

Anlage 2.6.1: Erläuterungsbericht Hydraulik

Stand: 2.2020

Inhalt	Seite
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	3
2 Hydrologische Grundlagen	3
2.1 Salzach	3
2.2 Zuflüsse	6
2.2.1 Allgemeine Berechnungen zur Salzach	6
2.2.2 Berechnungen Siechenbach	6
3 Erstellung des 2d-Modells (Istzustand)	7
3.1 Verwendete Programme	7
3.2 Erstellung des Berechnungsnetzes	7
3.2.1 Ausdehnung	7
3.2.2 Vorhandener Modellteil	7
3.2.3 Flussschlauchnetz	8
3.2.4 Vorlandnetz	9
3.2.5 Bauwerke	10
3.3 Erfassung der Sohlrauheiten	10
3.4 Modellrandbedingungen	11
3.4.1 Zuflussrand	11
3.4.2 Ausflussrand	12
4 Kalibrierung und Validierung des Modells	13
4.1 Grundlagen und Vorgehen	13
4.2 Kalibrierung Hochwasserabflüsse	14
4.3 Validierung der Kalibrierung bei Hochwasserabflüssen	17
4.4 Kalibrierung Niedrigwasserabfluss	18
4.5 Zusammenfassung und Bewertung der Kalibrierung	20
5 Planungszustände	21
5.1 2d-Modell im Herstellungszustand	21
5.2 2d-Modell im prognostizierter Zielzustand	24
6 Berechnungsergebnisse und Beschreibung der Auswirkungen	24
6.1 Durchgeführte Berechnungen	24
6.2 Herstellungszustand	25

6.3	Prognostizierter Zielzustand Salzach	27
6.4	Planzustand Siechenbach.....	30

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Zur Umsetzung der No-Regret-Maßnahmen sind die hydraulischen Auswirkungen der geplanten Maßnahmen zu untersuchen und zu beurteilen. Dies erfolgt durch hydraulische Berechnungen mit einem 2d-Modell. Dabei werden die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen im Herstellungs- und im prognostizierten Zielzustand auf die Wasserspiegel- und Sohlschubspannungsverhältnisse untersucht.

2 Hydrologische Grundlagen

2.1 Salzach

Als alpiner Fluss ist die Salzach durch niedrige Abflüsse im Winter und hohe Abflüsse im Sommer gekennzeichnet, was unter anderem auf die zeitliche Verzögerung der Abflusswirksamkeit von winterlichen Niederschlägen in Form von Schnee in den höheren Lagen der Alpen zurückzuführen ist. Auf der Internetseite des Hochwassernachrichtendienstes (HND) werden die in Tabelle 2-1 dargestellten hydrologischen Kenndaten für die Salzach am Pegel Laufen Siegerstetter Keller (Fkm 47,5) angegeben.

Tabelle 2-1 Abflüsse verschiedener Hochwasserjährlichkeiten am Salzachpegel Laufen

Ereignis	NQ	MQ	HQ ₁	HQ ₅	HQ ₂₀	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀	HQ _{02.06.2013}
Abfluss [m ³ /s]	39,4	239	1130	1800	2300	2800	3100	3500

Um die Hochwasserabflussverhältnisse realistisch zu simulieren, ist eine instationäre Berechnung unumgänglich. Die dazu erforderlichen Hochwasserganglinien wurden aus dem 2d-Modell des oberstrom liegenden Freilassinger Beckens in der Laufener Enge bei Fkm 48,8 abgegriffen.

Die Zuflussganglinien des Modells vom Freilassinger Becken wurden im Rahmen der Wasserwirtschaftlichen Rahmenuntersuchung Salzach (WRS) abgestimmt (siehe *WRS, 2000b*¹). Dabei wurden reale Hochwasserereignisse ausgewählt und durch Skalierung der Daten an die vorgegebenen Scheitelabflüsse angepasst. So wurde z.B. aus der Hochwasserwelle des Ereignisses von 1959 mit einem Scheitelabfluss von 2.863 m³/s die Hochwasserwelle für ein 100-jährliches Ereignis mit einem Scheitelabfluss HQ₁₀₀ von 3.100 m³/s am Pegel Laufen generiert.

Die in der Laufener Enge bei Fkm 48,8 abgegriffenen Ganglinien berücksichtigen die Abflüsse der Salzach, der Saalach und der Sur.

¹ WRS, 2000b: Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach – 2d-Abfluss-Simulation Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2000.

In den Abbildungen Abb. 1 bis Abb. 5 sind die entsprechenden Zuflussganglinien für die Salzach, die Saalach, die Sur sowie die sich daraus ergebene Ganglinie bei Fkm 48,8 dargestellt. Die Achsmaßstäbe wurden dabei bewusst nicht verändert, um die einzelnen Ganglinien besser vergleichen zu können.

