329,80S – 2281,70 (Kiesstrecke oberstrom der Isar)	2,80 m unter $RNW_{\text{künftig}}$
2281,70 – 2256,70 (Kiesstrecke unterstrom der Isar)	2,85 m unter $RNW_{\text{künftig}}$
2256,70 – 2249,70 (Felsstrecke unterstrom der Isar)	3,00 m unter $RNW_{\text{künftig}}$

Tabelle 6: Herstelltiefen der Variante C_{2,80}

5.3 Rauheiten

Das für die Berechnungen verwendete Rauheitsmodell entspricht dem Rauheitsmodell aus der Kalibrierung [B9]. Ausnahmen sind die Bereiche in denen die Fahrrinne im Modell hergestellt (Fräsen) bzw. Kolke verbaut wurden.

Rauheiten in der gefrästen Felsstrecke

Modelltechnisch führt die Eintiefung der Sohle im Bereich der Fahrrinne (Herstellung, "Fräsen") zu einer Glättung der Modellsohle (Felsoberfläche) und in der Folge zu einem Verlust an Formrauheit im Modell. Diese muss durch eine geeignete Wahl des Rauheitsbeiwertes ausgeglichen werden. In einer Sensitivitätsstudie anhand sowohl einer Systemrinne als auch eines Flussmodells wurde der Einfluss des Verlustes an Formrauheit auf den berechneten Wasserspiegel untersucht und ein Rauheitsbeiwert zur Kompensation ermittelt. Dieser Rauheitsbeiwert wurde für die gefrästen Flächen im Modell angesetzt. Tabelle 7 fasst die verwendeten Rauheitsbeiwerte zusammen.

Rauheiten in der gefrästen Kiesstrecke

Durch das Einfräsen der Fahrrinne in die Variantenmodelle kommt es, wie oben bereits erläutert, zu einer Glättung der Sohle in diesen Bereichen. Durch eine Sensitivitätsstudie konnte der Einfluss der Glättung in den Kiesstrecken auf das Berechnungsergebnis ermittelt werden. Dieser beträgt bezogen auf den Wasserspiegel bei $Q(RNW_{97})$ unterstrom der Isar bis zu -0,04 m und oberstrom der Isar bis zu -0,03 m. Für die folgenden Berechnungen der Variante C_{2,80} wird als Ergebnis dieser Studie der Rauheitsbeiwert auf $k_s = 10$ mm für die Bereiche unterstrom der Isar $k_s = 3,5$ mm und für die Bereiche oberstrom der Isar innerhalb der geglätteten Bereiche erhöht (siehe auch Tabelle 7).

Rauheiten im Kolkverbau

In Bereichen mit Kolkverbau ist die Sohle im Modell praktisch eben (siehe Bild 7). Diese Sohlbereiche können sich wie auch bei der Fräsung der Fahrrinne im Sinne einer modellbedingten Wasserspiegelabsenkung auswirken. Untersuchungen für die gefrästen Fahrinnen haben gezeigt, dass sich diese Absenkung im Bereich von 0,01 m – 0,02 m bewegt.

Da für die Untersuchungen der weiterentwickelten Variante C_{2,80} Erkenntnisse darüber vorliegen, wie eine modellbedingte glatte Fläche über einen erhöhten k_s -Wert kompensiert werden kann, wurde dieses Vorgehen auch für die Bereiche der Kolkverbaue angewendet.

Auf eine Berücksichtigung von angenommenen Änderungen des Rauheitsbeiwertes aufgrund des Einbringens von Wasserbausteinen im Kolkverbau wurde im Sinne einer für die Schifffahrt relevanten Abschätzung hin zu kleineren Wassertiefen verzichtet.

Variante C _{2,80}	Äquivalente Sandrauheit k_s nach Nikuradse	
	k_s auf ungefrästen Flächen	k_s auf gefrästen Flächen
Felsstrecke	0,05 m	0,08 m
Felsstrecke	0,10 m	0,12 m
Kies unterhalb Isarmündung	0,002 m	0,0035 m
Kies oberhalb Isarmündung	0,006 m	0,01 m
Kolkverbau unterhalb Isarmündung	0,002 m	0,0035 m
Kolkverbau oberhalb Isarmündung	0,006 m	0,01 m

Tabelle 7: Rauheitsbeiwerte k_s für die HN-Modellierung

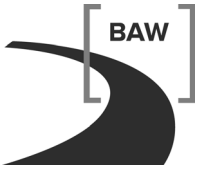
5.4 Randbedingungen

Tabelle 8 listet analog zu Tabelle 4 sämtliche ober- und unterstromigen Randbedingungen für die vier Teilmodelle auf. Das Vorgehen zur Ermittlung der Wasserstandsrandbedingung am Auslauftrand entspricht dem Vorgehen aus Abschnitt 3.4.

	Q oberstrom Isar	Q Isar	Q unterstrom Isar	W(SV1)	W(SV2) (Stauziel) (aus SV1 übergeben)	W(SV3) (aus SV2 übergeben)	W(SV4) (aus SV3 übergeben)
Bezeichnung	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m+NN]	[m+NN]	[m+NN]	[m+NN]
NQ03	168	97	265	300,000	309,00	309,402	310,582
Q(RNW₉₇)	211	113	324	300,100	309,00	309,547	310,900
SLNG	251	107	358	300,150	309,00	309,638	311,161
Öko6	310	133	443	300,265	309,00	309,852	311,535
WA	410	130	540	300,400	309,00	310,100	312,035
Q(MW)	463	179	642	300,600	309,00	310,334	312,271
MQ März/April	595	192	787	300,800	309,00	310,666	310,582
HA	750	260	1010	301,100	309,00	311,130	313,224
Q(HNN)	1375	390	1765	302,200	307,228 ¹	312,312	314,749
¹ : Aus SV1 übergeben, Auslaufrand gegenüber den Teilmodellen SV2' 7,3 km weiter unterstrom							

Tabelle 8: Randbedingungen für die Teilmodelle SV1 – SV4 für die Variante C_{2,80}

Die berechneten Abflüsse mit Kürzel NQ03 (MNQ₂₀₀₃), SLNG (biotischer Bezugswasserstand „Schlammling“), WA (biotischer Bezugswasserstand „Weichholzaue“), Öko6 (biotischer Bezugswasserstand „Untergrenze Büchsenkrautfluren 2003“), MQ März/April und HA (biotischer Bezugswasserstand „Hartholzaue“) werden von an der EU-Studie beteiligten und für die Untersuchung ökologischer Fragenstellungen beauftragten Umweltplanern genutzt. Sie wurden durch die am Verfahren beteiligten Naturschutzfachbehörden und Gutachter festgelegt. Zusätzlich zu den Rechnungen mit Varianten C/C_{2,80} wurden für die Variante C_{2,80} von den Umweltplanern zwei weitere Abflüsse (Öko6, MQ März/April) angefordert. Die Übergabe der zu berechnenden Abflüsse und die Aufteilung auf Donau und Isar erfolgten durch die RMD Wasserstraßen GmbH.



6 Ergebnisse der Variante C_{2,80}

6.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Variante C_{2,80} analog zu den Ergebnissen von Variante C/C_{2,80} (Kapitel 4) dargestellt. Die Gesamtdarstellung der Längsschnitte findet sich in Anhang 4, Bild 4 bis Bild 6.

6.2 Wasserspiegel

Die Wasserspiegellage für Variante C_{2,80} ist Bild 19 für Q(RNW₉₇), Bild 20 für Q(MW) und Bild 21 für Q(HNN) ebenso zu entnehmen wie die Wasserspiegeldifferenz zum IST-Zustand. Die dargestellten Differenzen umfassen sowohl die Änderungen der Variante im Herstellzustand zum IST-Zustand (blaue Linie) als auch die Änderungen, die sich aufgrund des morphologischen Nachlaufs (rote Linie) ergeben. Der morphologische Nachlauf wurde auf Grundlage eines 1D-Feststofftransportmodells für die Gesamtstrecke berechnet [B11]. Die schwarze Linie stellt die Gesamtänderung des Wasserspiegels dar.

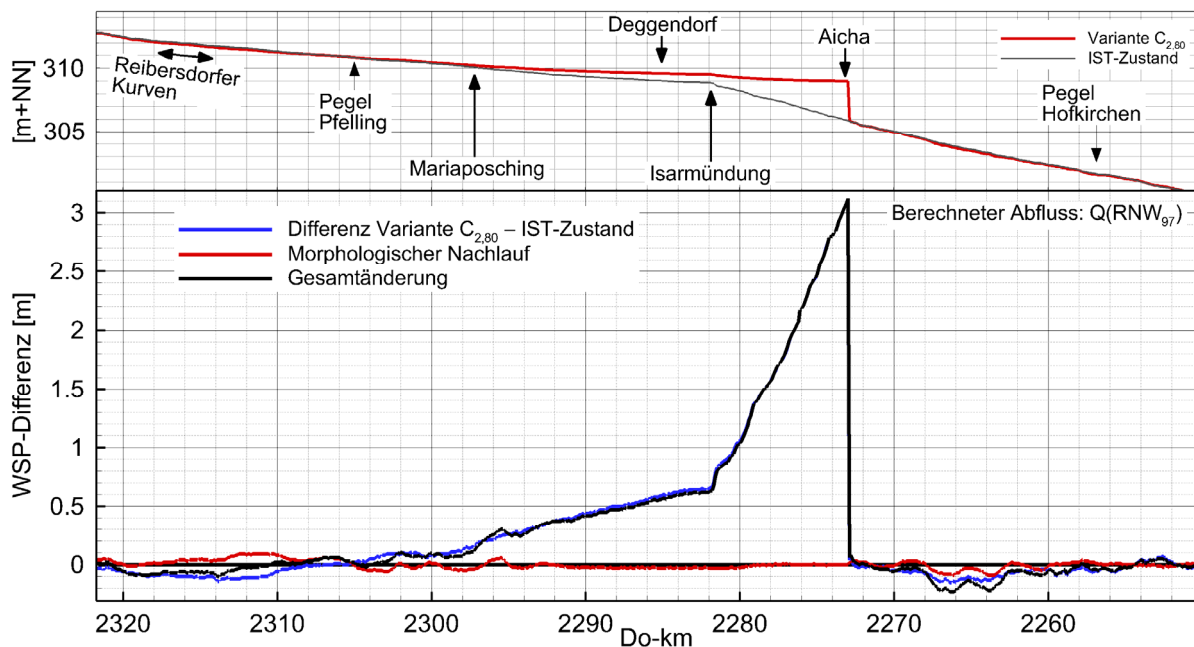


Bild 19: Wasserspiegellagen und –differenzen C_{2,80} – IST-Zustand bei Q(RNW₉₇)

Bild 19 zeigt die Wasserspiegellagen und –differenzen für die Variante C_{2,80} bei Q(RNW₉₇). Die maximale Wasserspiegeldifferenz am Wehr beträgt 3,11 m und nimmt nach oberstrom kontinuierlich ab. Die prognostizierten Änderungen liegen oberstrom Do-km 2298,5 und

unterstrom Do-km 2273,0 in einem Wertebereich von $\pm 0,10$ m. Im Bereich zwischen Do-km 2268 und 2262 werden nach Berücksichtigung des morphologischen Nachlaufs Gesamt-Wasserspiegeländerungen von bis zu $-0,22$ m prognostiziert.

