

## WASSERBAU UND ÖKOLOGIE

GEWÄSSERAUSBAU AN DER UNTEREN SALZACH – TITTMONINGER BECKEN UNTER  
BERÜCKSICHTIGUNG DER WRRL UND AKTUELLER ERKENNTNISSE

### MACHBARKEITSSTUDIE NATURFLUSSVARIANTE WASSERBAULICHES UMSETZUNGSKONZEPT

**TITTMONINGER BECKEN  
SALZACH FLKM 22.00 BIS 42.20**



**BERICHT**  
VERSION 1.2B  
WIEN/VILLACH IM JULI 2012

#### **Auftraggeber:**

Oberösterreichische Umweltanwaltschaft  
Kärntnerstraße 10-12, 4021 Linz

#### **Bearbeitung:**

Mayr & Sattler OG  
Ingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft  
Albertgasse 19/15-16, 1080 Wien

**WASSERBAU & ÖKOLOGIE**  
**GEWÄSSERAUSBAU AN DER UNTEREN SALZACH**  
**TITTMONINGER BECKEN**  
**IM HINBLICK AUF DIE ANFORDERUNGEN DER WRRL**

**MACHBARKEITSSTUDIE**  
**NATURFLUSSVARIANTE**  
**WASSERBAULICHES UMSETZUNGSKONZEPT**

**BERICHT**

**AUFTAGGEBER:**

Oberösterreichische Umweltanwaltschaft  
Hauserhof (2. OG)  
Kärntnerstraße 10-12, 4021 Linz

**AUFTAGNEHMER:**

Mayr&Sattler OG  
Ingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft  
1080 Wien, Albertgasse 19/15-16, 9500 Villach, 10.Oktoberstraße 23  
Tel.: ++43(0)1 4789177, Fax: ++43(0)1 4789198  
e-mail: [sattler@flussbau.at](mailto:sattler@flussbau.at) - [mayr@flussbau.at](mailto:mayr@flussbau.at)  
[www.flussbau.at](http://www.flussbau.at)

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 ALLGEMEINES .....</b>	<b>8</b>
<b>2 PROJEKTGEBIET .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 HISTORISCHE BETRACHTUNG .....</b>	<b>11</b>
<b>3 PROBLEMSTELLUNG UND DISKUSSIONSSTAND.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 IST-SITUATION .....</b>	<b>16</b>
3.1.1 Allgemeine Situationsbeurteilung (WRS) .....	16
3.1.2 Aktuelle und zukünftige Geschiebesituation im Tittmoninger Becken.....	17
3.1.3 Auswirkungen auf die Situation im Tittmoninger Becken .....	19
3.1.4 Abschätzung einer wahrscheinlichen Entwicklung der Feststoffsituation .....	19
Schlussfolgerungen für die gegenständliche Planung .....	20
<b>3.2 BEREICHSBURTEILUNG UND ABSCHNITTS-CHARAKTERISTIK .....</b>	<b>21</b>
3.2.1 Einfache morphologische Betrachtungen.....	21
3.2.2 Leitbild.....	23
3.2.3 Abschnitts-Charakteristik .....	24
<b>4 GRUNDSÄTZE UND ZIELSETZUNGEN DER KONZEPTENTWICKLUNG .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 ALLGEMEINE PLANUNGSGRUNDSÄTZE .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 VEREINBARUNGEN MIT DEM PLANUNGSGREMIUM UND DEM PLANUNGSTEAM - BEWERTUNGSKRITERIEN .....</b>	<b>29</b>
<b>5 SPEZIELLE LÖSUNGSANSÄTZE.....</b>	<b>30</b>
<b>5.1 ERKENNTNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>32</b>
5.1.1 Prinzip der Systementkopplung .....	34
5.1.1.1 Konzept und Wirkung des Rautteppichs .....	34
<b>6 MAßNAHMENKONZEPT.....</b>	<b>40</b>
<b>6.1 PLANUNGSELEMENTE .....</b>	<b>41</b>
6.1.1 Systementkopplungselemente.....	41
6.1.2 Aktive Sohlanhebung und Sohlverbreiterung .....	42
6.1.2.1 Prinzip Deckschichtausbildung und Einbringungskonzept .....	43
6.1.3 Nebenarmsysteme.....	44
6.1.4 Eigendynamische Prozesse .....	46
6.1.5 Aktivierung und Einbeziehung von bestehenden Nebengewässersystemen.....	46
6.1.6 Granulometrische Sohlvergrößerung.....	47
6.1.7 Flankierende Maßnahmen.....	49
6.1.7.1 Optionale Sicherungsmaßnahmen.....	50
<b>6.2 BEREICHSABGRENZUNG BZW. ANSCHLUSSMAßNAHMEN (LAUFENER- UND NONNREITER ENGE).....</b>	<b>51</b>
<b>6.3 MAßNAHMENBESCHREIBUNG .....</b>	<b>53</b>
6.3.1 Abschnitt 1 – Oben (Flkm 33-42).....	53
6.3.2 Abschnitt 2 – Mitte (Flkm 27-33).....	55

6.3.3	Abschnitt 3 – Unten (Flkm 21-27): .....	56
<b>6.4</b>	<b>UMSETZUNGSKONZEPT UND VEREINFACHTER BAUABLAUF .....</b>	<b>58</b>
6.4.1.1	Genereller Bauablauf .....	58
<b>7</b>	<b>HYDRAULISCHE UND FESTSTOFFSPEZIFISCHE BERECHNUNG .....</b>	<b>61</b>
<b>7.1</b>	<b>METHODIK .....</b>	<b>61</b>
7.1.1	Auswertemethodik - Darstellung der Ergebnisse .....	61
7.1.1.1	Hydraulik - 2D-Modell - SMS/HYDRO_AS-2D .....	61
7.1.1.2	Morphologie / Feststoff .....	62
<b>7.2</b>	<b>BASISDATEN .....</b>	<b>65</b>
7.2.1	Geometrie und Rauheiten .....	66
7.2.2	Hydrologie .....	66
7.2.3	Granulometrie .....	67
<b>7.3</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>71</b>
7.3.1	Geometrie .....	71
7.3.1.1	Gerinnebreite – Regimebreiten .....	74
7.3.2	Wasserspiegelveränderungen .....	75
7.3.2.1	Auswirkung auf die Grundwassersituation .....	79
7.3.3	Geschiebetransport und Sohlstabilität .....	80
7.3.3.1	Sohlschubspannungen .....	80
7.3.3.2	Transportkapazitäten .....	82
7.3.3.3	Feststofffrachten .....	84
7.3.3.4	Kolkabschätzung .....	87
7.3.3.5	Granulometrisches Erfordernis .....	91
7.3.4	Sohlentwicklungsabschätzung - Auswirkungen der Transportkapazitäts-berechnungen und Frachtermittlungen auf die Sohllagen .....	93
<b>8</b>	<b>KO-KRITERIEN .....</b>	<b>96</b>
<b>8.1</b>	<b>KRITERIEN .....</b>	<b>96</b>
8.1.1	Kriterium 1.5 Risiko von Zwischenzuständen, die weitere Baumaßnahmen für das Erreichen der Projektziele erfordern .....	96
8.1.2	Kriterium 2.1 - Vorhersagbarkeit der Sohlentwicklung .....	98
8.1.3	Kriterium 2.2 - langfristige Stabilität der Sohle .....	99
8.1.4	Kriterium 2.3 - Sicherheit gegen Sohldurchschlag .....	101
8.1.5	Kriterium 2.4 - Risiko unkontrollierter Laufverlagerungen .....	102
8.1.6	Kriterium 6.1 - Beeinflussung wasserwirtschaftlicher Nutzungen .....	107
8.1.7	Kriterium 7.1 - Mögliche technische Schwierigkeiten in der Umsetzung .....	108
<b>9</b>	<b>VOLUMS- UND MASSENABSCHÄTZUNG .....</b>	<b>109</b>
<b>10</b>	<b>KOSTENSCHÄTZUNG .....</b>	<b>111</b>
<b>11</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>114</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Nebenarmentwicklung Drau/Kleblach-Lind (Quelle: Amt der Kärntner LR).....	9
Abbildung 2: Projektbereich.....	10
Abbildung 3: Vergleich 1817-2011 .....	11
Abbildung 4: IST-Zustand (L) und Überlagerung des IST-Zustands mit dem Zustand 1817 (R).....	12
Abbildung 5: Ableitung der Sohllagenveränderung (Quelle: SKI) .....	12
Abbildung 6: Geländemodell – IST-Zustand (Laserdaten).....	14
Abbildung 7: Morphologieabschätzung Yalin, DaSilva (2001) .....	21
Abbildung 8: Bereichseinteilung .....	24
Abbildung 9: Schema-Skizze Rautteppich .....	34
Abbildung 10: Rautteppich – Wirkung auf die Wasserspiegel (Länge RT ca. 50m) .....	35
Abbildung 11: Rautteppich – Wirkung auf die Wasserspiegel 2RT (Länge RT ca. 100m) .....	36
Abbildung 12: Schubspannungsverteilung .....	36
Abbildung 13: Berechnungsergebnisse ohne Rautteppich (HQ <sub>1</sub> ).....	37
Abbildung 14: Berechnungsergebnisse mit Rautteppich (MQ) .....	37
Abbildung 15: Berechnungsergebnisse mit Rautteppich (HQ1).....	38
Abbildung 16: Umsetzungskonzept Systementkoppelung bei Flkm 40.2 .....	41
Abbildung 17: Beispiel Furtausbildung (N1-N3) .....	44
Abbildung 18: Untersuchung verschiedener Abzweigungen nach Habermaas .....	45
Abbildung 19: Schemaskizze – Granulometrische Sohlstabilisierung – Initialzustand .....	48
Abbildung 20: Schemaskizze – Granulometrische Sohlstabilisierung – Entwicklungszustand (Szenario Geschiebeeintrag < 30.000 m <sup>3</sup> /s).....	48
Abbildung 21: Herstellungskonzept verdeckte Sicherungen.....	49
Abbildung 22: Beispiel Veränderung der Entwicklungsleistung nach Scherle (1999) in einem konzipierten Furtbereich (Nebenarmsystem NAS 2) .....	50
Abbildung 23: Bereichsabgrenzung und Längsschnitt der mittleren Sohle von Fluss-km 64 bis Fluss-km 0 (Quelle: SKI - Risikoanalyse an der Unteren Salzach, 2004) .....	51
Abbildung 24: Abschnitt 1 (Flkm42-33) – Konzeptzustand MQ .....	54
Abbildung 25: Abschnitt 2 – Mitte (Flkm 27-33) – Konzeptzustand MQ .....	55
Abbildung 26: Abschnitt 3 – Unten (Flkm 21-27) – Konzeptzustand MQ.....	56
Abbildung 27: Beispiel Rampe (Bregenzer Ach) – Abflusssituation HQ1 .....	62
Abbildung 28: Prinzipskizze - Schleppspannung (aus HABERSACK, 1998).....	63
Abbildung 29: Bewegungsbeginn unterschiedlicher Korngrößen (aus JULIEN, 1995) .....	64
Abbildung 30: Bewegungsbeginn nach SHIELDS (aus MANIAK, 1997) .....	64
Abbildung 31: Mittlere Korndurchmesser dm,D der Deckschicht (187 Proben).....	68
Abbildung 32: Mittlere Korndurchmesser d <sub>m</sub> des in Mormo verwendeten Unterschichtmaterials, der Bohrproben und der Kiesbankproben (WRS – Fachbeitrag 4) .....	68
Abbildung 33: Vergleich des mittleren Korndurchmessers der Unterschicht im Längsverlauf für beide Modelle - (WRS – Fachbeitrag 4) .....	69

Abbildung 34: Kenngrößen der Sieblinien des Sohlmaterials für das Basis- sowie Sensitivitäts-szenario - (WRS – Fachbeitrag 4) .....	70
Abbildung 35: Sohlentwicklungsabschätzung .....	73
Abbildung 36: Wasserspiegellagen HQ <sub>1</sub> , HQ <sub>5</sub> , HQ <sub>100</sub> (IST-Konzept05) .....	75
Abbildung 37: Wasserflächen MQ (IST (L) und Konzeptzustand (R)) .....	76
Abbildung 38: Wasserflächen HQ1 (IST (L) und Konzeptzustand (R)) .....	77
Abbildung 39: Wasserflächen HQ5 (IST (L) und Konzeptzustand (R)) .....	78
Abbildung 40: Sohlschubspannungen – Vergleich IST-Zustand und Konzept05 bei HQ1 .....	80
Abbildung 41: Sohlschubspannungen – Vergleich IST-Zustand und Konzept05 bei HQ5 .....	81
Abbildung 42: Spez. Transportkapazität – Vergleich IST-Zustand und Konzept05 bei HQ1 .....	82
Abbildung 43: Spez. Transportkapazität – Vergleich IST-Zustand und Konzept05 bei HQ5 .....	83
Abbildung 44: Berechnungsergebnisse IST-Zustand .....	85
Abbildung 45: mittlere jährliche Geschiebefrachten .....	86
Abbildung 46: Bestimmung der mittleren Kolktiefe nach Zarn (1997) aus Marti (2003) .....	87
Abbildung 47: Sohlzustand (IST- und Planzustand) mit Stützstellen und Kolkabschätzung .....	88
Abbildung 48: Prinzip Aufweitung (Hunzinger, 2003) .....	89
Abbildung 49: Geometrieeinfluss auf die Zusammenström-Situation .....	90
Abbildung 50: Sohlstabilität (ERO-SED) mit mittlerem dmD (38mm) .....	91
Abbildung 51: Sohlstabilität (ERO-SED) mit vergröbertem dmD=60mm .....	92
Abbildung 52: Sohlstabilität (ERO-SED) mit vergröbertem dmD=80mm .....	92
Abbildung 53: Sohlzustand (IST- und Planzustand) mit Stützstellen (Erosionsbasis und minimaler Sohlneigung) .....	93
Abbildung 54: Sohlzustand (IST- und Planzustand) mit Stützstellen und Entwicklungsabschätzung .....	94
Abbildung 55: Schemaskizze – Auswirkung verstärkte Unterwassereintiefung .....	94
Abbildung 56: Prinzip Skizze Laufentwicklung .....	103

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Vereinfachte Flächenbilanz (1817-2011) .....	13
Tabelle 2: Vereinfachte Breitenverhältnisse (1817-2011) .....	13
Tabelle 3: Erosionsempfindliche Bereiche (Quelle WRS/Fachbericht Band 2) .....	16
Tabelle 4: Vom Sohldurchschlag bedrohte Salzachbereiche (Quelle WRS/Fachbericht Band 2) .....	17
Tabelle 5: Abflusskennwerte und mittlere Dauerlinie (WRS) .....	66
Tabelle 6: Mittlere kennzeichnende Korngrößen in den Teialschnitten für die Bohrproben und .....	67
Tabelle 7: Korngrößen (d <sub>90</sub> ) und Anleitung der Stricklerbeiwerte (WRS – Fachbeitrag 4) .....	70
Tabelle 8: Wesentliche Berechnungsannahmen der Geschiebemodellierungen .....	70
Tabelle 9: Lauflängen und Gefälleveränderungen .....	72
Tabelle 10: Regimebreitenabschätzung - Ergebnisse .....	74
Tabelle 11: Frachtberechnungen IST-Zustand – Ansatzvergleich .....	84
Tabelle 12: Kostenschätzung .....	111

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>AG</b>	Auftraggeber (Oberösterreichische Umweltanwaltschaft)
<b>BAW</b>	Bundesanstalt für Wasserbau, Wien
<b>BMLF</b>	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien
<b>DS oder D</b>	Deckschicht
<b>GS oder G</b>	Grundschicht auch als Unterschicht bezeichnet
<b>DVWK</b>	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Bad Honnef
<b>GUS</b>	Gesamtuntersuchung Salzach
<b>HW</b>	Hochwasser
<b>HZB</b>	Hydrografisches Zentralbüro Wien
<b>MW</b>	Mittelwasser
<b>N1-N7</b>	Nebenarmsysteme 1-7 (Lageplan)
<b>NW</b>	Niedrigwasser
<b>NAS</b>	Nebenarmsystem
<b>PG-MN</b>	Projektgruppe "Mensch und Natur – Salzach im Gleichgewicht II"
<b>PlaGe</b>	Planungsgemeinschaft "Mensch und Natur – Salzach im Gleichgewicht II"
<b>AG-PlaGe</b>	Auftraggeber PLG (Wasserwirtschaftsamt Traunstein und Bundeswasserbauverwaltung, Fachabteilung Wasserwirtschaft Land Salzburg)
<b>RIWA-T</b>	Technische Richtlinien Wasserbau
<b>TKA</b>	Thermische Kraftwerksanlage
<b>WRRL</b>	Wasserrahmenrichtlinie
<b>WRS</b>	Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach (1995 – 2000)

## 1 Allgemeines

Ziel einer zeitgemäßen Planung im Flussbau gem. WRG bzw. den WRRL der EU ist, neben rein schutzwasserwirtschaftlichen Vorgaben, die Erreichung und Erhaltung eines guten ökologischen Zustands der Oberflächengewässer. Dabei müssen wasserwirtschaftliche Planungselemente nach Möglichkeit sowohl die Durchgängigkeit für die aquatische Fauna gewährleisten, als auch einen naturraumtypischen Lebensraum funktionsfähig erhalten bzw. diesen wieder herstellen. Zusätzlich zu rein schutzwasserwirtschaftlichen Zielsetzungen ist die Erhaltung bzw. die Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit daher ein Ziel.

Ein wichtiges Kriterium ist dabei auch die Durchgängigkeit für Feststoffe zu verbessern / zu gewährleisten. Viele flussbauliche und schutzwasserwirtschaftliche Probleme hängen direkt oder indirekt mit dem Feststoffhaushalt zusammen. Eine Eintiefungstendenz, wie sie hier an der Salzach vorliegt, kann im Sinne der WRRL langfristig nur durch entsprechende Maßnahmen im gesamten Verlauf des Gewässers hintangehalten werden.

Im Tittmoninger Becken sind die vorhandenen Rahmenbedingungen (Platzangebot, fast ausschließlich land- und forstwirtschaftliche Nutzung, sowie geringe Infrastruktureinrichtungen in Flussnähe) ideale Voraussetzungen für die Entwicklung eines naturnahen Fließgewässerabschnitts.

In den letzten Jahren wurden u.a. an der Mur und Drau großflächige Maßnahmen zur Stabilisierung der Flussohle umgesetzt. Es handelte sich dabei um die Schaffung von Nebengerinnen und Aufweitungen sowie die Anbindung von Alt- und Totarmen für bis zu ca. 3-4 km langen Projektgebieten. Kern nahezu jedes hier durchgeführten Projekts war das Problem der Sohlstabilität bzw. das Stoppen eines Eintiefungstrends. Die Ergebnisse des flussmorphologischen Monitorings zeigen, dass die Entwicklung in die richtige Richtung geht. Das Hauptproblem bei der Umsetzung war dabei die Flächenverfügbarkeit.

Als weiterer Schritt wird an Mur und Drau nun die Zufuhr von Geschiebe aus dem Oberlauf verstärkt in Angriff genommen. Diese beiden Flüsse werden deswegen speziell genannt, da die Mayr & Sattler OG an diesen Flüssen seit mehr als einem Jahrzehnt wissenschaftlich (Universitäre Assistenztätigkeit vor Unternehmensgründung) und planerisch tätig ist. Unser Unternehmen verfügt daher über entsprechende Erfahrungen in wissenschaftlicher Beurteilung, Planung, baulicher Umsetzung und Beobachtung (Monitoring).



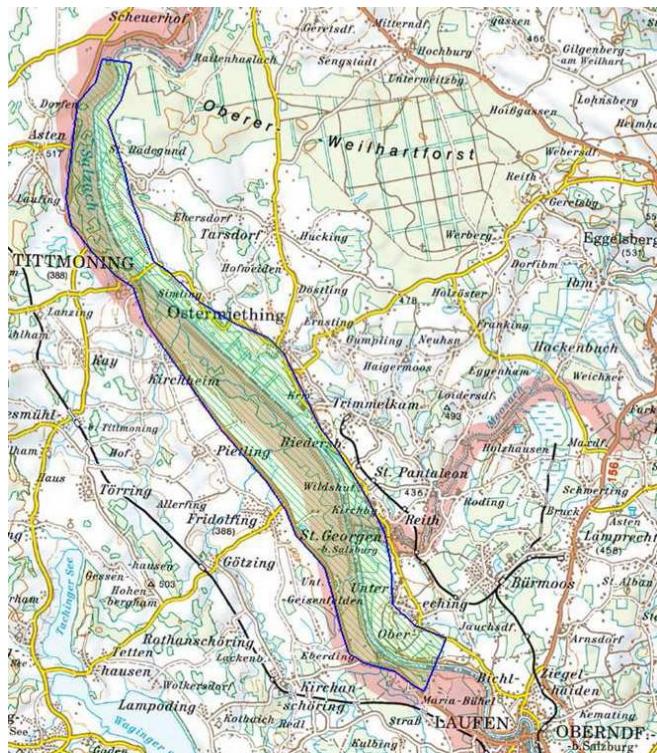
**Abbildung 1: Nebenarmentwicklung Drau/Kleblach-Lind (Quelle: Amt der Kärntner LR)**

An der Salzach liegt im Tittmoninger Becken wohl eine Jahrhundertchance vor, ein Sohlstabilisierungsprojekt in großem Ausmaß durch einen Gewässerrückbau durchzuführen. Zusätzlich sollte eine verstärkte Geschiebezufuhr aus dem Oberlauf und den Seitenzubringern gewährleistet werden.

## 2 Projektgebiet

Als Projektgebiet wurde das Tittmoninger Becken festgelegt. Es wird im Oberlauf von der Laufener Enge und im Unterlauf von der Nonnreiter Enge begrenzt. In Abbildung 2 ist der Projektbereich dargestellt. Er erstreckt sich zwischen etwa Flkm 40 bis etwa Flkm 22, die Länge (bezogen auf die Flusskilometrierung) beträgt damit rund 18 km.

Vor den Regulierungen in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts war das Tittmoninger Becken



ein hochaktiver Flussbereich, geprägt durch Laufverlagerungen und einer ausgeprägten Umlagerungsdynamik. Es stellte eine Flusstype/Aulandschaft dar, welche aktuell in Mitteleuropa kaum noch zu finden ist.

Durch die Regulierung wurde die ursprüngliche Fluss-Charakteristik vollständig verändert. Aktuell stellt die Salzach im Tittmoninger Becken einen kanalartigen, gestreckten und auf Transportkapazität optimierten Fluss dar. Dies ist einer der Hauptgründe für die aktuellen Probleme der Sohlstabilität und der Durchschlagsgefahr.

**Abbildung 2: Projektbereich**

## 2.1 Historische Betrachtung

Die vorhandenen historischen Aufzeichnungen (siehe auch <http://doris.ooe.gv.at> und <http://www.geodaten.bayern.de>) zeigen deutlich die einstige Dynamik der Salzach im Tittmoninger Becken. In

Abbildung 3 ist der Salzachverlauf vor der Regulierung der heutigen Salzachgeometrie (inkl. Vorland im Bereich der ursprünglichen Gewässersystemfläche) gegenübergestellt. In den historischen Karten sind die einzelnen Flächen (Wasser-, Schotterbank-, Auwaldflächen) ersichtlich.