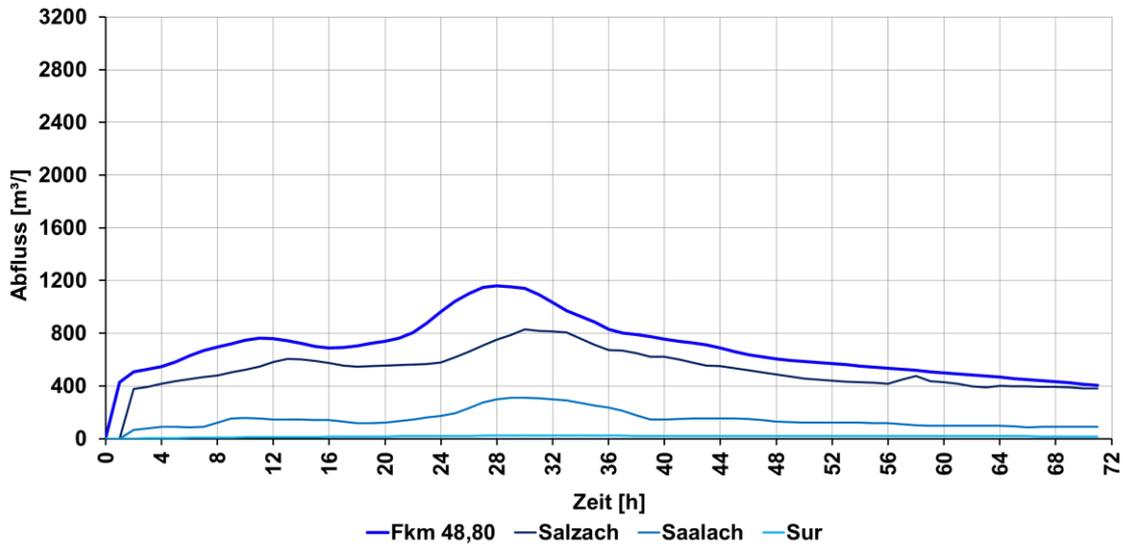


Abb. 1: Zuflussganglinien ins 2d-Modell bei einem 1-jährlichen Ereignis

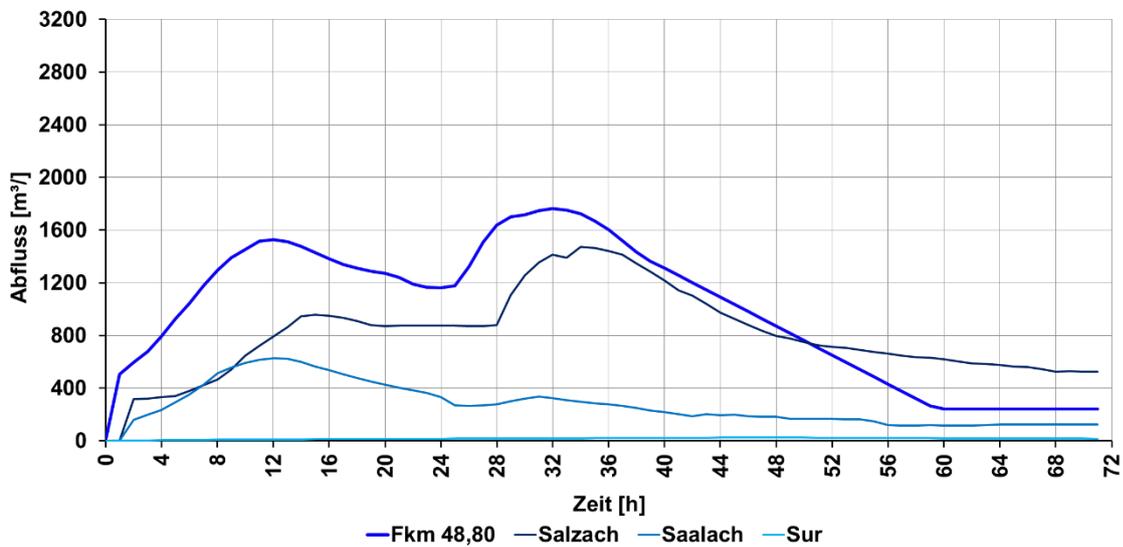


Abb. 2: Zuflussganglinien ins 2d-Modell bei einem 5-jährlichen Ereignis

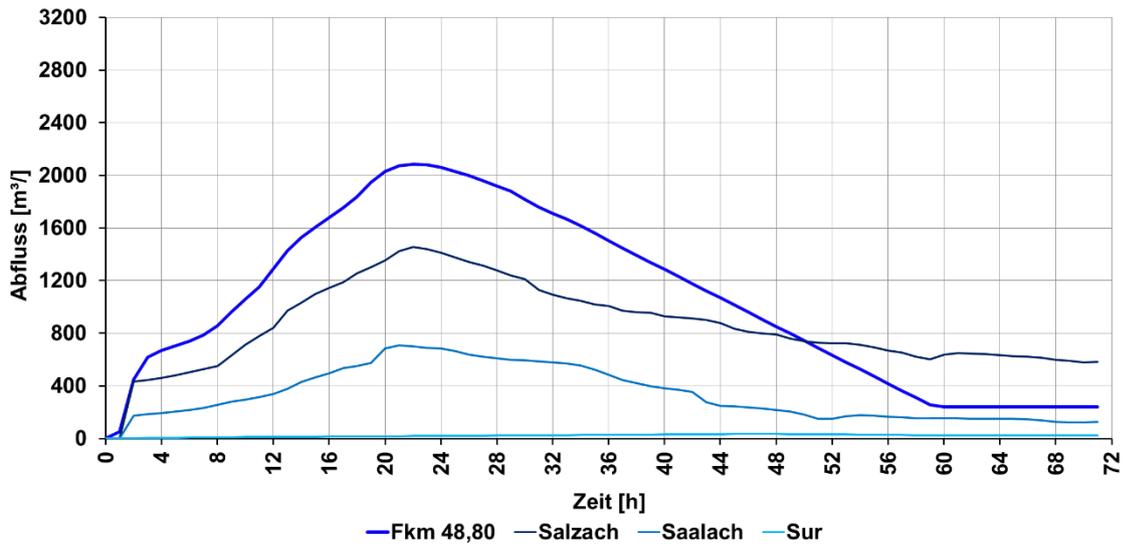


Abb. 3: Zuflussganglinien ins 2d-Modell bei einem 10-jährlichen Ereignis

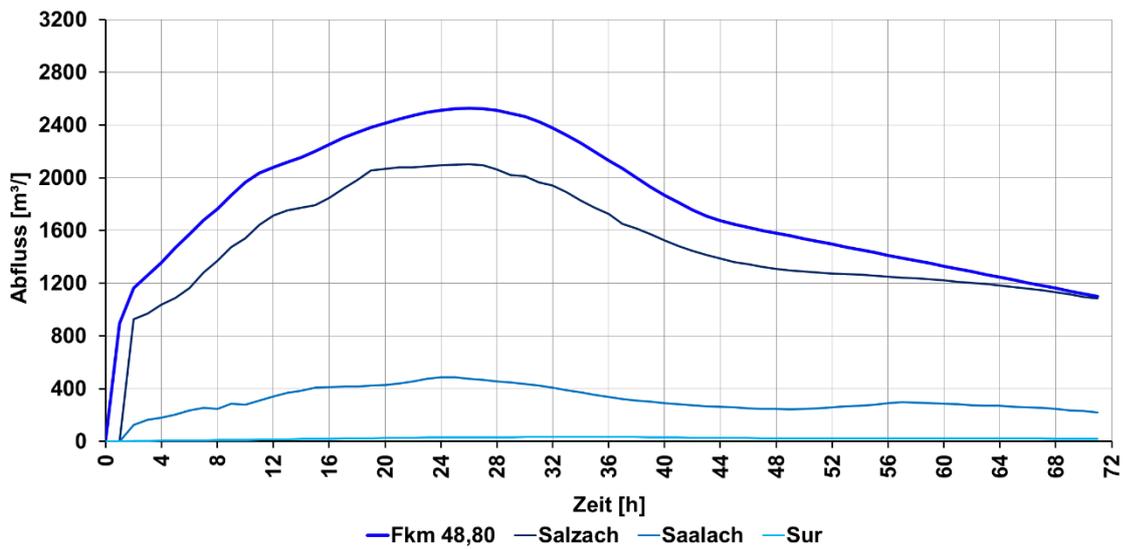


Abb. 4: Zuflussganglinien ins 2d-Modell bei einem 30-jährlichen Ereignis

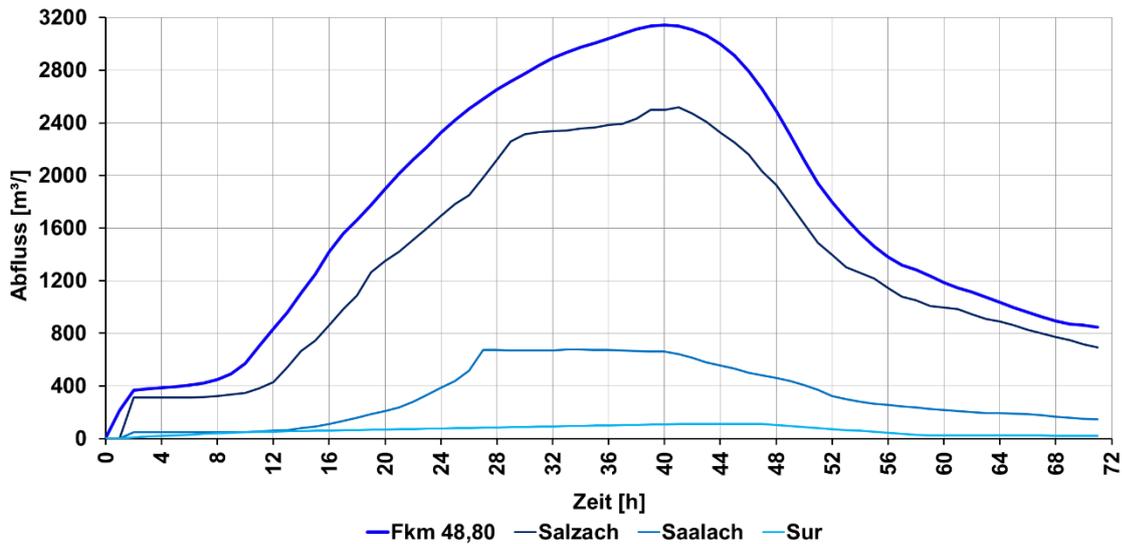


Abb. 5: Zuflussganglinien ins 2d-Modell bei einem 100-jährlichen Ereignis

2.2 Zuflüsse

2.2.1 Allgemeine Berechnungen zur Salzach

Die Zuflüsse im Tittmoninger Becken sind in Tabelle 2-2 zusammenfassend dargestellt. Da die Abflüsse in den Zuflüssen für die salzachbezogenen untersuchten Fragestellungen keine Bedeutung haben, wurden pauschal die ebenfalls in Tabelle 2-2 angegebenen Abflüsse stationär im 2d-Modell berücksichtigt. Die Abflüsse dienen ausschließlich der Darstellung der Zuflüsse in den Ergebniskarten.

Tabelle 2-2 Übersicht der Zuflüsse im Tittmoninger Becken mit Angabe der im Modell berücksichtigten Abflüsse

Zufluss	Lage [Fkm]	Abfluss [m³/s]
Höfener Stausee über Kraftwerk Lebenau	41,35 (linkes Ufer)	1,0
Kollmangraben	40,00 (linkes Ufer)	0,25
Götzinger Ache	27,77 (linkes Ufer)	1,5
Siechenbach	22,47 (linkes Ufer)	0,25
Moosach	34,65 (rechtes Ufer)	0,5
Großbach	27,05 (rechtes Ufer)	0,4
Lohjörgelbach	21,87 (rechtes Ufer)	0,5

2.2.2 Berechnungen Siechenbach

Die Abflüsse verschiedener Hochwasserjährlichkeiten vom Siechenbach sind nicht bekannt.

Die Ermittlung der Auswirkungen des geplanten Umbaus der Siechenbachquerung kurz oberstrom der Mündung in die Salzach erfolgt mit Abflüssen von 10 und 30 m³/s im Siechenbach. Nach Einschätzung des WWA Traunstein liegt der Abfluss von 30 m³/s deutlich über einem HQ₁₀₀.

3 Erstellung des 2d-Modells (Istzustand)

3.1 Verwendete Programme

Die Lösung der Flachwassergleichungen erfolgte mit dem Programm HYDRO_AS-2d, Version 4.2.7. Dabei werden an jedem Berechnungsknoten zu verschiedenen Zeitpunkten folgende Strömungsparameter berechnet:

- Wasserspiegelhöhe bzw. Fließtiefe;
- über die Fließtiefe gemittelte Fließgeschwindigkeiten in zwei senkrecht zueinanderstehenden Richtungen in der horizontalen Projektion.

Auf eine Beschreibung der Grundlagen dieses Programms sowie der mathematischen Grundgleichungen wird hier verzichtet. Dazu sei auf *Nujic (1999)*² verwiesen.

3.2 Erstellung des Berechnungsnetzes

3.2.1 Ausdehnung

Das Modell beginnt kurz oberstrom von Laufen bzw. Oberndorf bei Fkm 48,8 und endet an der Mündung der Salzach in den Inn bei Fkm 1,4.

Das Modell des Istzustands besteht aus ca. 2,8 Mio. Netzelementen und 1,5 Mio. Netzknoten.

3.2.2 Vorhandener Modellteil

Im Rahmen der Erstellung der Hochwassergefahren- und Risikokarten wurde für den Abschnitt von Fkm 24,2 bis zur Mündung in den Inn ein neues 2d-Modell erstellt. Der Modellabschnitt unterstrom von Fkm 10,8 wurde vollständig in das neu zu erstellende Gesamtmodell des Tittmoninger Beckens und der Nonnreiter Enge übernommen.

² Nujic, M.: Praktischer Einsatz eines hochgenauen Verfahrens für die Berechnung von tiefengemittelten Strömungen, Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Nr. 64, 1999.

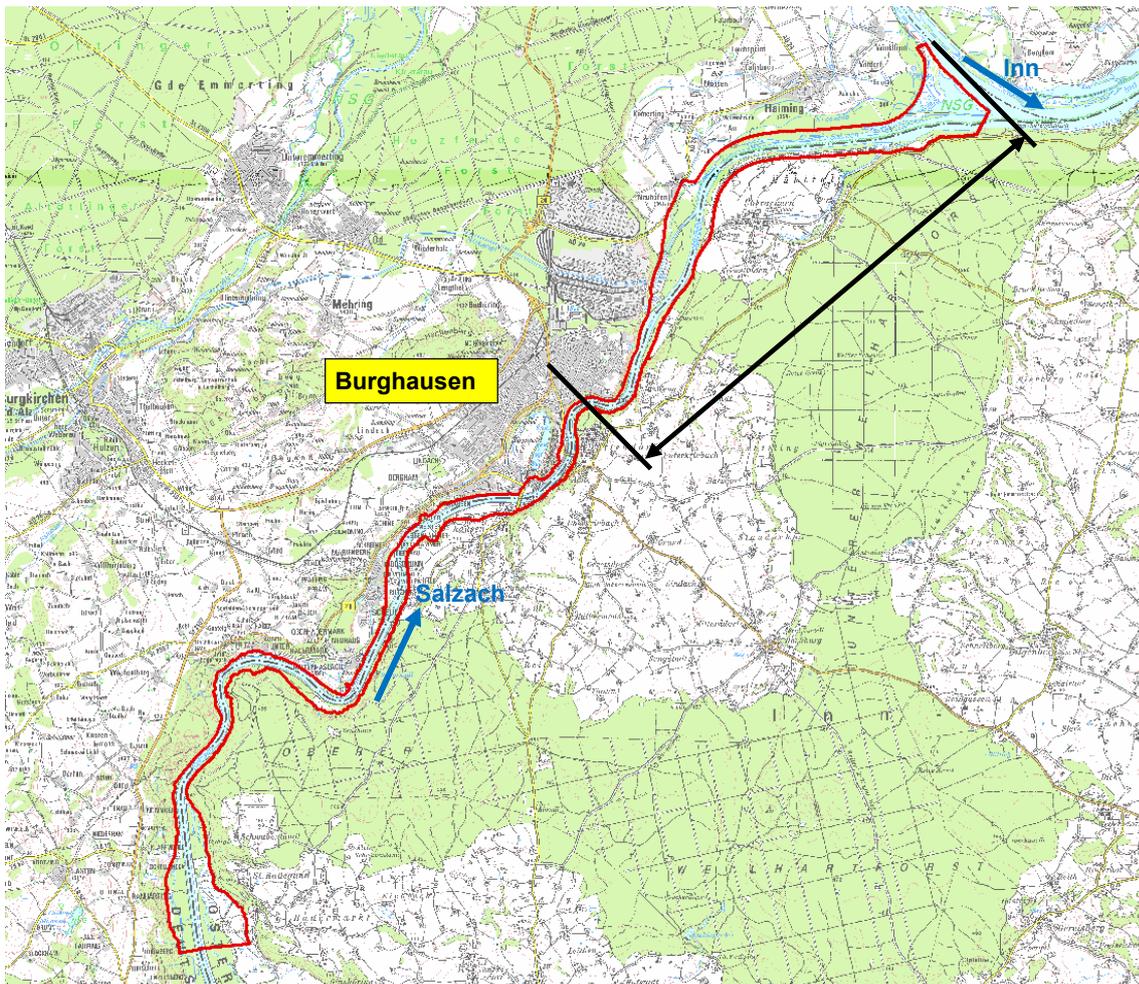


Abb. 6: Umgriff des Neumodells 2186 der HWGK

Der oberstrom liegende Modellteil von Fkm 24,2 bis 10,8 wurde nicht übernommen. Für diesen Flussabschnitt lagen neuere flächige Vermessungsdaten der Sohle und der Vorländer analog zum gesamten Tittmoninger Becken vor (siehe hierzu auch Kap. 3.2.3).