Bild 20 zeigt die Wasserspiegellagen und -differenzen für die Variante C_{2,80} bei Q(MW). Die prognostizierten Änderungen liegen oberstrom Do-km 2310,5 und unterstrom Do-km 2273 von lokalen Ausnahmen abgesehen in einem Wertebereich von $\pm 0,10$ m. Im Staubereich beträgt die Wasserspiegelanhebung bis zu 2,00 m.

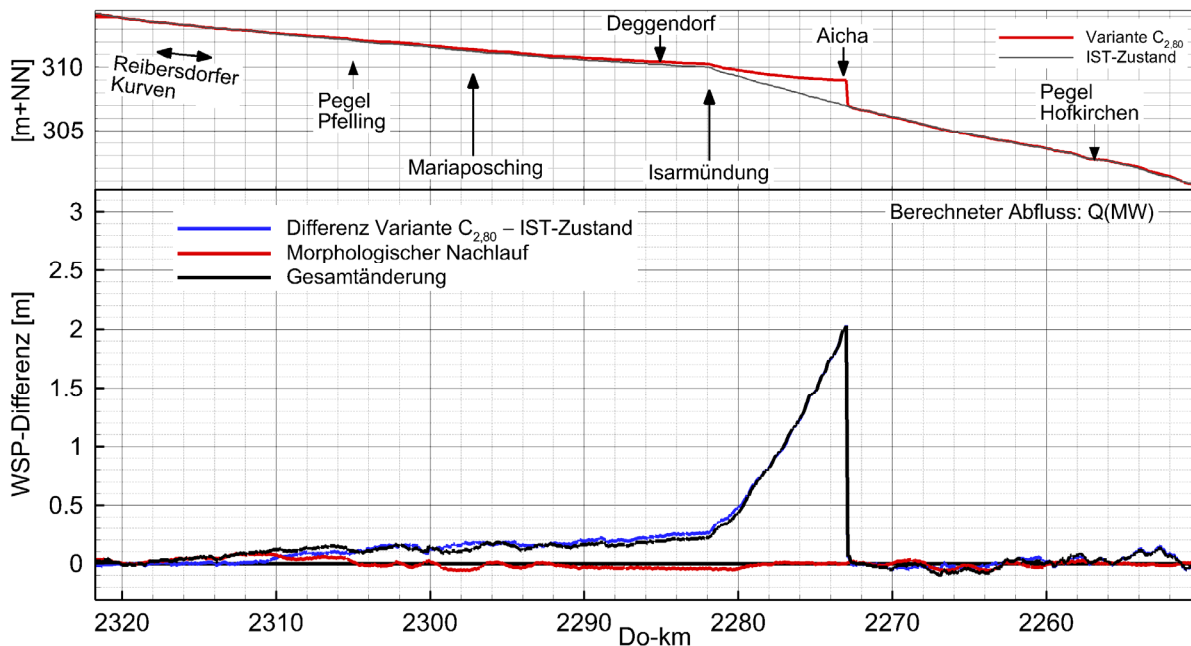


Bild 20: Wasserspiegellagen und -differenzen C_{2,80} – IST-Zustand bei Q(MW)

Bild 21 zeigt die Wasserspiegellagen und -differenzen für die Variante C_{2,80} bei Q(HNN). Die Wasserspiegeländerung bei Q(HNN) bewegt sich im Bereich zwischen $\pm 0,10$ m. Ab Do-km 2294 wirken sich die in Variante C_{2,80} vorgesehenen Regelbauwerke nach oberstrom stützend auf den Wasserspiegel aus. Zwischen Do-km 2294 und Do-km 2260 kommt es zur Wasserspiegelabsenkung. unterstrom 2260 dagegen zur Anhebung. Die Behinderung des Abflusses durch die Wehranlagegeometrie bei Do-km 2273 führt zu einer lokalen Wasserspiegelanhebung. Die Berücksichtigung des morphologischen Nachlaufs führt zu keinen anderen Ergebnissen.

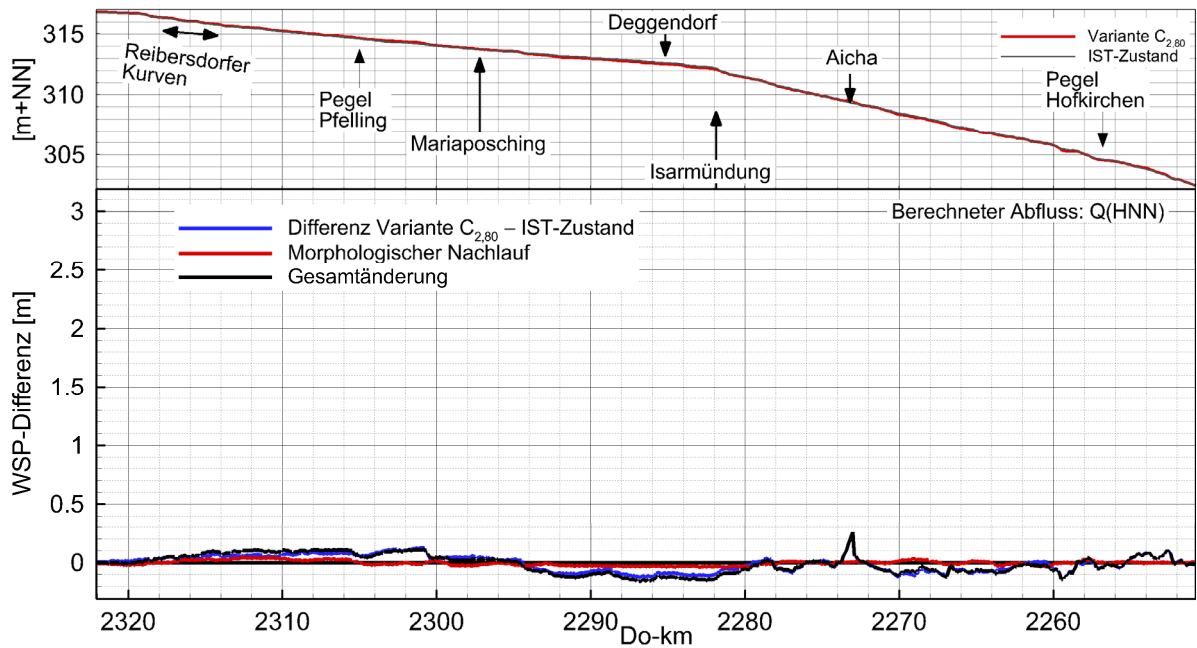


Bild 21: Wasserspiegellagen und –differenzen Variante C_{2,80} – IST-Zustand bei Q(HNN)

6.3 Wassertiefe

Für die Variante C_{2,80} wurde für Q(RNW₉₇) eine Mindestwassertiefe von 2,80 m oberhalb der Isarmündung und 2,85 m unterhalb der Isarmündung hergestellt. In Bild 22 ist die berechnete mittlere Wassertiefe in der Fahrrinne bei den Abflüssen Q(RNW₉₇) und Q(MW) dargestellt.

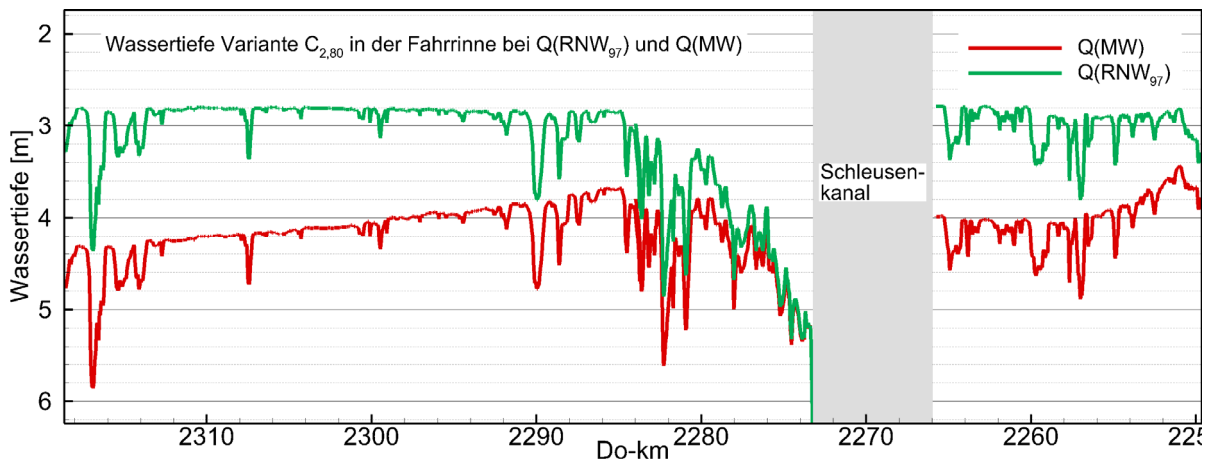


Bild 22: Mittlere Wassertiefen in der Fahrrinne für Variante C_{2,80}

Die mittlere Fahrrinntiefe nimmt für Q(MW) zum Stau hin von 4,25 m bei Do-km 2313 auf 3,69 m bei Do-km 2285 ab. Solch eine Abnahme der Wassertiefe ist ein typischer Effekt für eine Stau beeinflusste Strecke, die auf ein niedrigeres Bezugsniveau (hier Q(RNW₉₇)) hin

unterhalten wird. Je stärker der Eingriff bei Herstellung, desto stärker ist dieser sichtbar. Gleiches gilt für die Strecke unterstrom Do-km 2256. Hier wird das Wasserspiegelgefälle bei unterschiedlichen Abflusszuständen durch die Staustufe Kachlet unterschiedlich beeinflusst und in der Folge stellt sich bei entsprechender Unterhaltung dieser Effekt ein.

6.4 Durchströmte Breiten und Abflussquerschnitte

Die Werte für die durchströmte Breite wurden wie in Kapitel 4.4 beschrieben ermittelt. In der Wendestelle bei Do-km 2285 sinken bei $Q(RNW_{97})$ die Fließgeschwindigkeiten für Variante C_{2,80} unter 0,5 m/s ab. Das hat zur Folge, dass das verwendete Verfahren zur Ermittlung der durchströmten Breite keine sinnvollen Werte liefert und deswegen die Werte in der Grafik nicht dargestellt wurden.

Bei dem hier betriebenen Modell handelt es sich um ein Modell mit fester Sohle. Morphologische Sohlreaktionen aufgrund von Querschnittsänderungen werden nicht berücksichtigt. Es muss daher bei der Interpretation der Werte bedacht werden, dass sich eine solche Reaktion einstellt, d.h. dort wo ein Querschnitt stark verbaut und die Sohle nicht befestigt wird, ist damit zu rechnen, dass sich die Querschnittsflächen wieder denen des IST-Zustands angleichen, was durch Eintiefung oder seitlichen Abtrag geschehen kann.

Anhang 4, Bild 4 zeigt, dass die durchströmte Breite für Variante C_{2,80} in den überwiegenden Streckenabschnitten unter der des IST-Zustands liegt. In den Abschnitten Do-km 2318 bis Do-km 2314 und Do-km 2265 bis Do-km 2260,5 sind die durchströmten Breiten quasi gleich. Im Abschnitt Do-km 2314 bis Do-km 2282 ist die durchströmte Breite gegenüber dem IST-Zustand verringert. Die Ursache hierfür liegt in der gegenüber dem IST-Zustand verschärften Regelung der Variante C_{2,80}. Im Staubereich kommt es lokal zu Aufweitungen. Grund hierfür ist der höhere Wasserstand und die damit verbundene, durch die lokale Geometrie in den Flachwasserbereichen begründete veränderte Durchströmung. Auch unterstrom Do-km 2265 kommt es durch Regelung zu einer Vergleichmäßigung der Größe „durchströmte Breite“. Lokale Aufweitungen (z.B. Do-km 2260,3) wurden eliminiert, also Regelungslücken geschlossen.