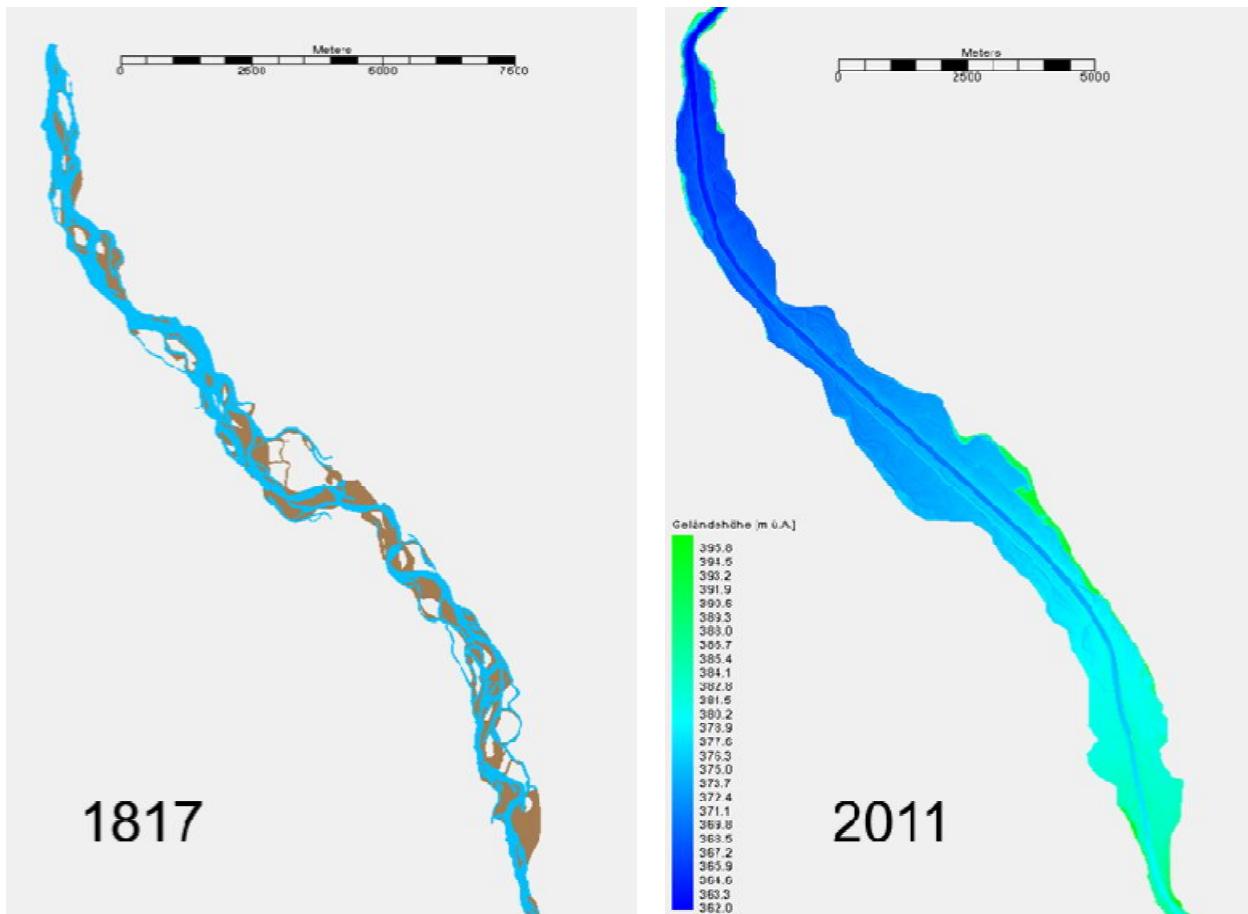
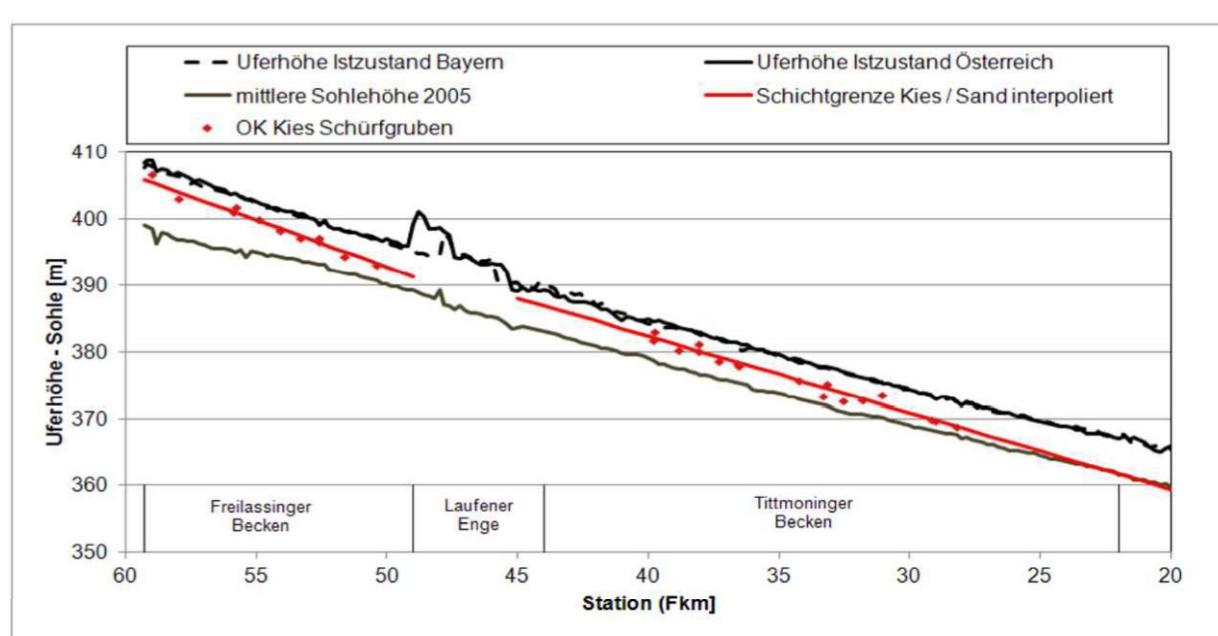
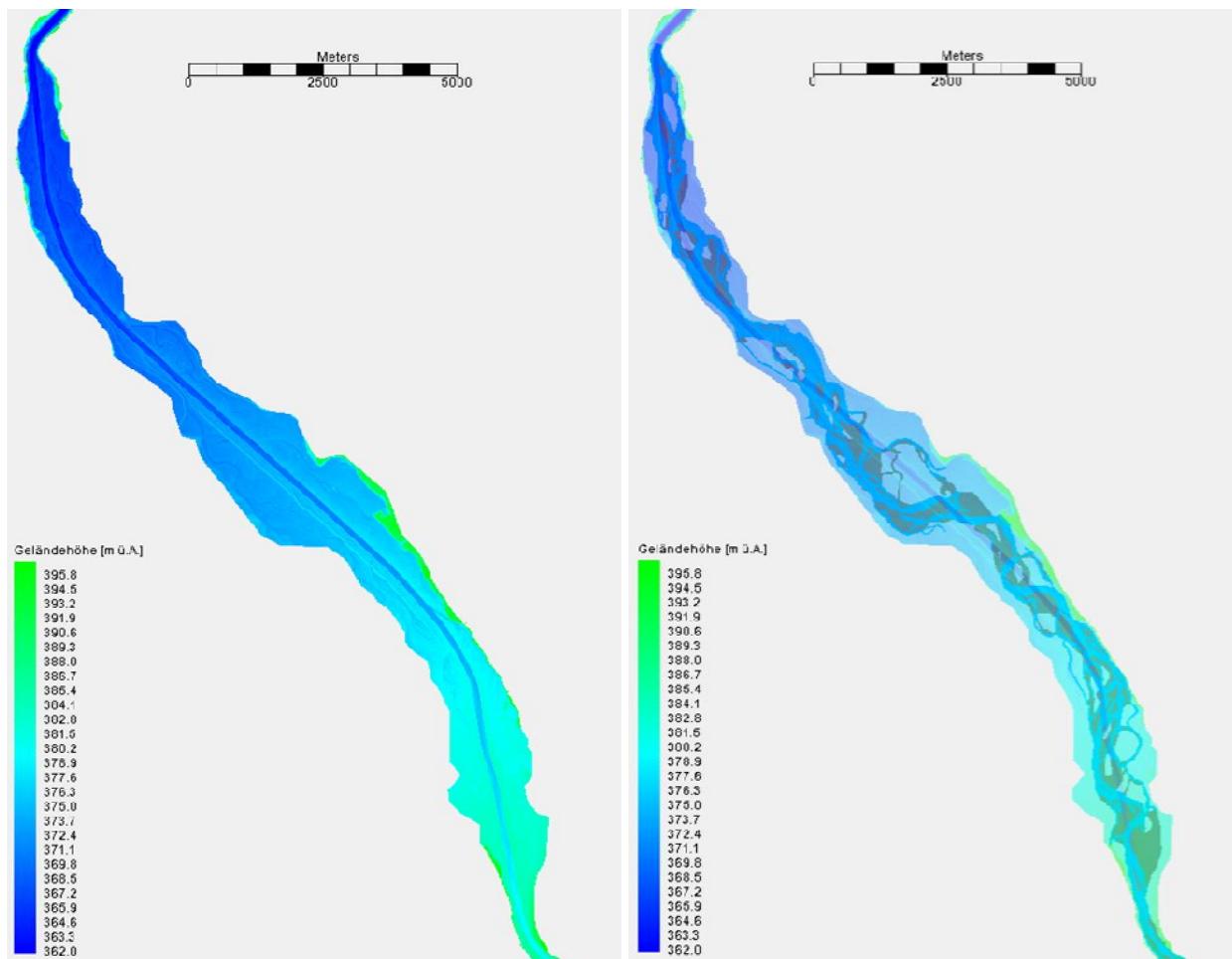


Abbildung 3: Vergleich 1817-2011

In Abbildung 4 ist der Zustand vor der Regulierung überlagert dargestellt. Der Umfang der Veränderungen durch die Regulierung ist daraus klar zu erkennen.



In Abbildung 5 ist die Entwicklung der Sohllagen seit der Regulierung dargestellt. Dabei wird basierend auf den Ergebnissen der Untergrunderkundungen eine ursprüngliche Sohlage abgeleitet. Klar erkennbar ist die Sohlentwicklung mit dem Umfang der Sohleintiefung. Bei etwa Flkm 22 ist eine Fixierung der Sohlage erkennbar. Diese bildet die Erosionsbasis für das Tittmoninger Becken. Ausgehend davon ist gut die Tendenz der Salzach erkennbar, ein neues, auf der Regulierungsgeometrie basierendes Gleichgewichtsgefälle anzustreben.

Da dieses Gleichgewichtsgefälle deutlich geringer ist als das ursprüngliche, kommt es zwangsläufig zu der sichtbaren Eintiefung.

In den digitalen Geländemodellen, die aus den aktuellen Laserscanndaten erstellt wurden (Abbildung 6), sind die ursprünglichen Flussverläufe und Gerinnesysteme noch gut erkennbar. Teile dieser Systeme und Reste der ursprünglichen Flussläufe sind für eine mögliche Aktivierung noch vorhanden und stellen ein beträchtliches Potenzial für eine Renaturierung dar. Die Auswertung der historischen Karten ermöglicht eine vereinfachte Gegenüberstellung der Veränderungen durch die Regulierung. In Tabelle 1 sind die veränderten Flächenverhältnisse (bei MQ) dargestellt.

**Tabelle 1: Vereinfachte Flächenbilanz (1817-2011)**

	Gesamt	Wasserfläche	Schotterfläche	Auwald	Vorlandflächen*)
		(MQ)	(MQ)		
1817	2100	510	410	1180	
	Anteil	100%	24%	20%	56%
2011	2100	210	0		1890
	Anteil	100%	10%	0%	90%

\*) Auwald plus land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen und Wegeflächen im ursprünglichen Auwaldbereich

Daraus abgeleitet ergeben sich grob die folgenden mittleren Breitenverhältnisse für den Abflussbereich:

**Tabelle 2: Vereinfachte Breitenverhältnisse (1817-2011)**

Stand	Bordvoller Abfluss			Mittlere ben. Breite	Minimale Breiten (HG)	Maximale (HG) Breiten	Sohlbreite
	Mittl. ben. Breite ca. HQ1	Min. ben. Breiten (HG)	Max.ben. Breiten (HG)				
1817	500	300	600	280	70	500	260
2011	130		130	110		110	100

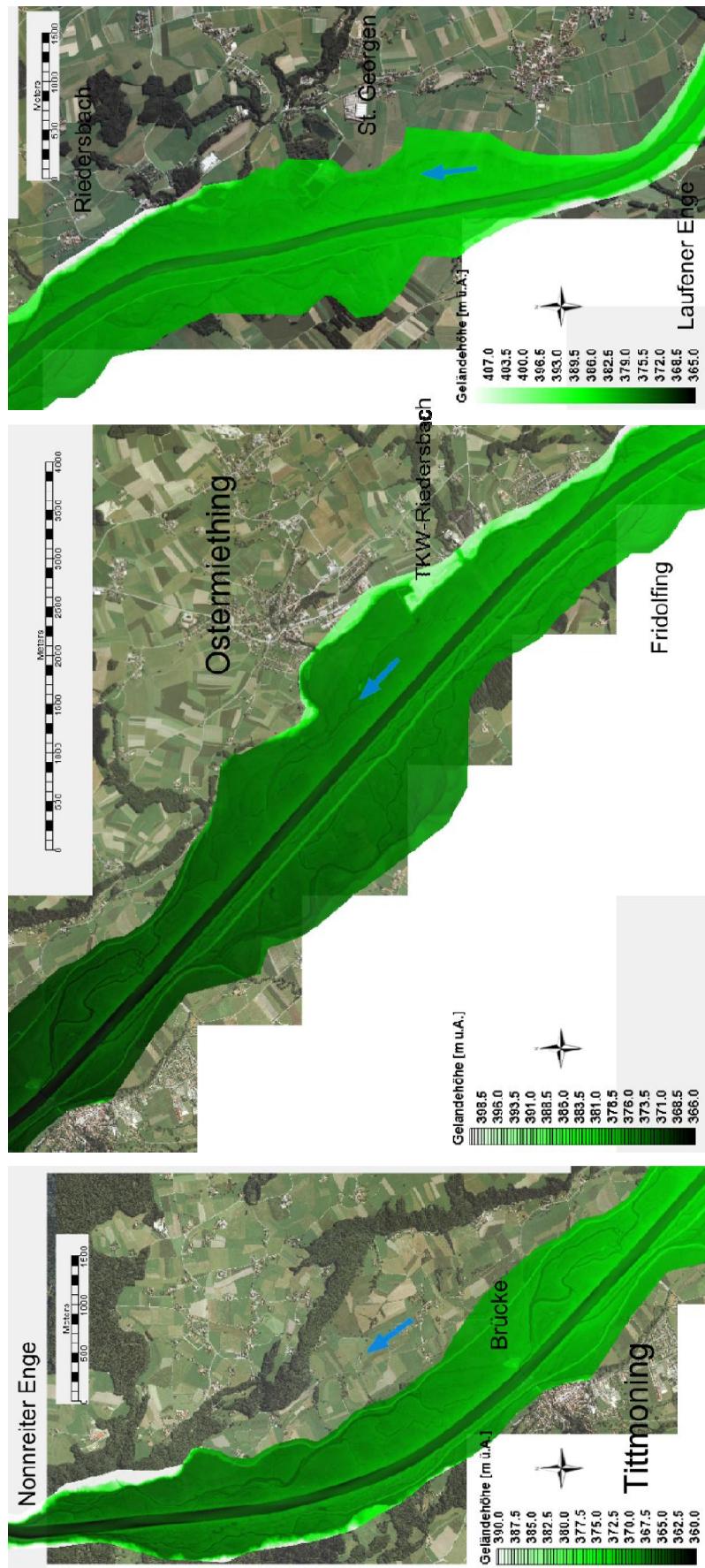


Abbildung 6: Geländemodell – IST-Zustand (Laserdaten)

Die Basis sämtlicher Überlegungen bezüglich einer Gewässerentwicklung bildet die Definition eines Leitbildes. Unter einem Leitbild wird der natürliche, gewässertypische Referenzzustand verstanden. Die Entwicklung eines Fließgewässers ist von unterschiedlichen Randbedingungen abhängig. Die wichtigsten Parameter dabei sind die Hydrologie, der Feststoffhaushalt, die Gefälleverhältnisse und der Untergrund. Die Einflussparameter der Gewässerentwicklung unterliegen starken Veränderungen, ein historischer Zustand ist daher als Zielzustand möglicherweise nicht geeignet. Er stellt jedoch einen deutlichen Hinweis für eine anzustrebende Gewässerentwicklung dar und ist somit richtungweisend.

Der historische Gewässerzustand (1817) zeigt für den Projektbereich (Abbildung 4) eine dynamisch genutzte Gewässersystembreite von etwa 600-800m im Mittel und eine maximale Gewässersystembreite von über 1300m. Der Abflusszustand zum Zeitpunkt der historischen Aufnahmen ist nicht bekannt. Aufgrund der separaten Ausweisung von Schotterflächen (Tabelle 1) wird ein mittlerer Abflusszustand (MQ) angenommen.

Die Salzach entsprach im Tittmoninger Becken (Abbildung 3 und Abbildung 4) einem stark verzweigten/mäandrierenden Flusstyp.

Nach den Verbauungen von 1820 und 1873 hatte sich die morphologische Struktur der Unteren Salzach von einem teilweise verzweigten zu einem kanalartigen, gestreckten Flusslauf mit alternierenden Kiesbänken verändert. Die Struktur der alternierenden Bänke ist bis heute erhalten geblieben, allerdings haben die Kiesbänke als Folge des Geschiebemangels so viel an Größe verloren, dass sie kein potenzielles Geschiebe zur Umlagerung und Dynamik im Fluss mehr darstellen. Durch die starke Einengung der Salzach ging natürlich auch die ökologische Funktionsfähigkeit weitgehend verloren. Bei entsprechenden Aufweitungslängen kann durch erneute und größere Kiesbankbildung und deren Migration die ökologische Strukturvielfalt wiederhergestellt werden (WRS; Fachbericht 7 – I.1). Grundsätzlich wird im Fachbericht 7 der ad-hoc Arbeitsgruppe der ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag eine Flussaufweitung der Salzach als geeignete Maßnahme zur Sohlstabilisierung empfohlen.

Der Zustand des Tittmoninger Beckens wird in den Fachberichten der WRS ausführlich behandelt.

### 3 Problemstellung und Diskussionsstand

#### 3.1 IST-Situation

##### 3.1.1 Allgemeine Situationsbeurteilung (WRS)

Entlang der Salzach befinden sich Gewässerabschnitte mit hoher Eintiefungstendenz. Ursachen dafür sind Maßnahmen im Einzugsgebiet (Bau von Speichern und Wildbachsperrern), Regulierungsmaßnahmen (Querwerke) und Wasserkraftwerke an der Oberen Salzach sowie die Geschiebeentnahme an Zubringern (z. B. Saalach).

Zwar ist die Gesamtbeurteilung der Situation hinsichtlich der Sohlstabilität für das Tittmoninger Becken weniger dramatisch als für die Sohlsituation im Oberlauf, die WRS (Berichtsteil 2 - Untersuchungen zur Flussmorphologie der Unteren Salzach) weist aber im Tittmoninger Becken sowohl erosionsempfindliche Bereiche (Tabelle 3) als auch streckenweise vom Sohldurchschlag bedrohte Salzachbereiche aus (Tabelle 4).

**Tabelle 3: Erosionsempfindliche Bereiche (Quelle WRS/Fachbericht Band 2)**

Erosionsempfindliche Bereiche im Tittmoninger Becken	
Flkm	Beschreibung des Untergrunds
43 - 41	Seeton, schluffig-tonig, lose und z.T. Sand, schwach-kiesig auf Sohlenhöhe oder unter maximal 1 m Kiesbedeckung
40 - 28	Allgemein relativ dünne Geschiebedecke über dem weichen Untergrund aus Seeton
37	Seeton, schluffig-tonig, z.T. Sand, schwach-kiesig, lose, unter maximal 0,5 m bis 1 m Kiesbedeckung
34	Seeton, schluffig-tonig, z.T. Sand, schwach-kiesig, lose, unter maximal 0,5 m bis 1 m Kiesbedeckung
29.5	Sand, schwach-kiesig, lose, unter maximal 1 m Kiesbedeckung
28.3	Sand, schwach-kiesig, lose, unter maximal 1 m Kiesbedeckung
22.5	Seeton, schluffig-sandig, lose, unter maximal 1,5 m bis 2 m Kiesbedeckung

**Tabelle 4: Vom Sohldurchschlag bedrohte Salzachbereiche (Quelle WRS/Fachbericht Band 2)**

<b>Vom Sohldurchschlag bedrohte Salzachbereiche (Auszug)</b>	
Schleichender Sohldurchschlag (SS)	
SS07	Flkm 42.3 - 40.4, linke Seite, tiefer Kurvenkolk schneidet in Sand und Seeton ein, Stabilisierung durch Sandstein bei Flkm 40,6
SS08	Flkm 36.2 - 36.0, rechte Seite, Kurvenkolk mit Böschungsinstabilität, Böschung saniert
SS09	Flkm 20.8 - 20.4, rechte Seite, tiefer Kurvenkolk schneidet in leicht kiesigen Sand ein
SS10	Flkm 19.8 - 19.4, linke Seite, sehr tiefer Kurvenkolk durch Engstelle, Kolk möglicherweise im Mergelstein
SS13	Flkm 40.0 - 22.0, mehrere Kolke auf beiden Seiten im Bereich wandernder Kiesbänke werden periodisch wieder zugedeckt

### 3.1.2 Aktuelle und zukünftige Geschiebesituation im Tittmoninger Becken

Die Geschiebesituation für das Tittmoninger Becken nimmt einen breiten Raum in den bisherigen Untersuchungen ein. Es stehen umfangreiche Daten über Materialzusammensetzung, Massenbilanzen, Transportkapazitäten und Ergebnisse aus numerischen Simulationen zur Verfügung. Die Streuung der Einflussparameter zur Beurteilung des Feststoffhaushalts ist dabei üblicherweise groß und abhängig von Qualität und Umfang der vorliegenden Beprobungsdaten ist von generalisierten Annahmen auszugehen. Aus der Vielzahl von Untersuchungen kann jedoch die Geschiebebilanz im Tittmoninger Becken gut beschrieben werden. Die Analyse der Unterlagen (WRS und weiterführende Berichte (M. Hengl/BAW) und die Informationen des zuständigen Experten (M. Hengl/BAW) liefern die Basis für die weiterführenden feststoffspezifischen Untersuchungen.

Als Basiswert für die Transportkapazität und Geschiebefrachtberechnungen wird (in Absprache mit M. Hengl und dem Vertreter des Planungsteams M. Spannring) folgende Geschiebebilanz für ein mittleres Jahr verwendet:

Austrag Freilassinger Becken	ca. 10.000 m <sup>3</sup> /a
Geschiebe-Input	ca. 40.000 m <sup>3</sup> /s
Austrag Tittmoninger Becken	ca. 40.000 m <sup>3</sup> /a (Eintiefung von rund 2 cm/a)
Gesamtaustrag	ca. 90.000 m <sup>3</sup> /a

Dieser Wert bildet die Basis für die Auswahl des geeigneten Geschiebetransportansatzes (Kap. 7.3.3.).

Durch die Rampe bei Flkm 51.9 ist mittelfristig mit einer deutlichen Veränderung des Geschiebehaushalts flussab zu rechnen. Im Bericht „Optimierung der vorhandenen Planungen zur Rampe 55.4“; (Verfasser: DI Dr. H. Hengl/BAW im Auftrag der Salzburger Landesregierung) werden die tatsächlichen Veränderungen gegenüber den Planungsannahmen analysiert.

Dabei wird festgehalten, dass der Zeitraum für das Erreichen einer Gleichgewichtssohle flussauf der Rampe deutlich größer als ursprünglich angenommen sein wird (mindestens 75 Jahre, im Fall von zwischenzeitlich möglichen Sohdurchschlägen auch weit darüber hinaus). Die Modellrechnungen (WRS-Berichtsteil Geschiebemodellierung) ergeben demnach im Mittel eine um ca. 1/3 reduzierte Geschiebemenge (ca. 27.000 m<sup>3</sup>) flussab der Rampe bis zur Erreichung der Gleichgewichtssohle. Flussab der Rampe stehen rund 181.000 m<sup>3</sup> Kies aus Seitenerosion für Kompensationen zur Verfügung. Dies ist lt. dem Gutachten bis ca. 2024 ausreichend um das entstehende Defizit (rund 13.000 m<sup>3</sup>/a) auszugleichen. Nach 2024 ist dieses theoretische Potenzial verbraucht. Dadurch reduziert sich der Geschiebeeintrag um jährlich 13.000 m<sup>3</sup>/a bis zur Erreichung der Gleichgewichtssohle.

Die in der WRS angegebene Bandbreite zwischen 20.000m<sup>3</sup>/a und 40.000m<sup>3</sup>/a Geschiebe-Input wird durch die verbleibenden 27.000m<sup>3</sup> noch eingehalten. Grundvoraussetzung ist ein gesicherter Geschiebe-Input an der Saalachmündung von 40.000m<sup>3</sup>/a.

Im Gutachten wird dazu festgehalten (Zitat):

*"Wenn an dieser Stelle nur 20.000 m<sup>3</sup>/a aus dem Einzugsgebiet ankommen, verbleiben ab 2025 bis zum Erreichen der Gleichgewichtssohle nur mehr ca. 13.000 m<sup>3</sup>/a für die Salzach flussab der Rampe km 51.9. Dieser Wert liegt außerhalb der Bandbreite der WRS-Planung und erfordert damit Zusatzmaßnahmen zur Bauwerkstabilität der Sohlstufe km 51.9 einschließlich ökologischer Durchgängigkeit und der Sohlsicherung für Laufen/Oberndorf."*

Die Gewährleistung des Eintrags einer jährlichen Geschiebefracht von 40.000 m<sup>3</sup>/a wurde während der Vorbesprechungen von allen Experten als sehr optimistische, teilweise unrealistische Annahme gesehen. Es wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass mit einer deutlich geringeren Eintragsfracht zu rechnen sein wird und kurz- bis mittelfristig keine Verbesserungen der Eintragssituation zu erwarten sind.

### 3.1.3 Auswirkungen auf die Situation im Tittmoninger Becken

Durch die deutlich längere Zeitspanne bis zum Erreichen eines Gleichgewichtszustands oberhalb der Rampe bei Flkm 51.9 ist mit einer massiv reduzierten Feststofffracht über einen Zeitraum von 60 Jahren (ab 2025) und darüber hinaus zu rechnen.

Die Feststoffsituation und damit die Sohlstabilität haben sich durch die gesetzten Maßnahmen also deutlich verschlechtert. Eine „Normalisierung“ der Situation wird sich frühestens in 5-6 Jahrzehnten einstellen; es besteht aber bereits aktuell Handlungsbedarf. Geplante Maßnahmen in der Laufener Enge könnten die Feststoffsituation im Tittmoninger Becken noch weiter verschlechtern.