3.2.3 Flussschlauchnetz

Im Jahr 2015 wurde die Salzachsohle im gesamten Tittmoninger Becken und in der Nonnreiter Enge bis Fkm 10,8 incl. eines Vorlandstreifens von beidseitig 200 m flächig vermessen. Die Vermessung erfolgte mittels Befliegung unter Einsatz von Laserscangeräten mit grüner Wellenlänge („grüner Laser“). Bereiche der Salzach, in den die Eindringtiefe des „grünen Lasers“ nicht ausreichte, wurden durch Fächerecholotaufnahmen im Raster von 0,5 x 0,5 m ergänzt.

Zur Abgrenzung des Flussschlauchnetzes wurde eine Linie ca. im oberen Drittel der Böschung definiert. Dazwischen wurde in einem ersten Schritt ein gleichmäßiges Netz

bestehend aus Rechteckelementen mit Abmessung von 10 m in Längs- und 5 m in Querrichtung erzeugt. Im Anschluss erfolgte die Höhenbelegung des Flussnetzes durch lineare Interpolation der flächig vorliegenden Laserscan- bzw. Echolotdaten.

3.2.4 Vorlandnetz

Für das gesamte Vorland im Tittmoninger Becken und der Nonnreiter Enge bis Fkm 10,8 wurden vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung Laserscandaten im 1 m – Raster zur Verfügung gestellt.

Die Netzerstellung erfolgte mit dem Programm Laser-AS-2d Version 2.0³. Dabei wurde die in Tabelle 3-1 aufgeführten Eingangsparameter für Laser-AS-2D verwendet. Die Wahl der Parameter erfolgte unter der Prämisse einer guten Netzqualität bei gleichzeitig nicht zu großer Elementanzahl im Hinblick auf eine vernünftige Rechengeschwindigkeit.

Tabelle 3-1 Eingangsparameter für Laser_AS-2d

Option (Kurzform)	Wert	Beschreibung
-c	1,0	Rasterabstand (dxy) [m]
-d	0,2	Höhentoleranz delta z [m]
-l	0,1	Höhentoleranz (untere Grenze) z [m]
-f	0,15	Filterungsgrad
-r	6,0	Punktabstand für redistribute [m]
-remove-breaklines-	4	Bruchkanten mit angegebener Länge entfernen
-L	0,06 10; 0,06 40; 0,06 80	Parameter für Laplace-Iterationen
-M	0,02 10	Glättung der maximalen Abweichungen
-t	-q -Y -a200	Parameter für Triangle
-optimize-nodes-radius-	2,0	Radius zur Optimierung der Knotenlängen

Bei der Vorlandnetzerstellung wurden zusätzlich zu den Laserscandaten folgende Eingangsdaten verwendet:

- Generalisierte Gebäudegrundformen
- Modellumgriff
- Flussnetzumgriff
- Achsen aller Nebengewässer im Modellgebiet als Bruchkanten ohne Höhen.

³ Hydrotec – Nujić: Benutzerhandbuch, Laser_as-2d Erweiterung zu Hydro_as-2d zur Ausdünnung und Aufbereitung von Laserscandaten für die 2d-Modellierung, Version 2.0, Aachen, Mai 2017.

3.2.5 Bauwerke

Brücken

Die einzige Brücke ist die Grenzbrücke Tittmoning. Die Brückenpfeiler sind im Modell als nicht durchströmbare Elemente enthalten. Die Unterkante des Brückenüberbaues liegt gemäß vorliegender Pläne bei ca. 373,70 müNN. Der Wasserspiegel bei Durchfluss eines HQ_{100} liegt im Bereich der Brücke bei 372,40 müNN und somit ca. 1,3 m unterhalb des Brückenüberbaues. Da keine genauen Angaben über die Brückenunterkanten vorliegen und ein Einstau der Brücke nicht zu erwarten ist, wurde auf eine Modellierung des Brückenüberbaues verzichtet.

3.3 Erfassung der Sohlrauheiten

Im 2d-Modell wurden den Netzelementen je nach Oberflächenbeschaffenheit verschiedene Rauheitsbereiche zugewiesen. Den Rauheitsbereichen wurde dann ein Stricklerwert zugeordnet. Die gewählten Stricklerwerte sind Erfahrungswerte oder wurden der gängigen Literatur entnommen und sind in Tabelle 3-2 dargestellt. Die Materialbelegung des 2d-Netzes erfolgte automatisiert auf Basis zur Verfügung stehender Landnutzungsdaten (ATKIS-Daten für Bayern und DKM-Daten für Oberösterreich und Salzburg).

Im Flussschlauch werden je Abfluss unterschiedliche Stricklerwerte verwendet. Näheres dazu ist im Kap. 4 Verifikation und Kalibrierung des Modells beschrieben.

Im Zielzustand ist eine etwas „glattere“ Deckschicht in der Salzach zu erwarten. Dies wird im Modell durch um eine Einheit erhöhte Stricklerwerte für die Materialien Nr. 1 bis 3 in nachfolgender Tabelle berücksichtigt.

Tabelle 3-2 Verwendete Stricklerwerte im Modell des Istzustands

Nr.	Material	Stricklerwert [$m^{1/3}/s$]
1	Flussschlauch 1	35 – 31
2	Flussschlauch 2	35 – 32
3	Flussschlauch 3	31
4	Offenes Deckwerk	22 - 25
5	Böschung gemischt	31
6	Gehölz	10
7	Bebauung	10
8	Gewerbegebiet	12
9	Sumpf, Ried	26
10	Siedlungsfreifläche	16
11	Abbaufläche	30
12	Grünland	20
13	Heide, Moor	18
14	Sonstige	20
15	Stehendes Gewässer	30

Nr.	Material	Stricklerwert [m ^{1/3} /s]
16	Sonstige Siedlungsfläche	12
17	Ackerland	15
18	Verkehrsfläche	40
19	Fließgewässer (Zuflüsse)	33,5
20	Wald	10
21	HWGK Sonstige Siedlungsfläche	12
22	HWGK Grünland	20
23	HWGK Ackerland	15
24	HWGK Bauwerk	40
25	HWGK Gewerbegebiet	12
26	HWGK Ufer Grasbewuchs	29
27	HWGK Siedlungsfreifläche	16
28	HWGK Uferbewuchs dicht	20
29	HWGK Verkehrsfläche	40
30	HWGK Bebauung	10
31	HWGK Ufer gemischt	31
32	HWGK Uferbewuchs locker	26
33	HWGK Gehölz	10
34	HWGK Straße Weg	40
35	HWGK Wald	10
36	HWGK Flussschlauch	33,5

3.4 Modellrandbedingungen

3.4.1 Zuflussrand

Am Zuflussrand des 2d-Modells wurden die in Abb. 7 dargestellten und gemäß Beschreibung in Kap. 2.1 ermittelten Abflussganglinien als instationäre Abflüsse angesetzt.

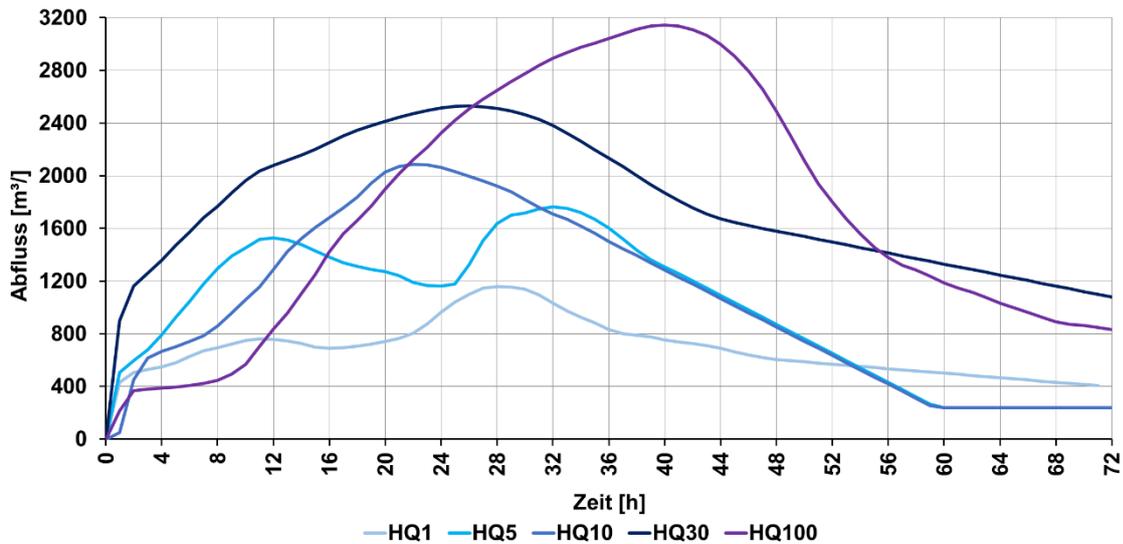


Abb. 7: Zuflussganglinien

3.4.2 Ausflussrand

Der Ausflussrand des 2d-Modells befindet sich an der Mündung in den Inn. Hier wurde die im HWGK-Modellteil verwendete und in Tabelle 3-3 dargestellte W-Q-Beziehung am Ausflussrand übernommen.

Tabelle 3-3 W-Q-Beziehung am Auslauftrand

Wasserstand [müNN]	Abfluss [m³/s]
347,30	0
350,65	1.650
350,70	3.300
350,75	4.950
351,70	6.600

Aufgrund der großen Entfernung zwischen dem Untersuchungsgebiet im Tittmoninger Becken (Fkm 45 bis 22) und dem Auslauftrand bei Fkm 1,4 hat der Ansatz der unterstromigen Randbedingung keinen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse im Untersuchungsgebiet.

4 Kalibrierung und Validierung des Modells

4.1 Grundlagen und Vorgehen

Die Kalibrierung des Modells erfolgt getrennt für Hoch- und Niedrigwasserabflüsse.

Zur Kalibrierung für Hochwasserabflüsse stehen Wasserspiegelfixierungen der Hochwasserereignisse vom August 2002 und vom Juni 2013 zu Verfügung. Die Ganglinien der beiden Hochwasserereignisse sind in Abb. 8 für den Salzachpegel Laufen dargestellt.