Die Abflussflächen liegen für $Q(RNW_{97})$ bis zur Isarmündung im Wertebereich zwischen 200 m² und 300 m² und weisen kaum Schwankungen auf (Anhang 4, Bild 4). Zwischen Do-km 2300 – Do-km 2292 sind die Querschnitte gegenüber dem IST-Zustand leicht erhöht. Die Begründung hierfür kann in den höheren Wassertiefen und höheren Wasserspiegeln liegen. Im Staubereich kommt es naturgemäß zu einer starken Erhöhung der Abflussquerschnitte in Richtung Wehr. Ab Do-km 2266 nimmt die Abflussfläche wie beim IST-Zustand zum Auslauf hin stetig zu. Dort, wo Kolke verbaut wurden, unterscheiden sich die Querschnitte deutlich von denen des IST-Zustands (z.B. Do-km 2259,50, Endlauer Kurve).

Bei $Q(MW)$ ist die Verringerung der durchströmten Breite gegenüber dem IST-Zustand (Anhang 4, Bild 5) ebenso erkennbar. Zwischen Do-km 2300,5 und Do-km 2288,5 zeigt die

durchströmte Breite bei Q(MW) im IST-Zustand lokal deutliche Erhöhungen. Diese Erhöhungen zeigen sich aufgrund der Topographie der ufernahen Bereiche erst bei Mittelwasser. Unterhalb Mittelwasser sind sie nur schwach überströmt. In der Variante C_{2,80} wird die durchströmte Breite an diesen Stellen teilweise vergleichmäßig.

Die ermittelte Abflussfläche für Q(MW) zeigt im Abschnitt oberstrom der Isarmündung auf fast der gesamten Strecke ein zur durchströmten Breite gegensätzliches Verhalten (Anhang 4, Bild 5). Grund hierfür kann die Herstelltiefe für C_{2,80} in Zusammenhang mit den erhöhten Wasserspiegeln sein, welche trotz verringerter Fließbreite zu einer leichten Erhöhung der Abflussfläche führt. Der Bereich zwischen Isarmündung und dem Wehr weist aufgrund der höheren Wasserspiegel auch entsprechend erhöhte Abflussflächen aus. Der Abschnitt unterhalb des Schleusenkanals zeigt keine wesentlichen Veränderungen gegenüber der Abflussfläche des IST-Zustands. Kolkverbaue zeigen sich auch in den Berechnungen für Q(MW) durch eine lokale Verringerung der Querschnittsflächen (z.B. Do-km 2259,50, Endlauer Kurve).

Für Q(HNN) wurde keine durchströmte Breite im Sinne der Definition erstellt, da bei diesem hohen Abfluss die 0,5 m/s-Isotache aufgrund der Bauwerksüberströmung deutlich von der "konstruktiven" Streichlinie abweicht. Stattdessen wurden die Mittelwerte über die Streichlinienbreite ermittelt und sind in Anhang 4, Bild 6 dargestellt.

6.5 Fließgeschwindigkeiten

In Bild 23 sind die Fließgeschwindigkeiten in der Fahrrinne für Q(RNW₉₇) (grüne Linie), Q(MW) (rote Linie) und Q(HNN) (blaue Linie) für die Variante C_{2,80} unterlegt mit den Ergebnissen für den IST-Zustand (schwarze Linien) abgebildet (Schrittweite 500 m). Lücken in den Linien können dort entstehen, wo zwei Teilmodelle aneinander gesetzt sind.

Bild 23 zeigt, dass die in der Fahrrinne gemittelte Fließgeschwindigkeit (siehe Kapitel 4.1) im Abschnitt oberhalb der Isarmündung für Q(RNW₉₇) unter der des IST-Zustands liegt. Obwohl eine schärfere Regelung zunächst höhere Fließgeschwindigkeiten erwarten lässt, kommt es hier, aufgrund der erhöhten Wassertiefe zu einer Verringerung der Fließgeschwindigkeit. Zwischen Do-km 2320 und Do-km 2298 liegen sie, abgesehen von lokalen Schwankungen auf einem Niveau. Von Do-km 2298 bis Do-km 2282 nehmen die Geschwindigkeiten dann zur Isarmündung hin ab. Unterstrom der Isarmündung kommt es zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit von ca. 0,40 m/s auf ca. 1,00 m/s. Zum Wehr nehmen die Fließgeschwindigkeiten dann bis auf quasi Null ab (außerhalb des Darstellungsbereiches). Unterhalb des Schleusenkanals (ab Do-km 2266 stromab) liegt die mittlere Fließgeschwindigkeit auf dem Niveau des IST-Zustands. Sie nimmt zum Modellende bei Do-km 2249,7 ab.

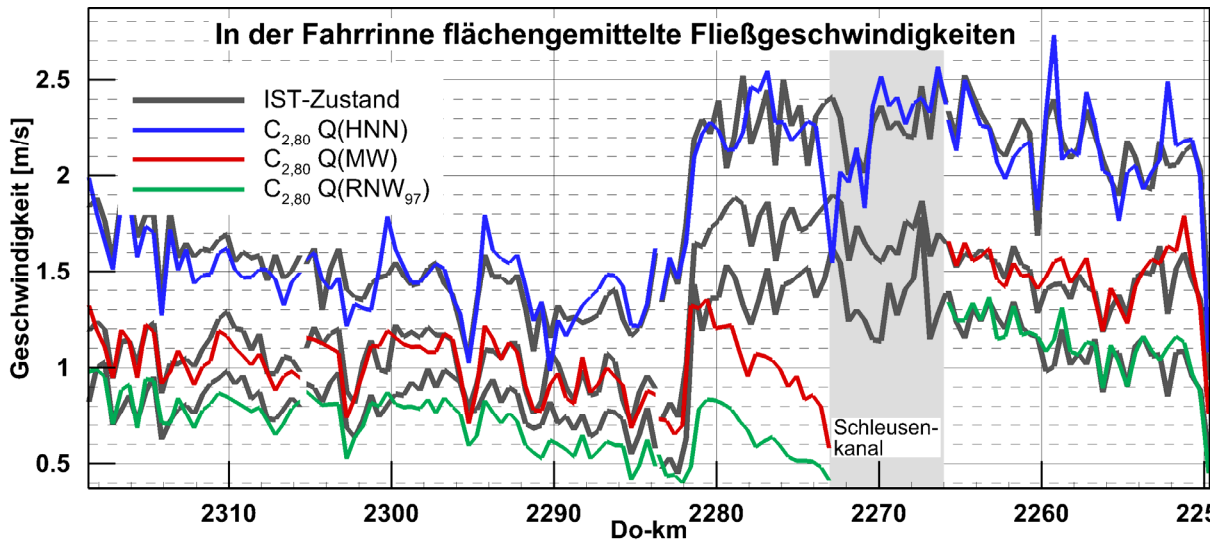


Bild 23: Längsschnitt für Variante C_{2,80} und IST-Zustand der Fließgeschwindigkeiten in der Fahrrinne

Die mittlere Fließgeschwindigkeit liegt für Q(MW) bis zur Isarmündung auf dem Niveau des IST-Zustands. An der Isarmündung nimmt die Geschwindigkeit von ca. 0,80 m/s auf ca. 1,50 m/s zu und nimmt bis zum Wehr auf ca. 0,60 m/s ab. Unterhalb des Schleusenkanals (ab Do-km 2266 stromab) liegt die mittlere Fließgeschwindigkeit leicht über der des IST-Zustands. Dort wo es für die niedrigeren Abflüsse zu „Spitzen“ in der Variante kommt (Do-km 2259) handelt es sich um Reaktionen des Modells (feste Sohle) auf eine starke Querschnittseinengung durch die Regelungsmaßnahmen. Hier ist in der Realität, einem Flächenausgleich durch Sohlreaktion und einem damit verbundenem Rückgang der Geschwindigkeit nach einer gewissen Zeit auszugehen.

Tabelle 9 fasst die Ergebnisse für die untersuchte Strecke in verschiedene Bereiche zusammen und liefert mittlere Geschwindigkeiten für die drei Hauptabflüsse. Die oben diskutierten Aussagen finden sich auch in den Resultaten der Tabelle wieder.

Variante C _{2,80}	Mittlere Fließgeschwindigkeiten für die Abflusszustände		
	Q(RNW ₉₇)	Q(MW)	Q(HNN) ¹
Streckenabschnitt Do-km	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Straubing – Mariaposching 2318,7 – 2296,4	0,75	0,95	1,39
Mariaposching – Isarmündung 2296,42 – 2281,7	0,59	0,83	1,23
Isarmündung – Aicha 2281,7 – 2273,0	0,59	0,96	2,04
Aicha – Winzer 2273,0 – 2265,2	1,16	1,53	1,94
Winzer – Hofkirchen 2265,2 – 2255,5	1,04	1,27	2,03
Hofkirchen – Vilshofen 2255,5 – 2249,7	0,95	1,29	1,87
Straubing – Isarmündung	0,69	0,90	1,32
Isarmündung – Winzer	0,87	1,25	1,99
Gesamt	0,74	1,00	1,63
¹ : auf der Streichlinienbreite gemittelt			

Tabelle 9: Mittlere Fließgeschwindigkeiten [m/s] auf der durchströmten Breite für Streckenabschnitte der Variante C_{2,80}

In Anhang 4, Bild 4 bis Bild 6 sind die Fließgeschwindigkeiten auf der durchströmten Breite für Q(RNW₉₇), Q(MW) und für Q(HNN) auf der Streichlinienbreite für die Variante C_{2,80} abgebildet.

6.6 Herstellfläche und -volumen

Für die Herstellung der Variante C_{2,80} mit einer Herstelltiefe von 2,80/2,85/3,00 m unter RNW_{künftig} (Tabelle 6) müssen ca. 55% der Gesamtfahrinnenfläche mit einer mittleren Tiefe von 0,46 m gebaggert werden. Das hierfür notwendige Baggervolumen beläuft sich auf ca. 1 200 000 m³. Hiervon entfallen ca. 80 000 m³, die gebaggert oder gemeißelt werden müs-

sen, auf die Felsstrecke. Bei der Ermittlung des Herstellvolumens in der Felsstrecke wurde nicht unterschieden, ob es sich tatsächlich um Felsabtrag oder zu baggernde überkieste Bereiche handelt.

6.7 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Zusammenfassend die wichtigsten Ergebnisse:

- Die Mindestwassertiefen von 2,80 m oberstrom der Isar, 2,85 m unterstrom der Isar und 3,00 m in der Felsstrecke bei $Q(RNW_{97})$ für den Herstellzustand werden erreicht.
- Die Wasserspiegeländerungen betragen nach Berücksichtigung des morphologischen Nachlaufs bis auf lokale Ausnahmen bei $Q(RNW_{97})$ und $Q(MW)$ ungefähr $\pm 0,1$ m. Im Abschnitt Do-km 2268 – Do-km 2263 kommt es zu Wasserspiegelabsenkungen von ungefähr 0,2 m. Im Rückstaubereich des Wehres kommt es zu größeren Anhebungen (maximal 3,11 m bei $Q(RNW_{97})$ und 2,00 m bei $Q(MW)$).
- Die berechnete mittlere Fließgeschwindigkeit liegt im Abschnitt oberstrom der Isarmündung für $Q(RNW_{97})$ bei 0,69 m/s, für $Q(MW)$ bei 0,90 m/s. Die Fließgeschwindigkeit liegt im Abschnitt zwischen Isarmündung und Aicha (Staubereich) deutlich unter der des IST-Zustands. Auf dem Abschnitt unterstrom des Schleusenkanals weichen die mittleren Geschwindigkeiten für die untersuchten Abflusszustände nur unwesentlich oder lokal von denen des IST-Zustands ab.
- Für die Herstellung der Variante C_{2,80} müssen ca. 55% der Gesamtfahrrinnenfläche mit einer mittleren Tiefe von 0,46 m gebaggert werden.