### 3.1.4 Abschätzung einer wahrscheinlichen Entwicklung der Feststoffsituation

Auf Basis dieser dargelegten und dokumentierten Auswirkungen der Maßnahmen im Oberlauf des Tittmoninger Beckens können Annahmen für die zukünftige Entwicklung der Feststoffsituation im Tittmoninger Becken (IST-Zustand) getroffen werden. Das Austragspotenzial bleibt bei den Abschätzungen mit rund 90.000 m<sup>3</sup> unverändert.

**Annahme 1:** Zustand ab 2025 – Geschiebe-Input 40.000m<sup>3</sup> für ein mittleres Jahr und Sohlaustrag im Freilassinger Becken.

Austrag Freilassinger Becken	ca. 10.000 m <sup>3</sup> /a
Geschiebe-Input	ca. 27.000 m <sup>3</sup> /s
Austrag Tittmoninger Becken	ca. 53.000 m <sup>3</sup> /a (Eintiefungspotenzial rund 2,8 cm/a)
Geschiebe-Output (IST-TK)	ca. 90.000 m <sup>3</sup> /a

**Annahme 2:** Zustand ab 2025 – Geschiebe-Input 40.000m<sup>3</sup> für ein mittleres Jahr und Sohlstabilisierung im Freilassinger Becken.

Austrag Freilassinger Becken	ca. 0.0 m <sup>3</sup> /a
Geschiebe-Input	ca. 27.000 m <sup>3</sup> /s
Austrag Tittmoninger Becken	ca. 63.000 m <sup>3</sup> /a (Eintiefungspotenzial rund 3,1 cm/a)
Gesamtaustrag-Output (IST-TK)	ca. 90.000 m <sup>3</sup> /a

**Annahme 3:** Zustand ab 2025 – Geschiebe-Input 20.000m<sup>3</sup> für ein mittleres Jahr und Sohlstabilisierung im Freilassinger Becken.

Austrag Freilassinger Becken	ca. 0.0 m <sup>3</sup> /a
Geschiebe-Input	ca. 13.000 m <sup>3</sup> /s
Austrag Tittmoninger Becken	ca. 77.000 m <sup>3</sup> /a (Eintiefung rund 3,8 cm/a)
Geschiebe-Output (IST-TK)	ca. 90.000 m <sup>3</sup> /a

**Annahme 4:** Zustand ab 2025 – Geschiebe-Input 20.000m<sup>3</sup> für ein mittleres Jahr, Sohlstabilisierung im Freilassinger Becken und eine vergleichbare Stabilisierungsmaßnahme wie im Freilassinger Becken in der Laufener Enge (Durchgang 2/3 des Geschiebes bis zum Gleichgewichtszustand).

Austrag Freilassinger Becken	ca. 0.0 m <sup>3</sup> /a
Geschiebe-Input	ca. 9.000 m <sup>3</sup> /s
Austrag Tittmoninger Becken	ca. 81.000 m <sup>3</sup> /a (Eintiefung von rund 4 cm/a)
Geschiebe-Output (IST-TK)	ca. 90.00 m <sup>3</sup> /a

Da sich die aktuelle Transportkapazität bei bleibender Geometrie nicht verändert, ist von einem verstärkten Austrag aus der Salzachsohle zu rechnen. Durch die regulierte Gerinnegeometrie der Salzach wird die Erosion von Sohlmaterial stark begünstigt und durch eine weitere Eintiefung verstärkt.

Alle Annahmen weisen auf eine langfristige Verschlechterung der aktuellen Feststoffsituation und Sohlstabilität im Tittmoninger Becken hin. So ist eine theoretisch eine Verdoppelung der aktuellen Eintiefungstendenz (Annahme 4) möglich. Dies erhöht den im Tittmoninger Becken aktuell bereits vorhandenen Handlungsbedarf beträchtlich.

### Schlussfolgerungen für die gegenständliche Planung

Die Planungen im Tittmoninger Becken müssen daher

- die bestehenden Defizite der Sohlstabilität beseitigen
- die zusätzlich, durch die Maßnahmen im Freilassinger Becken, geschaffenen Defizite kompensieren
- die Geschiebedurchgängigkeit erhalten

Für die weiterführenden Berechnungen werden gemäß Vereinbarung ein Geschiebe-Input von 40.000m<sup>3</sup> (Normalannahme) und von 20.000m<sup>3</sup> (Minimalannahme) als Bandbreite herangezogen.

## 3.2 Bereichsbeurteilung und Abschnitts-Charakteristik

### 3.2.1 Einfache morphologische Betrachtungen

Durch eine Verbreiterung der Gewässersohle kann die Morphologie der Salzach laut DA SILVA, YALIN (2001) von einem gestreckten Lauf mit alternierenden Bänken wieder in Richtung verzweigter Flusslauf verändert werden (Abbildung 7).

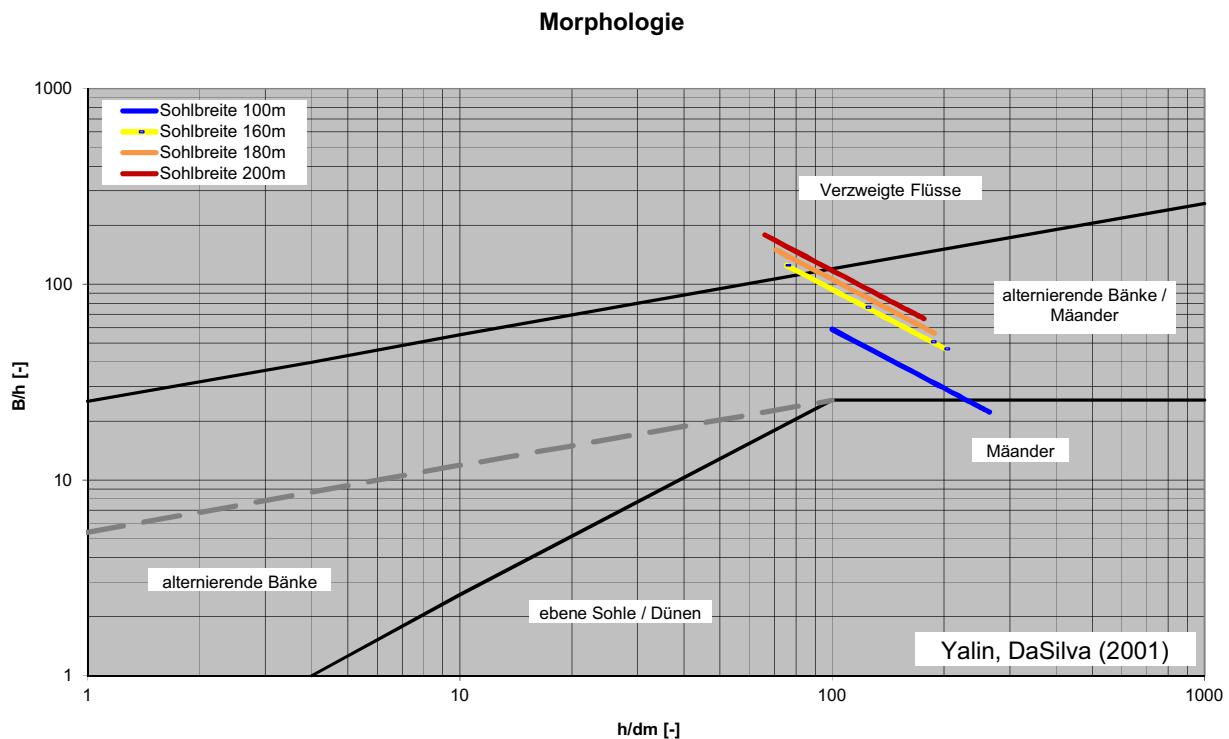


Abbildung 7: Morphologieabschätzung Yalin, DaSilva (2001)

Im Zuge der WRS wird die Beurteilung der morphologischen Veränderungen, wie zum Beispiel ausreichende Kiesüberdeckung bzw. die Tiefe der entstehenden Kolke durch Aufweitungsmaßnahmen, im Zuge des Monitoring empfohlen.

Im Abschlussbericht des Salzach Umsetzungskonzepts, erstellt von BAW und SKI im Jahr 2005, wird besonders auf die möglichen Konsequenzen bei Entfernen der Ufersicherung in Bezug auf die Höhendifferenz zwischen Flusssohle, erosionsempfindlicher Unterschicht im Flussbett sowie im Aufweitungsbereich hingewiesen.

Diese sind:

- Erosionsempfindliche Unterschicht mehr als 1 m unter aktueller mittlerer Sohle: erhöhtes Sohdurchschlagsrisiko nur, wenn die durch die Aufweitung größer werdende mittlere Kolktiefe in die Unterschicht einschneidet.
- Erosionsempfindliche Unterschicht weniger als 1 m unter aktueller mittlerer Sohle: das Sohdurchschlagsrisiko nimmt mit zunehmender Aufweitung zu (außer die Sohlhebung kompensiert die Zunahme der morphologischen Struktur).
- Erosionsempfindliche Unterschicht im Vorland höher als im Fluss (durch Ansteigen der Schichtgrenze in Richtung Vorland oder durch Sohdurchschlag): die Aufweitung betrifft die feinkörnige Unterschicht, das Material wird als Schwebstoff abtransportiert (trägt nicht zum Geschiebe bei) und eventuell findet eine weitere Eintiefung statt. Bei dieser Möglichkeit muss durch maschinelle Aufweitung und Kiesumlagerung der Aufbau einer Kiesüberdeckung in der Sohle unterstützt werden.

Hochwasserschutztechnisch stellen die Aufweitungsmaßnahmen laut Abschlussbericht des Salzach Umsetzungskonzepts, erstellt von BAW und SKI im Jahr 2005, kein Problem dar. Demnach liegt der Wasserspiegel des HQ<sub>100</sub> laut Berechnungen nach Umsetzung aller Maßnahmen im Tittmoninger Becken deutlich niedriger als im IST-Zustand.

### 3.2.2 Leitbild

In der Wasserwirtschaftlichen Rahmenuntersuchung Salzach (WRS) vom Jahr 1990 von der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag wurde die Flusslandschaft „Untere Salzach“ nach Kartenaufnahmen aus dem Jahr 1817 als ökologisches Leitbild definiert. Dabei wurden folgendes spezifisches Leitbild und Rahmenbedingungen festgelegt:

- Ökologisches Leitbild: Anbindung der Auen an die Dynamik der Salzach (Anbindung der verschiedenen Gewässertypen, Schotterfluren und sonstigen Auestandorte an das Abflussgeschehen im Jahresgang sowie an die periodischen und episodischen Hochwasserereignisse)
- Ökologische Rahmenbedingungen:
  - Abfluss- und Hochwasserdynamik, Morphologie:
    - Natürliche Wasserstandsschwankungen im Jahres- und Tagesgang im überbreiten Gewässerbett
    - Natürliche Dynamik kleinerer und großer Hochwasserereignisse im Auenbereich
    - Sohlumlagerungen und Seitenerosion, Abtrag und Auflandung
    - Stoffeinträge in Überflutungsbereiche
    - Große stehende Retention
    - Spontane Neubildung auetypischer Gewässer
    - Verlagerungsmöglichkeiten für den Flusslauf
  - Grundwasserdynamik:
    - Verminderung des Grundwassergefälles von der Aue zum Fluss
    - Geringerer Grundwasserflurabstand
    - Erhöhung der Varianz der Grundwasserspiegellagen

(ad-hoc Arbeitsgruppe der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag 1995)

Falls es durch die Aufweitungsmaßnahmen zu einer Verminderung des Sohlgefälles kommt, wirkt sich dies allerdings negativ auf die Eigendynamik (SCHERLE, 1999) aus: die Entwicklungsfreudigkeit (gemessen durch die Strömungsleistung) nimmt grundsätzlich bei geringerem Gefälle ab. Bei gleich bleibendem Gefälle ist die Eigendynamik schon bei geringen Hochwässern größer.

### 3.2.3 Abschnitts-Charakteristik

Die in Abbildung 5 dargestellte Sohleintiefung zeigt bereits deutlich die Dringlichkeit/ den Grad

des Handlungsbedarfs. Dieser steigt ausgehend von der Erosionsbasis am Beginn der Nonnreiter Enge flussauf mit dem Eintiefungsgrad an.

Die Analyse des historischen Zustands der Salzach lässt die Einteilung der Salzach im Tittmoninger Becken in drei Abschnitte zu (Abbildung 8)

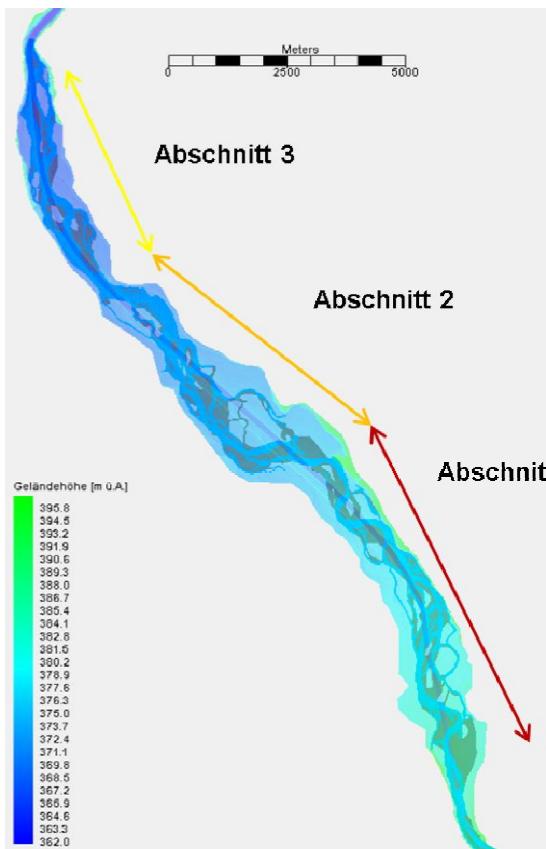


Abbildung 8: Bereichseinteilung

Diese sind:

**Abschnitt 1 – Oben (etwa Flkm 33 - 42):** Beginnend von der Laufener Enge ist bedingt durch die Talgeometrie und die hohe Fließenergie durch die Laufener Enge eine hochdynamische pendelnde Laufentwicklung erkennbar.

**Abschnitt 2 – Mitte (etwa Flkm 27 - 33):** Die Dynamik nimmt aufgrund der breiteren Talgeometrie und der reduzierten Fließenergie deutlich ab. Die historischen Karten und Geometrievergleiche zeigen einen deutlich stabileren Verlauf als in Abschnitt 1.

**Abschnitt 3 – Unten (etwa Flkm 21 - 27):** Durch die Einengung beim Übergang in die Nonnreiter Enge und der offensichtlich langzeitlich stabilen Erosionsbasis ist dieser Abschnitt der am geringsten dynamische Bereich mit einem mittel- bis langfristig stabilen Hauptgerinneverlauf.

Durch den kanalartigen Charakter der Salzach im IST-Zustand verteilt sich die Problematik über die Flussstrecke, die wesentlichen Prozesse zeichnen sich in der Sohlentwicklung ab. Die Analysen bezüglich der Gerinnestabilität des IST-Zustands (siehe Kap. 3.1.1) zeigt, dass die wesentlichen und größten Probleme im unteren Bereich der Laufener Enge bzw. im Übergang in das Tittmoninger Becken liegen. Bis etwa Flkm 36 sind größere Kolke im langgezogenen Kurven-Außenbogen erkennbar, darüber hinaus bestehen beidseitig einzelne Kolke.

Die Priorität des Handlungsbedarfs basierend auf der aktuellen Sohlsituation (siehe Beurteilung WRS) deckt sich weitgehend mit der Abschnittseinteilung aufgrund der historischen Analysen.

Der dringendste Handlungsbedarf besteht daher in Abschnitt 1, wohingegen in Abschnitt 3, bezogen auf die Sohlstabilität, noch geringerer Handlungsbedarf besteht.

## 4 Grundsätze und Zielsetzungen der Konzeptentwicklung

### 4.1 Allgemeine Planungsgrundsätze

In seinem Lauf ändert ein Fließgewässer aufgrund von geologischen/morphologischen Einflüssen und hydrologischen Veränderungen seine Charakteristik. Diese Veränderungen können grob kontinuierlich (Hydrologie) erfolgen oder bereichsweise (geologisch/morphologisch) begründet sein. Ein einheitlicher Lösungsansatz unter Verwendung ähnlicher Planungselemente unabhängig von der natürlichen Charakteristik wäre sinngemäß eine Weiterführung der Regulierungsmaßnahmen der Salzach aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts und ist nicht Ziel einer zeitgemäßen wasserwirtschaftlichen Planung.

Unterschiedliche Gewässerabschnitte (Engen, Becken) müssen daher getrennt voneinander betrachtet werden. Es stehen unterschiedliche Instrumente zur Lösung der Problemstellung zur Verfügung. Die diesbezüglichen Vorgehensweisen sind sowohl in der WRRL als auch im letztgültigen WRG (1957 – Novelle 2012) festgelegt.

Die in einer zeitgemäßen Planung zu erreichenden Umweltziele der **WRRL**, verankert im österreichischen **WRG 1959 (Letztstand 2012)** sind:

- *Ein guter ökologischer Zustand und ein guter chemischer Zustand für die natürlichen Oberflächengewässer,*
- *ein gutes ökologisches Potenzial und guter chemischer Zustand für künstliche und natürliche, aber erheblich veränderte Gewässer (Art. 4.1 WRRL) sowie*
- *ein guter chemischer und mengenmäßiger Zustand des Grundwassers.*

Die **RIWA-T (2006)** als offizielle technische Richtlinie der Bundeswasserbauverwaltung hält u.a. fest:

*Kap. 4.2 Schutz des Gewässers - Das Gewässer ist zu schützen durch:*

- *Berücksichtigung der Umweltziele...*
- *Freihaltung, Sicherung und Schaffung von Abfluss- und Retentionsräumen*
- *Erhaltung und Sicherung des Gewässerlebensraumes.*

Die Schutzziele werden u. a. durch folgende Maßnahmen erreicht:

- Erhaltung und Schutz der Gewässer und ihres Umfeldes als landschaftsgestaltendes Element, als natürlicher Lebensraum und als ökologisch funktionsfähige Einheit und Erhaltung oder Erreichung des guten Zustandes bzw. des guten Potenzials im Rahmen des schutzwasserwirtschaftlichen Aufgabenbereiches
- Sicherstellung eines möglichst ausgeglichenen Geschiebehaushaltes der Gewässer. Schutzwasserwirtschaftliche Eingriffe sind auf die sohl- und betterhaltende Geschiebeführung abzustimmen

Diese Festlegungen stimmen mit den WRS Grundsätzen überein. Im Gutachten von H. Habersack und M. Hengl (2009) sind die einer Lösung der Problemstellungen an der Salzach zugrunde zu legenden Planungsgrundsätze der WRS wie folgt zusammengefasst:

- Ganzheitliche Betrachtungsweise
- Wirksame Beseitigung der Sohdurchschlagsgefahr
- Nutzung von flusseigenem Umgestaltungspotenzial
- Strukturvielfalt von Ufer und Sohle sowie deren Dynamik
- Entwicklung eines Nebengewässersystems, nachhaltige Wirkung des Nebengewässer-systems, Auenvernetzung, Vorlanddynamik
- Umsetzung in Teilschritten (modularer Aufbau)
- Berücksichtigung des Zeithorizonts für die Systemanpassung
- Kontrollierte Gewässerentwicklung auf Basis gezielter Beobachtung
- Erhalt des Hochwasserschutzes für Siedlungs- und Verkehrsflächen, Verbesserung der Hochwasserabflussverhältnisse

Dieses Gutachten wurde 2009 im Auftrag der oberösterreichischen Umweltanwaltschaft erarbeitet und beinhaltet u.a. eine Defizitanalyse der bis dahin ausgearbeiteten Planungsvarianten. Folgende Defizite der 2009 vorliegenden Varianten gegenüber den Planungsrichtlinien wurden dabei festgestellt:

- Das Nebengewässersystem wird zu wenig in die Sohlstabilisierung und den lateralen Geschiebetransport einbezogen
- Der in Richtung Leitbild gehende Flusstyp (Ansätze zu Verzweigungen, alternierende Bänke, etc.) ist nicht ausreichend berücksichtigt
- Ein „Bruch“ der Linienführung wurde bislang nicht verfolgt

- Die Kombination von Aufweitungen, eigendynamischer Seitenerosion, Entstehung von Teilgewässersystemen, lateralem Geschiebetransport und z. B. Sohlvergrößerung und Gefälleerhöhung wurde nicht weiterentwickelt
- Die an der Salzach in sehr hohem Ausmaß vorhandenen Potenziale für Uferrückbau und die Initiierung unterschiedlicher Nebengewässersysteme sind nicht vollständig genutzt.
- Neue Entwicklungen im Bereich der Sohlberollungen, wie z. B. Vergrößerung der Korngrößen innerhalb des anstehenden Spektrums wurden nicht einbezogen
- Der übergeordnete Geschiebehaushalt wurde nicht in die Planung einbezogen und es wurden auch keine Forderungen daran gestellt
- Eine integrative Planung mit dem Ziel einer gesamtheitlich optimierten Maßnahmenkombination auf Basis von Entwurfsgrundsätzen ist bisher nicht erfolgt

Eine Kernforderung des Gutachtens lautete:

**Das Nutzen von eigendynamischen Entwicklungen ist technischen Maßnahmen vorzuziehen.**

Die beschriebenen Umweltziele (WRRL und WRG) Planungsgrundsätze (RIWA-T und WRS) sowie die Erkenntnisse aus dem Gutachten von H. Habersack und M. Hengl bilden die Basis für die Beauftragung der oberösterreichischen Umweltanwaltschaft zur Ausarbeitung einer Planungsvariante „Naturfluss“.

Weiter wurden folgende Planungsgrundsätze bzw. Planungslimitierungen vereinbart:

- Vermeidung von Querbauwerken (Rampen) bzw. Kontinuumsunterbrechungen (ökologisch/sedimentologisch)
- Überwiegende rechtsufrige (auf oberösterreichischer Seite) Maßnahmenplanung wegen der vom Planungsteam und Planungsgremium hingewiesenen Widerstände bzw. Einschränkungen (eigentumsrechtlich, forstrechtlich) auf bayrischer Seite und der daraus resultierenden eingeschränkten Raumverfügbarkeit
- Eine Maßnahmenplanung, welche sich näher am visionären Leitbild (1817) orientiert, als am operationalen Leitbild der bisherigen Planungsvarianten.

Innerhalb dieser Vorgaben gegenüber dem Auftraggeber (Oberösterreichische Umweltanwaltschaft) wurde das gegenständliche Maßnahmenkonzept für das Tittmoninger Becken ausgearbeitet.

## 4.2 Vereinbarungen mit dem Planungsgremium und dem Planungsteam - Bewertungskriterien

Im Zuge zahlreicher Vorgespräche und Zwischenpräsentationen mit dem Planungsgremium und mit dem Planungsteam wurden weitere Vereinbarungen getroffen. Die Bedingung einer positiven Machbarkeitsbeurteilung war einem Teil des vom Planungsteam ausgearbeiteten Kriterienkatalogs positiv zu entsprechen. Diese Kriterien werden als KO-Kriterien bezeichnet und stellen die besondere Problematik der Gesamtbearbeitung dar. Dabei steht das Problem der Sohlstabilität eindeutig im Vordergrund.

Der gesamte Kriterienkatalog ist in seiner Anwendbarkeit zu diskutieren, da er offensichtlich nicht zur Beurteilung einer Variante außerhalb der vom Planungsteam konzipierten Varianten gedacht war. Es stellt sich auch die Frage, inwieweit eine Beurteilung von Variantenverfassern über „Fremdvarianten“ mittels eines eigens für „Eigenvarianten“ entwickelten Kriterienkatalogs neutral und unvoreingenommen möglich ist.

Trotzdem wurde vereinbart und akzeptiert, folgende Kriterien für eine Beurteilung der Machbarkeit heran zu ziehen:

- Kriterium 1.5 - Risiko von Zwischenzuständen, welche weitere Baumaßnahmen für das Erreichen der Projektziele erfordern (Hochwasserschutz, Uferschutz, Sohlstabilität)
- Kriterium 2.1 - Vorhersagbarkeit der Sohlentwicklung
- Kriterium 2.2 - Langfristige Stabilität der Sohle
- Kriterium 2.3 - Sicherheit gegen Sohldurchschlag
- Kriterium 2.4 - Risiko unkontrollierter Laufverlagerungen
- Kriterium 5.1 - Erforderliche zusätzliche Schutzmaßnahmen für Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie Infrastruktureinrichtungen
- Kriterium 6.1 - Beeinflussung wasserwirtschaftlicher Nutzungen (z. B. KW Riedersbach)
- Kriterium 7.1 - Mögliche technische Schwierigkeiten in der Umsetzung

In Kap. 8 werden die einzelnen Kriterien genauer betrachtet und Nachweise geführt bzw. Argumente dargelegt, die die Einhaltung der Kriterienanforderungen nachweisen bzw. deren positive Beurteilung ermöglichen.