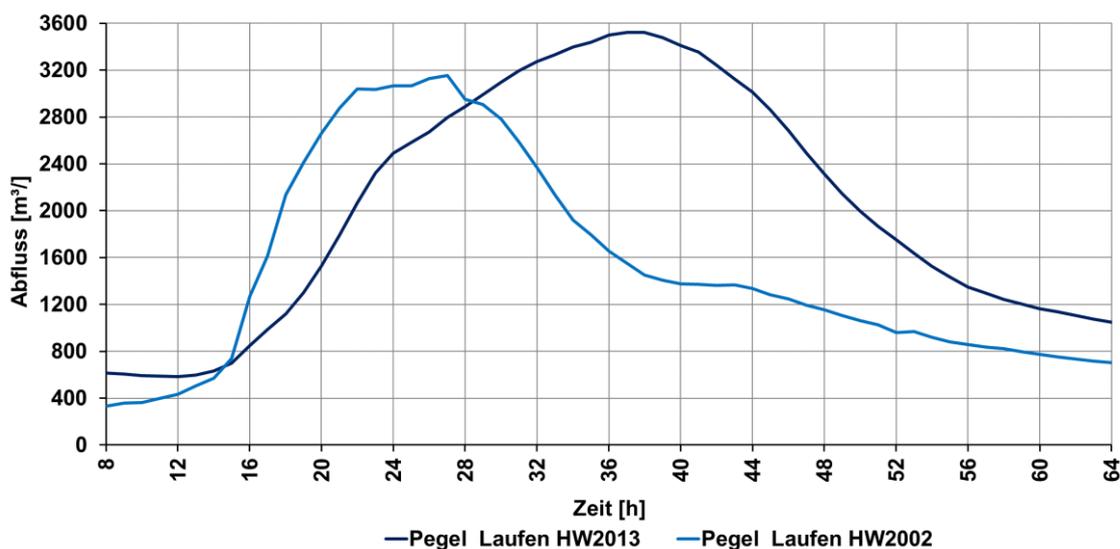


Abb. 8: Hochwasserganglinien am Salzachpegel Laufen

Die Kalibrierung für Hochwasserabflüsse wurde anhand des Hochwassers vom Juni 2013 durchgeführt. Dabei wurde im 2d-Modell die Sohle der flächigen Vermessung vom Dezember 2015 verwendet. Im Anschluss erfolgte eine Validierung der Kalibrierungsergebnisse anhand des Hochwassers vom August 2002. Hierfür wurde die Sohle der Vermessung vom Dezember 2002 in das 2d-Modell eingebaut.

Zur Kalibrierung bei Niedrigwasserabflüssen wurden die bei der Befliegung mit dem „grünen Laser“ mit aufgezeichneten Wasserspiegellagen verwendet. Die Befliegung fand im 08.11.2015 statt. Gemäß dem Gewässerkundlichen Dienst Bayern⁴ lag der Abfluss am Pegel Laufen an diesem Tag zwischen 83,8 und 117 m³/s. Bei den Kalibrierungsberechnungen wurde ein stationärer Abfluss in Höhe von 85 m³/s berücksichtigt.

⁴<https://www.gkd.bayern.de/de/fluesse/abfluss/inn/laufen-siegerstetter-keller-18602009>

4.2 Kalibrierung Hochwasserabflüsse

In der ersten Kalibrierungsberechnung wurde für die gesamte Salzachsohle incl. des offenen Deckwerks einheitlich ein Stricklerwert von $33,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ angesetzt. Abb. 9 zeigt das Ergebnis dieses ersten Rechenlaufs. Abweichungen von der Fixierung werden wie folgt interpretiert und dargestellt:

- Abweichungen von der Fixierung im Bereich zwischen + 15 cm und - 20 cm werden als ein gutes Kalibrierungsergebnis eingestuft. Dieser Bereich ist in den Abbildungen grün hinterlegt. In den nachfolgenden Tabellen sind die entsprechende Werte grün dargestellt.
- Abweichungen bis 30 cm werden als ein mäßiges Kalibrierungsergebnis eingestuft. In den nachfolgenden Tabellen sind die entsprechende Werte orange dargestellt.
- Abweichungen > 30 cm werden als ein schlechtes Kalibrierungsergebnis eingestuft. In den nachfolgenden Tabellen sind die entsprechende Werte rot dargestellt.

Zur übersichtlichen Auswertung der Ergebnisse sind in Tabelle 4-1 zusätzlich die mittleren Abweichungen jeweils für 5 km lange Flussabschnitte angegeben.

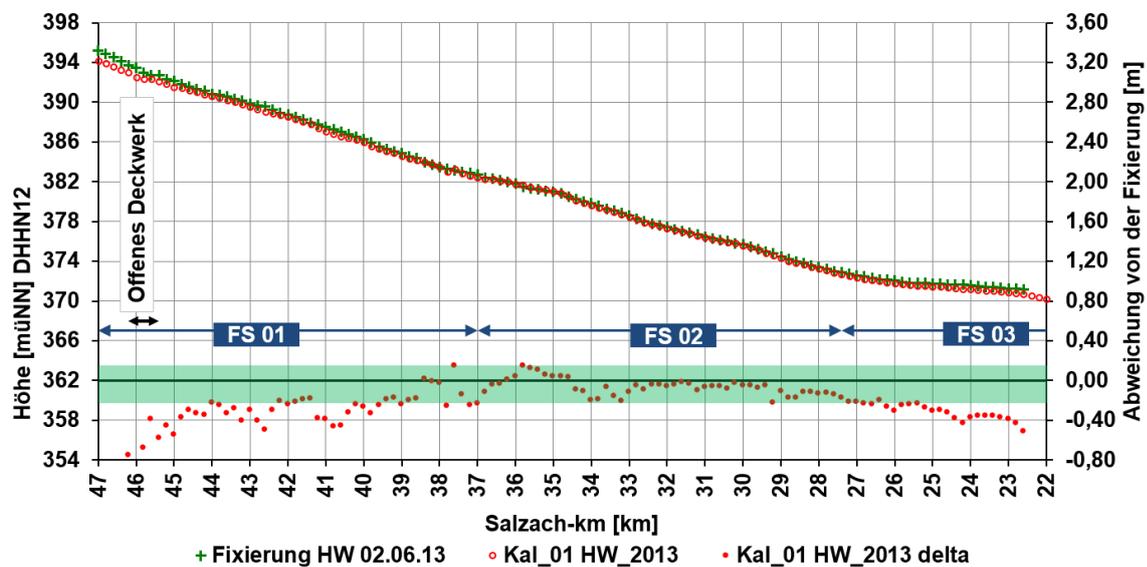


Abb. 9: Ergebnis 1. Kalibrierungsrechenlauf Hochwasserabflüsse

Tabelle 4-1 Mittlere Abweichung von der Fixierung bei Aufteilung in 5 km Abschnitte (HW 2013, 1. Kalibrierungsrechenlauf Hochwasserabflüsse)

Abschnitt	Mittlere Abweichung bei Betrachtung der WSP in Flussachse
Fkm 47 – 42	- 51 cm
Fkm 42 – 37	- 22 cm
Fkm 37 – 32	- 5 cm
Fkm 32 – 27	- 10 cm
Fkm 27 – 22	- 32 cm

Für alle weiteren Kalibrierungsberechnungen wurde die Flusssohle gemäß der in Tabelle 4-2 dargestellten Abschnitte unterteilt.

Tabelle 4-2 Einteilung der Salzachsohle in Abschnitte mit unterschiedlichen Rauheitsbeiwerten

Abschnitt	Bezeichnung	Stricklerwert [$m^{1/3}/s$]
Fkm 46,4 – 45,4	Offenes Deckwerk	25
Modellbeginn bis Fkm 37,0	Flusssohle 1 (FS 01)	31
Fkm 37,0 – 27,4	Flusssohle 2 (FS 02)	32
Fkm 27,4 – 10,8	Flusssohle 3 (FS 03)	31
Fkm 10,8 bis Modellende	Flusssohle HWGK ⁵	33,5

Die beste Übereinstimmung mit der Fixierung ergibt sich bei den in Tabelle 4-2 dargestellten Stricklerwerten.

Die Ergebnisse des entsprechenden Rechenlaufs sind in Abb. 10 und Abb. 11 dargestellt. Abb. 10 zeigt dabei den Vergleich der Fixierung zu den berechneten Wasserspiegeln in der Flussachse und Abb. 11 analog den Vergleich zu den an der linken Wasseranschlagslinie berechneten Wasserspiegeln, an der auch die Fixierung durchgeführt wurde. Die mittleren Abweichungen sind in Tabelle 4-3 angegeben.

⁵ Übernahme des Modells der Hochwassergefahrenkarten, vgl. Kap. 3.2.2.

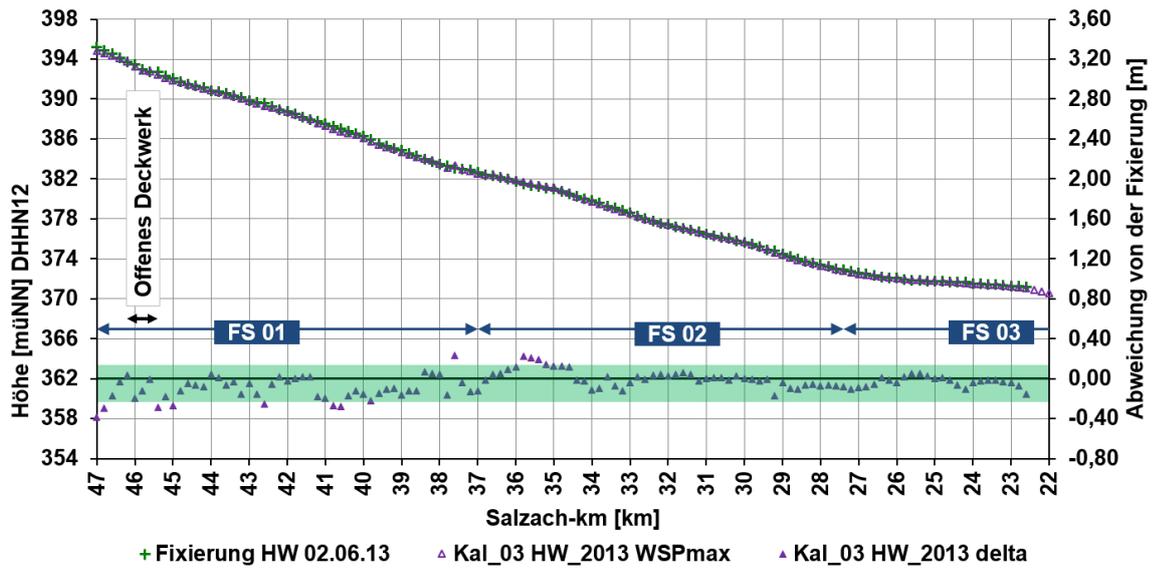


Abb. 10: Ergebnis bester Kalibrierungsrechenlauf (Auswertung in der Flussachse)