7 Datenübergabe

7.1 Allgemeines

Die berechneten hydraulischen Größen für die Varianten werden von verschiedenen, an der EU-Studie beteiligten Fachgruppen genutzt. Aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungsmethoden waren auch die Anforderungen an die Datensätze jeweils verschieden. Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben die notwendigen Arbeitsschritte im Postprocessing und dokumentieren die übergebenen Datensätze.

7.2 Datenaufbereitung

Die Berechnungsergebnisse liegen in einem verfahrensspezifischen Datenformat vor. Das zur Modellierung verwendete numerische Verfahren UnTRIM rechnet auf einem versetzten Gitter, d.h. die Lage der freien Wasserspiegeloberfläche wird in der Elementmitte berechnet, die Geschwindigkeiten jedoch auf den Elementkanten. Ebenso wird die Topografie auf den Kanten gespeichert. Das Element bekommt den Wert der niedrigsten umliegenden Kante zugewiesen.

Das mit dem Auftraggeber vereinbarte Format zur Auslieferung der Daten ist ein knotenbasiertes xyz-ASCII-Format. Zur Erzeugung einer solchen knotenbasierten Datei müssen alle Informationen von den Kanten und den Mitten auf die Gitterknoten interpoliert werden. Ferner müssen die in den einzelnen horizontalen z-Schichten berechneten Fließgeschwindigkeiten über die Tiefe gemittelt werden.

Die Ermittlung der Grenze zwischen nassen und trockenen Bereichen im Modell (Uferlinie) erfordert die Berücksichtigung eines Schwellenwerts für die Mindestwassertiefe. Dieser wurde mit 0,1 m angenommen. Zur Erkennung hydraulisch abgekoppelter Flächen, welche durch den Initialisierungswasserspiegel im Modellgebiet entstehen können, aber hydraulisch nicht wirksam sind, wurde ein Algorithmus implementiert, welcher es erlaubt, diese aus dem Datensatz zu entfernen.

Für die Auswertung der Rechenergebnisse der Variante C/C_{2,80}* stand der Algorithmus zur automatischen Separation von hydraulisch abgekoppelten Flächen noch nicht zur Verfügung. Für diese Datensätze wurden diese Flächen in Handarbeit entfernt.

Flächige Datenaufbereitung

Die Einzeldatensätze der Teilmodelle SV1 – SV4 für Wasserspiegel und Fließgeschwindigkeiten wurden zu einem Datensatz für die Gesamtstrecke zusammengefügt. Dabei wurden die Überlappungsbereiche der Teilmodelle aus den Ergebnisdateien der unterstromigen

Modelle entfernt. Alle Wasserspiegellagen wurden in der SI-Basiseinheit Meter (m) auf die zweite Nachkommastelle gerundet.

Die tiefengemittelten Geschwindigkeitskomponenten werden mit u in x - (positiv nach Osten) und v in y -Richtung (positiv nach Norden) bezeichnet. v Betrag bezeichnet den Betrag der resultierenden Fließgeschwindigkeit, welche sich aus den Komponenten u und v ergibt.

Informationen zum Dateiformat für die Übergabe der berechneten Fließgeschwindigkeiten im flächigen Format: xyuvvBetrag-ASCII-Dateien, mittlerer Abstand zwischen den Datenpunkten: 3 m im Flussbett, 5 – 10 m auf dem Vorland, Rundung in der SI-Basiseinheit Meter (m) auf die zweite Nachkommastelle.

Informationen zum Dateiformat für die Übergabe der berechneten Wasserspiegel im flächigen Format: xyz-ASCII-Dateien, Höhe in m+NN, mittlerer Abstand zwischen den Datenpunkten: 3 m im Flussbett, 5 – 10 m auf dem Vorland, Rundung in der SI-Basiseinheit Meter (m) auf die zweite Nachkommastelle.

Linienbasierte Datenaufbereitung

Die geometrische Lage des Ausgabelängsschnittes wurde von der RMD Wasserstraßen GmbH geliefert und liegt im ASCII-Format „x y Wasserspiegellage Kommentar“ vor. Die Längsschnitte wurden mittels Interpolation der Werte des flächigen Wasserspiegels auf den Längsschnitt generiert. Alle Wasserspiegellagen wurden in der SI-Basiseinheit Meter (m) auf die zweite Nachkommastelle gerundet.

Informationen zum Dateiformat für die Übergabe der berechneten Wasserspiegel im Längsschnitt: Höhe in m+NN, ASCII-Format, Intervall 1 km, ergänzt um Pegelorte.

Wasserspiegeländerungsprognose unter Berücksichtigung des morphologischen Nachlaufs auf Basis des 1D-FT-Modells

Der mittels 1D-FT-Modell berechnete morphologische Nachlauf [B11] wurde mit den im 3D-HN-Modell berechneten Wasserspiegeln (Herstellzustand 3D-HN-Modell) überlagert, um morphologische Anpassungen an das Regelungssystem in die weitergehenden Untersuchungen, u.a. der Umweltplaner, einfließen zu lassen. Zu diesem Zweck wurde eine direkte Superposition der Wasserspiegel aus Herstellzustand und der Änderungen aus der Berechnung des morphologischen Nachlaufs gewählt, um eine flächige Datengrundlage für die Umweltplaner zu schaffen.

Zur Überlagerung wird die mit dem 1D-FT-Modell berechnete Wasserspiegeldifferenz (Dokm bezogene Linie) zu einer Fläche, die sich in der Grundgeometrie aus den Hektometer-Punkten generiert, erweitert. Bei der Herstellung dieser Flächen wurden die hydraulischen Besonderheiten der Uferbereiche (voll- oder teilweise durchströmte Nebengewässer, von unterstrom eingestaute Wasserflächen) berücksichtigt.

Extrapolation des morphologischen Nachlaufs in die Isar

Für die Isar liegt kein 1D-FT-Modell vor, so dass hier die Berechnung eines morphologischen Nachlaufs nicht direkt möglich ist. Als Randbedingung für das Grundwassermodell wird jedoch vom Auftraggeber auch eine Berücksichtigung der Wirkung der Wasserspiegeländerung aufgrund des morphologischen Nachlaufs der Donau auf den Isar-Wasserspiegel gefordert. Dazu wurde die Annahme einer unabhängig von der Wasserspiegelentwicklung der Donau stabilen Sohle in der Isar getroffen.

Es erfolgte eine analytische Berechnung der Senkungslinie für ein Rechteckgerinne ($\Delta x/\Delta h$ -Methode, Eisenhauer, N. (2002/ 2003)) auf Grundlage der aus dem 3D-Modell bekannten Fließverhältnisse und Wasserspiegeländerungen an der Mündung der Isar. Diese auf die Mitte der Hektometerprofile der Isar bezogenen Werte wurden entsprechend dem Vorgehen für die Donau flächig mit den Wasserspiegeländerungen aus dem Herstellzustand überlagert.

7.3 Variante C/C_{2,80}*

Korrektur der Wasserspiegel im Bereich der Mühlhamer Schleife

Aufgrund aktueller geometrischer Informationen in den Flachwasserbereichen der Mühlhamer Schleife wurden die Wasserspiegel, wie im Ergänzungsbericht [B10] empfohlen, im Bereich zwischen Do-km 2266,00 und Do-km 2277,00 für alle Abflüsse zwischen $Q(RNW_{97})$ und $Q=1010 \text{ m}^3/\text{s}$ korrigiert.

Übergebene Datensätze

Die in Tabelle 10 und Tabelle 11 aufgelisteten Datensätze wurden an die RMD Wasserstraßen GmbH übergeben.

Var. C/C _{2,80} *	Wasserspiegel – flächig			
	Format	hydabkF ⁽¹⁾	FWP ⁽²⁾	Zustand
Q(RNW ₉₇)	xyz	x	x	Herstellung
Q(MW)	xyz	x	x	Herstellung
Q(HNN)	xyz	x		Herstellung
Q(RNW ₉₇)	xyz	x	x	Mit morph. Nachlauf
Q(MW)	xyz	x	x	Mit morph. Nachlauf
	Wasserspiegel – Längsschnitt			
Q(RNW ₉₇)	xyePos		x	Herstellung
Q(MW)	xyePos		x	Herstellung
Q(HNN)	xyePos			Herstellung
Q(RNW ₉₇)	xyePos		x	Mit morph. Nachlauf
Q(MW)	xyePos		x	Mit morph. Nachlauf
	Geschwindigkeiten – flächig			
Q(RNW ₉₇)	xyuvvBetrag	x		Herstellung
Q(MW)	xyuvvBetrag	x		Herstellung
Q(HNN)	xyuvvBetrag	x		Herstellung

⁽¹⁾: hydraulisch abgekoppelte Nassflächen entfernt

⁽²⁾: der Wasserspiegel wurde korrigiert (siehe Bericht Nr. A39530210127-07, Stichworte: Flachwasserpeilungen, Do-km 2271,00 – 2267,00 , links)

Tabelle 10: Übergabene Datensätze für die berechneten verkehrswasserbaulich relevanten Abflüsse für Variante C/C_{2,80}*

Für Q(HNN) lag zum Zeitpunkt der Übergabe kein Ergebnis zum morphologischen Nachlauf vor.

Var. C/C _{2,80} * Q[m ³ /s]	Wasserspiegel – flächig				
	Format	hydabkF ⁽¹⁾	FWP ⁽²⁾	Zustand	Abflusskürzel
265	xyz	x	x	Herstellung	NQ03
358	xyz	x	x	Herstellung	SLNG
540	xyz	x	x	Herstellung	WA
1010	xyz	x		Herstellung	HA
265	xyz	x	x	Mit morph. Nachlauf	NQ03
358	xyz	x	x	Mit morph. Nachlauf	SLNG
540	xyz	x	x	Mit morph. Nachlauf	WA
1010	xyz	x		Mit morph. Nachlauf	HA
	Wasserspiegel – Längsschnitt				
265	xyePos		x	Herstellung	NQ03
358	xyePos		x	Herstellung	SLNG
540	xyePos		x	Herstellung	WA
1010	xyePos			Herstellung	HA
265	xyePos		x	Mit morph. Nachlauf	NQ03
358	xyePos		x	Mit morph. Nachlauf	SLNG
540	xyePos		x	Mit morph. Nachlauf	WA
1010	xyePos			Mit morph. Nachlauf	HA
	Geschwindigkeiten – flächig				
265	xyuvvBetrag	x		Herstellung	NQ03
358	xyuvvBetrag	x		Herstellung	SLNG
540	xyuvvBetrag	x		Herstellung	WA
1010	xyuvvBetrag	x		Herstellung	HA

⁽¹⁾: hydraulisch abgekoppelte Nassflächen entfernt

⁽²⁾: der Wasserspiegel wurde korrigiert (siehe Bericht Nr. A39530210127-07, Stichworte: Flachwasserpeilungen, Do-km 2271,00 – 2267,00, links)

Tabelle 11: Übergebene Datensätze für die berechneten ökologisch relevanten Abflüsse für Variante C/C_{2,80}*

Übergabe der Wasserspiegel für Variante C/C_{2,80}* zur Prognose der Unterhaltsbaggermengen

Im ersten Schritt zur Berechnung von Baggermengen wird im 2D-FT-Modell eine Sohle unterhalb des RNW_{künftig} hergestellt. Dieser Baggerhorizont wurde aus den berechneten Wasserspiegeln des 3D-HN-Modells generiert. Zu diesem Zweck wurden die Wasserspiegel für die Berechnungen von Q(RNW_{künftig}) für die Herstelltiefen von 2,55 m, 2,70 m, 2,80 m und

2,90 m in Form von Längsschnitten an die 2D-FT-Modellierung [B12] sowie die Auftragnehmer Hunziker, Zarn und Partner übergeben.übergeben.