## 5 Spezielle Lösungsansätze

Die technische Konzeptbasis stellt der aktuelle Stand der Technik dar. Die Anforderungen daran sind der RIWA-T und den aktuellen Richtlinien der Bundeswasserbauverwaltung entnommen. Für die spezielle Fragestellung der Herstellung der Sohlstabilität sind folgende Grundbedingungen einzuhalten (H. Habersack, 2011):

1. Änderung des Sedimentregimes
2. Erhöhung des Sohlwiderstandes
3. Reduktion des Energieliniengefälles
4. Minimierung der Sohlschubspannung

Die akute/konkrete Problematik der fortschreitenden Sohleintiefung mit der konkreten Gefahr von Sohldurchschlägen lässt Lösungen, die erst mittel- bis langfristig zu einer Stabilisierung der Sohllagen führen, nicht zu (siehe Kap. 3.1.3).

Die voranschreitende Sohleintiefung soll im vorliegenden Maßnahmenkonzept primär durch Aufweitungen in Kombination mit Anbindung von Nebenarmen stabilisiert werden, um eine unkontrollierte Eintiefung bis in die unterliegende Seetonschicht zu verhindern. Querbauwerke, wie Rampen oder Wehre, die zusätzliche Maßnahmen für eine Organismendurchgängigkeit erfordern oder künstlich die Geschiebedurchgängigkeit beeinträchtigen, sind mit dem Ziel einer „Naturflussvariante“ nicht vereinbar.

Die bekannten Problembereiche von Flussaufweitungen sind die Übergangsbereiche am Beginn und am Ende einer Aufweitungsstrecke. Ein Übergang von einem eingeschnürten, auf Transportkapazität optimierten und stark gesicherten Querschnitt in einen ungesicherten, aufgeweiteten naturnahen Querschnitt kann nicht problemlos erfolgen. Speziell bei erodierenden Flüssen treten hier verstärkt Probleme auf.

An der ETH Zürich wurden diesbezüglich einige Untersuchungen durchgeführt. Eine umfangreiche Arbeit dazu wurde 2005 publiziert (Requina. P, Bezzola G. Minor. H., 2005). Darin wurden Aufweitungen bei einem Flussabschnitt im Gleichgewichtszustand und Aufweitungen bei einem Flussabschnitt mit Erosionstendenz gegenübergestellt. Dabei zeigte sich die Bedeutung von übergeordneten Sohlfixpunkten. Die Entwicklung innerhalb von Aufweitungen ist maßgeblich von der Lage und Entfernung übergeordneter Sohlfixpunkte

abhängig. Je näher eine Aufweitung an einem Sohlfixpunkt liegt, umso geringer die Auswirkungen möglicher Erosionserscheinungen. Flussaufweitungen in erodierenden Flussstrecken können ohne ergänzende Maßnahmen eine übergeordnete Erosionstendenz nicht oder nur begrenzt aufhalten. In der Aufweitung selbst resultieren zwar Ablagerungen, aber die vorhandene Erosionstendenz wird sich sowohl flussabwärts wie auch flussaufwärts der Aufweitung auswirken.

Hunzinger (1998) beschreibt das hydraulische Phänomen des Höhenversatzes (siehe

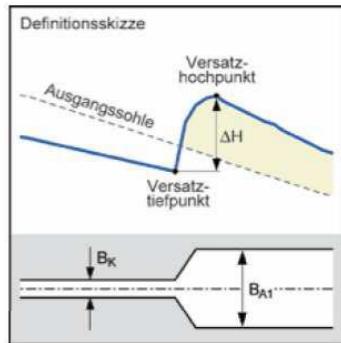


Abbildung (Requena, 2005)). Dabei wird durch eine Aufweitung eine starke Sohlanhöhung initiiert. Dieser Höhenversatz nimmt mit erhöhtem Breitenverhältnis zu. Gleichzeitig entsteht oberhalb des (+) Höhenversatzes ein Versatztiefpunkt (Aufweitungskolk). Im Fall erodierender Flüsse wird mit zunehmender Aufweitungsbreite der Höhenversatz größer und gleichzeitig die Sohlerosion flussaufwärts intensiver.

Schlussfolgerungen für die Praxis (Requina. P, Bezzola G. Minor. H., 2005):

*Bei Aufweitungen, die in einer erodierenden Flussstrecke realisiert werden, besteht die Möglichkeit, dass die vorhandene Erosionstendenz im Oberwasser durch die Aufweitung verstärkt wird. Allerdings kann den negativen Auswirkungen durch geeignete begleitende Maßnahmen begegnet werden.*

a) Unterhalb der Aufweitung:

- Die Erosion kann durch flächenhafte Sohlenschutzmaßnahmen verhindert werden.
- Der Geschieberückhalt in der Aufweitung kann reduziert oder ganz vermieden werden, wenn die Hebung der Sohle in der Aufweitung bei der Realisierung durch Einbringen geeigneten Materials vorweggenommen wird.

b) Oberhalb der Aufweitung:

- Durch Einbringen von Material kann am oberen Ende der Aufweitung bereits frühzeitig eine möglichst hohe Sohlenlage realisiert werden. Dadurch wird eine Absenkung des Wasserspiegels gegen die Aufweitung hin vermieden und so der Erosion in der oben liegenden Strecke entgegengewirkt.
- Um einen zu großen Versatz  $\Delta H$  zu vermeiden, bietet sich auch eine Verbreiterung des Gerinnes in Etappen als Möglichkeit an. Durch sukzessive Vergrößerung der Breite bleibt dem Fluss Zeit, um sich den jeweils neuen Breitenverhältnissen anzupassen.

*Somit wird sich der Sohlenversatz kleiner ausbilden und die Erosionen im Oberwasser werden weniger ausgeprägt ausfallen.*

- *Die Aufweitung kann – als Alternative zu einer Etappierung – durch selbstständige Erosion erfolgen, indem die Ufersicherungen entfernt werden. Somit kann sich der Fluss durch Seitenerosion aufweiten, und ihm bleibt auch genügend Zeit, um sich der neuen Breite anzupassen.*

## 5.1 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

Aufgrund der speziellen Problematik und der Einschätzung (WRS) einer, im Projektgebiet örtlich, großen Gefahr eines Sohldurchschlags und den Ergebnissen der Berechnungen werden, ausgehend von der fachlichen Erfahrungen, den wissenschaftlichen Erkenntnissen und Anregungen der beteiligten Experten zusätzliche Konzeptelemente entwickelt bzw. vorgesehen. Diese gewährleisten die Grundbedingungen zur Sicherstellung und Vorhersehbarkeit einer zukünftigen Sohlentwicklung (siehe Kap. 4.2.). Diese zusätzlichen Planungselemente sind:

### 1. Systementkoppelung

Der Regulierungsbereich und der Aufweitungsbereich werden als zwei völlig getrennte Bereiche gesehen. Wie bereits beschrieben stellen die Systemübergänge besondere Problembereiche dar. Es besteht dabei die Gefahr Erosionstendenzen flussauf und flussab der Aufweitung zu verstärken. Gleichzeitig weisen alle Untersuchungen aber darauf hin, dass im Aufweitungsbereich selbst die sohlstabilisierenden Effekte greifen.

Die Entkoppelung ist durch ein geeignetes Bauwerk herzustellen, vorzugsweise sohlgleich.

Alternativ wurde daher das Konzept eines sohlgleichen, rein durch Energieumwandlung wirksamen Bauelements entwickelt. Die Organismen- und Feststoffdurch-gängigkeit bleiben dabei erhalten. Eine flussauf und flussab wirkende Erosion wird unterbunden. Die hydraulischen Verhältnisse flussauf und flussab bleiben in Abhängigkeit vom Maßnahmenumfang gleich oder können sogar verbessert werden. Das Prinzip wird in Kap. 5.1.1.1 erläutert.

## 2. Stützstellen

Die Variante Naturfluss basiert; wie alle anderen Varianten auch; auf die Ausbildung von Stützstellen. Diese wirken als übergeordnete Sohlfixpunkte und gewährleisten eine kontrollierte Sohlentwicklung. Dabei werden in natürlichen Fließgewässern vorkommende Bereichs-Charakteristika (Kolk-Furt Abfolgen) benutzt um diese Stützstellen zu schaffen. Auf die Herstellung von Querbauwerken zur Schaffung der Stützstellen wird verzichtet. Furtbereiche werden initiiert, die das Gesamtsystem stabilisieren. Aufgrund der Sohldurchschlagsgefahr wird die Vorhersehbarkeit einer Entwicklung als Grundbedingung eingefordert. Weiters werden Kriterien abverlangt die in hohem Maße die Funktionsfähigkeit einer Konzeption gewährleisten müssen. Aus diesem Grund werden die Furten durch eine granulometrische Sohlvergrößerung in ihrer Höhenentwicklung nach unten limitiert und lagemäßig durch kleinräumige Sicherungsmaßnahmen stabilisiert.

Die Grundregeln zur Herstellung einer Sohlstabilität siehe (Kap. 4) werden wie folgt umgesetzt:

### 1. Änderung des Sedimentregimes

Aktive Sohlanhebung (Eintrag) mit gleichzeitiger Bereitstellung von Seitenerosionspotenzialen

### 2. Erhöhung des Sohlwiderstands und Reduktion des Energieliniengefälles

Entkoppelungselemente zur Vermeidung von negativen Auswirkungen flussauf und flussab der Maßnahmenstrecke (Energieumwandlungselemente) und granulometrisch vergrößerte Stützstellen

### 3. Minimierung der Sohlschubspannung

Verringerung der Wassertiefen durch aktive Sohlanhebung mit gleichzeitiger Sohlaufweitung und Aktivierung von bestehenden Nebengewässersystemen. Entfernung von Barrieren und Herstellung einer Auendynamik

## 5.1.1 Prinzip der Systementkoppelung

Das Maßnahmenkonzept sieht vor den regulierten Gewässerbereich vom Aufweitungsbereich zu trennen. Dafür ist im regulierten Gewässerabschnitt ein Bauwerk zu errichtet, dass eine erhöhte Sohlbelastung flussauf und flussab ausschließt (Requina et.al., 2005).

Als solches Bauwerk sind flache raue Blocksteinrampen oder aufgelöste Rampen möglich. Im gegenständlichen Maßnahmenkonzept wurde als Planungsvorgabe die mögliche Vermeidung von sohlerhöhenden Querbauwerken definiert. Daher wurde alternativ eine Maßnahme entwickelt, die die Entkoppelung ohne Sohlerhöhung oder Kontinuums Unterbrechung ermöglicht – Arbeitstitel „Rauteteppich“.

Die für die gegenständliche Fragestellung vorgeschlagene Bauform ist in Kap. 6.1.1 dargestellt.

### 5.1.1.1 Konzept und Wirkung des Rauteteppichs

Hierbei handelt es sich um eine flächig wirkende Maßnahme auf Basis reiner Energieumwandlung durch Rauheit. Das Grundprinzip und der Aufbau sind von den rauen Blocksteinrampen übernommen und haben sich bewährt.

Idee: Die Rauheit der Blocksteine führt zu einer Energieumwandlung im Bereich des Rauteteppichs. Das Feststoffmaterial der ablaufenden Welle führt zu einer Ein- bzw. Überdeckung der Blocksteine. Im Hochwasser Fall werden die Zwischenräume freigespült und die Wirkung der Blocksteine wird wieder hergestellt. In Abbildung 9 ist Aufbau schematisch dargestellt.

#### Rauteteppich

Sohlneigungsgleiche Energieumwandlung  
Herstellungskonzept - Schematische Darstellung

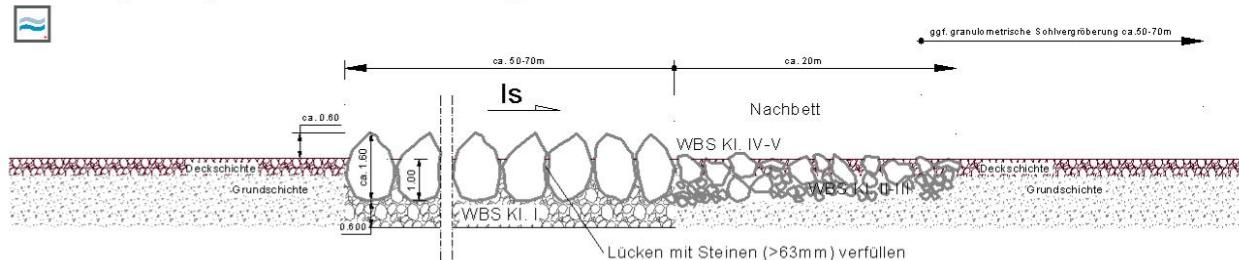


Abbildung 9: Schema-Skizze Rauteteppich

Stabilitätsberechnungen analog der Nachweise für raue Blocksteinrampen (Lange/Lechner, 1993) zeigen, dass das Konzept auch bei  $HQ_{100}$  an der Salzach mit Steingrößen  $\geq 0,6\text{m}$  ausreichend stabil ist, um derartige Ereignisse unbeschadet zu überstehen. Die Wirkungsweise

## Maßnahmenkonzept Untere Salzach - Naturflussvariante

basiert jedoch auf der Rauheitswirkung. Die Größe, der zu verwendenden Blöcke, wird daher von der Energieumwandlungswirkung bestimmt. Die Wirkung der Konzeption wurde numerisch überprüft.

Abbildung 10 zeigt die Wirkung des Rautteppichs auf den Wasserspiegel und die Schubspannungen bei HQ<sub>1</sub> und HQ<sub>5</sub>. Der Rautteppich ist hier 50m lang. Die Wirkung zieht sich etwa 2 km flussauf.

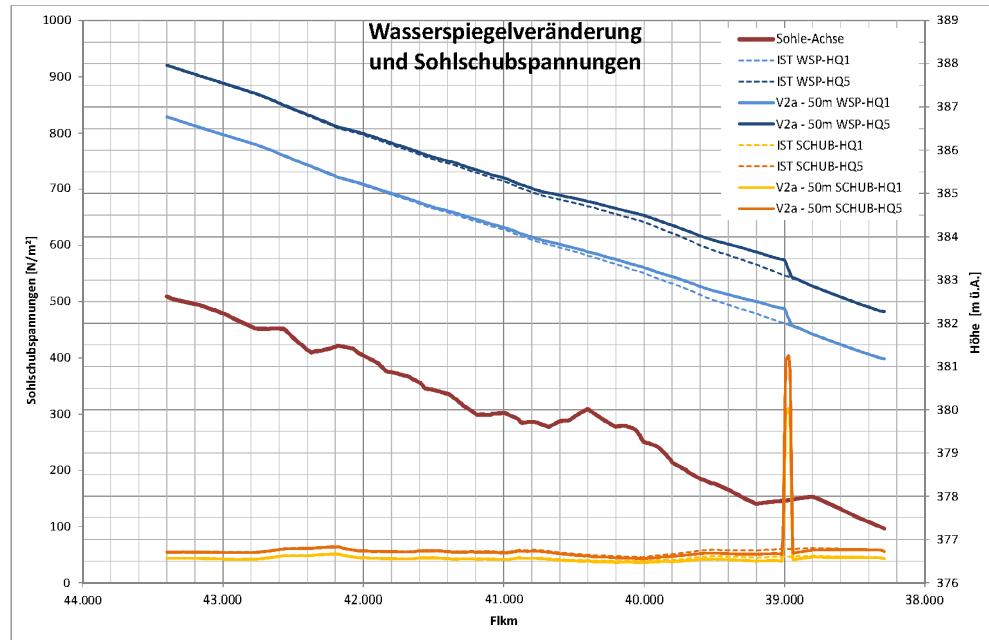


Abbildung 10: Rautteppich – Wirkung auf die Wasserspiegel (Länge RT ca. 50m)

Abbildung 11 zeigt die Wirkung von zwei ca. 100m breiten Rautteppichen auf den Wasserspiegel und die Schubspannungen bei HQ<sub>1</sub> und HQ<sub>5</sub>. Die Wirkung zieht sich etwa 3 km flussauf. Als Analysebereich wurde der untere Teil der Laufener Enge verwendet.

In Abbildung 11 sind die Sohlschubspannungen bei HQ<sub>1</sub> im IST-Zustand den Sohlschubspannungen des Maßnahmenkonzepts ohne Rautteppich gegenübergestellt. Deutlich sind die erhöhten Sohlbelastungen im Bogen flussauf erkennbar. Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen bestätigen die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der in Kap. 5 dargelegten Untersuchungen an der ETH Zürich (Requina et.al.,2005).

In Abbildung 12 sind die errechneten Sohlschubspannungen dargestellt. Direkt unterhalb der Konzeption sinken die Sohlbelastungen unterhalb der IST-Zustandswerte. Die Berechnungsergebnisse weisen zwar auf keinen wesentlichen Bedarf an Nachbettsicherungen hin, im Herstellungskonzept (Abbildung 9) ist die Ausbildung einer stabilisierten Nachbetts aber vorgesehen, da flussab die Aufweitung beginnt (Maßnahmenkonzept) und die damit

## Maßnahmenkonzept Untere Salzach - Naturflussvariante

verbundenen Erhöhung des Energienliniengefälles zu berücksichtigen ist (Sohlbelastung im Übergangsbereich).

In Abbildung 14 und Abbildung 15 sind die Ergebnisse der Berechnungen mit Rautteppich (MQ und HQ<sub>1</sub>) dargestellt. Die Länge des Rautteppichs beträgt rund 140m, als Wert für die geometrische Anhebung wurden 20cm angenommen. Der Rauheitswert des Rautteppichs wurde mit  $k_{ST}=14 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (Strickler) angenommen.

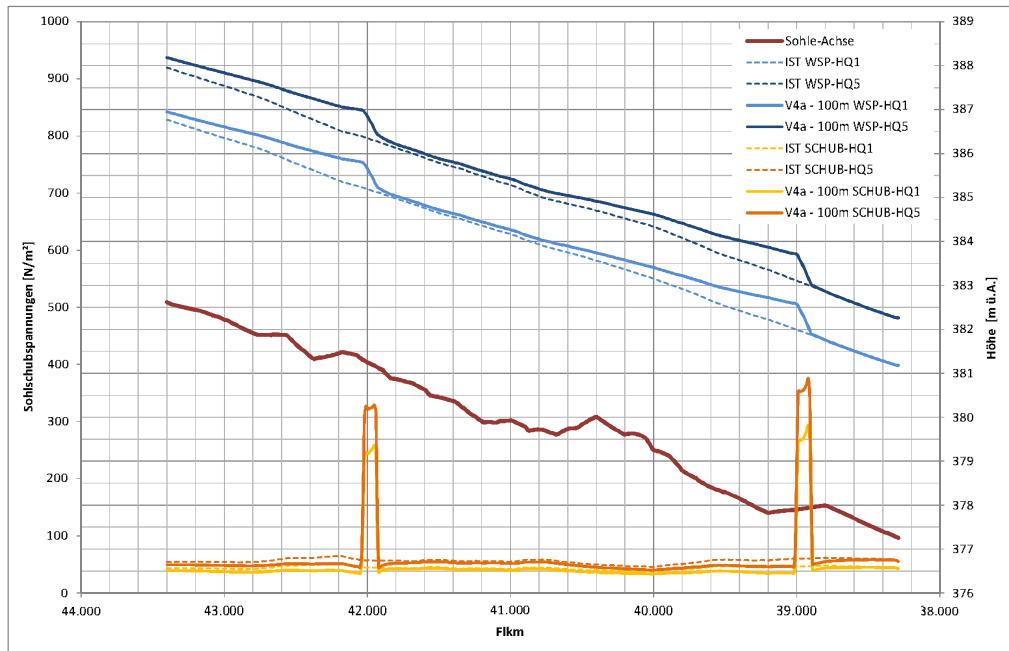


Abbildung 11: Rauteppich – Wirkung auf die Wasserspiegel 2RT (Länge RT ca. 100m)

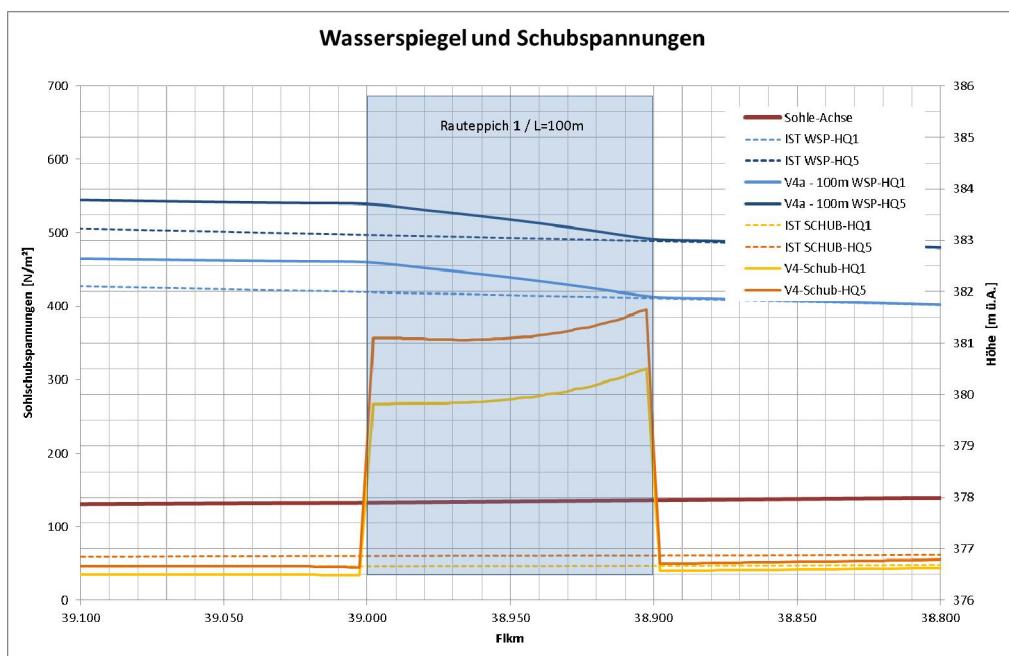


Abbildung 12: Schubspannungsverteilung

## Maßnahmenkonzept Untere Salzach - Naturflussvariante

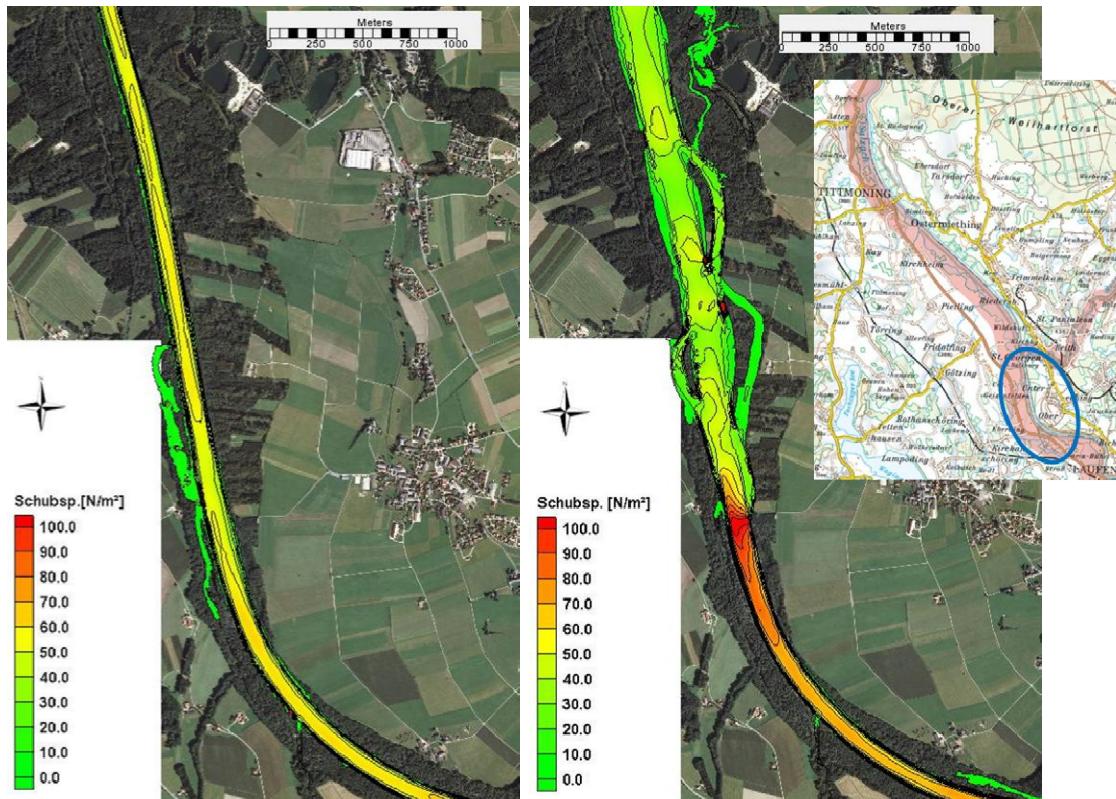
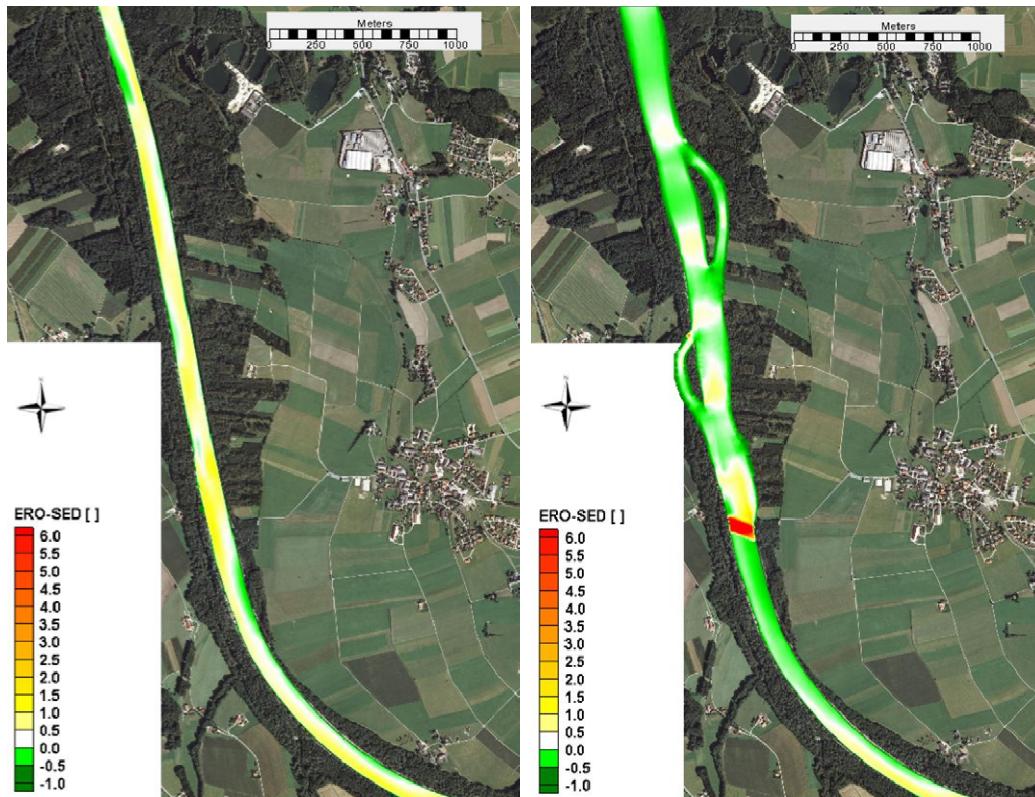
Abbildung 13: Berechnungsergebnisse ohne Rauteppich (HQ<sub>1</sub>)