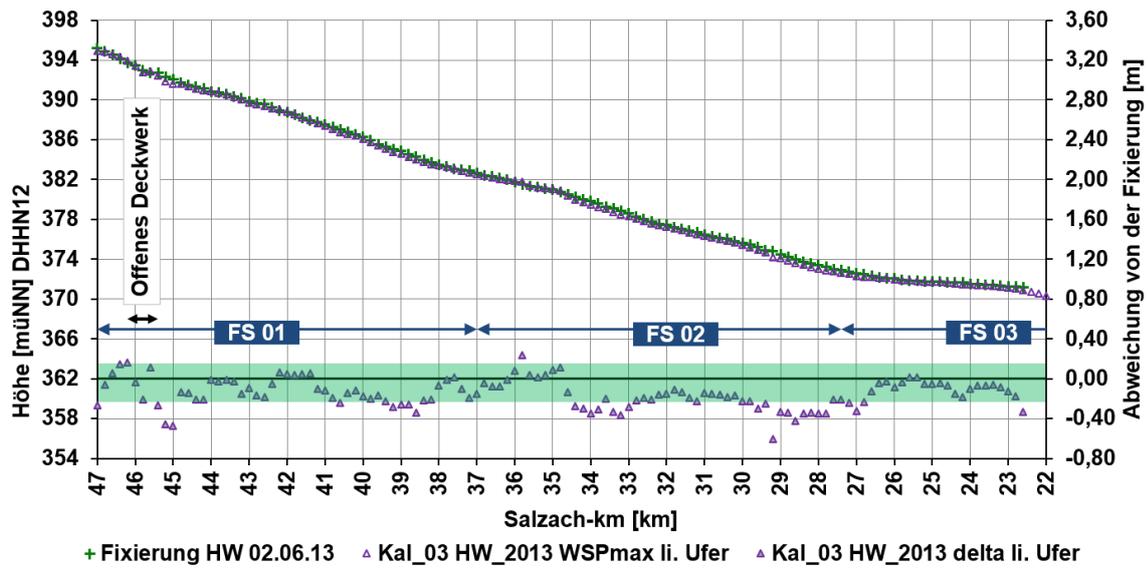


Abb. 11: Ergebnis bester Kalibrierungsrechenlauf (Auswertung am linken Ufer)

Tabelle 4-3 Mittlere Abweichung von der Fixierung bei Aufteilung in 5 km Abschnitte (HW 2013, Kalibrierungsergebnis)

Abschnitt	Mittlere Abweichung bei Betrachtung der WSP in Flussachse	Mittlere Abweichung bei Betrachtung der WSP an der linken Wasseranschlagslinie
Fkm 47 – 42	- 12 cm	- 11 cm
Fkm 42 – 37	- 9 cm	- 14 cm
Fkm 37 – 32	+ 4 cm	- 12 cm
Fkm 32 – 27	- 3 cm	- 26 cm
Fkm 27 – 22	- 3 cm	- 10 cm

Die Bewertung des Kalibrierungsergebnisses erfolgt in Kap. 4.5.

4.3 Validierung der Kalibrierung bei Hochwasserabflüssen

Zur Validierung der Kalibrierungsergebnisse wurde mit den ermittelten Stricklerwerten das Hochwasserereignis vom August 2002 nachgerechnet. Hierfür wurde die im Dezember 2002 vermessene Sohle in das Modell eingebaut. Das Ergebnis des entsprechenden Rechenlaufs ist in Abb. 12 dargestellt. Die mittleren Abweichungen sind in Tabelle 4-4 angegeben.

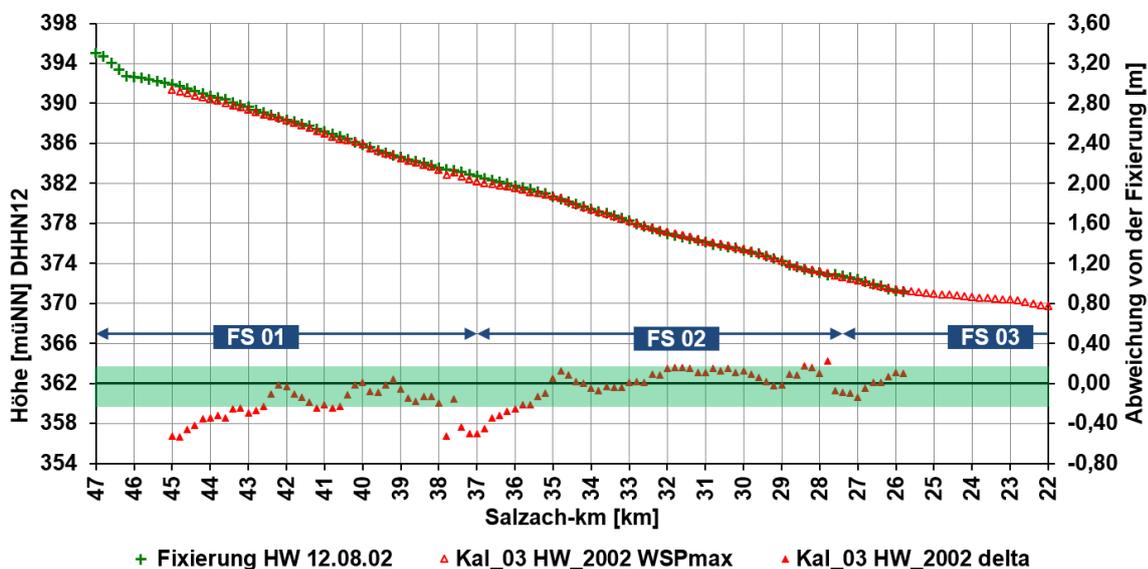


Abb. 12: Ergebnis Validierungsberechnung Hochwasser August 2002

Tabelle 4-4 Mittlere Abweichung von der Fixierung bei Aufteilung in 5 km Abschnitte (HW 2002, Validierungsrechenlauf)

Abschnitt	Mittlere Abweichung bei Betrachtung der WSP in Flussachse
Fkm 45 – 42	- 32 cm
Fkm 42 – 37	- 10 cm
Fkm 37 – 32	- 10 cm
Fkm 32 – 27	+ 9 cm
Fkm 27 – 25,6	+ 2 cm

Die Bewertung des Ergebnisses der Validierungsrechnung erfolgt in Kap. 4.5.

4.4 Kalibrierung Niedrigwasserabfluss

Analog zum Vorgehen bei der Kalibrierung mit Hochwasserabflüssen wurde auch hier eine erste Kalibrierungsberechnung mit einem einheitlichen Stricklerwert von $33,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ durchgeführt. Abb. 13 zeigt das Ergebnis dieses ersten Rechenlaufs. Abweichungen von der Fixierung werden wie folgt interpretiert und dargestellt:

- Abweichungen von der Fixierung im Bereich zwischen + 10 cm und - 10 cm werden als ein gutes Kalibrierungsergebnis eingestuft. Dieser Bereich ist in den Abbildungen grün hinterlegt. In den nachfolgenden Tabellen sind die entsprechende Werte grün dargestellt.
- Abweichungen bis 20 cm werden als ein mäßiges Kalibrierungsergebnis eingestuft. In den nachfolgenden Tabellen sind die entsprechende Werte orange dargestellt.
- Abweichungen > 20 cm werden als ein schlechtes Kalibrierungsergebnis eingestuft. In den nachfolgenden Tabellen sind die entsprechende Werte rot dargestellt.

Zur übersichtlichen Auswertung der Ergebnisse sind in Tabelle 4-5 zusätzlich die mittleren Abweichungen jeweils für 5 km lange Flussabschnitte angegeben.

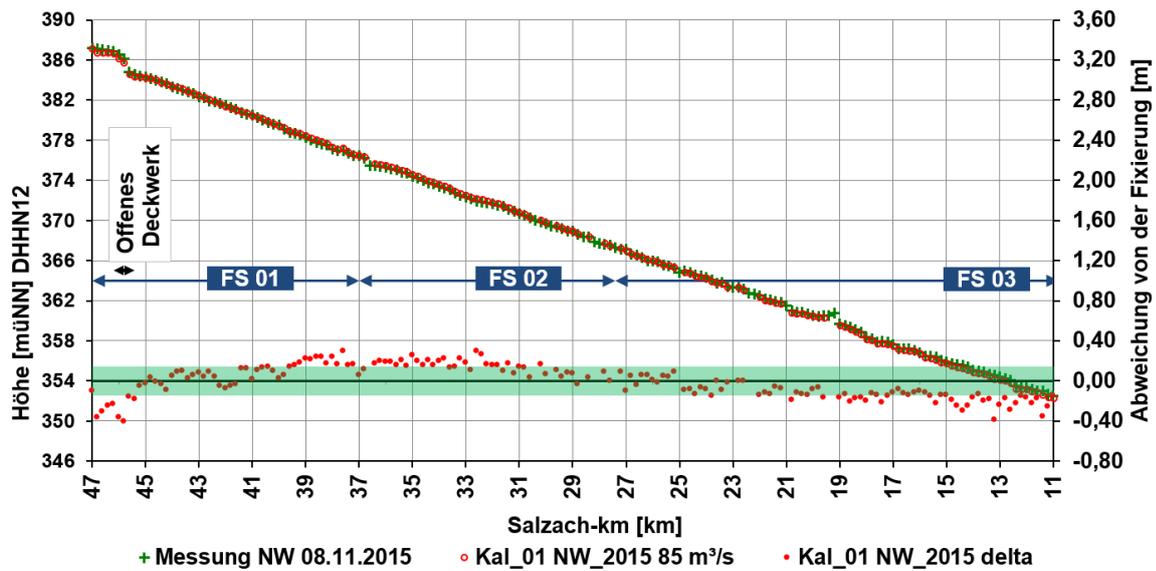


Abb. 13: Ergebnis 1. Kalibrierungsrechenlauf Niedrigwasserabflüsse

Tabelle 4-5 Mittlere Abweichung von der Fixierung bei Aufteilung in 5 km Abschnitte (HW 2013, 1. Kalibrierungsrechenlauf Hochwasserabflüsse)

Abschnitt	Mittlere Abweichung bei Betrachtung der WSP in Flussachse
Fkm 47 – 45	- 26 cm
Fkm 45 – 42	+ 1 cm
Fkm 42 – 37	+ 11 cm
Fkm 37 – 32	+ 16 cm
Fkm 32 – 27	+ 7 cm
Fkm 27 – 22	- 5 cm
Fkm 22 – 17	- 15 cm
Fkm 17 - 11	- 21 cm

Für die weiteren Kalibrierungsberechnungen wurde die Flusssohle analog zur Kalibrierung bei Hochwasserabflüssen unterteilt (Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6 Einteilung der Salzachsohle in Abschnitte mit unterschiedlichen Rauheitsbeiwerten

Abschnitt	Bezeichnung	Stricklerwert [$m_{1/3}/s$]
Fkm 46,4 – 54,4	Offenes Deckwerk	22
Modellbeginn bis Fkm 37,0	Flusssohle 1 (FS 01)	35
Fkm 37,0 – 27,4	Flusssohle 2 (FS 02)	35
Fkm 27,4 – 10,8	Flusssohle 3 (FS 03)	31
Fkm 10,8 bis Modellende	Flusssohle HWGK ⁶	33,5

⁶ Übernahme des Modells der Hochwassergefahrenkarten, vgl. Kap. 3.2.2.

Die beste Übereinstimmung mit der Fixierung ergibt sich bei den in Tabelle 4-6 dargestellten Stricklerwerten.

Die Ergebnisse des entsprechenden Rechenlaufs sind in Abb. 14 dargestellt. Die mittleren Abweichungen sind in Tabelle 4-7 angegeben.