7.4 Variante C_{2,80}

Übergebene Datensätze

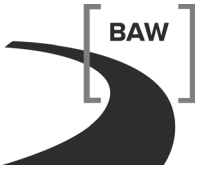
Var. C _{2,80}	Wasserspiegel – flächig		
	Format	hydabkF ⁽¹⁾	Zustand
Q(RNW ₉₇)	xyz	x	Herstellung
Q(MW)	xyz	x	Herstellung
Q(HNN)	xyz	x	Herstellung
Q(RNW ₉₇)	xyz	x	Mit morph. Nachlauf
Q(MW)	xyz	x	Mit morph. Nachlauf
Q(HNN)	xyz	x	Mit morph. Nachlauf
	Wasserspiegel – Längsschnitt		
Q(RNW ₉₇)	xyePos		Herstellung
Q(MW)	xyePos		Herstellung
Q(HNN)	xyePos		Herstellung
Q(RNW ₉₇)	xyePos		Mit morph. Nachlauf
Q(MW)	xyePos		Mit morph. Nachlauf
Q(HNN)	xyePos		Mit morph. Nachlauf
	Geschwindigkeiten – flächig		
Q(RNW ₉₇)	xyuvvBetrag	x	Herstellung
Q(MW)	xyuvvBetrag	x	Herstellung
Q(HNN)	xyuvvBetrag	x	Herstellung

⁽¹⁾: hydraulisch abgekoppelte Nassflächen entfernt

Tabelle 12: Übergebene Datensätze für die berechneten verkehrswasserbaulich relevanten Abflüsse für Variante C_{2,80}

Var. C _{2,80}	Format	hydabkF ⁽¹⁾	Zustand	Abflusskürzel
Q [m³/s]	Wasserspiegel – flächig			
265	xyz	x	Herstellung	NQ03
358	xyz	x	Herstellung	SLNG
443	xyz	x	Herstellung	Öko6
540	xyz	x	Herstellung	WA
787	xyz	x	Herstellung	MQ März/April
1010	xyz	x	Herstellung	HA
265	xyz	x	Mit morph. Nachlauf	NQ03
358	xyz	x	Mit morph. Nachlauf	SLNG
443	xyz	x	Mit morph. Nachlauf	Öko6
540	xyz	x	Mit morph. Nachlauf	WA
787	xyz	x	Mit morph. Nachlauf	MQ März/April
1010	xyz	x	Mit morph. Nachlauf	HA
	Wasserspiegel – Längsschnitt			
265	xyePos		Herstellung	NQ03
358	xyePos		Herstellung	SLNG
443	xyePos		Herstellung	Öko6
540	xyePos		Herstellung	WA
787	xyePos		Herstellung	MQ März/April
1010	xyePos		Herstellung	HA
265	xyePos		Mit morph. Nachlauf	NQ03
358	xyePos		Mit morph. Nachlauf	SLNG
443	xyePos		Mit morph. Nachlauf	Öko6
540	xyePos		Mit morph. Nachlauf	WA
787	xyePos		Mit morph. Nachlauf	MQ März/April
1010	xyePos		Mit morph. Nachlauf	HA
	Geschwindigkeiten – flächig			
265	xyuvvBetrag	x	Herstellung	NQ03
358	xyuvvBetrag	x	Herstellung	SLNG
443	xyuvvBetrag	x	Herstellung	Öko6
540	xyuvvBetrag	x	Herstellung	WA
787	xyuvvBetrag	x	Herstellung	MQ März/April
1010	xyuvvBetrag	x	Herstellung	HA

Tabelle 13: Übergebene Datensätze für die berechneten ökologisch relevanten Abflüsse für Variante C_{2,80}



Übergabe der Wasserspiegel für Variante C_{2,80} zur Prognose der Unterhaltsbaggermengen

Im ersten Schritt zur Berechnung von Baggermengen im 2D-Feststofftransportmodell wird eine Sohle unterhalb des $RNW_{\text{künftig}}$ hergestellt. Dieser Baggerhorizont wurde aus den berechneten Wasserspiegeln des 3D-HN-Modells generiert. Zu diesem Zweck wurde der Wasserspiegel für die Berechnungen von $Q(RNW_{97})$ für die Herstelltiefe von 2,80 / 2,85 / 3,00 m in Form eines Längsschnittes an die 2D-FT-Modellierung übergeben.

Eingangswerte für die fahrdynamischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen sowie die zugrundeliegenden Geometrien und Rauheitsbeiwerte wurden für die fahrdynamischen Untersuchungen mit dem Verfahren BSQUAT querprofilbasiert aufbereitet und für Abflüsse $Q(RNW_{97})$, Öko6, $Q(MW)$, HA und $Q(HNN)$ übergeben. Die Ergebnisse der fahrdynamischen Untersuchungen sind in [B15] dokumentiert.

Bundesanstalt für Wasserbau

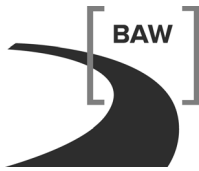
Karlsruhe, 15.11.2012

Im Auftrag

Bearbeiterin

gez. Dr.-Ing. Thomas Brudy-Zippelius

gez. Dr. Regina Patzwahl

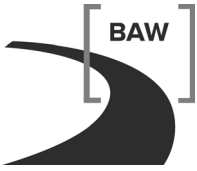


8 Literaturverzeichnis

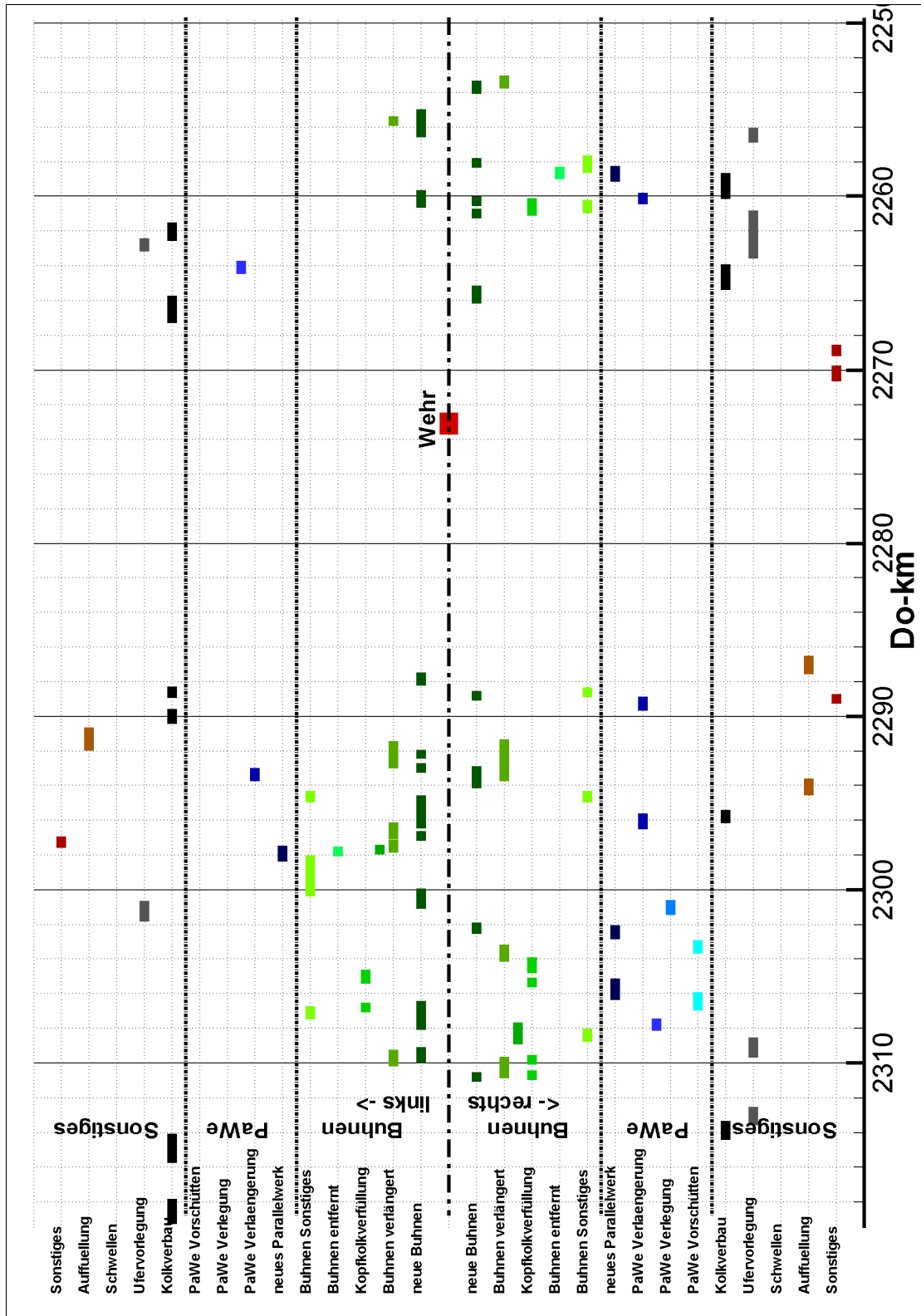
Casulli, V., Zanolli, P. (2002): Semi-implicit numerical modelling of non-hydrostatic free-surface flows for environmental problems. *Mathematical and Computer Modelling*, 36: 1131 – 1149

Eisenhauer, N. (2002/ 2003), Umdruck Hydromechanik, Hochschule Karlsruhe

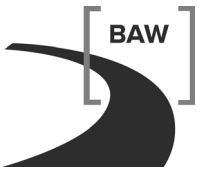
Malcherek, A.: Fließgewässer – Hydromechanik und Wasserbau, Skript zur Vorlesung, Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Institut für Wasserwesen, Version 5.6