Abbildung 14: Berechnungsergebnisse mit Rauteppich (MQ)

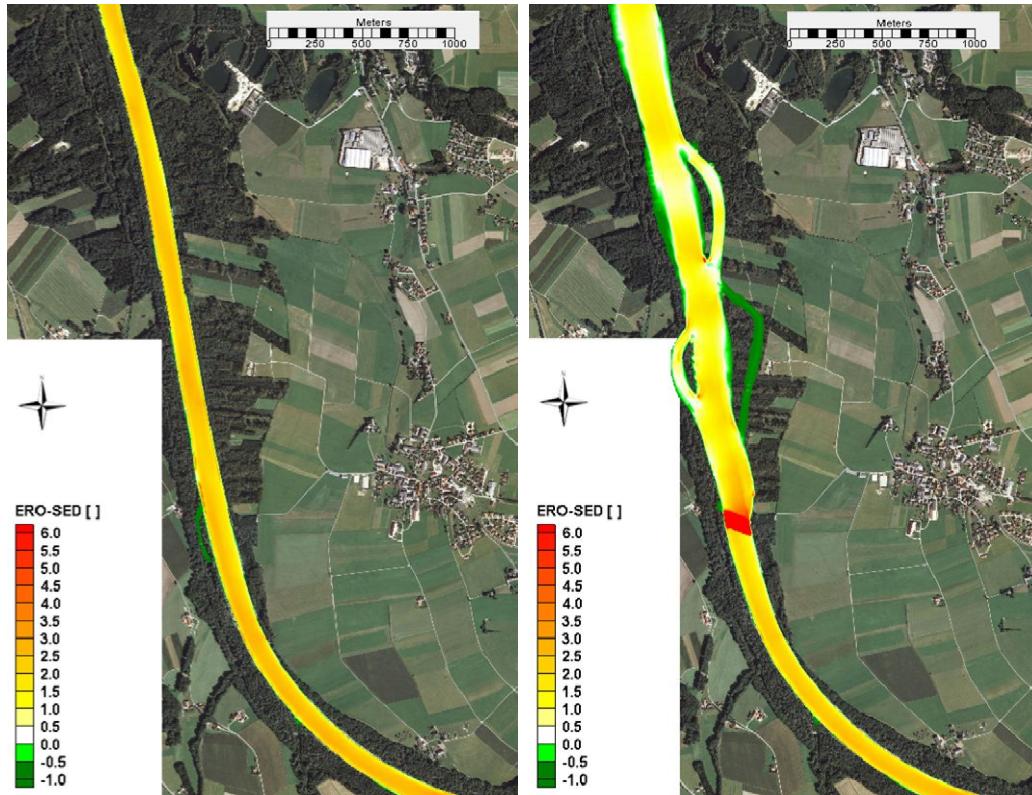


Abbildung 15: Berechnungsergebnisse mit Rauteppich (HQ1)

Die in Abbildung 14 und Abbildung 15 sichtbaren Zonen stark erhöhter Sohlbelastungen (Rot) sind auf den rauen Sohlbelag begrenzt (Abbildung 12).

Fazit: Die Ergebnisse der numerischen Berechnungen sind vielversprechend. Diese Maßnahme könnte sich vor allem für die Übergänge (Verbauung-Regulierung) und zur Stabilisierung in den Engen eignen. Die grundsätzliche Funktionsweise wird durch die Berechnungsergebnisse bestätigt. Gerade die sehr komplexen sohnahen Strömungsverhältnisse sind aber mit den numerischen Berechnungen nicht erfassbar. Genauere Untersuchungen sind daher unbedingt notwendig.

Die hydraulischen (numerischen) Ergebnisse reichen für eine sichere Beurteilung einer langzeitlich gesicherten Funktionsfähigkeit der Rauwirkung (HW) und speziell der Belastung im Übergangsbereich zwischen Blocksteinen und der Sohle flussab noch nicht aus. Die Überprüfungen mittels eines physikalischen Modells sind aktuell in Vorbereitung, Vorgespräche wurden bereits geführt, das wissenschaftliche Interesse besteht. Bis zur Klärung der Funktionsfähigkeit stellt das Konzept des Rauteppichs eine theoretische Alternative für die Entkoppelung dar.

Als temporäres Element in der Bauumsetzung zur Trennung einzelner Bauabschnitte sollte das Konzept aber durchaus geeignet sein, da es sich im Wesentlichen um eine, bei rauen Blocksteinrampen bewährte Konzeption handelt. Dabei wird jeweils unterhalb eines Bauabschnitts, logischerweise im Bereich der nächsten Stützstelle (Nebenarmbereich), eine raue Blocksteinauflage auf der Bestandssohle hergestellt. Da diese nur kurzfristig (bis zur Umsetzung des nächsten Bauabschnitts) wirksam sein muss, ist eine vereinfachte Herstellung ausreichend. Gleichzeitig kann diese später die Basis der Stützstelle bilden. Eine reine Überdeckung mit Kiesmaterial (GS und DS) ohne Sohlvergröberung könnte dann ausreichen um die Höhenlage nach unten zu begrenzen. Diese Frage ist im Rahmen einer weiterführenden Planung zu klären.

## 6 Maßnahmenkonzept

Das Ziel aller Planungsvarianten ist die Wiederherstellung des Geschiebegleichgewichts (Fachbericht 7, 2000). Die in der gegenständlichen Machbarkeitsstudie vorgesehenen Maßnahmen betreffen ausschließlich das Tittmoninger Becken. Maßnahmen flussauf (Laufener Enge) und flussab (Nonnreiter Enge) werden nur dahingehend einbezogen, als dass eine negative Beeinflussung flussauf und flussab ausgeschlossen werden kann (siehe Kap. 5). Der Maßnahmenbereich verläuft daher von etwa Flkm 22.00 bis 40.20 über eine Gesamtstrecke von rund 18,20 km.

Als Ergebnis der bisherigen Untersuchungen (WRS Bericht Geschiebemodellierung und weiterführende Untersuchungen (BAW)) kann bei Erreichung eines Gleichgewichtsgefälles von rund 0,85 % (I<sub>S</sub> bzw. I<sub>E</sub>) auf Querbauwerke (Rampen) verzichtet werden. Die entsprechenden Nachweise sind zu führen. Die Bandbreite zur Sicherstellung der Sohlstabilität liegt bei einem Geschiebe-Input zwischen 20.000 m<sup>3</sup>/a und 40.000 m<sup>3</sup>/a aus dem Oberlauf (siehe Kap. 3.1.4).

## 6.1 Planungselemente

### 6.1.1 Systemenkoppelungselemente

In Kap. 5.1.1 ist das Grundprinzip der Systemenkoppelung beschrieben. Als geeignetes Element wird das Konzept eines rein auf Rauheit basierenden Querbauwerks (ohne Rampe) vorgestellt. Die Eignung muss jedoch überprüft werden (siehe Kap. 6.2.).

Im Fall einer vollständigen Umsetzung wäre zumindest ein Entkoppelungsbauwerk bei etwa Flkm 40.2 notwendig. Die Notwendigkeit des unteren Bauwerks (Flkm 22.0) steht aktuell noch nicht fest.

Für die Umsetzung bei Flkm 40.2 ist die Herstellung einer kombinierten Bauweise aus aktiver Sohlanhebung und Rautteppich vorgesehen (Abbildung 16). Dabei wird die Sohle aktiv etwa 0,5 - 1 m angehoben. Der Übergangsbereich wird durch einen Rautteppich gesichert. Die Wirkung flussauf entspricht einer Rampe und wird durch den Rauheitseinfluss des Rautteppichs noch verstärkt, wodurch die Bauwerkshöhe geringer ausgeführt werden kann als bei einer Rampe. Flussab entfällt durch die aktive Sohlanhebung die Notwendigkeit einer Rampe inklusive eines Tosbeckens und der Beeinträchtigung der Organismendurchgängigkeit. Die Bauwerkslänge des Rautteppichs kann aufgrund der aktiven Anhebung auch deutlich geringer sein als bei reiner Rauwirkung. Gegenüber einer Rampe entfallen wesentliche Bauelemente und Kosten. Eine entsprechende Fußsicherung flussab ist jedoch notwendig.

#### Rautteppich - Mögliche Umsetzungsvariante

Sohlneigungsgleiche Energieumwandlung  
 Herstellungskonzept - Schematische Darstellung

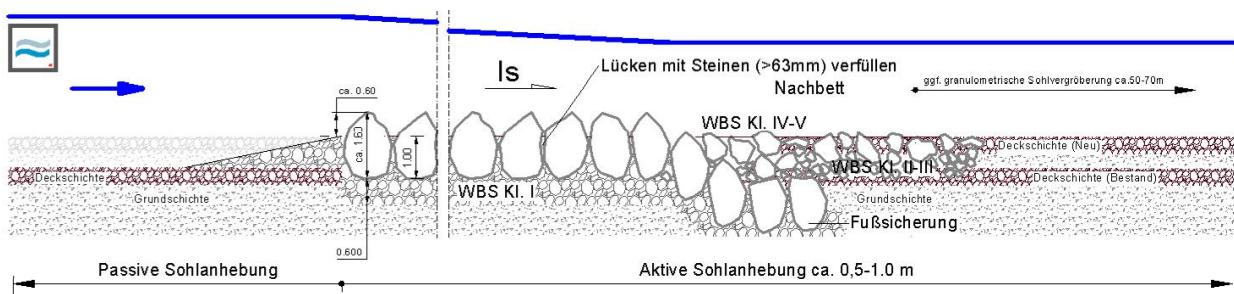


Abbildung 16: Umsetzungskonzept Systemenkoppelung bei Flkm 40.2

Die Errichtung ist noch im regulierten Bereich vorgesehen, das Bauwerk wird in die bestehenden Ufersicherungen eingebunden. Die Auswirkungen auf die Hochwasser – Situation ist zu untersuchen, aufgrund der deutlichen Sohleintiefung im IST-Zustand sollte diese aber nicht negativ beeinflusst werden (in Abhängigkeit der Definition IST-Zustand).

Sollte sich nach eingehender Überprüfung (siehe Kap. 5.1.1.1) die Eignung der Konzeption nicht bestätigen, so stehen als technische Lösungen die in Variante A entwickelten Rampen zur Verfügung (siehe Kap. 6.2).

### 6.1.2 Aktive Sohlanhebung und Sohlverbreiterung

Die aktive Sohlanhebung gewährleistet die Sicherheit gegenüber Sohldurchschlag sofort nach Bauumsetzung, das Risiko von Zwischenzuständen (vergl. Kap. 8.1.1) verringert sich gegenüber den bisher vorgestellten Varianten deutlich.

Die gegenständliche Variante setzt daher nicht ausschließlich auf passive Sohlanhebungen durch Seitenerosion, sondern sieht die Vorwegnahme einer Sohlanhebung vor.

Die bestehende Überdeckung gegenüber den anstehenden Feinsedimentschichten ist gering, die Eintiefungsraten dürften sich durch den weiteren Feststoffrückhalt flussauf verstärken (siehe Kap. 3.1.2). Die Notwendigkeit aktiver Sohlanhebungen oder Sohlstabilisierungen unterhalb konzipierter Rampen ist auch bei den bisher vorgestellten Varianten nicht auszuschließen. Diese Aufwände sind in der „Naturflussvariante“ bereits enthalten, bei den anderen Varianten sollten diese Aufwände daher zumindest als mögliche Folgeaufwände bzw. -kosten ausgewiesen werden, um die Vergleichbarkeit herzustellen.

Durch die Sohlanhebung und Sohlverbreiterung werden die Wassertiefen im HW-Fall deutlich reduziert, gleichzeitig wird die Häufigkeit der Überbordung erhöht, was zu einer Limitierung maximaler Sohlbelastungen führt. Die Sohlschubspannungen sind eine Funktion der Wassertiefe und des Energieliniengefälles (vereinfacht durch Verwendung des Sohlgefälles). Die deutliche Reduzierung der Sohlbelastungen führt zwangsläufig zu einer erheblichen Reduktion des Transportvermögens und damit zu einer Stabilisierung der Sohllagen (Geschiebedefizit-System).

Die Sohlaufweitungen in Kombination mit flachen Uferbereichen führen zu einer Erhöhung des Rauheitseinflusses ( $R_h$ ) und damit zu einer Reduktion der Fließgeschwindigkeiten ( $v/l_R$ ).

Die Initialaufweitungen erfolgen lediglich bis zur Massenbilanzgrenze, d.h. die Aufweitungen werden nur soweit vorgenommen, bis die geplante aktive Sohlanhebung mit dem gewonnenen Kiesmaterial (Deck- und Grundschiechte) umgesetzt werden kann. Der Umfang der maschinell herzustellenden Aufweitungen beläuft sich, in Abhängigkeit der Materialzusammensetzung, auf

etwa 50 % des erwarteten Entwicklungsumfangs. Ziel ist eine ausgeglichene Massenbilanz ohne Zuführung oder Abtransport von Material.

Die Breitenentwicklungen darüber hinaus erfolgen eigendynamisch.

Konkret wird die Sohle um bis zu etwa 1-1,2m angehoben. Rund 80-90% werden mit Kiesmaterial aus den Aufweitungen verfüllt, das der Zusammensetzung des bestehenden Grundsichtmaterials ( $d_{mG} = 17-20\text{mm}$ ) entspricht. Darüber wird eine Deckschicht vorweggenommen. Das Material mit einem  $d_{mD} \geq 40\text{mm}$  wird in einer Stärke von etwa 30-40cm über der Grundsicht aufgebracht. Das Decksichtmaterial soll vor Ort aus dem gewonnenen Kiesmaterial hergestellt werden.

### 6.1.2.1 Prinzip Deckschichtausbildung und Einbringungskonzept

Die Ausbildung einer gegenüber der Grundsicht gröberen Deckschicht ist ein natürlicher Prozess. Durch Entmischung (feineres Material wird ausgespült) und Anreicherung gröberer Kornfraktionen entsteht eine stabilere Deckschicht.

Die Trennung des aus den Aufweitungen gewonnenen Kiesmaterials in „gröbere“ und „feinere“ Kornzusammensetzung und die getrennte Einbringung soll die Bildung der Deckschicht fördern und beschleunigen.

Bei der Einbringung ist nicht angedacht, präzise Kornverteilungen herzustellen oder genaue Schichtdicken einzubringen. Das Herstellungskonzept sieht lediglich vor, zuerst die „feineren“ Kornmischungen ( $dm$  ca. 17 – 20 mm, entspricht etwa dem mittleren natürlichen Grundsichtmaterial) und darüber die „gröberen“ Korngemische ( $dm \geq 40\text{ mm}$ , entspricht etwa dem mittleren natürlichen Decksichtmaterial) einzubringen, um die Decksichtbildung zu fördern und das zu erwartende „Setzen“ des eingebrachten Materials zu minimieren.

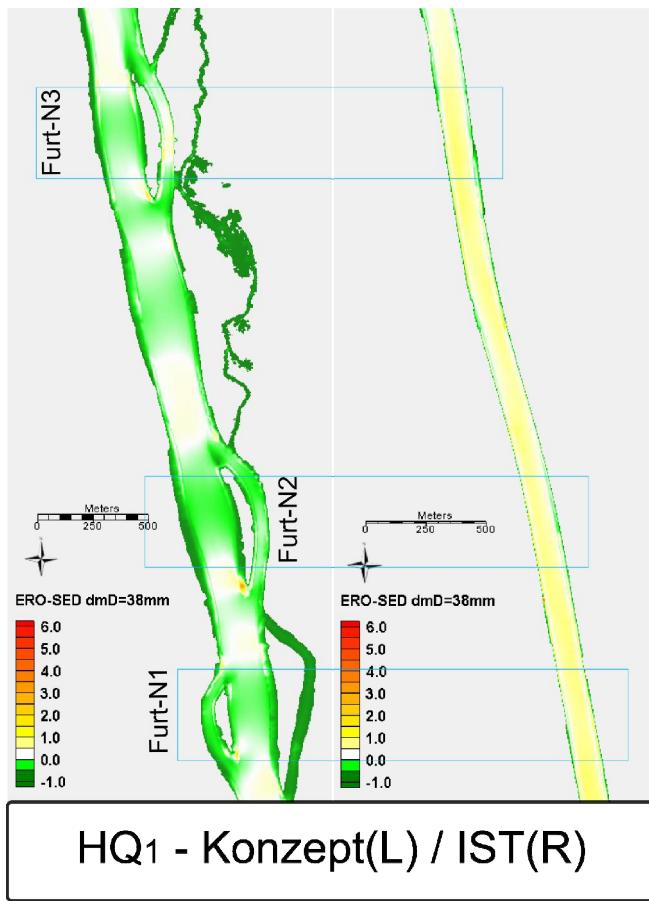
Durch den zu erwartenden hohen Sandanteil in den baulich herzustellenden Initial-Aufweitungen besteht die Möglichkeit, dass Kiesmaterial zugegeben werden muss, um die entsprechenden Kornverteilungen und Massen zu erhalten. Die Zusammensetzung der Deckschicht soll dabei jedoch im Rahmen einer natürlichen Deckschicht (siehe Abbildung 31: Mittlere Korndurchmesser  $dm,D$  der Deckschicht (187 Proben)) liegen.

Ein entsprechender Anteil an anzukaufendem Zuschlagmaterial wird kostenseitig berücksichtigt.

### 6.1.3 Nebenarmsysteme

Durch die Herstellung räumlich limitierter Nebenarmsysteme mit morphologisch wirksamer Abflussverteilung werden wirksame Furtbereiche initiiert. Diese stabilisieren in regelmäßigen Abständen die Sohllagen und führen dadurch zu einer Tiefenlimitierung in den Kolkbereichen.

Durch die Gewährleistung eines Abflussanteils ( $MQ \cdot HQ > 20\%$ ) entstehen morphologisch wirksame Nebenarmsysteme. Die Abflussaufteilung führt im Hauptgerinne zu einer deutlichen Abflussreduktion bei gleichzeitiger Aufweitung. Die Lage und Breite der Nebengewässerausleitung wird durch kleinräumige Sicherungsmaßnahmen stabilisiert.



Diese Sicherungsmaßnahmen stellen einfache und rasch adaptierbare Steuerelemente dar und gewährleisten die Vorhersehbarkeit der Entwicklung. Sie können nach entsprechenden Beobachtungszeiträumen abhängig von den Erkenntnissen und der Raumverfügbarkeit adaptiert, reduziert, entfernt oder einem kontrollierten Verfall überlassen werden.

Abbildung 17: Beispiel Furtausbildung (N1-N3)

Das Hauptproblem der Schaffung von Nebengewässern liegt darin, dass es infolge von Seitenerosion und Geschiebetransport zu einer raschen Verlandung kommen kann und die Maßnahmen innerhalb kürzester Zeit nicht mehr wirksam sind. Über physikalische und numerische Modellierungen und aus der Erfahrung in Umsetzungsprojekten der letzten Jahrzehnte können v.a. die Einlaufsituationen für funktionierende Nebengewässer inzwischen besser geplant werden.

## Maßnahmenkonzept Untere Salzach - Naturflussvariante

Die Basis der Anordnungskonzeptionen entstammt den Erkenntnissen aus zahlreichen Modellversuchen. Die häufigste Fragestellung in Bezug auf das Verhalten von Feststofffrachten ist die Problematik der geschiebefreien Entnahme. In Abbildung 18 sind einige Versuchsergebnisse nach HABERMAAS (aus SCHEUERLEIN, 1984) dargestellt. Dabei wird die prozentuelle Transport- bzw. Eintragsverteilung des Geschiebes in das Bestandsgerinne und die Abzweigung angegeben. Bei den Modellversuchen war bei allen Versuchsanordnungen die Aufteilung der Wassermengen im Fluss 50 % und in der Abzweigung 50 %.

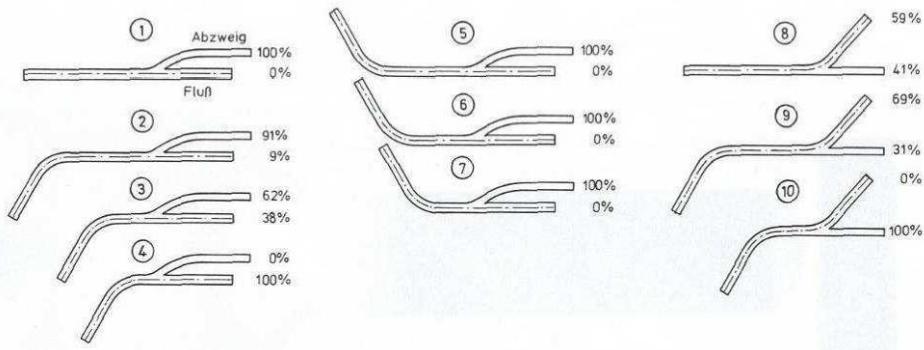


Abbildung 18: Untersuchung verschiedener Abzweigungen nach Habermaas

Die Untersuchungsergebnisse nach HABERMAAS zeigen, dass die Verteilung des Feststoffeintrags maßgeblich von der Ausleitungspositionierung und der Situation im Oberwasser beeinflusst wird. Die Erkenntnisse aus zahlreichen Detailanalysen unterschiedlicher physikalischer Modellanordnungen bilden die Grundlage der Maßnahmenentwicklung.

### 6.1.4 Eigendynamische Prozesse

Durch die Möglichkeit eigendynamischer Seitenentwicklung wird zwangsläufig Energie von vertikalen Prozessen (Eintiefung) in horizontale Prozesse (Aufweitung und Laufverlagerung) umgelagert. Die Breiten- und Längenentwicklung ist limitiert. Durch die Lagestabilisierung der Nebenarmsysteme und der Energiereduktion (Wassertiefenreduktion, Rauheitseinfluss) ist eine plötzliche (Einzelereignis), unkontrollierte Laufverlagerung nicht mehr möglich. Entwicklungen finden mittel- bis langfristig statt. Eine Reduktion bzw. Förderung eigendynamischer Prozesse ist daher in Abhängigkeit der Entwicklung, einer künftigen Raumverfügbarkeit bzw. eines zukünftigen Leitbildes einfach möglich (Adaptierung/Entfernung der Stabilisierungs- bzw. Steuerelemente).

Im gegenständlichen Maßnahmenkonzept wurden die eigendynamischen Entwicklungen zugunsten einer weitgehend gesicherten Vorhersehbarkeit vorerst hintangestellt, um die Bedingungen für eine positive Machbarkeitsbeurteilung zu erfüllen. Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zeigen aber, dass gerade eine dynamische Gewässerentwicklung jene Prozesse positiv beeinflusst bzw. ihnen entgegenwirkt, die für Sohleintiefungstendenzen wesentlich verantwortlich sind (Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit ( $v$ ,  $I_E$ )).

Durch die Verwendung kleinerräumiger, von Art und Umfang begrenzter Stabilisierungselemente können abhängig von der zukünftigen Entwicklung einfache Anpassungen vorgenommen werden (WRS-Grundsatz der Berücksichtigung eines Zeithorizonts für die Systemanpassung).