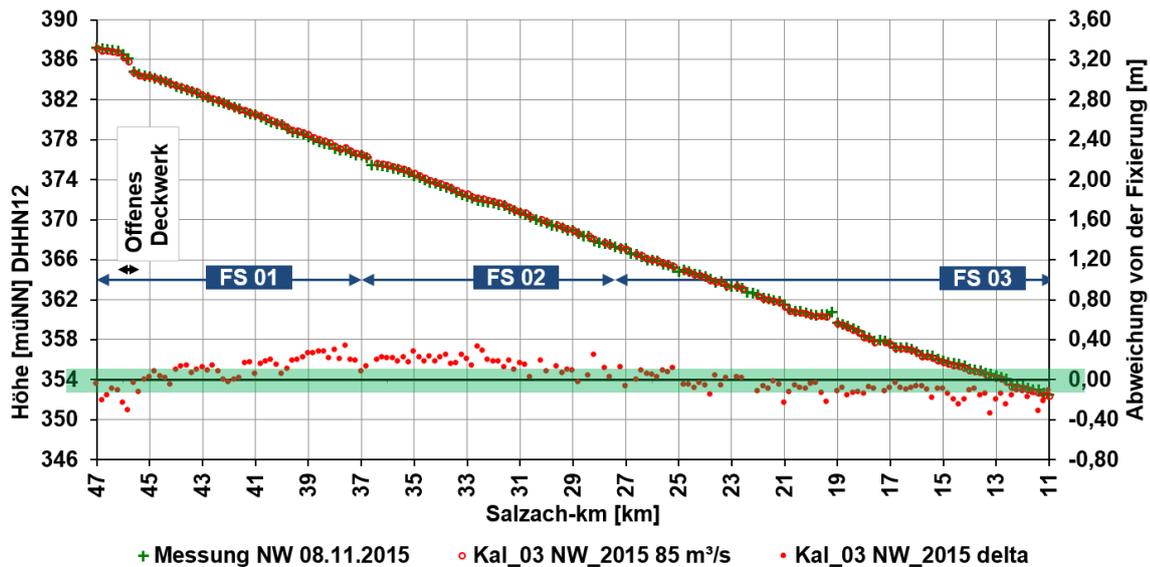


Abb. 14: Ergebnis bester Kalibrierungsrechenlauf (Niedrigwasserabfluss)

Tabelle 4-7 Mittlere Abweichung von der Fixierung bei Aufteilung in 5 km Abschnitte (HW 2013, 1. Kalibrierungsrechenlauf Hochwasserabflüsse)

Abschnitt	Mittlere Abweichung bei Betrachtung der WSP in Flussachse
Fkm 47 – 45	- 13 cm
Fkm 45 – 42	- 2 cm
Fkm 42 – 37	+ 8 cm
Fkm 37 – 32	+ 14 cm
Fkm 32 – 27	+ 6 cm
Fkm 27 – 22	- 2 cm
Fkm 22 – 17	- 12 cm
Fkm 17 - 11	- 17 cm

4.5 Zusammenfassung und Bewertung der Kalibrierung

Die mittleren Abweichungen von den Wasserspiegelfixierungen liegen beim Hochwasserereignis vom Juni 2013 zwischen - 12 und + 4 cm bei Betrachtung in Flussachse und zwischen - 26 und - 10 cm bei Betrachtung der Wasserspiegelhöhen an der orografisch linken Wasseranschlagslinie. Beim Validierungsereignis, dem

Hochwasser vom August 2002, liegen die mittleren Abweichungen zwischen -32 cm und + 9 cm.

Bei dem untersuchten Niedrigwasserabfluss liegen die mittleren Abweichungen zwischen - 17 und + 14 cm.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Wasserspiegelfixierungen aufgrund von Wellenschlag tendenziell etwas höhere Werte als tatsächlich aufweisen, kann das Ergebnis der Kalibrierung für die Hochwasserabflüsse und auch für den Niedrigwasserabfluss als gut bezeichnet werden.

Bis zu einem Abfluss von 100 m³/s werden in den Berechnungen zum Istzustand die Stricklerwerte der Kalibrierung zum Niedrigwasserabfluss angesetzt (Tabelle 4-8). Ab einen Abfluss von 1.500 m³/s werden die Stricklerwerte der Kalibrierung zu den Hochwasserabflüssen angesetzt. Bei Abflüssen zwischen 100 und 1.500 m³/s werden die Stricklerwerte interpoliert.

Tabelle 4-8 Stricklerwerte bei Niedrigwasserabflüssen bis 100 m³/s

Flusssohle 1 (FS 01)	Flusssohle 2 (FS 02)	Flusssohle 3 (FS 03)	Offenes Deckwerk
Fkm 47,0 – 37,0	Fkm 37,0 – 27,4	Fkm 27,4 – 10,8	Fkm 47,0 – 37,0
$k_{st} = 35,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$	$k_{st} = 35,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$	$k_{st} = 31,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$	$k_{st} = 22,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Tabelle 4-9 Stricklerwerte bei Hochwasserabflüssen ab 1.500 m³/s

Flusssohle 1 (FS 01)	Flusssohle 2 (FS 02)	Flusssohle 3 (FS 03)	Offenes Deckwerk
Fkm 47,0 – 37,0	Fkm 37,0 – 27,4	Fkm 27,4 – 10,8	Fkm 47,0 – 37,0
$k_{st} = 31,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$	$k_{st} = 32,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$	$k_{st} = 31,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$	$k_{st} = 25,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

5 Planungszustände

5.1 2d-Modell im Herstellungszustand

Herstellungszustand - Salzach

Im Herstellungszustand sind die im Lageplan (Anlage 2.3) und in den Querschnitten (Anlage 2.4) dargestellten initialen Aufweitungen im Modell berücksichtigt.

Bei den dynamischen Uferstrukturen wird davon ausgegangen, dass diese bei Durchfluss des Wellenscheitels der untersuchten Hochwasserabflüsse bereits vollständig abtransportiert wurden. Auf eine Modellierung wurde entsprechend verzichtet.

Die geplanten Steinschüttungen am österreichischen Ufer sind mit der geplanten Geometrie im Modell berücksichtigt.

Die verwendeten Stricklerwerte für den Bereich der initialen Aufweitung und für die Steinschüttungen sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Tabelle 5-1 Verwendete Stricklerwerte im Herstellungszustand

Nr.	Material	Stricklerwert [$m^{1/3}/s$]
37	Initiale Aufweitung	30
38	Steinschüttungen	20

Herstellungszustand – Salzach – Sukzession Flutmulden

Die durch die Einstellung der Bewirtschaftung zu erwartende Verlandung der Flutmulden wird gemäß Abb. 15 im Modell berücksichtigt. Das Gelände im Bereich der vorhandenen Flutmulden wurde im Herstellungszustand bis auf die Höhe des beidseitig anstehenden Geländes angehoben.

Zusätzlich wurde anstatt der im Istzustand vorhandenen Grünflächen ($k_{st} = 20 m^{1/3}/s$) im Bereich der verlandeten Flutmulden ein Rauheitsbeiwert für Wald mit $k_{st} = 10 m^{1/3}/s$ vergeben.

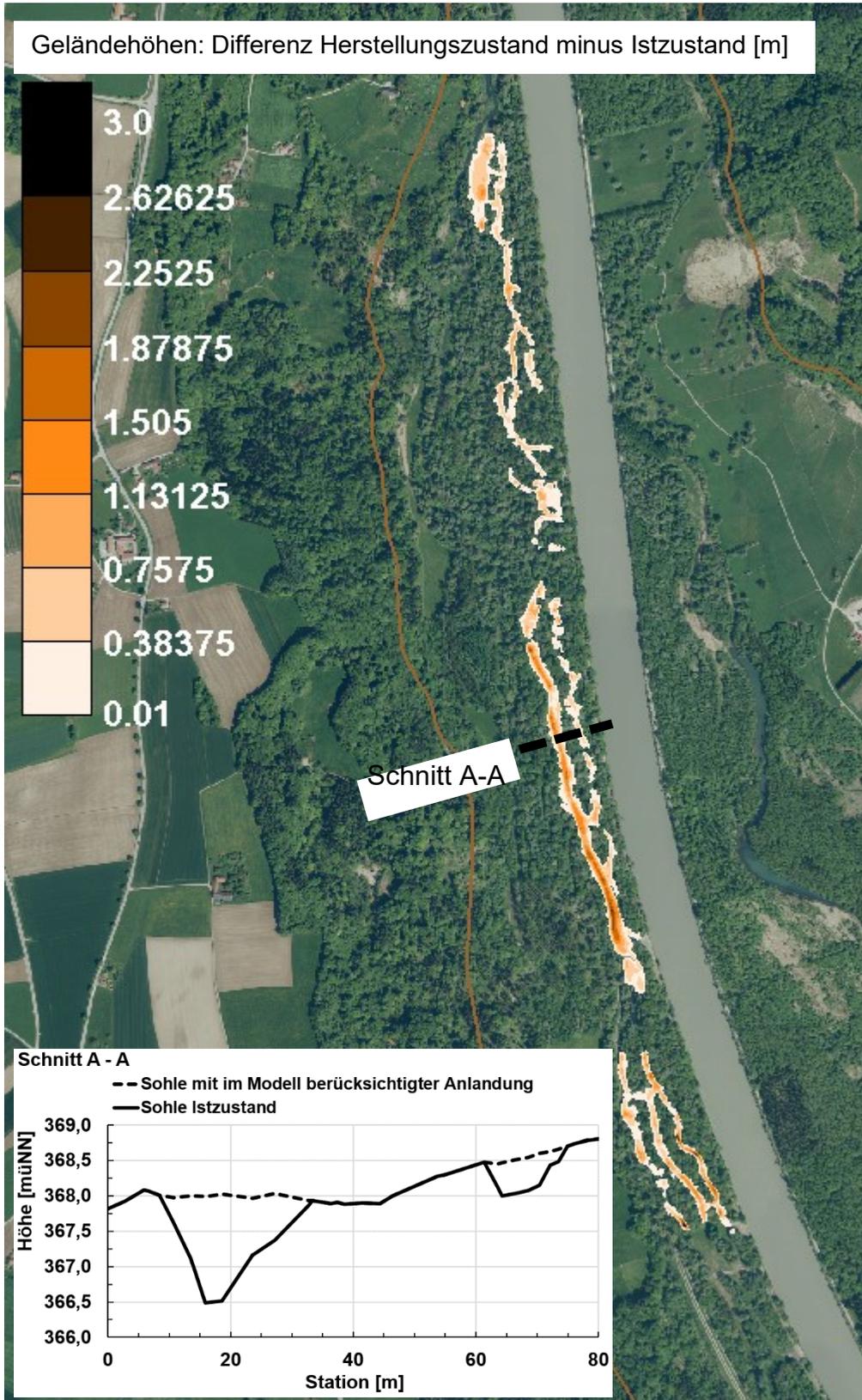


Abb. 15: Im 2d-Modell berücksichtigte Anlandung der vorhandenen Flutmulden

Herstellungszustand – Salzach – Anpassung der Flutmuldenzu- bzw. ausläufe zwischen Fkm 26,0 und 25,2

In einer weiteren Berechnung wurde die Wirkung einer Absenkung der zwischen Fkm 26,0 und 25,2 drei vorhandenen Flutmuldenzu- bzw. ausläufe mit dem Ziel einer Erhöhung der Eigendynamik in den Flutmulden untersucht. In den drei Bereichen wurde einheitlich die vorhandene Uferlehne bis auf eine Höhe von 368,0 müNN abgesenkt. Dies entspricht in etwa einer Absenkung von 1,5 m. Die Absenkungsbereiche sind im Lageplan der Anlage 2.3 dargestellt und wurden entsprechend im Modell berücksichtigt.