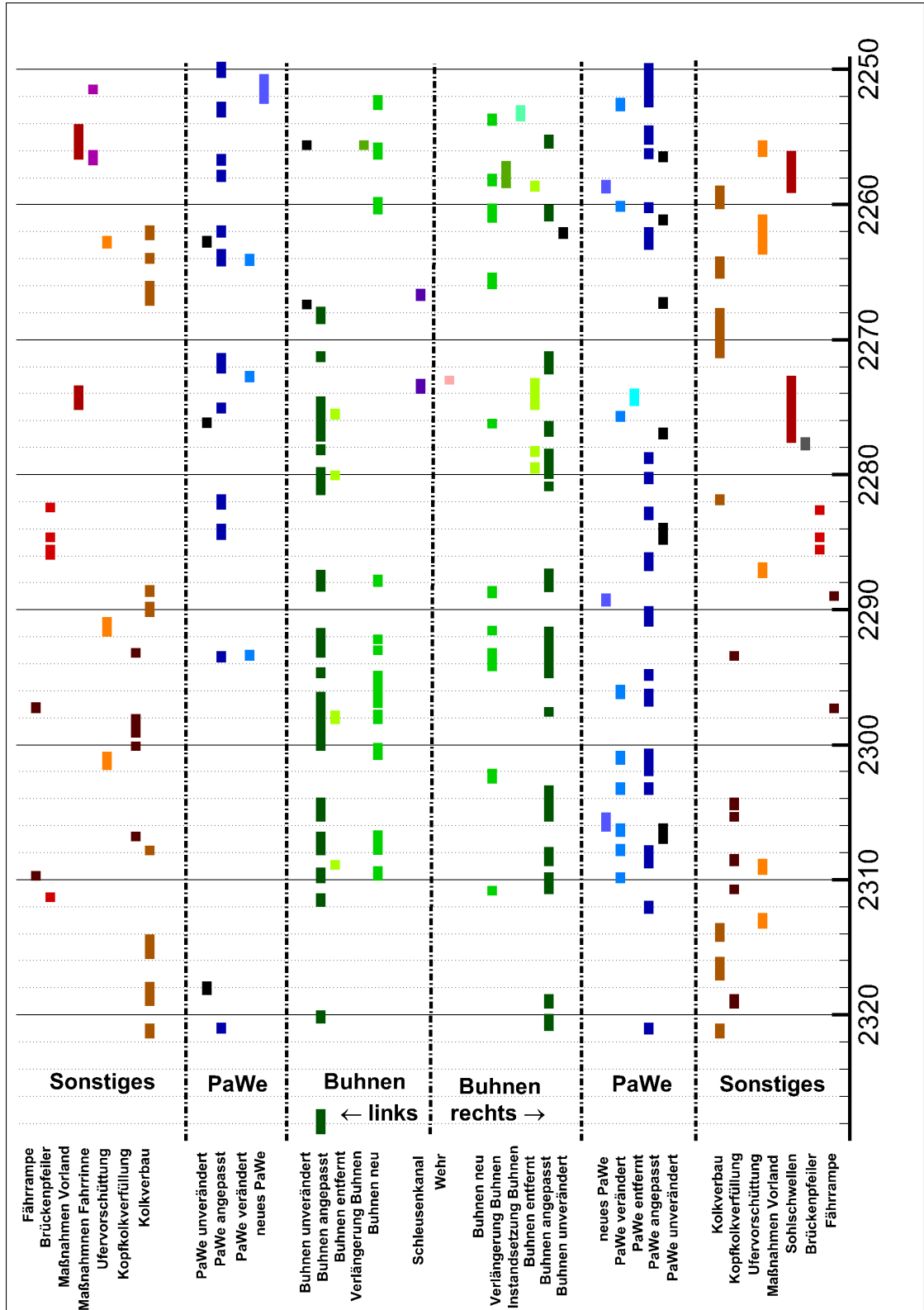
Anhang 1: Flussbauliche Maßnahmen der Variante C/C_{2,80}*



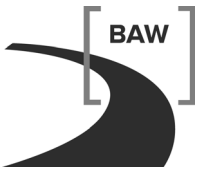
Anhang 1, Bild 1: Flussbauliche Maßnahmen der Variante C/C_{2,80}* im Überblick



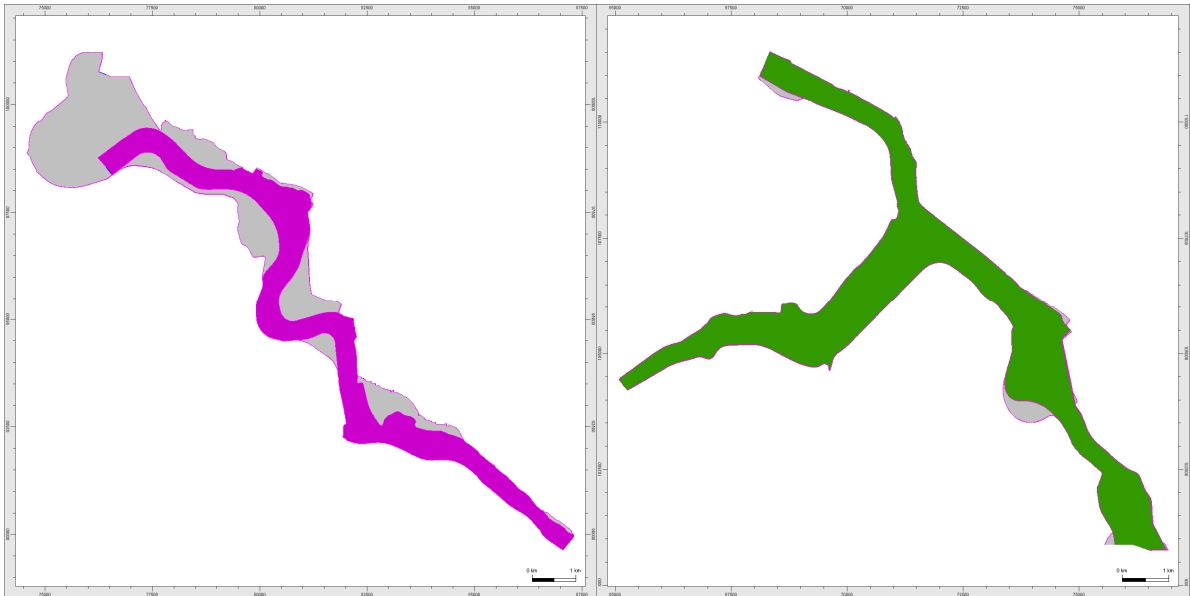
Anhang 2: Flussbauliche Maßnahmen der Variante C_{2,80}



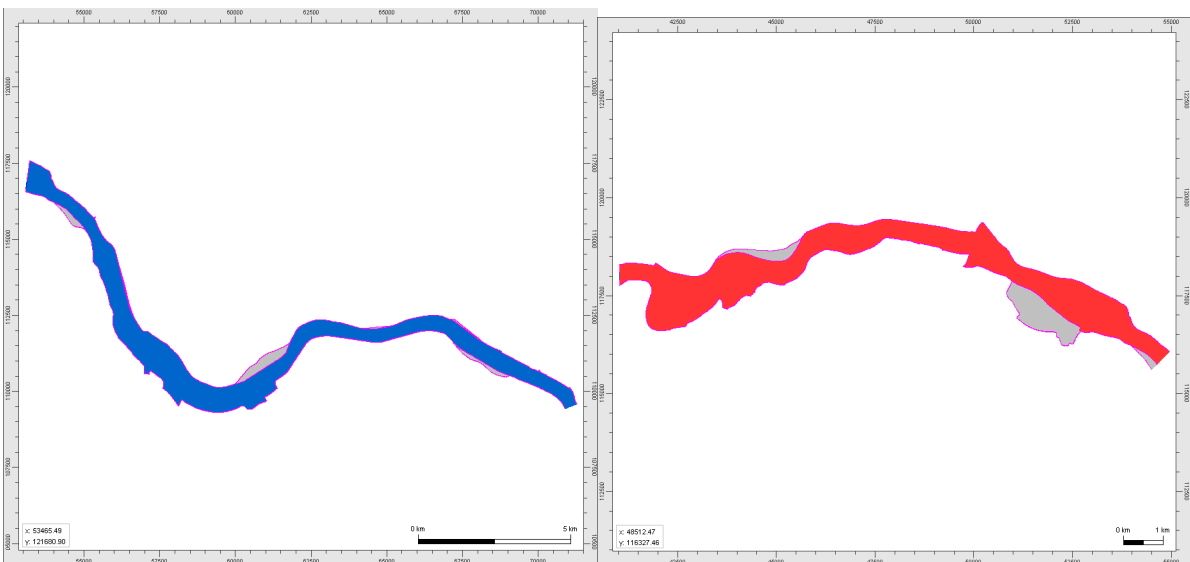
Anhang 2, Bild 1: Flussbauliche Maßnahmen der Variante C_{2,80} im Überblick



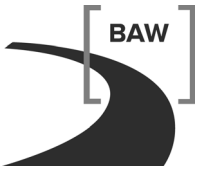
Anhang 3: Anpassung der Berechnungsgitter an das Hochwasserschutzkonzept



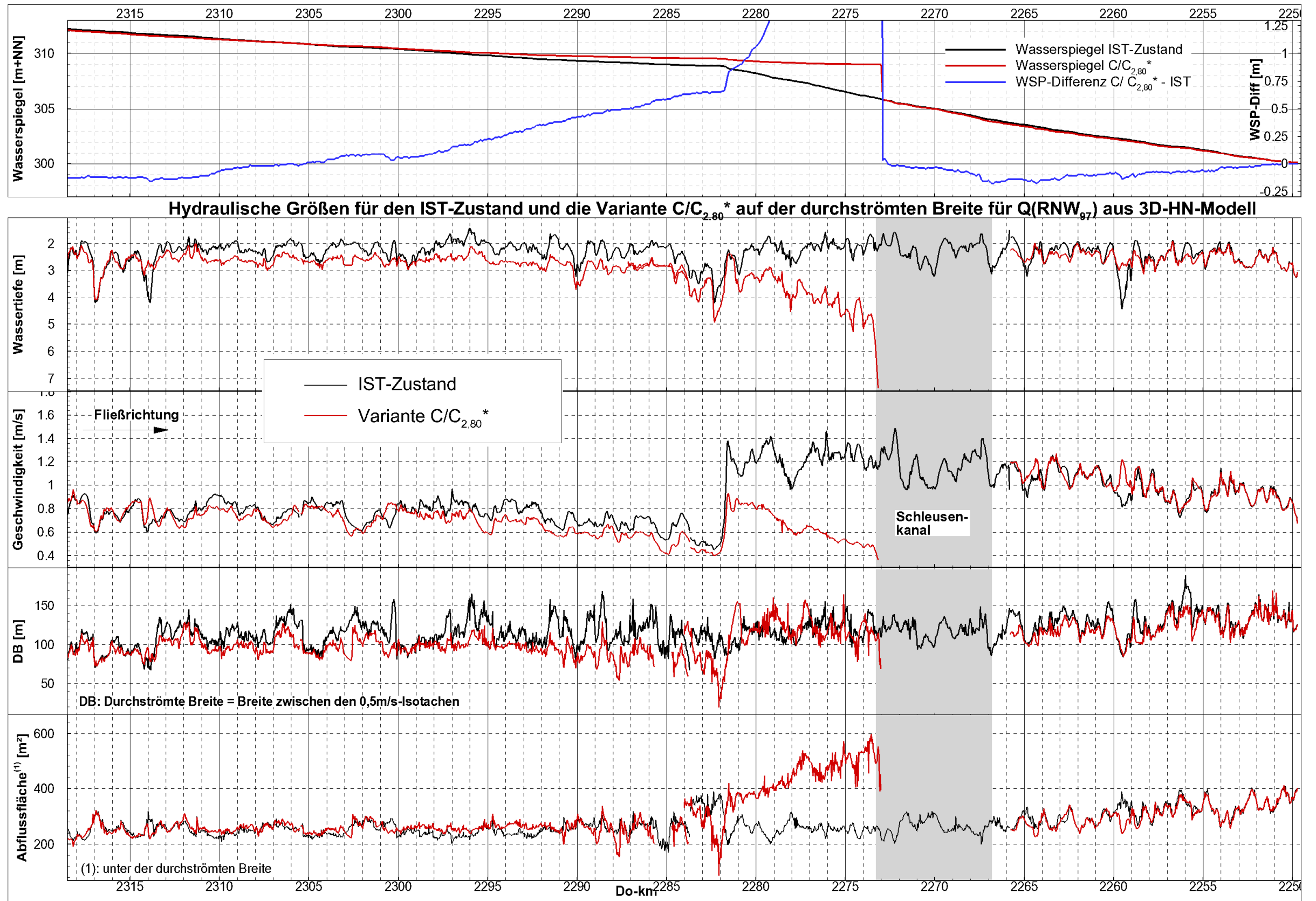
Anhang 3, Bild 1: Rechengitter Variante C/C_{2,80}* (farbig) und Weiterentwicklung (grau) für SV1' (links) und SV2' (rechts)