### 6.1.5 Aktivierung und Einbeziehung von bestehenden Nebengewässersystemen

Durch die aktive Sohlanhebung und die Entfernung der erhöhten Ufersäume werden die reliktischen Nebengewässer (Hinterrinner) wieder an das Gesamtgewässersystem angebunden. Die Anbindung der Gewässersysteme erfolgt aktiv, in den Gerinnesystemen werden nur kleineräumige Ertüchtigungsmaßnahmen durchgeführt und eine einheitliche Eintiefung ist nicht vorgesehen.

Die Dotierung der Gerinnesysteme erfolgt erst bei höheren Abflüssen (zwischen MQ und HQ<sub>1</sub>). Die Einströmbereiche werden feststoffspezifisch „günstig“ gestaltet, um den Eintrag von Feststoffmaterial möglichst gering zu halten. Die Gerinnesysteme haben eine Vorlandneigung, die etwa der ursprünglichen Sohlneigung der Salzach entspricht. Diese ist mit rund 1,17‰ größer als das Sohlgefälle der Salzach. Eingetragenes Feinmaterial sollte daher durch das Gerinnesystem transportierbar sein. Das Transportvermögen einzelner Gerinneabschnitte wird im Rahmen einer Umsetzungsplanung bestimmt. Die Ergebnisse entscheiden über Art und Umfang einer Anbindung und über den notwendigen Grad einer Gerinneertüchtigung.

Für die hydraulische und morphologische Funktionsfähigkeit (Sohlstabilität) des Gesamtkonzepts spielen diese Prozesse eine untergeordnete, für eine Wiederherstellung/Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit jedoch eine entscheidende Rolle.

### 6.1.6 Granulometrische Sohlvergröberung

Zur Sicherstellung der Stabilität und damit der Vorhersehbarkeit der Entwicklung der Sohllagen ist vorgesehen, die Furtbereiche granulometrisch zu stabilisieren. Dabei wird das Sohlmaterial mit aktuell vorhandenen  $d_{mD}$ -Werten von etwa 40mm durch Zugabe von größerem Material (vorzugsweise aus vorhandenem Material) auf  $d_{mD}$ -Werte  $\geq 80$  mm granulometrisch vergröbert. Die geometrisch und hydraulisch initiierten Furten werden dadurch in ihrer Höhenentwicklung nach unten limitiert. Die Vorhersehbarkeit der Sohlentwicklung wird somit gewährleistet und die Sohleintiefung gestoppt. Die in den Zwischenbereichen möglichen und erwünschten Kolkbereiche sind durch die stabilisierten Furtbereiche in ihrer Horizontal-entwicklung limitiert. Größere Koltiefen sind kurzzeitig (ereignisabhängig) und kleinräumig möglich, durch die Höhenstabilisierung der Furtstrecken kann aber keine anhaltende Trend-entwicklung entstehen. Generell ist vorgesehen, die oberen 40cm der Sohlanhebung aus größerem Kiesmaterial (eventuell aus reliktischen Deckschichten) herzustellen. Abhängig vom verfügbaren Material ist auch die Verwendung von vor Ort zerkleinertem (gebrochenem) Material der entfernten Uferbefestigungen möglich.

Eine  $d_{mD}$  von 80 mm liegt noch innerhalb der natürlichen Deckschicht- zusammensetzung und stellt daher im Wesentlichen keine über das natürliche Maß hinausgehende Sohlvergröberung dar - siehe Abbildung 31: Mittlere Korndurchmesser  $d_{mD}$  der Deckschicht (187 Proben).

Die granulometrische Vergröberung der Deckschichten wird nach Herstellung der Nebenarme (Umleitung durch die Nebenarme) vorgenommen. Die Herstellung kann daher relativ einfach erfolgen.

Die Ausdehnung der Sohlvergröberung (etwa 250 – 350 m) sollte sich über den unteren Zusammenströmungsbereich hinaus ziehen (etwa 50 – 100 m - Abbildung 19). Alternativ kann im unteren Drittel das Material stärker (ca. 40 – 50 cm) aufgetragen werden (eigen-dynamische Verteilung flussab). Der Materialeintrag sollte dabei aber - zur Vermeidung von plötzlichen Materialgrenzen in der Kornverteilung - verlaufend erfolgen.

## Maßnahmenkonzept Untere Salzach - Naturflussvariante

Das gröbere Deckschichtmaterial wird im Fall von Geschiebebedefizitphasen (mittlerer jährlicher Geschiebeeintrag  $< 30.000 \text{ m}^3$ ) flussab verstärkt verteilt und bildet so eine stärkere Deckschichte flussab (Abbildung 20).

Dieser Prozess unterstützt eine natürliche Deckschichtentwicklung und führt zu einer erhöhten Stabilität im Gesamtsystem (mittleres  $dm_{DS} > 40 \text{ mm}$ ).

Die Entwicklung (wie bei allen Varianten!) ist zu beobachten (Monitoring) und ggf. sind Erhaltungsmaßnahmen notwendig. Diese liegen von Art und Umfang aber im Rahmen üblicher Erhaltungs- und Beobachtungsaufwände.

Im Fall eines höheren Geschiebebeitrags ( $> 30.000 \text{ m}^3/\text{a}$ ) würden die granulometrisch vergröberten Bereiche langfristig überdeckt und lediglich im Fall von Extremereignissen kurzzeitig beansprucht. Austrag und Verteilung würden entsprechend reduziert bzw. auf lokalen Bereiche beschränkt. Durch die in diesem Fall zu erwartende mittlere Sohlanhebung wäre dieser Umstand jedoch nur bedingt bedeutsam (siehe Kap 7.3.1).

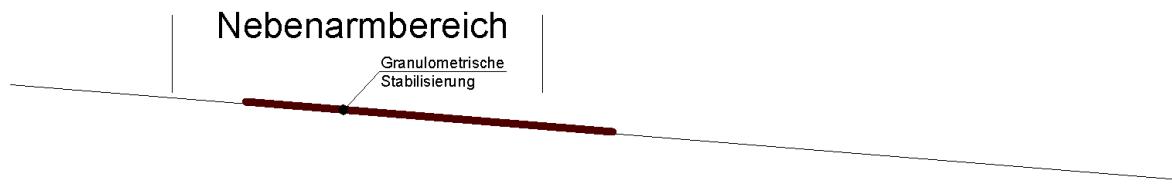


Abbildung 19: Schemaskizze – Granulometrische Sohlstabilisierung – Initialzustand

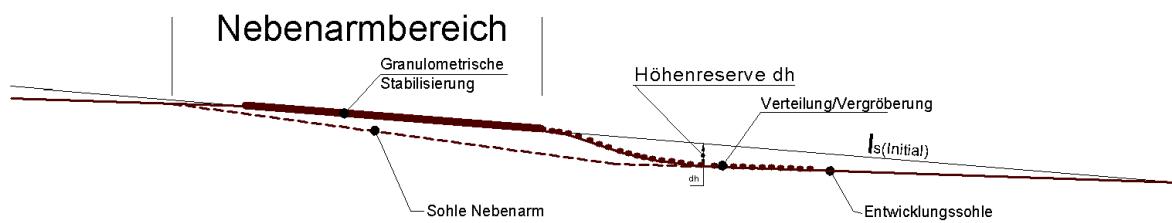


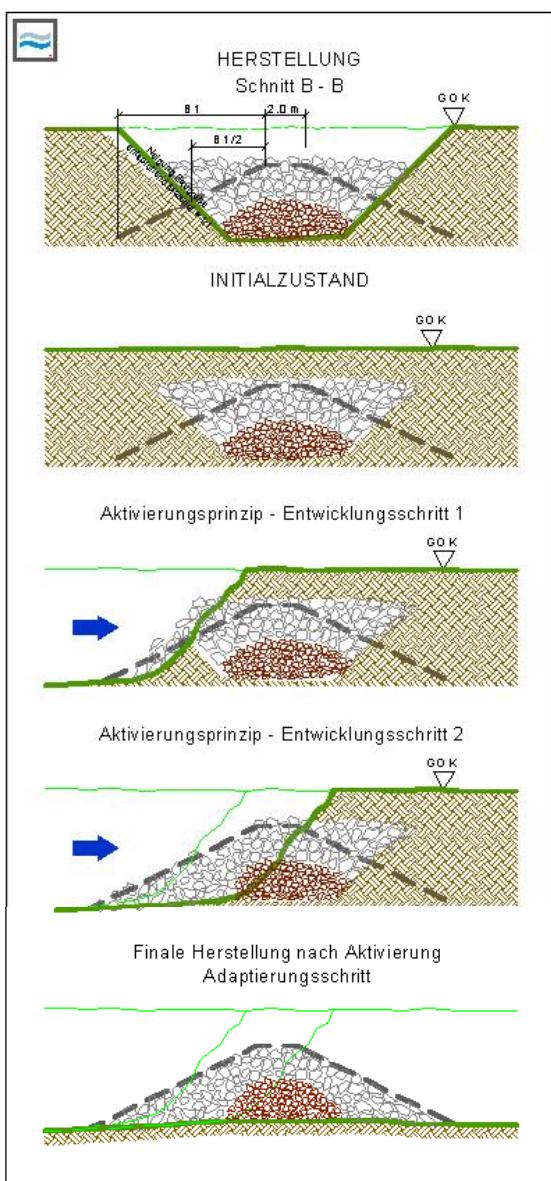
Abbildung 20: Schemaskizze – Granulometrische Sohlstabilisierung – Entwicklungszustand (Szenario Geschiebeeintrag  $< 30.000 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Die möglichen Auswirkungen der unterschiedlichen Geschiebeintragsannahmen sind in den Kapiteln 7.3.1 und 7.3.4 genauer dargestellt.

Die Furt Bereiche sind so konzipiert, dass sie theoretisch auch ohne Stabilisierung langfristig funktionsfähig sind, die granulometrische Stabilisierung stellt lediglich den geforderten Grad an Sicherheit dar (Kriteriums Bedingungen – Kap. 8.).

### 6.1.7 Flankierende Maßnahmen

Um eine ausreichende Sicherheit gegenüber unerwünschten Entwicklungen zu gewährleisten, werden auch flankierende Maßnahmen vorgesehen. Diese sind vorwiegend zum Schutz von nicht zur Verfügung stehenden Flächen, bestehender Bauwerke (z.B. Dämme oder der Kühlwasserentnahme der TKA Riedersbach) oder zur Erhaltung der Hochwasser-Sicherheit vorgesehen. Als wichtigstes Element ist die Herstellung zurückversetzter/verdeckter Ufersicherungen vorgesehen. In Abbildung 21 ist das Herstellungskonzept grob dargestellt.



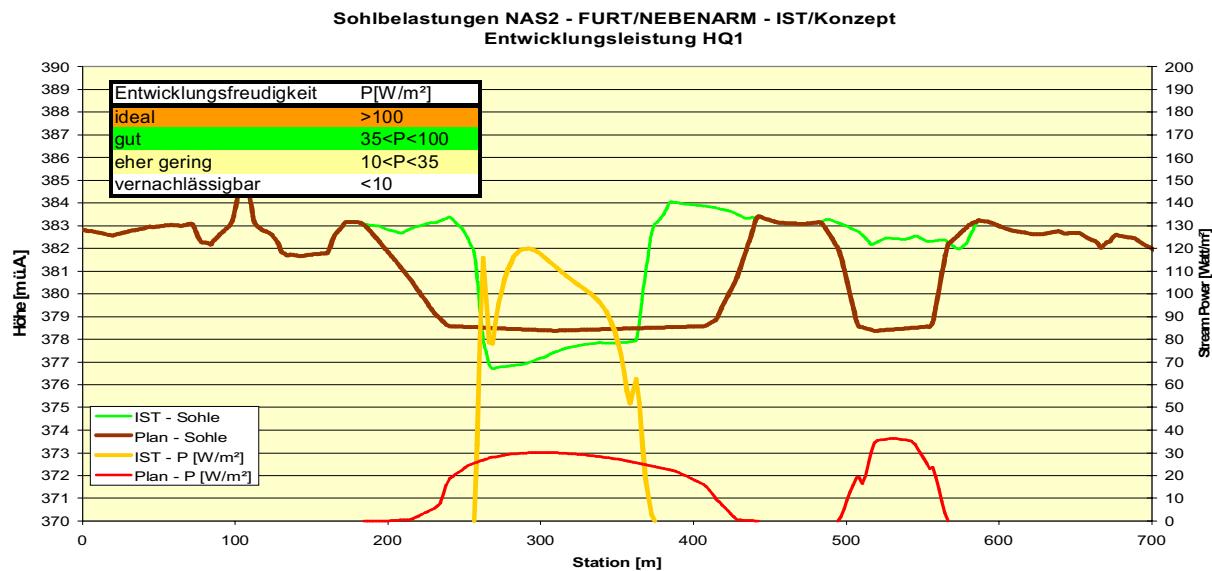
Zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie stehen noch keine konkreten Aussagen über die Raumverfügbarkeit vor. Weiters ist der Umfang der Sicherungsmaßnahmen auch von einer wirtschaftlichen Abwägung der Herstellungs- und Ablösekosten abhängig.

In der gegenständlichen Untersuchung wird für die rechtsufrigen Maßnahmen (österreichische Seite) mit einer mittleren Raumverfügbarkeit und mit einem mittleren Sicherungsbedarf ausgegangen. Für die linksufrigen Maßnahmen (bayrische Seite) wird ein erhöhter Sicherungsbedarf angenommen. Zusätzlich wird in der Machbarkeitsstudie der Bereich der Tittmoninger Brücke genauer betrachtet. Ein Teil der darin vorgesehenen Maßnahmen ist ebenfalls den flankierenden Maßnahmen zuzuordnen.

Abbildung 21: Herstellungskonzept verdeckte Sicherungen

### 6.1.7.1 Optionale Sicherungsmaßnahmen

Im Bereich der Nebenarmsysteme ist aufgrund der Breite und des reduzierten Durchflusses im Hauptgerinne die Ausbildung von Furtbereichen (im Hauptgerinne) vorgesehen. Erfahrungen zeigen, dass es auch bei großen Gerinnebreiten, vor allem im Fall von Feststoffüberschuss, zur Ausbildung von Transportzonen mit in diesen Bereichen erhöhten Transportkapazitäten kommen kann. Das Energieniveau (ausgedrückt durch die Entwicklungsleistung nach Scherle 1999) im Aufweitungsbereich ist aber deutlich reduziert, wodurch die Entwicklungsneigung gering ist.



**Abbildung 22: Beispiel Veränderung der Entwicklungsleistung nach Scherle (1999) in einem konzipierten Furtbereich (Nebenarmsystem NAS 2)**

Auf Basis der Berechnungsergebnisse ist das Risiko, dass sich langfristig die Sohlstabilität (großräumig) gefährdende Entwicklungen ausbilden, als gering einzuschätzen.

Es sind daher hier für die Bauumsetzung keine Sicherungsmaßnahmen vorgesehen.

Da dieses Risiko jedoch besteht (dynamisches System), ist die Konzeption (Optionalmaßnahmen) von Schutzmaßnahmen (Kolkverfüllung, lokale Sicherungs- bzw. Lenkungsmaßnahmen) im Rahmen einer weiterführenden Planung vorzusehen. Diese Maßnahmen können bei entsprechender Notwendigkeit (Monitoring) im Rahmen von Erhaltungsmaßnahmen zu einem späteren Zeitpunkt ergänzend umgesetzt werden. Im Zuge der Umsetzung können bereits entsprechende Materialdepots im Vorland hergestellt werden (analog zurückversetzter Ufersicherungen).

Es wird darauf hingewiesen, dass das Risiko von Zwischenzuständen und die Notwendigkeit von Erhaltungs- und Adaptierungsaufwänden im Wasserbau immer gegeben sind!

## 6.2 Bereichsabgrenzung bzw. Anschlussmaßnahmen (Laufener- und Nonnreiter Enge)

Die Bereichsbezeichnung „TITTMONINGER BECKEN“ betrifft die Salzach zwischen Flkm 40 und Flkm 22 (siehe Abbildung 23). Die Aufgabenstellung der gegenständlichen Machbarkeitsstudie lag u.a. darin, jenen Bereich innerhalb des Tittmoninger Beckens (und ggf. darüber hinaus in die Engen) zu identifizieren, der aufgrund seiner Morphologie / Geometrie über ausreichende Potentiale verfügt, um mittels „naturnaher“ Maßnahmen die Sohlstabilität wieder herzustellen. Aus Sicht der Verfasser ist dies für den Bereich Flkm 40.2 bis Flkm 22 gegeben. Die gegenständliche Arbeit bezieht sich daher primär auf diesen Bereich.

**Wichtig:** Die Begriffe „Engen“ und „Becken“ werden geometrisch / morphologisch und nicht auf Flusskilometer bezogen gesehen!

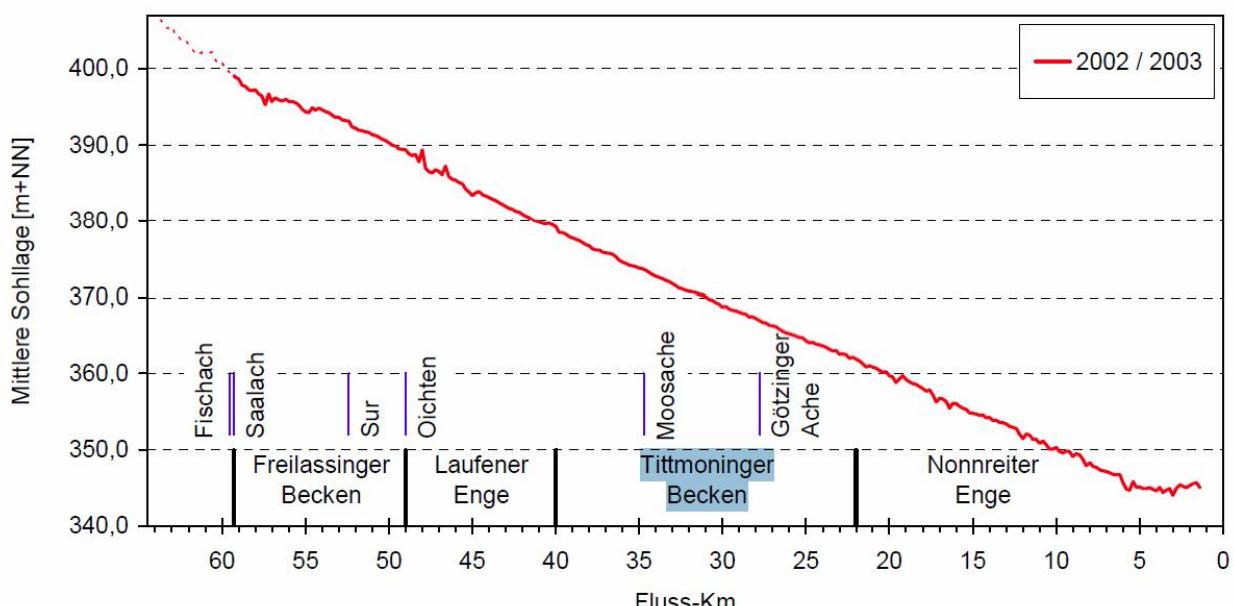


Abbildung 23: Bereichsabgrenzung und Längsschnitt der mittleren Sohle von Fluss-km 64 bis Fluss-km 0 (Quelle: SKI - Risikoanalyse an der Unteren Salzach, 2004)

Aufgrund der räumlichen Einschränkung ist es in diesen Engen nicht möglich, die Problematik des Geschiebedefizits durch naturnahe Maßnahmen so positiv zu beeinflussen, dass technische Maßnahmen dadurch ersetzbar wären. Die Laufener- und die Nonnreiter Enge sind daher nicht Teil des Maßnahmenkonzepts.

Durch die Systementkopplung werden negative Auswirkungen (Erosion – siehe Kap. 5) auf die Engen unterbunden. Das entwickelte Konzept der Rautenpumpe könnte theoretisch

weiterführend auch in den Engen angewandt werden (siehe Kap. 6.1.1). Aktuell stehen aber nur die Ergebnisse der numerischen Überprüfung zur Verfügung. Die Überprüfungen mittels eines physikalischen Modells sind aktuell in Vorbereitung, da hier ein wissenschaftliches Interesse besteht. Im Fall der Bestätigung der numerischen Ergebnisse könnte das Konzept auch als Lösungsansatz für die Engen geeignet sein.

Weiterführende Maßnahmenentwicklungen (technische Lösungsansätze) zur Verbesserung der Sohlsituation in den Engen sind im Rahmen einer „Naturflussvariante“ daher nicht vorgesehen. Da die bisher ausgearbeiteten Varianten überwiegend auf technischen Lösungsansätzen aufbauen, stehen für die Herstellung und Gewährleistung der Sohlstabilität in der Laufener- und Nonnreiter Enge ausreichend Varianten bzw. Maßnahmen zur Auswahl (Wahl gemäß Kriterien-Beurteilung).

Diese Maßnahmen wurden von den Planern (PlaGe) und beigezogenen Experten als machbar und funktionsfähig beurteilt. Eine Verbindung der technischen Varianten (z. Bsp. Variante A) oberhalb und unterhalb der Naturflussvariante ist daher möglich und ist im Fall negativer Eignungsergebnisse für das Konzept „Rautepich“ auch vorgesehen.

So ist beispielsweise die Übernahme (aus Variante A) der Rampen bei Flkm 40.0 (Entkoppelung / Sicherung in die Laufener Enge) und Flkm 22.6 (Entkoppelung in die Nonnreiter Enge) möglich.

## 6.3 Maßnahmenbeschreibung

Die nachfolgende Maßnahmenbeschreibung erfolgt in Fließrichtung. Die Abfolge der Abschnitte erfolgt nach absteigender Priorität des Handlungsbedarfs (siehe Abbildung 5 und Kap. 3.2.3). Die Maßnahmen sind im beiliegenden Lageplan dargestellt.

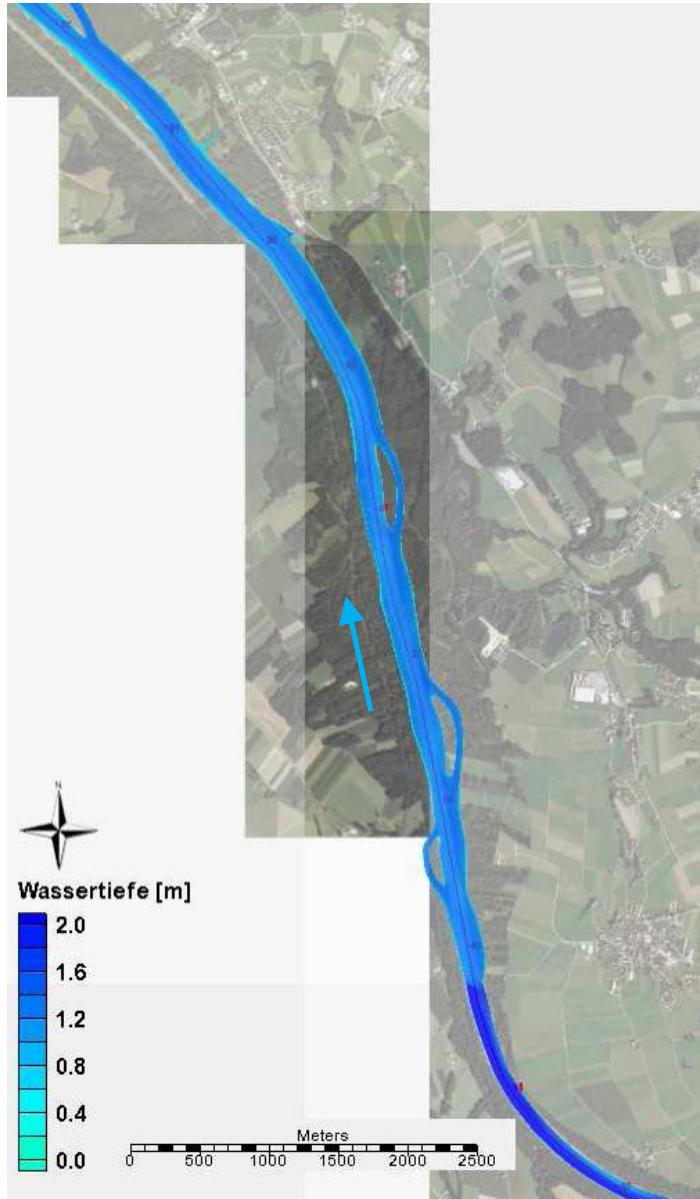
Die nachfolgende Maßnahmenbeschreibung ist im Detaillierungsgrad einer Machbarkeitsstudie zu sehen und soll lediglich einen Überblick schaffen. Eine präzisere Beschreibung von Maßnahmen kann natürlich erst nach einer Detailplanung erfolgen!