Planzustand Siechenbach

Im Planzustand für den Umbau der Querung des Siechenbachs ist der im Lageplan (Anlage 2.3) und im Querschnitt der Anlage 2.4.3 dargestellte Durchlass im Modell berücksichtigt.

Der Durchlass besteht aus zwei Wellstahldurchlässen (z.B. Hamco Multiplate 150*22 LB12). Die Wegoberkante des neuen Querbauwerks liegt auf einer Höhe von 364,90 müNN.

5.2 2d-Modell im prognostizierter Zielzustand

Im prognostizierten Zielzustand wird eine Aufweitung der Salzach auf insgesamt 180 m angenommen. Die Sohlage im Aufweitungsbereich wird aus der Berechnung des Geschiebetransportmodells übernommen (siehe Anlage 2.7).

Aufgrund der Aufweitungen werden sich im prognostizierten Zielzustand die Sohl-schubspannungen im Vergleich zum Istzustand reduzieren. Entsprechend ist von einer abgeminderten Deckschichtbildung auszugehen. Zur Berücksichtigung der dann etwas glatteren Sohle, werden im prognostizierten Zielzustand die Stricklerwerte im Bereich der Flusssohle (hier Flusssohle 3) um den Wert 1 erhöht.

6 Berechnungsergebnisse und Beschreibung der Auswirkungen

6.1 Durchgeführte Berechnungen

Um die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf die Abflusssituation beurteilen zu können, wurden folgende Berechnungen durchgeführt.

- Für den Ist-, den Herstellungs- und den prognostizierten Zielzustand wurden Berechnungen für die Abflüsse HQ_1 , HQ_5 , HQ_{10} , HQ_{30} und HQ_{100} durchgeführt. Die entsprechenden Ganglinien sind im Kap. 2.1 dargestellt.

- Der Nachweis der Auswirkungen zur Einstellung der Bewirtschaftung der Flutmulden (Freigabe zur Sukzession) erfolgt durch eine Berechnung mit HQ_{100} .
- Die Prüfung der Wirkungen der geplanten Absenkung der Flutmuldenzu- und -abläufe zwischen Fkm 26,0 und 25,1 erfolgt durch eine Berechnung mit HQ_1 .
- Die Ermittlung der Auswirkungen des geplanten Umbaus der Siechenbachquerung kurz oberstrom der Mündung in die Salzach erfolgt mit Abflüssen von $10 \text{ m}^3/\text{s}$ und $30 \text{ m}^3/\text{s}$ im Siechenbach.

6.2 Herstellungszustand

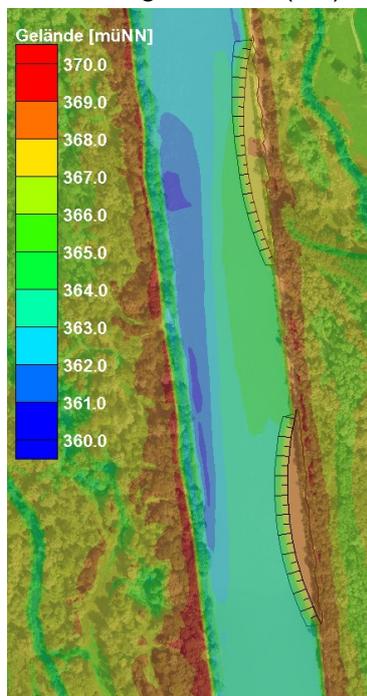
Die Berechnungsergebnisse sind den Anlagen 2.6.2.1 bis 2.6.2.6 jeweils im Vergleich zum Istzustand dargestellt.

Es zeigt sich, dass bei allen untersuchten Abflüssen die Wasserspiegellagen im Herstellungszustand aufgrund der initialen Aufweitung fallen. Auch im Bereich der Steinschüttungen kommt es nicht zu einem Anstieg der Wasserspiegel.

Auch die Berechnung mit zusätzlicher Berücksichtigung der zur Sukzession freigegebenen und verlandeten Flutmulden zeigt keinen Anstieg der Wasserspiegel im Vergleich zum Istzustand. Hierzu sei noch erwähnt, dass der Nachweis deutlich auf der „sicheren Seite“ liegt. Dies begründet sich darin, dass neben der berücksichtigten vollständigen Verlandung der Flutmulden auch eine zusätzliche eigendynamische Aufweitung zu erwarten ist. Diese zusätzliche Aufweitung und entsprechende Vergrößerung des Abflussquerschnittes ist aber im Modell nicht berücksichtigt.

Abb. 16 zeigt beispielhaft bei HQ_1 die lokale Veränderung der Schubspannungen im Bereich der Steinschüttungen. Die trotz der initialen Aufweitung zu erkennenden lokalen Erhöhungen der Schubspannungen, wird die gewünschte eigendynamische Seitenerosion am bayerischen Ufer unterstützt.

Gelände
Herstellungszustand (HZ)



max. Schubspannungen
im HZ bei HQ₁



max. Schubspannungen im
Istzustand bei HQ₁

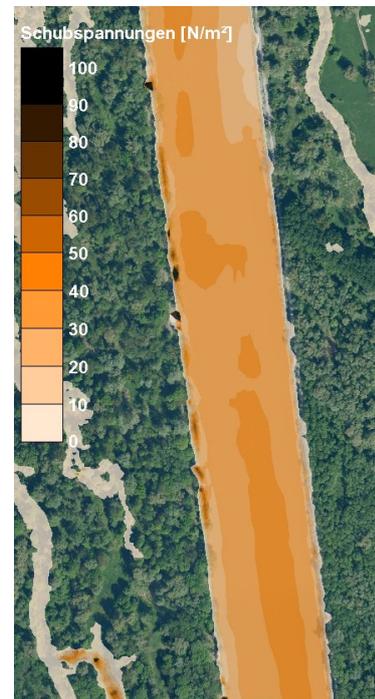


Abb. 16: Schubspannungen im Ist- und Herstellungszustand bei HQ₁ im Bereich der Steinschüttungen

Absenkung der Flutmuldenzu- und ausläufe zwischen Fkm 26,0 und 25,2

Die Berechnungsergebnisse sind in der Anlage 2.6.2.7 dargestellt. Es zeigt sich, dass im untersuchten Lastfall HQ₁ durch die Absenkung der drei Flutmuldenzu- und ausläufe der Abflussanteil in den Flutmulden zunimmt. Die Schubspannungen in den Flutmulden verdoppeln sich von im Mittel 2,5 N/m² im Istzustand auf 5 N/m² im Planzustand.

Das Niveau der Schubspannungen lässt vermuten, dass Eintiefungsprozesse und Umlagerungen in den Flutmulden nicht bzw. nur in einem geringen Umfang zu erwarten sind.

Allerdings wurde nach Auskunft vom WWA Traunstein bei der Anlage der Flutmulden 1996 deren Einläufe ähnlich abgesenkt um eine Entwicklung in Richtung von Altwässern zu ermöglichen. Aufgrund von Erfahrungen beim Hochwasser vom Mai 1996 wurde davon Abstand genommen. Das Hochwasser hatte während der Bauphase gezeigt, dass eine Sicherung des Tittmoninger Deichs gegen Strömungsangriff erforderlich wäre. Auf Basis der Erfahrungen beim Hochwasser Mai 1996 und der zur Verfügung stehenden Steine aus dem Uferrückbau wurde entschieden, den Tittmoninger Deich unterstrom von Fkm 26,0 dauerhaft zu sichern.

6.3 Prognostizierter Zielzustand Salzach

Die Berechnungsergebnisse sind den Anlagen 2.6.3.1 bis 2.6.3.5 jeweils im Vergleich zum Istzustand dargestellt.

Bezogen auf die Auswirkungen auf die Hochwasserverhältnisse zeigt sich, dass bei kleineren Hochwasserabflüssen, wie z.B. bei HQ₁ das Vorland im Auenbereich früher großflächig überströmt wird. Dies hat seine Ursache im Abschneiden der salzachnahen Uferrehnen durch die Aufweitung der Salzach. Bei größeren Abflüssen lässt dieser Effekt nach, da dann die Uferrehnen auch bereits im Istzustand überströmt werden.

Insgesamt stellen sich durch die Kombination aus Aufweitung und gleichzeitiger Sohlhebung niedrigere Wasserspiegellagen im Vergleich zum Istzustand ein. Dies zeigt neben den Anlagen 2.6.3.1 bis 2.6.3.5 auch der hydraulische Längsschnitt in Abb. 17.

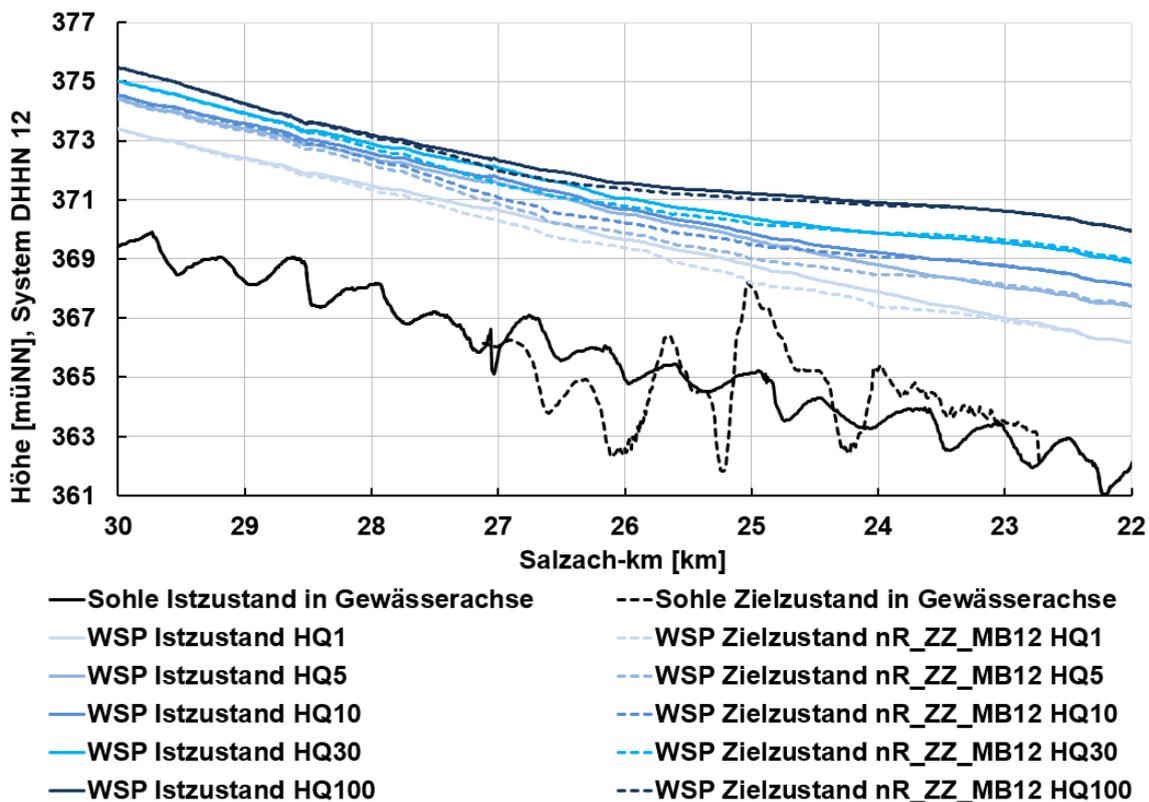


Abb. 17: Hydraulischer Längsschnitt mit Vergleich der Wasserspiegellagen im Ist- und prognostizierten Zielzustand

Die Abb. 18, Abb. 19 und die Abb. 20 zeigt neben den Veränderungen der Wasserspiegellagen auch die Veränderung der Sohl Schubspannungen im Untersuchungsbereich zwischen Fkm 30,0 und Fkm 22,0. Dabei ist zu erkennen, dass sich primär im Bereich des Übergangs zur oberstrom liegenden nicht aufgeweiteten

Fließstrecke zwischen Fkm 27,5 und Fkm 26,5, die Sohlschubspannungen im untersuchten prognostizierten Zielzustand erhöhen.