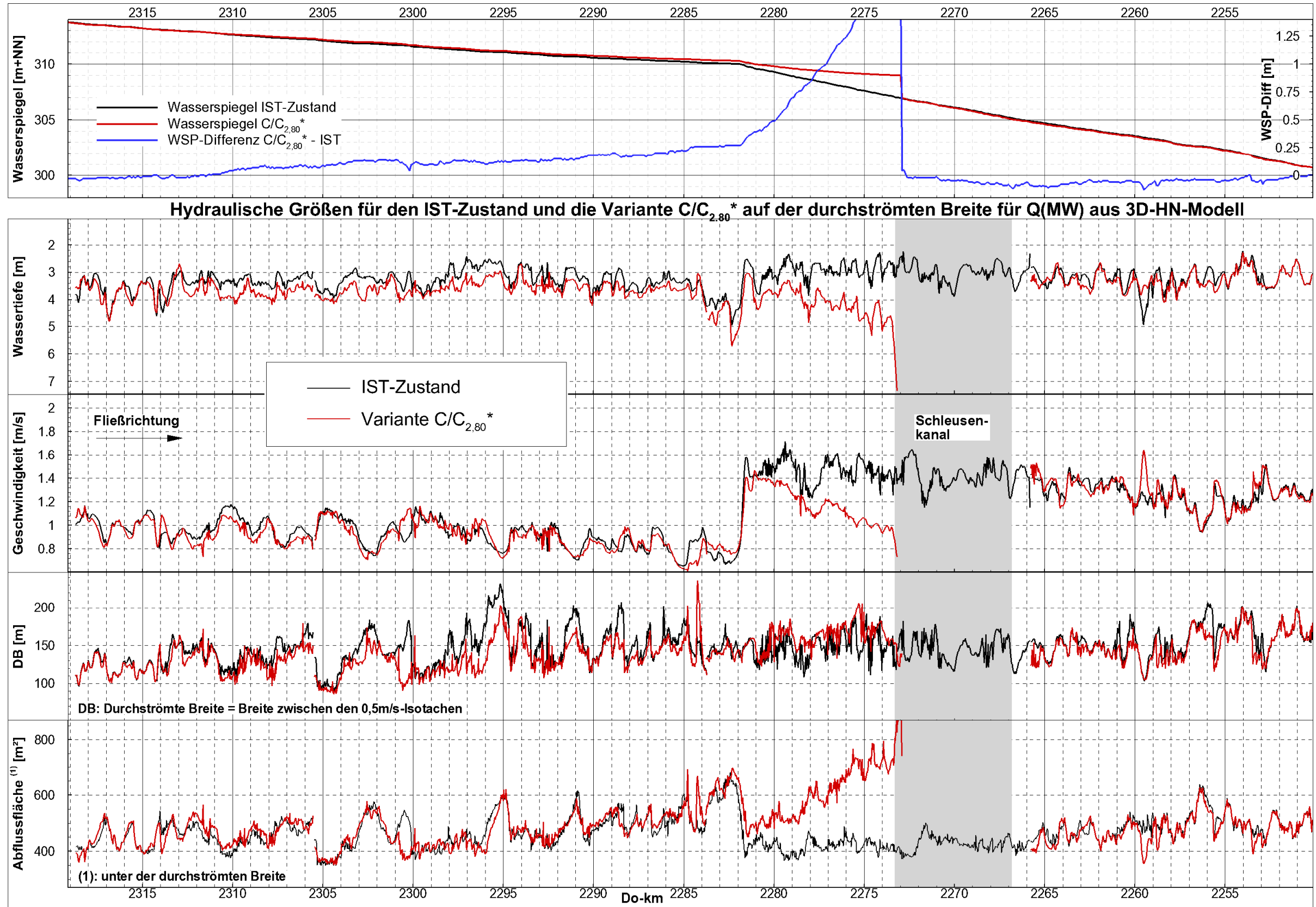
Anhang 3, Bild 2: Rechengitter Variante C/C_{2,80}* (farbig) und Weiterentwicklung (grau) für SV3 (links) und SV4 (rechts)



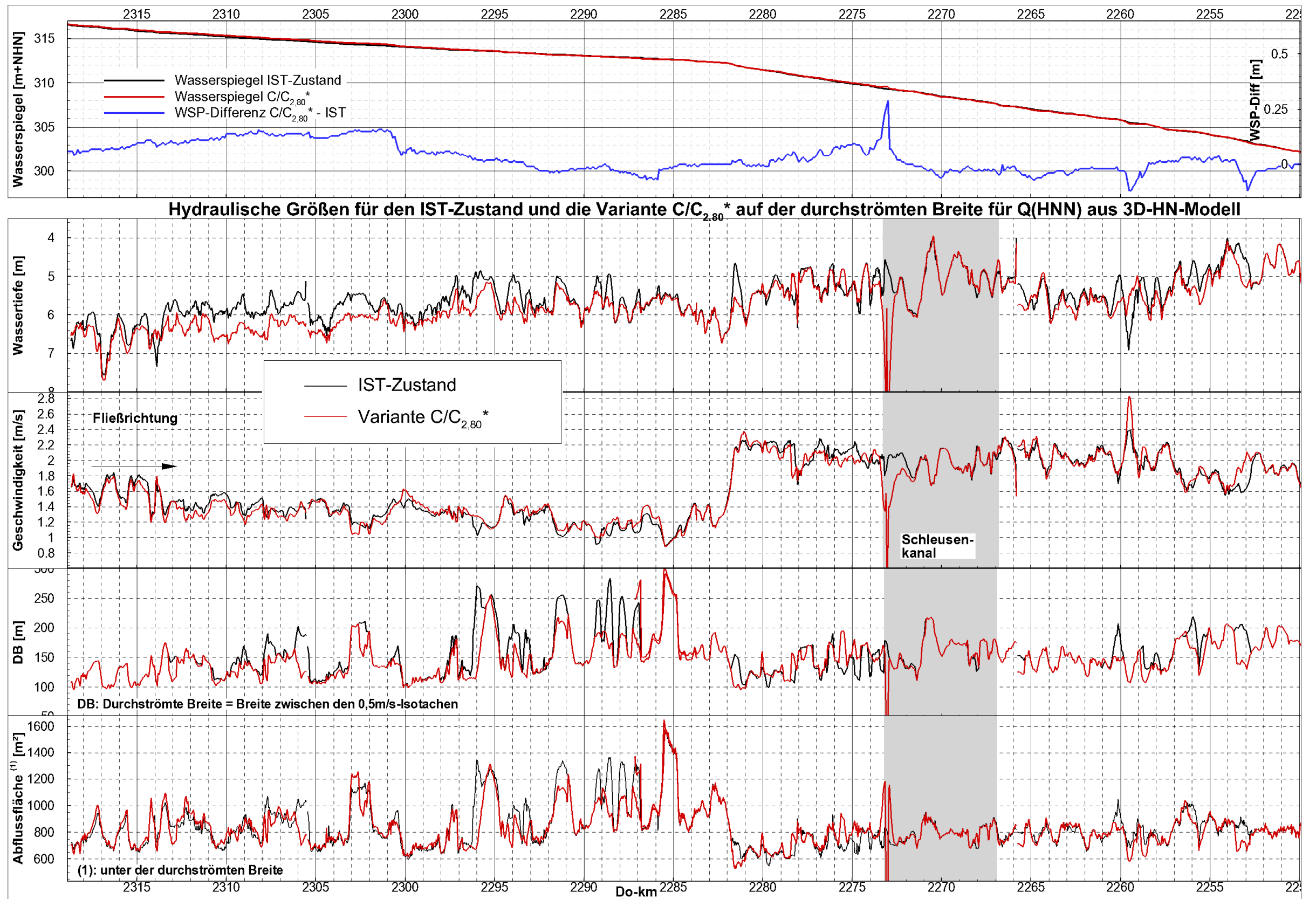
Anhang 4: Variante C/C_{2,80}* und Variante C_{2,80} im Längsschnitt



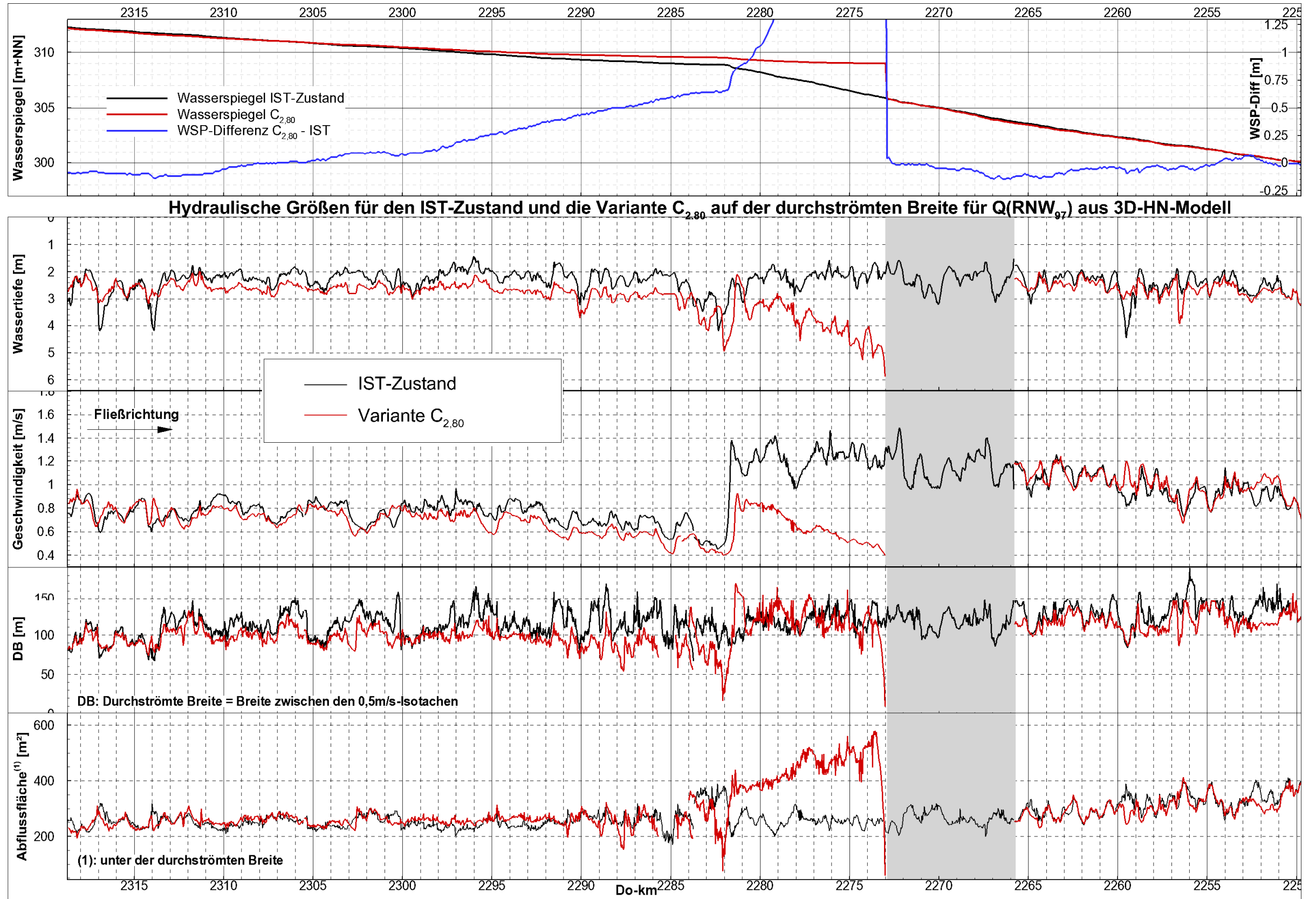
Anhang 4, Bild 1: Hydraulische Größen für den IST-Zustand und die Variante C/C_{2,80}* aus 3D-HN-Modell für Q(RNW₉₇)