Genaue Limitierungsbreiten der Ausströmbereiche in Nebenarme werden in der Machbarkeitsstudie vereinfacht (über hydraulische Optimierungen) abgeschätzt. Die genaue Festlegung erfolgt in weiterführenden Planungsschritten. Die nachfolgend beschriebenen Sohlbreiten stellen die, in den Furten herzustellende Breiten (vergl. Kap. 7.3.4) und in den übrigen Bereichen einen möglichen Entwicklungszustand dar. Die Ausleitungen (Inselköpfe und Ausleitungsbereich) werden generell gesichert (siehe Lageplan), die Furtbereiche granulometrisch stabilisiert (siehe Kap.7.3.3.5). Die Maßnahmenlängen sind in Tabelle 9 dargestellt. Die Kolke werden verfüllt und die Sohle wird im Mittel um etwa 1-1,2m angehoben (siehe Längenschnitt und Abbildung 40 bis Abbildung 43). Es ist vorgesehen die Ufersicherungen (bis auf die ausgewiesenen Bereiche) zu entfernen.

### 6.3.1 Abschnitt 1 – Oben (Flkm 33-42)

In Abbildung 24 ist der Bereich zwischen Flkm 42 bis etwa Flkm 33 dargestellt (siehe Lageplan). Die vorgesehenen Maßnahmen beginnen mit der Systementkoppelung. Hierbei wird der regulierte Flussabschnitt vom Aufweitungsbereich getrennt (siehe Lageplan). Ziel der Konzeption ist es, negative Auswirkungen flussauf auszuschließen.

Zwischen Flkm 40.3 und 40.2 wird ein rund 100m langer Rautteppich (sohlneigungsgleich – Sohle flussab um etwa 0,5-1m aktiv angehoben – vergl. Kap. 6.1.1) mit Blocksteinen errichtet. Die Anordnung ist gegenüber der Achse um etwa 15° nach rechts geneigt. Damit wird der Stromstrich in die flussab gelegene rechtsufrige Aufweitung gelenkt und dadurch ein Gegenbogen initiiert.



Die erste Aufweitung (Flkm 40.2-38.8) wird rechtsufrig initiiert ( $L \approx 400\text{m}$ ), linksufrig werden die Ufersicherungen unterhalb von Flkm 40.0 schrittweise entfernt, rechtsufrig ab etwa Flkm 40.05. Ab etwa Flkm 39.6 wird ein linksufriger Altarm angebunden. Im Hauptgerinne wird die erste Furt hergestellt (Sohlbreite  $\approx 175\text{m}$ ). Der Nebenarm hat eine Sohlbreite von etwa 40m. Ab etwa Flkm 39.0 wird der zweite Nebenarm rechtsufrig ausgeleitet. Das rechte Ufer wird baulich zurückversetzt. Bei etwa Flkm 38.5 wird die zweite Furt hergestellt (Sohlbreite  $\approx 175\text{m}$ ), der Nebenarm hat eine Sohlbreite von etwa 50m. Der dritte Nebenarmbereich beginnt etwa bei Flkm 37.3 und erstreckt sich etwa bis Flkm 36.4. Die Furtbreite beträgt rund 160m, die Nebenarmbreite etwa 50m.

**Abbildung 24: Abschnitt 1 (Flkm42-33) – Konzeptzustand MQ**

Die Zwischenbereiche werden baulich um etwa 40m aufgeweitet, dies sollte unregelmäßig (Entwicklungsinitiierung mit variablen Breiten – siehe Lageplan Flkm 37.6) erfolgen. Zwischen N3 und N4 (Flkm 36.4 bis 33.3) sind rechtsufrig keine Nebenarmausleitungen vorgesehen. Linksufrig wäre ein zusätzlicher Nebenarm konzeptionell vorteilhaft, dies ist aufgrund der linksufrigen Raumlimitierung (siehe Kap. 4) im Maßnahmenkonzept nicht vorgesehen. Es werden zwischen Flkm 36.4 und 33.3 drei Bogenbereiche initiiert und zwischen N5 und N6 wird eine Bogenabfolge zur jeweils links- bzw. rechtsseitigen Aufweitung initiiert. Die Stabilisierung erfolgt durch Initialschüttungen in den Gleituferbereichen in Kombination mit zurückversetzten Buhnen. Zur Sohlstabilisierung wird die Deckschichte analog zu den Furten (N1-N7) bei Flkm 35 granulometrisch vergröbert. Abschnitt 1 hat den dringendsten Handlungsbedarf.

### 6.3.2 Abschnitt 2 – Mitte (Flkm 27-33)

Generell nimmt in Abschnitt 2 (nicht regulierter Zustand) die Dynamik aufgrund der breiteren Talgeometrie und der reduzierten Fließenergie deutlich ab. Durch die in Abschnitt 1 gesetzten Maßnahmen nimmt die Dynamik ab. In Abbildung 25 ist der Abschnitt dargestellt, in dem sich drei Nebenarme (N4 bis N6) befinden. Die maximale Sohlbreite im Furtbereich von N4 liegt bei etwa 160m, die Nebenarmbreite ist mit 60m vorgesehen. Der Nebenarmbereich N5 ist mit einer Länge von rund 1650m am längsten (Sohlbreite  $\approx$  45m). Die maximale Sohlbreite im Hauptgerinne beträgt rund 185m.

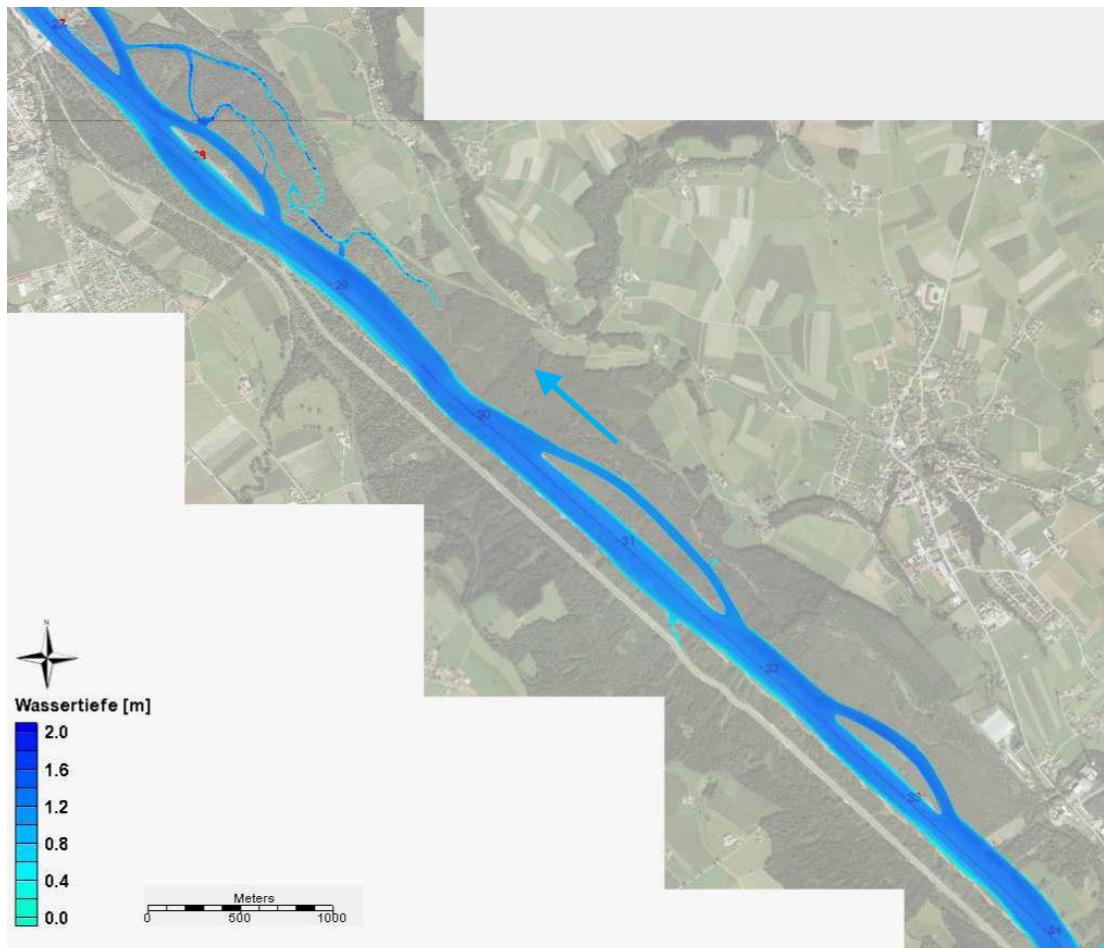


Abbildung 25: Abschnitt 2 – Mitte (Flkm 27-33) – Konzeptzustand MQ

Der Nebenarmbereich N6 (Flkm 28.2) ist der letzte Nebenarm oberhalb der Tittmoninger Brücke. Die Furtbreite liegt bei etwa 185m und die Breite des Nebenarms liegt bei rund 60m. Zwischen N5 und N6 wird eine Bogenabfolge zu jeweils links- bzw. rechtsseitigen Aufweitungen initiiert und durch Initialschüttungen in den Gleituferbereichen zusammen mit zurückversetzten Buhnen stabilisiert. Wie bei Abschnitt 1 werden die Zwischenbereiche baulich um etwa 40m aufgeweitet, dies sollte unregelmäßig (Entwicklungsinitiierung mit variablen Breiten – siehe Lageplan) erfolgen.

### 6.3.3 Abschnitt 3 – Unten (Flkm 21-27):

Durch die Einengung beim Übergang in die Nonnreiter Enge und der offensichtlich langzeitlich stabilen Erosionsbasis bei etwa Flkm 22.0 (Abbildung 5), ist dieser Abschnitt der am geringsten dynamische Bereich, mit einem mittel- bis langfristig stabilen Hauptgerinneverlauf.

Der letzte konzipierte Nebenarmbereich (N7) greift zusätzlich die Problematik der im aktuellen Hochwasserfall unterbrochenen Verkehrsverbindung zwischen Deutschland und Österreich auf. In den Besprechungen wurde auch erwähnt, dass bei der Tittmoninger Brücke möglicherweise ein Adaptierungs- bzw. Sanierungsbedarf besteht. Für diesen Fall wurde daher ein kombiniertes

Maßnahmenkonzept für diesen Bereich erarbeitet. Der rechtsufrige Auwaldbereich wird derzeit bereits bei Hochwasser-Ereignissen geringerer Jährlichkeit (ab etwa HQ<sub>5</sub>) überflutet, die Verkehrsverbindung daher unterbrochen. Der vorgesehene Nebenarm (Breite ca. 70m) würde von einer Zweifeldbrücke überspannt werden, die Zufahrtsstraße im Zuge der Maßnahmenumsetzung hochwassersicher angehoben. Durch den Nebenarm wird die Sohlsituation der Tittmoninger Brücke entspannt, bei HQ<sub>100</sub> wird der Wasserspiegel im Brückenquerschnitt um etwa 10cm abgesenkt, die Sohlbelastungen um rund 35-40% abgesenkt. Die Lage von N7 stellt durch den Zwangspunkt des Brückenquerschnitts ein wichtiges Element dar, kann aber auch flussab verlegt werden. Die Sohle im Brückengitter müsste dann gesichert werden.

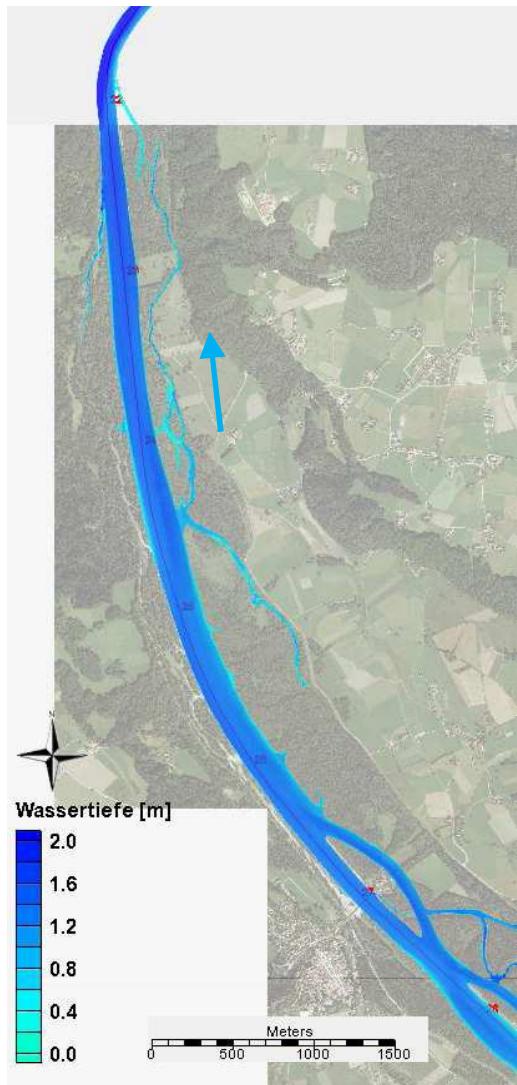


Abbildung 26: Abschnitt 3 – Unten (Flkm 21-27) – Konzeptzustand MQ

Im Bereich der Tittmoninger Brücke zwischen Flkm 27.2 bis etwa 25.4 verbleiben die bestehenden Uferverbauungen linksufrig. Zwischen Flkm 26 und Flkm 25.4 können sie in

Abhängigkeit der Flächenverfügbarkeit schrittweise verringert werden. Rechtsufrig, bei der entstehenden Insel verbleibt die Uferverbauung ebenfalls. Die entstehende Insel wird verstärkt gesichert (auch im Nebenarm).

Unterhalb von N7 wird die Salzach rechtsufrig aufgeweitet. Bei Flkm 24.5 wird ein breiterer Flussbereich mit granulometrischer Sohlstabilisierung hergestellt. Darüber hinaus sind nur mehr die Entfernung der Ufersicherungen und die aktive Sohlanhebung vorgesehen. Etwa bei Flkm 22.0 endet das Maßnahmenkonzept.

## 6.4 Umsetzungskonzept und vereinfachter Bauablauf

Die Herstellung der Maßnahmen kann modular erfolgen. Eine mögliche Umsetzung kann in Bauabschnitten, die innerhalb einer Niederwasserperiode herstellbar sind (ca. 2-4km) erfolgen. Es können auch abhängig von der Dringlichkeit und der verfügbaren Mittel mehrere Bauabschnitte gleichzeitig bearbeitet werden. Jeder Bauabschnitt hat zumindest eine Stützstelle zu beinhalten. Als Bauzeit stehen voraussichtlich die Monate September bis März zur Verfügung, da mit Einschränkungen aufgrund von Brut- und Laichzeiten zu rechnen ist. Der nachfolgend beschriebene Bauablauf ist im Detaillierungsgrad einer Machbarkeitsstudie zu sehen und soll lediglich einen Überblick über den möglichen Bauablauf schaffen. Eine präzisere Beschreibung eines möglichen Bauablaufs kann natürlich erst nach einer Detailplanung erfolgen!

### 6.4.1.1 Genereller Bauablauf

Zuerst sind die Nebenarmbereiche herzustellen, da diese die Systemstützstellen bilden. Dabei werden die Nebengerinne von unten nach oben, in etwa der halben Entwicklungsbreite im Vorland errichtet. Die Anbindung an den Hauptfluss erfolgt zum Abschluss der Bauarbeiten (Nebenarm). Während der Bauarbeiten im Hauptgerinne (Sohlanhebung, Aufbringung der granulometrisch vergröberten Deckschichte) wird der Abfluss durch das Nebengerinne umgeleitet (Winterbaustelle – Niederwasserperiode).

Das für die Sohlanhebung verwendbare Kiesmaterial wird aufbereitet, eventuell gesiebt und bauseitig in die Salzachsohle flächig eingetragen. Gröberes Material wird getrennt zwischengelagert und in späterer Folge für die granulometrische Sohlvergröberung verwendet. Die Uferverbauungen werden entfernt. Das Material wird für die Stabilisierung der entstehenden Insel und der Breite des Ausströmbereichs verwendet. Weiters wird dieses Material für die im Hinterland herzustellenden verdeckten Sicherungsbauwerke verwendet. Überschüssiges Steinmaterial wird vor Ort gebrochen und kann als Zuschlagstoff für die granulometrische Sohlvergröberung der Deckschichte verwendet werden. Die Sohlverbreiterung im Furtbereich (siehe Lageplan) wird bis auf 80-90% der geplanten Aufweitungsbreite (Aufweitung um ca. 60-70m) errichtet. Dieser Ausbaugrad ist nur in den Furtbereichen notwendig um die Funktionsfähigkeit der Stützstelle herzustellen und zu gewährleisten. In den Aufweitungsstrecken zwischen den Nebenarmbereichen kann der Großteil der Breitenentwicklung eigendynamisch erfolgen. Der geplante Aufweitungsgrad beträgt hier ca. 40-50% (Aufweitung um ca. 40-50m). Der Aufweitungsgrad wird vom Volumen des für die Sohlanhebung notwendigen Materials bestimmt. Eine Abschätzung der Massenbilanz ist in Kap. 9 dargestellt. Die Aufweitungen erfolgen beidseitig, das jeweilige Ausmaß der Aufweitung wird

aber (gemäß Lageplan) unterschiedlich ausgeführt. Anfallendes Feinmaterial wird zwischengelagert und jeweils nach Fertigstellung eines Sohlanhebungsabschnitts seitlich im Sohl-/Böschungsbereich flächig aufgetragen.

Alternativ ist zur Gewinnung von Kiesmaterial auch die Kiesgewinnung im Vorland (Kiesschichten und reliktische Kiesbänke) möglich. Dabei kann das beim Bau anfallende Feinmaterial für die Wiederverfüllung (Materialtausch) verwendet werden oder es können die Entnahmestellen als Feuchtbereiche (Grundwasserteiche) verbleiben. Die Umsetzbarkeit ist durch die Raumverfügbarkeit limitiert. Die Materialbilanz könnte dadurch aber deutlich verbessert werden.

Im Mittel wird die Sohle mit Grundsichtmaterial ( $d_{m,G} \geq 17-20\text{mm}$ ) um etwa 80cm angehoben. Darüber wird gröberes Material ( $d_{m,D} \geq 40\text{mm}$ ) mit einer mittleren Schichtdicke von ca. 40cm aufgebracht um die sich auszubildende Deckschichte vorwegzunehmen. Im Bereich der Furt wird das Decksichtmaterial nochmals granulometrisch vergröbert. Für eine stabile Deckschichte ist ein  $d_{m,D} \geq 80\text{mm}$  anzustreben (siehe Kap. 7.3.3.5). Die genaue Festlegung der anzustrebenden Korngrößen ist Teil der weiterführenden Planung. Die angegebenen Werte stellen Richtwerte im Rahmen der Machbarkeitsstudie dar. Die Berechnungen und Abschätzungen dieser Werte erfolgen auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten. Eine vertiefende Erhebung der granulometrischen Kenndaten wäre zur Klärung offener Fragen zu empfehlen. Die Sohle im Nebenarm wird ohne eigene Deckschichte auf Planungshöhe hergestellt. Durch die Breitenlimitierung (Ausströmanteil max. 30-40%) des Einströmbereichs ist die dynamische Breiten- und Tiefenentwicklung limitiert.

Die kleinräumigen herzustellenden Sicherungen bestehen teilweise aus den vorhandenen Böschungssicherungen, die Übergänge zu den neu zu errichtenden Teilen haben bautypähnlich zu erfolgen. Aufbau und Ausführung der herzustellenden Sicherungsteile erfolgt analog der Herstellung von Schüttbuhnen, auf tiefergelegte Fußsicherungen (Gefahr lokale Kolke) ist zu achten. Die Sohlhöhen im Hauptfluss und im Nebenarm sind gleich auszuführen. Die Herstellung einer Initialtiefenrinne kann vor Ort auf Anweisung der Bauleitung erfolgen.

Die Bauabläufe können in Abhängigkeit verfügbarer Bauressourcen Großteils parallel erfolgen. Es ist darauf zu achten, dass die Fertigstellung eines Bauabschnittes innerhalb einer Niederwasserperiode umsetzbar ist bzw. die Größe des Bauabschnittes den geplanten Ressourcen (monetär) entspricht. Eventuell auftretende Steh- bzw. Stilllegezeiten sind dabei einzukalkulieren.

Weiter sind im Bauablauf die notwendigen Zwischenlagerungen und ein entsprechender Aufwand und Platzbedarf für Materialsortierung und Aufbereitung zu berücksichtigen.

Zur Absicherung eines Bauabschnittes wird jeweils unterhalb, falls möglich im Bereich der nächsten Stützstelle (Nebenarmbereich), eine raue Blocksteinauflage auf der Bestandssohle hergestellt. Da diese nur kurz- bis mittelfristig wirksam sein muss, ist eine vereinfachte Herstellung ausreichend. Sie bildet gleichzeitig die Basis der nächsten Stützstelle.

## 7 Hydraulische und feststoffspezifische Berechnung

### 7.1 Methodik

#### 7.1.1 Auswertemethodik - Darstellung der Ergebnisse

Als Instrument zur Analyse bietet sich als günstigere und bewährte Alternative zu physikalischen Modellen ein numerisches 2D-Hydraulikmodell an.

Für die Beurteilung der morphologischen und feststoffspezifischen Aspekte wurde das verwendete Hydraulikmodell durch zusätzliche Analysewerkzeuge erweitert bzw. ergänzt.

Es werden Analysen bezüglich der Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen, die Sohlbelastungen, die Transportkapazitäten sowie die mittleren jährlichen Transportfrachten durchgeführt. Die Analysen werden sowohl für den IST-Zustand als auch für den Konzeptzustand (in der Folge als K05 – Konzeptzustand 05) bezeichnet.

#### 7.1.1.1 Hydraulik - 2D-Modell - SMS/HYDRO\_AS-2D

Die Einschränkungen einer 2D-Hydraulikanalyse aufgrund der ansatzspezifischen Limitierungen (Tiefenmittelung, 2D-Verteilung) sind zu berücksichtigen.

Der Modellaufbau erfolgte mit der Software SMS (Surface-Water Modeling System, Pre- and Postprocessing-Modul, Brigham Young University, USA) der Firma Aquaveo, die Abflussmodellierung erfolgte mit der Software Hydro\_AS-2D.

Modellbeschreibung Hydro\_AS-2D (Quelle: Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen):

*Die Software Hydro\_AS-2D (entwickelt von Dr. Nujić) dient zur zweidimensionalen Modellierung von Fließgewässern. Sie wird zur Erfassung komplexer Strömungsverhältnisse eingesetzt, bei denen eindimensionale Modelle keine zuverlässigen Aussagen mehr treffen können.*

*Das in Hydro\_AS-2D integrierte Verfahren basiert auf der numerischen Lösung der 2D-tiefengemittelten Strömungsgleichungen mit der Finite-Volumen-Diskretisierung. Das explizite Zeitschrittverfahren sorgt für eine zeitgenaue Simulation des Wellenablaufs.*

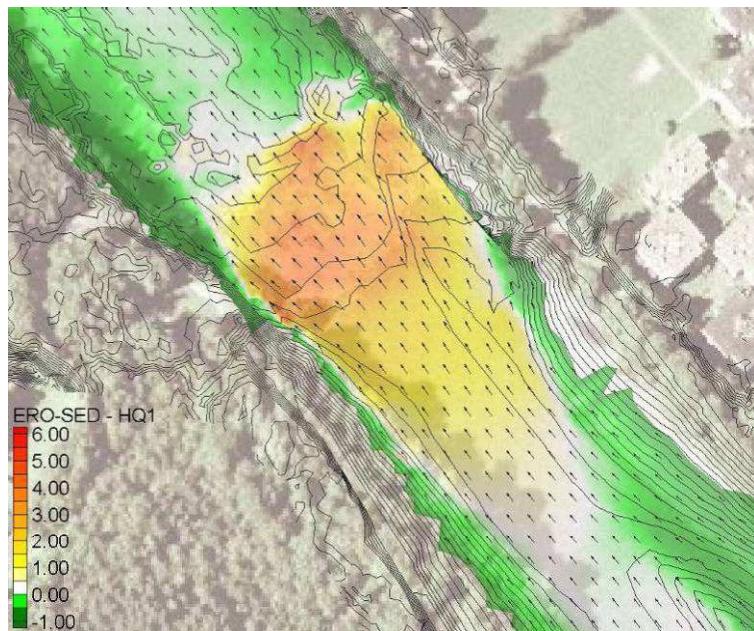
### 7.1.1.2 Morphologie / Feststoff

Zur weiterführenden Analyse wurde die von Mayr & Sattler OG entwickelte Analysemethodik ERO-SED (EROSion-SEDimentation) angewandt, die Rückschlüsse auf die zu erwartende Morphologieentwicklung und die Veränderungen des Feststoffhaushalts aufgrund baulicher Veränderungen ermöglicht. Diese Bearbeitungsmethodik basiert auf 2D-Hydraulikberechnungen und ist prinzipiell modellunabhängig.

Die im Anschluss dargestellten Abbildungen und Analysebeschreibungen basieren auf dem Erweiterungsmodul ERO-SED. Dabei werden Erosions- und Sedimentationsbereiche einzelner Abflusszustände einer ablaufenden Welle dargestellt und bewertet.

Die Grundlage der Bewertung bilden die theoretischen Ansätze zum Bewegungsbeginn.

Dies erlaubt die Analyse und Bewertung der morphologischen Veränderungen unter Berücksichtigung des Feststoff-Inputs, der Kornzusammensetzung und des Wellenablaufs, aufbauend auf einer 2D-Hydraulikberechnung.