Da die mit dem Geschiebetransportmodell durchgeführten Untersuchungen darauf schließen lassen, dass die im prognostizierten Zielzustand angesetzte eigendynamische Aufweitung auf 180 m voraussichtlich nicht vollständig erreicht wird, kann auf ein Übergangsbauwerks zur Vermeidung einer theoretisch möglichen rückschreiten Erosion der Sohle am oberstromigen Beginn der Aufweitungsstrecke verzichtet werden. Ohnehin wäre ein Übergangsbauwerk nicht zeitnah, sondern vielmehr erst in mehreren Jahren in abhängig der eigendynamischen Aufweitung erforderlich. Zur näheren Erläuterung der erwartbaren Aufweitung wird hier auf den Bericht zur Geschiebetransportmodellierung in Anlage 2.7 verwiesen.

Unabhängig davon sind aber nach Umsetzung der Maßnahmen die Sohl- und Wasserspiegelverhältnisse im Bereich der Tittmoninger Brücke zwischen Fkm 27,5 und Fkm 26,5 zu beobachten. Sollten sich für die Tittmoninger Brücke, kritische Sohlzustände einstellen, so sind dann entsprechende Sicherungsmaßnahmen durchzuführen. Dies könnte z.B. durch den Einbau eines gröbereren Sohlmaterials im Brückenbereich erfolgen.

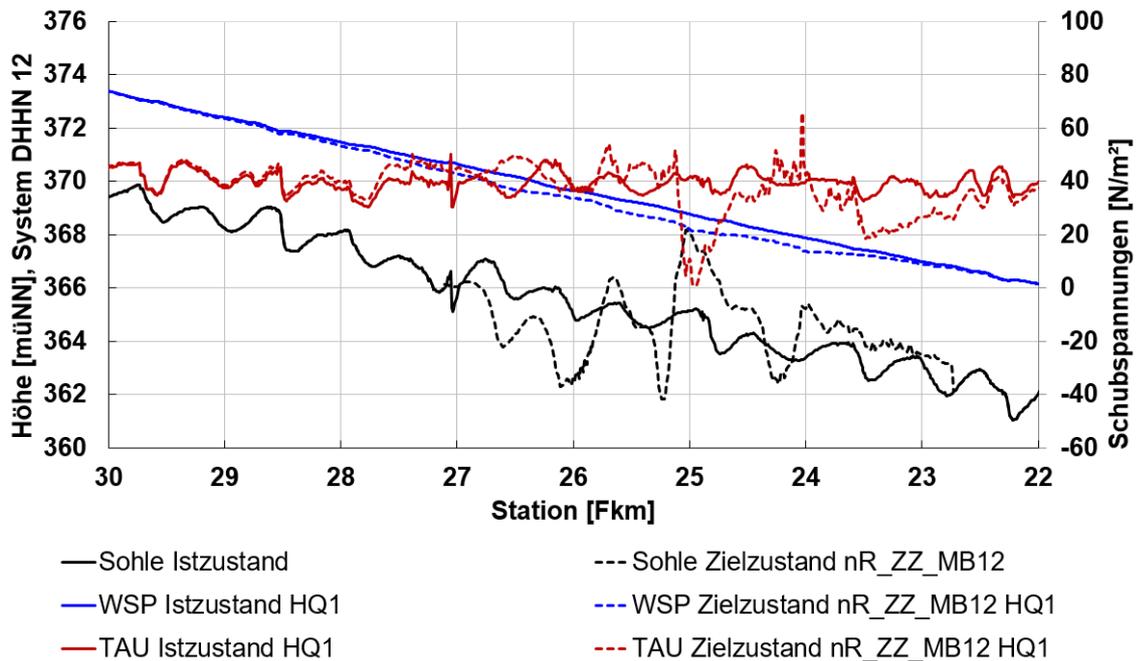


Abb. 18: Längsschnitt mit Vergleich der Wasserspiegellagen und Schubspannungen im Ist- und prognostizierten Zielzustand bei HQ₁

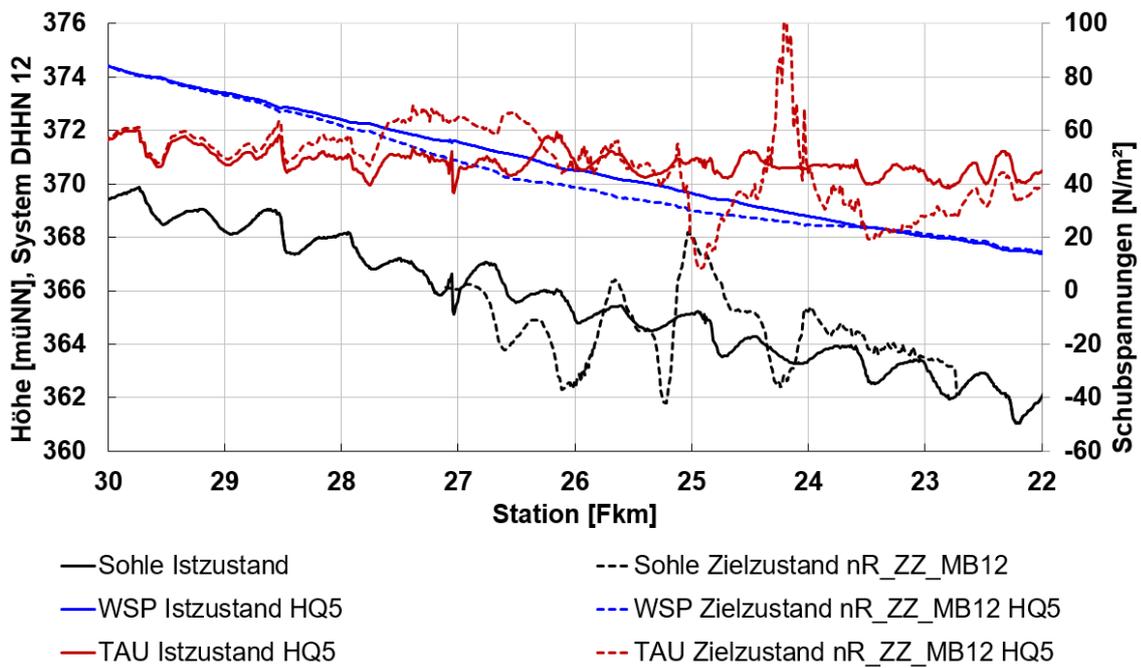


Abb. 19: Längsschnitt mit Vergleich der Wasserspiegellagen und Schubspannungen im Ist- und prognostizierten Zielzustand bei HQ₅

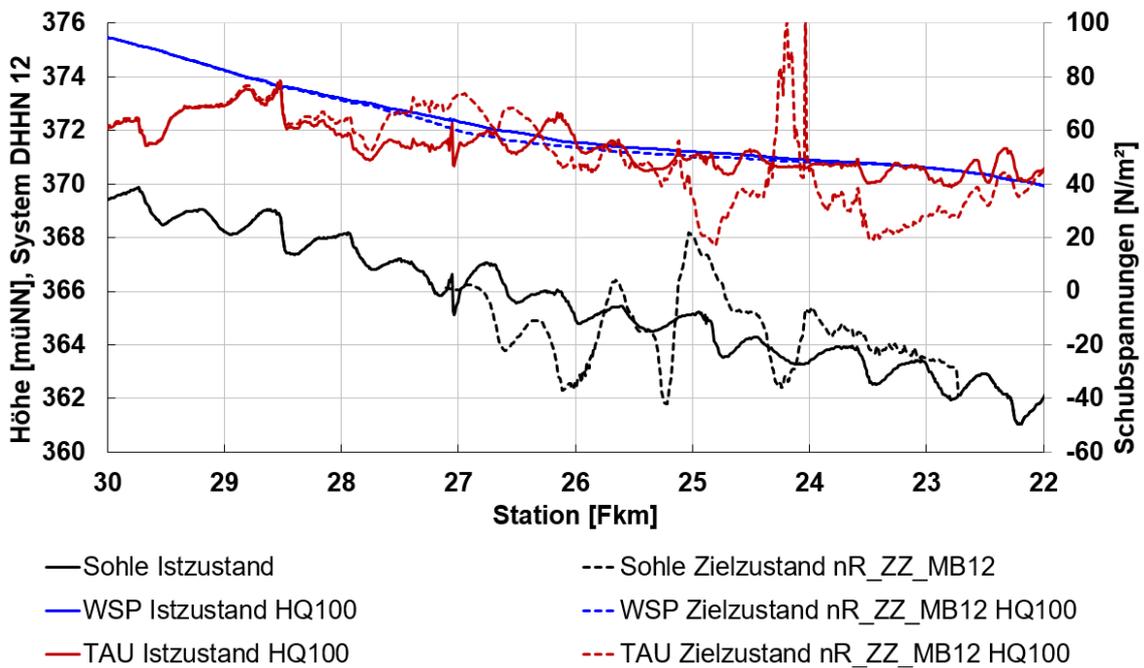


Abb. 20: Längsschnitt mit Vergleich der Wasserspiegellagen und Schubspannungen im Ist- und prognostizierten Zielzustand bei HQ₁₀₀

6.4 Planzustand Siechenbach

Die Berechnungsergebnisse sind den Anlagen 2.6.4.1 und 2.6.4.2 jeweils im Vergleich zum Istzustand dargestellt.

Untersucht wurden die Auswirkungen für folgenden beiden Abflüsse:

- $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ Dieser Abfluss entspricht einem Wasserstand auf Höhe der neuen Oberkante des Querungsbauwerks.
- $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ – Dieser Abfluss liegt nach Einschätzung des WWA Traunstein deutlich über einem HQ100 im Siechenbach.

Die Berechnungen zeigen bei beiden Abflüssen einen leichten Anstieg der Wasserspiegel oberstrom des Querbauwerks. Auswirkungen auf Dritte bestehen jedoch nicht, da sich alle Flächen, auf denen sich die Wasserspiegel verändern, im Eigentum des Freistaats Bayern befinden. Die Grundeigentumsverhältnisse sind auf den Karten der Anlage 2.6.4 mit dargestellt.