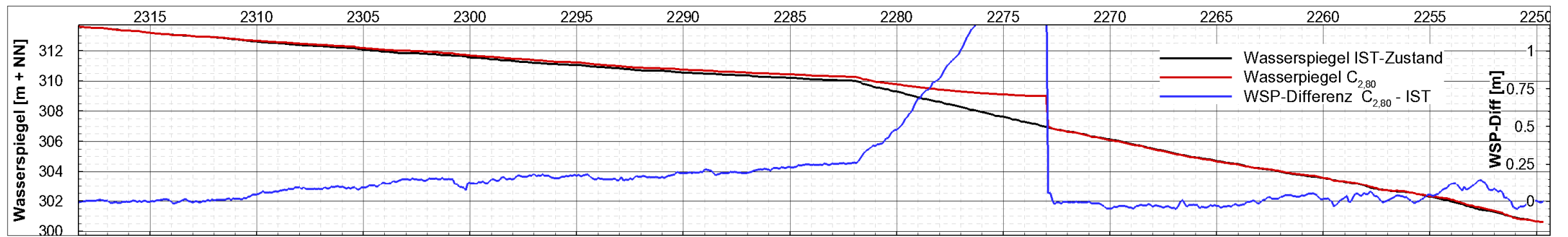
Anhang 4, Bild 2: Hydraulische Größen für den IST-Zustand und die Variante C/C_{2,80}* aus 3D-HN-Modell für Q(MW)



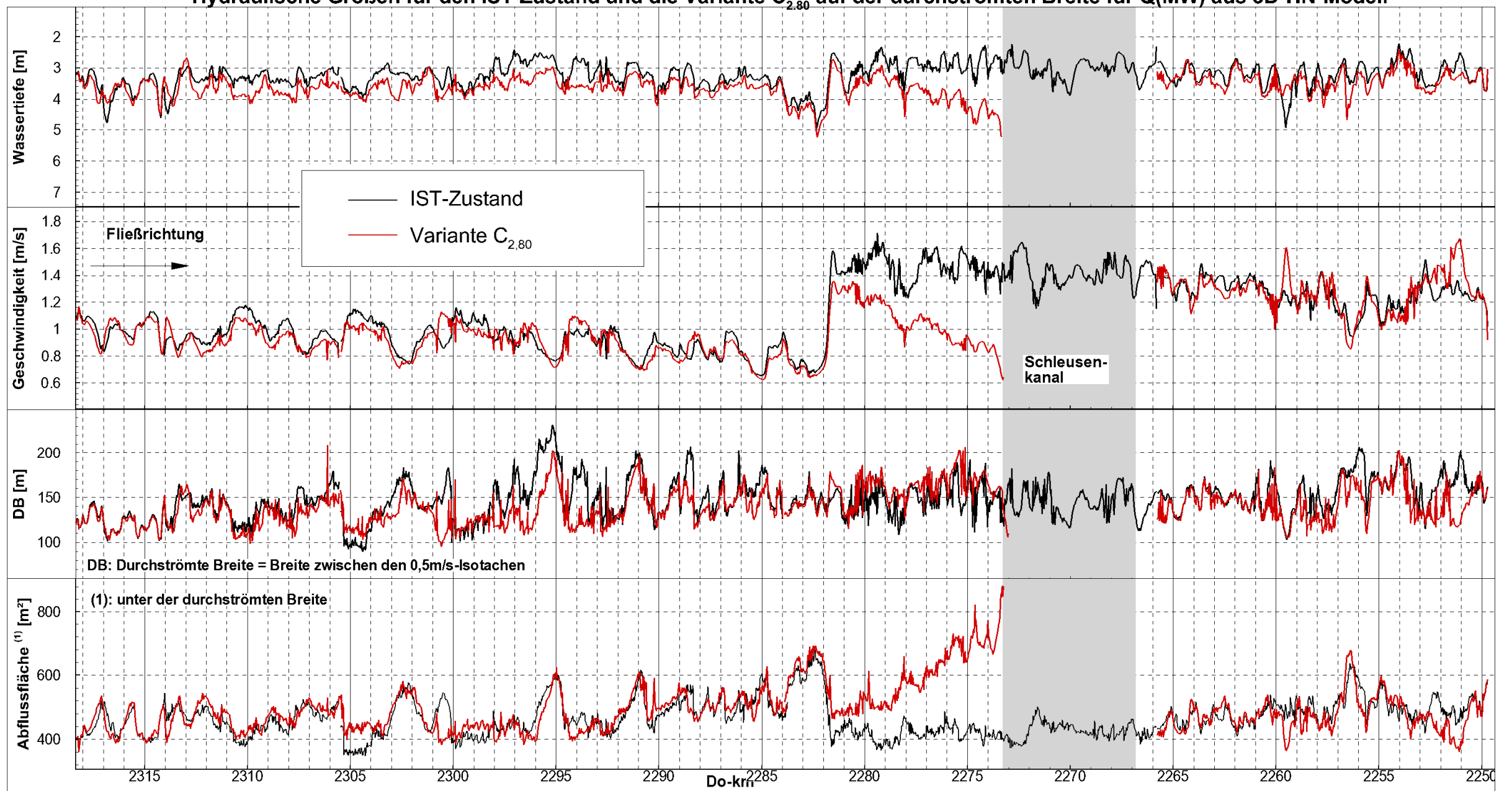
Anhang 4, Bild 3: Hydraulische Größen für den IST-Zustand und die Variante C/C_{2,80}* aus 3D-HN-Modell für Q(HNN)



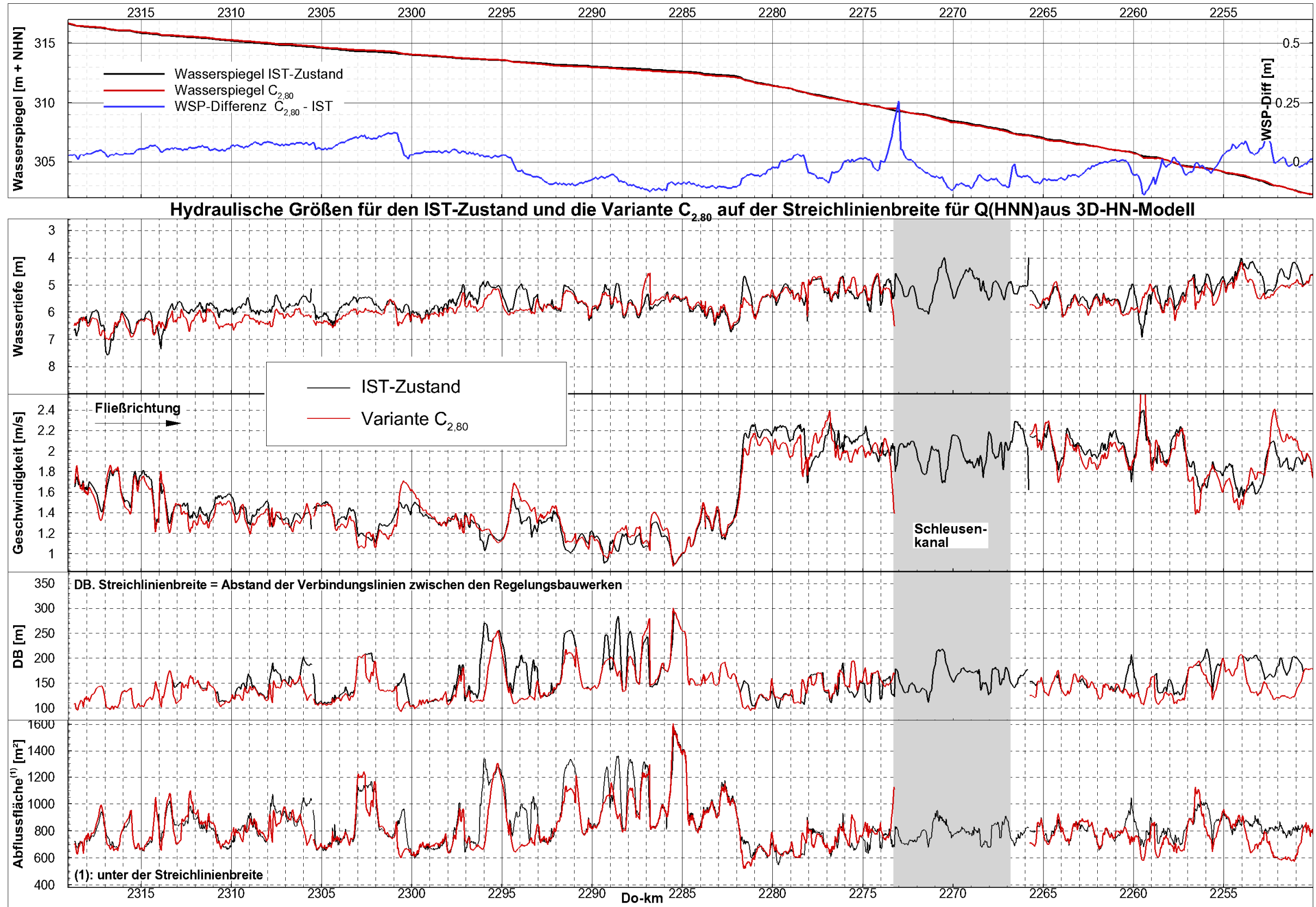
Anhang 4, Bild 4: Hydraulische Größen für den IST-Zustand und die Variante C_{2,80} aus 3D-HN-Modell für Q(RNW₉₇)



Hydraulische Größen für den IST-Zustand und die Variante C_{2,80} auf der durchströmten Breite für Q(MW) aus 3D-HN-Modell



Anhang 4, Bild 5: Hydraulische Größen für den IST-Zustand und die Variante C_{2,80} aus 3D-HN-Modell für Q(MW)



Anhang 4, Bild 6: Hydraulische Größen für den IST-Zustand und die Variante C_{2,80} aus 3D-HN-Modell für Q(HNN)



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