**Abbildung 27: Beispiel Rampe (Bregenzer Ach) – Abflusssituation HQ1**

In Abbildung 19 ist die Darstellungsform für die nachfolgenden Entwicklungsanalysen exemplarisch dargestellt. Der Bereich um den Wert 0 (weiß) stellt den Transportbeginn (bezogen auf  $d_{mG} - d_m$  der Grundschichte) dar. Sedimentationsbereiche  $< 0$  sind grün dargestellt, Erosionsbereiche  $> 0$  sind verlaufend von Gelb bis Rot dargestellt.

### 7.1.1.2.1 Basis der Auswertemethodik – ERO-SED

#### 7.1.1.2.1.1 Geschiebebewegung und Bewegungsbeginn

Die Strömung eines Fließgewässers setzt das Flussbett einer Reibung aus. Die daraus resultierende Schleppsspannung oder Sohlschubspannung bewirkt die Geschiebebewegung.

HORTON (1945) definiert den Bewegungsbeginn als Überschreitung der Grenzsleppsspannung  $\tau_{crit}$  durch die vorhandene Schleppsspannung  $\tau_0$ .

$$\tau_0 > \tau_{crit} \quad (2.1)$$

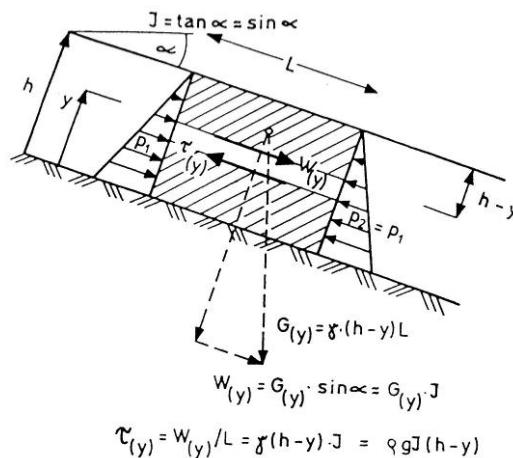


Abbildung 28: Prinzipskizze - Schleppsspannung (aus HABERSACK, 1998)

Die vorhandene Schubspannung ändert sich linear mit der Wassertiefe (Abbildung 28) nach der

$$\tau_{(y)} = \rho * g * R_h * J \left(1 - \frac{y}{h}\right) \quad (2.2)$$

Die Sohlschubspannung an der Stelle ( $y = 0$ ) ist daher

$$\tau_0 = \rho * g * R_h * J \quad \text{oder} \quad \tau_0 = \rho * g * h * J \quad (2.3)$$

$\rho$  Dichte des Wassers

$g$  Erdbeschleunigung

$R_h$  hydraulischer Radius

$h$  Wassertiefe

$J$  Sohlgefälle

Die mittlere, auf die Sohle wirkende Sohlschubspannung ist

$$\tau_b = \frac{\rho * g * (v_m * n_b)^2}{h^{0,33}} \quad (2.4)$$

$n_b$  Kornrauhigkeit

$v_m$  mittlere Fließgeschwindigkeit

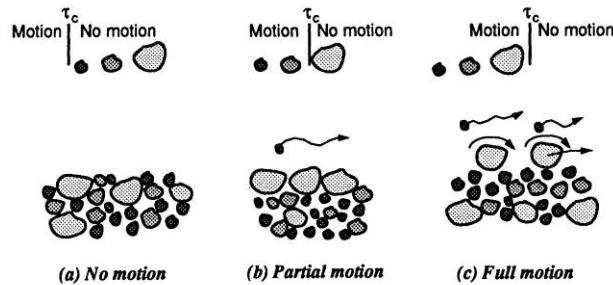


Abbildung 29: Bewegungsbeginn unterschiedlicher Korngrößen (aus JULIEN, 1995)

Einen entscheidenden Einfluss auf den Transportbeginn hat die Kornzusammensetzung des Sohlmaterials. So schirmen größere Körner oft kleinere Kornfraktionen ab (Abbildung 29), wodurch der Transportbeginn verzögert wird (Hiding-Effekt, RIBBERINK, 1987).

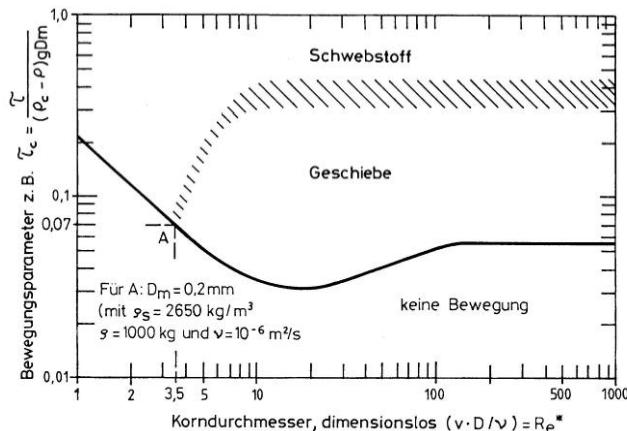


Abbildung 30: Bewegungsbeginn nach SHIELDS (aus MANIAK, 1997)

SHIELDS (1936) definierte den Bewegungsbeginn (Abbildung 30) durch die Einführung einer kritischen Schubspannungsgeschwindigkeit  $v_{crit}$ .

Zusammengefasst kann der Transportbeginn durch zwei Faktoren beschrieben werden:

- kritische Geschwindigkeit  $v_{crit}$  nach SHIELDS
- kritische Sohlschleppspannung  $\tau_{crit}$  nach HORTON

## 7.2 Basisdaten

Die verwendeten Basisdaten wurden von der PLG-NM (SKI) zur Verfügung gestellt. Diese wurden entweder direkt als Digitaldaten (Laserscandaten, Querprofildaten, Analysedaten) übernommen oder den Fachberichten der WRS bzw. weiterführenden Berichten entnommen.

Im Rahmen des Projekts wurden speziell folgende Unterlagen verwendet:

Berichte der WRS (ad-hoc Arbeitsgruppe der ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag (2000)):

**Fachbericht 1** – Zusammenfassender Bericht

**Fachbericht 2** – Untersuchungen zur Flussmorphologie der Unteren Salzach

**Fachbericht 4** – Geschiebetransportmodellierung

**Fachbericht 5** – 2D-Abfluss-Simulation

**Fachbericht 7** – Morphologische Auswirkungen von Aufweitungen in der Salzach  
ingenieurpraktische Berechnung und physikalische Modellierung.

Salzach Umsetzungskonzept – Abschlussbericht - BAW und SKI (2005)

Sanierung der Unteren Salzach – Verbesserung des ökologischen Erhaltungszustandes. Vorschlag der OÖ Umweltanwaltschaft und der Abteilung Naturschutz des Landes OÖ“ (2011).

Anmerkungen und Stellungnahmen der OÖ. Umweltanwaltschaft und der Abteilung Naturschutz des Landes OÖ (2010-2011).

GUTACHTEN – Maßnahmen zur Verhinderung der Sohleintiefung und gleichzeitigen Verbesserung des ökologischen Zustands; Univ. Prof. DI Dr. Helmut Habersack unter Mitwirkung von HR DI Dr. Michael Hengl, BAW (Juli 2009).

Sanierung Salzach – ein innovativer Lösungsansatz: weich und aufgelöst; Ing. Dr. Michael Spannring, Ingenieurbüro SKI GmbH + Co.KG.

Optimierung der vorhandenen Planungen zur Rampe 55.4; Bericht; DI Dr. M. Hengl/BAW im Auftrag der Salzburger Landesregierung (2011).

Natur und Landschaft, Leitbilder für Oberösterreich - Raumeinheit Salzachtal – Band 4; Amt der OÖ Landesregierung – Naturschutzabteilung, aQuadrat, bf:gh (2003)

## 7.2.1 Geometrie und Rauheiten

Die Basisdaten für das Geländemodell wurden in Form von airborne Laserscandaten (1×1m), Querprofilen und einem IST-Zustandsmodell der hydraulischen Berechnung zur Verfügung gestellt. Fehlende Laserscandaten (Grenzbereich Oberösterreich/Salzburg) wurden beim Amt der OÖ Landesregierung, Abteilung Geoinformation und Liegenschaft erhoben. Das erstellte DGM wurde durch die Unterwasserbereiche des IST-Zustandsmodells (SKI) ergänzt und daraus das Basismodell für die weiteren Berechnungen erstellt.

Die Rauheiten wurden aus dem IST-Zustandmodell übernommen, die Ergebnisse decken sich daher im Unterbordbereich. Das Vorland ist durch die Verwendung des Laserscans deutlich detaillierter abgebildet, die Unterschiede in den Wasserspiegeln sind jedoch gering. Eine Kalibrierung erfolgt üblicherweise im Unterbordbereich. Durch die Übernahme der Rauheiten aus dem IST-Zustandmodell sind die Ergebnisse weitgehend ident. Eine eigene Kalibrierung daher nicht notwendig.

## 7.2.2 Hydrologie

Die kennzeichnenden Abflusswerte und Dauerlinien wurden den Fachberichten der WRS entnommen. In Tabelle 5 sind die hydrologischen Kennwerte zusammengefasst.

**Tabelle 5: Abflusskennwerte und mittlere Dauerlinie (WRS)**

Abflusskennwerte (WRS - Teil 5)			Dauerlinie (WRS - Teil 5)			
Abfluss [m³/s]	3b Flkm 37.800-28.800	3c Flkm 28.800-22.000	Pegel Laufen Flkm 47.5	Q[m³/s]	Ü-Tage	Diff-Tage
NQ	41.5	41.5		200	365	190
MNQ	78.4	78.4		300	175	83
MQ	250	251		400	92	48.1
MHQ	1360	1360		500	43.9	24
HHQ	3350	3350		600	19.9	10.3
				700	9.6	4.6
HQ1			1130	800	5	2.6
HQ5			1680	900	2.4	1.1
HQ10			2000	1000	1.3	0.8
HQ30			2500	1138	0.5	0.5
HQ100			3100			

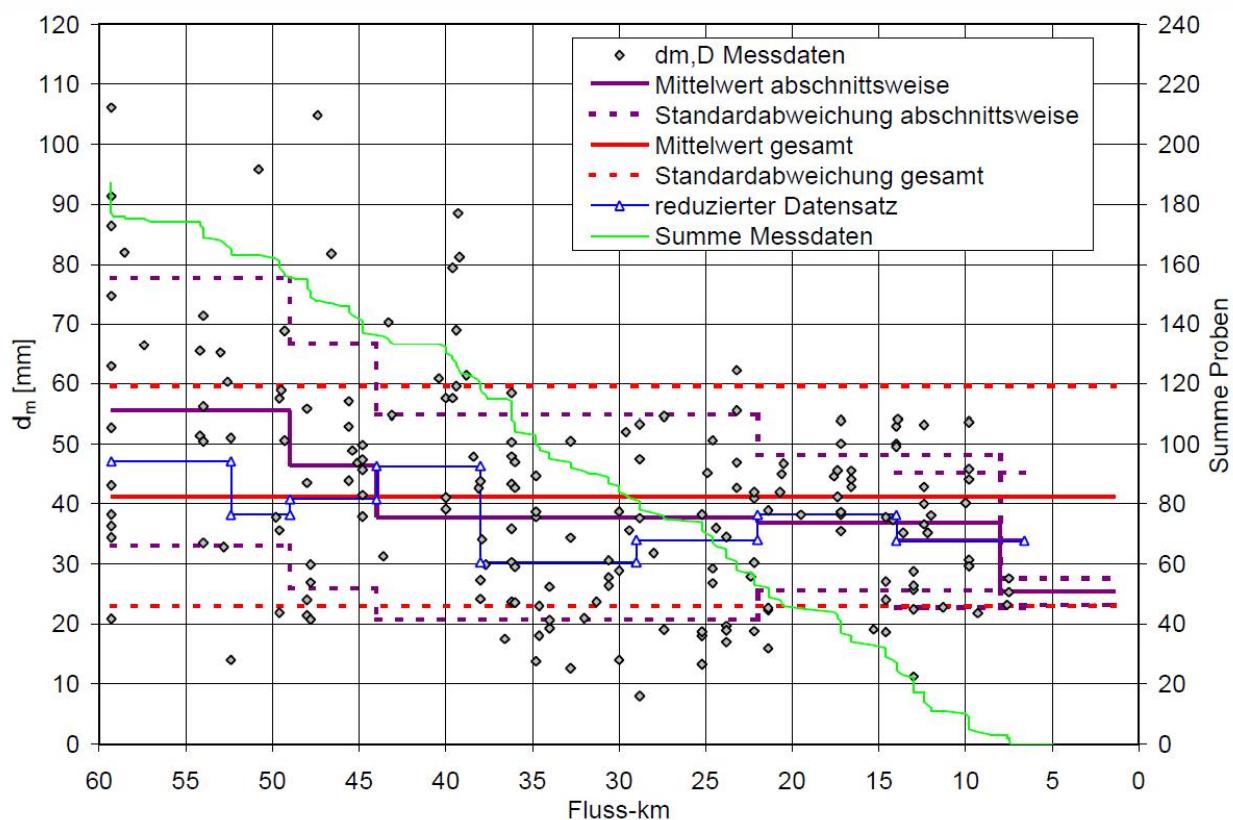
### 7.2.3 Granulometrie

Die granulometrischen Kennwerte bilden den wichtigsten Teil der Basisdaten für die Lösung der Problemstellungen Sohlstabilität und Durchschlagsgefahr. Die Kenndaten wurden aus dem Fachbericht 4 – Geschiebemodellierung entnommen. Die für die Modellierung verwendeten Daten sollten auch verwendet werden, um die Vergleichbarkeit mit den anderen Varianten zu ermöglichen. Im Rahmen der WRS wurden Vorlandproben und Kiesbankproben erhoben. Mittels Geschiebefänger wurden auch Proben des transportierten Materials erhoben, jedoch aus methodischen Gründen nicht verwendet. In Tabelle 7 sind die mittleren kennzeichnenden Korngrößen zusammengefasst. Die das Tittmoninger Becken betreffenden Abschnitte sind 3a bis 3c.

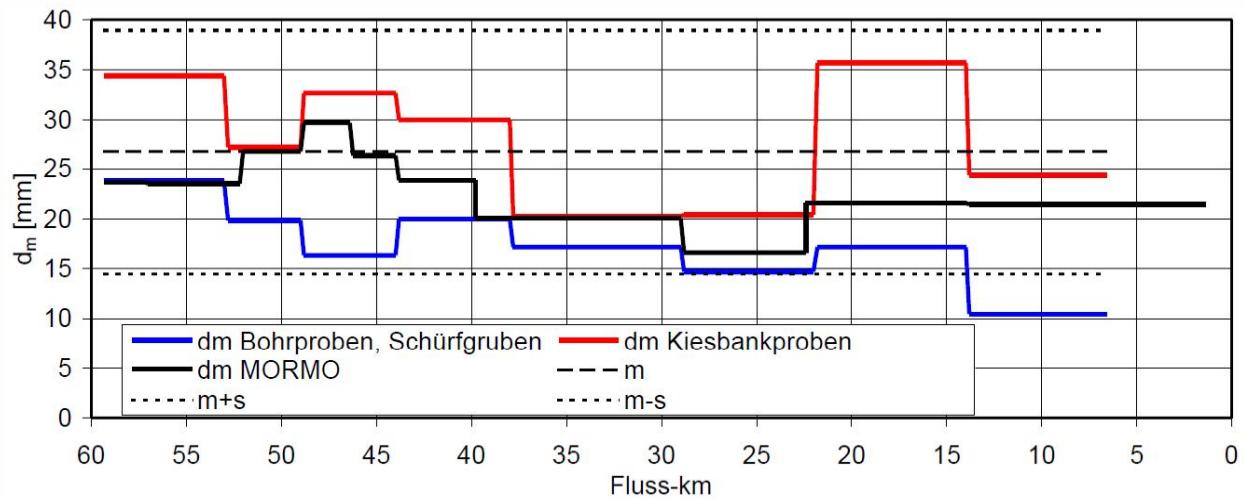
**Tabelle 6: Mittlere kennzeichnende Korngrößen in den Teilabschnitten für die Bohrproben und Kiesbankproben (WRS – Fachbeitrag 4)**

Abschnitt	Bohrproben					Kiesbankproben				
	$d_{30}$ [mm]	$d_{40}$ [mm]	$d_{50}$ [mm]	$d_m$ [mm]	$d_{90}$ [mm]	$d_{30}$ [mm]	$d_{40}$ [mm]	$d_{50}$ [mm]	$d_m$ [mm]	$d_{90}$ [mm]
1a	5,6	9,3	13,9	23,8	66,4	7,2	13,3	23,1	34,4	86,5
1b	2,8	5,9	8,9	19,9	55,9	8,0	12,7	19,0	27,2	65,1
2	2,6	7,1	11,0	16,4	46,9	14,8	20,4	26,1	32,7	71,6
3a	2,8	6,3	10,6	20,0	55,7	12,1	17,3	23,1	29,9	67,5
3b	3,5	6,1	9,2	17,2	48,3	8,6	11,6	15,1	20,3	45,9
3c	1,9	2,4	5,9	14,7	46,9	7,1	10,4	14,4	20,4	47,7
4a	3,4	6,5	10,4	17,2	45,2	13,1	18,5	24,8	35,7	59,0
4b+5a	2,2	4,1	6,5	10,5	28,2	10,3	14,2	18,9	24,4	50,0

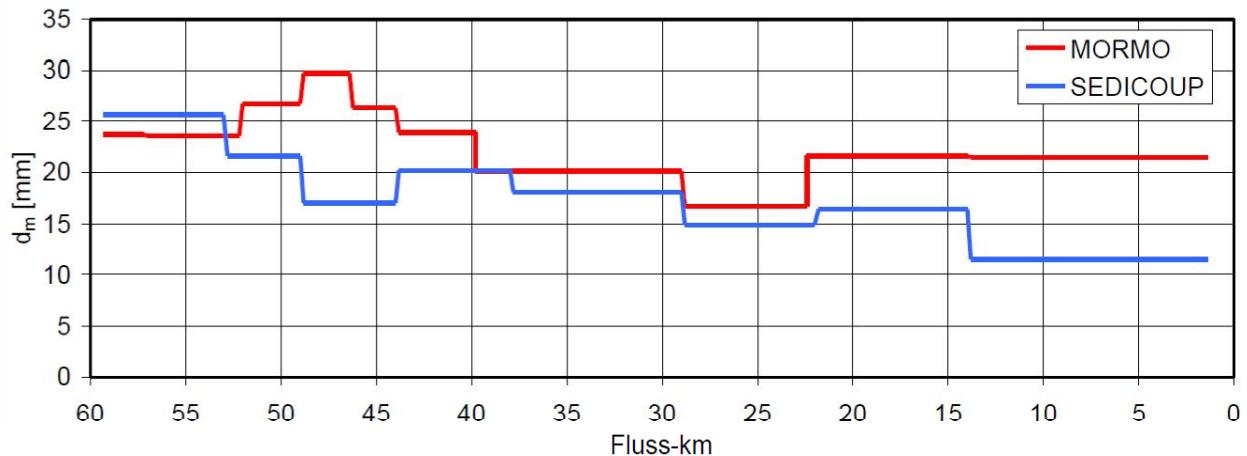
In Abbildung 31 sind die Ergebnisse von 187 Deckschichtproben dargestellt. Die Streuung der Proben und damit die Problematik der Wahl eines für einen jeweiligen Abschnitt repräsentativen Wertes wird daraus ersichtlich. Die Anzahl der Proben und der Wahl der Probenstelle haben einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Aussagen. Üblicherweise wird für die Berechnungen ein Mittelwert verwendet, der innerhalb logischer Abschnitte ermittelt wird. In Abbildung 32 sind die mittleren Korndurchmesser zusammengefasst. Die Gegenüberstellung der Mittelwerte zeigt deutlich gröbere Kiesbankproben als Bohrproben. In Tabelle 8 sind die  $d_{90}$ -Werte der Deck- und der Grundschiechte dargestellt.

Abbildung 31: Mittlere Korndurchmesser  $d_m,D$  der Deckschicht (187 Proben)

(WRS – Fachbeitrag 4)

Abbildung 32: Mittlere Korndurchmesser  $d_m$  des in Mormo verwendeten Unterschichtmaterials, der Bohrproben und der Kiesbankproben (WRS – Fachbeitrag 4)

In Abbildung 33 sind die Modellannahmen ( $d_m$ ) für die verwendeten numerischen Modelle dargestellt (vergl. Fachbericht 4). Die Bandbreite der Annahmen wird daraus ersichtlich.

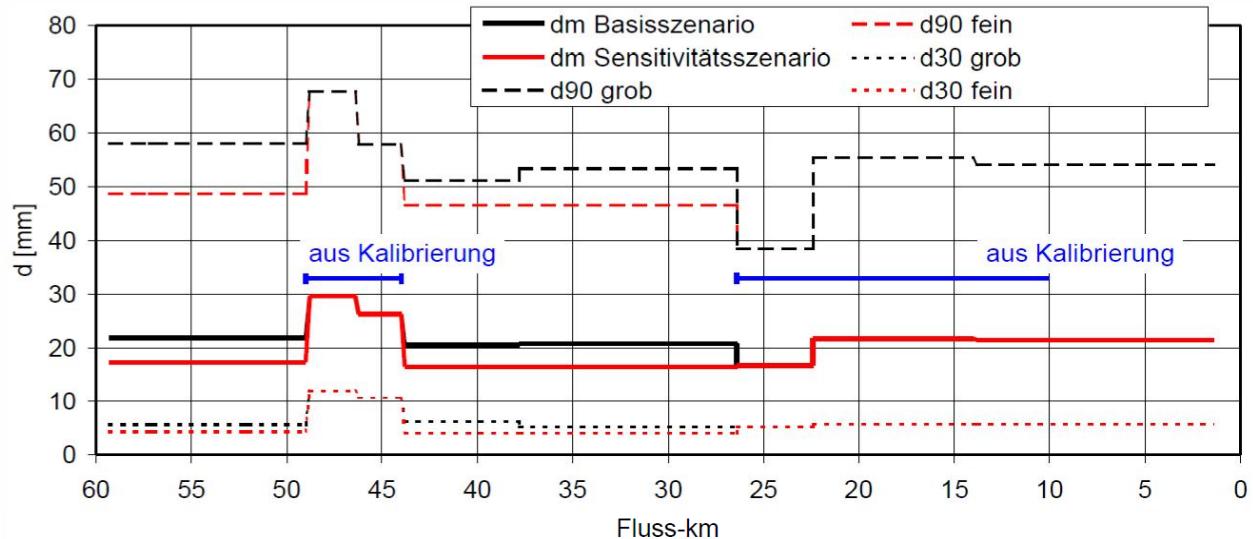


**Abbildung 33: Vergleich des mittleren Korndurchmessers der Unterschicht im Längsverlauf für beide Modelle - (WRS – Fachbeitrag 4)**

Nachfolgend wird der geeignete Transportansatz gewählt, der die Kalibrierungswerte bestmöglich wiedergibt. Die dafür verwendeten Kalibrierungsannahmen sind in Kap. 3.1 behandelt. Die meisten Ansätze verwenden einen mittleren Korndurchmesser ( $d_m$ ) oder  $d_{50}$ . Der in den Simulationen verwendete Ansatz (Smart/Jäggi) verwendet zusätzlich das Verhältnis aus  $d_{90}/d_{30}$ . In Abbildung 34 sind die Bandbreiten der für die numerische Modellierung verwendeten Kennwerte für  $d_{30}$  und  $d_{90}$  ersichtlich, in Tabelle 7 sind die Korngrößenwerte für  $d_{90}$  der Deck- und der Grundschichte enthalten. Innerhalb dieser Bandbreiten werden die Berechnungen durchgeführt. Die wesentlichen Berechnungsannahmen der Geschiebemodellierungen sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

**Tabelle 7: Korngrößen ( $d_{90}$ ) und Anleitung der Stricklerbeiwerte (WRS – Fachbeitrag 4)**

Abschnitt [km]	$d_{90,I}$ [mm]	$k_{st,I}$ [ $m^{1/3}/s$ ]	$d_{90,D}$ [mm]	$k_{st,D}$ [ $m^{1/3}/s$ ]
	Unterschicht		Deckschicht	
59,3-54,0	71,0	32,8	103,7	30,8
54,0-49,0	60,8	33,6	86,9	31,7
49,0-46,6	62,5	33,5	75,8	32,4
46,6-44,0	67,4	33,1	78,9	32,2
44,0-38,0	55,9	34,1	89,5	31,5
38,0-32,0	44,8	35,4	62,1	33,5
32,0-28,0	51,0	34,6	57,5	33,9
28,0-24,0	45,4	35,3	63,7	33,4
24,0-22,0	48,9	34,9	66,2	33,2
22,0-20,0	65,4	33,2	66,7	33,1
20,0-14,0	56,4	34,1	71,2	32,8
14,0-8,0	55,2	34,2	67,2	33,1
8,0-1,4	45,6	35,3	45,9	35,2

**Abbildung 34: Kenngrößen der Sieblinien des Sohlmaterials für das Basis- sowie Sensitivitäts-szenario - (WRS – Fachbeitrag 4)****Tabelle 8: Wesentliche Berechnungsannahmen der Geschiebemodellierungen****(WRS – Fachbeitrag 4)**

	Durchflussganglinie	Korngröße des zu erwartenden Sohlmaterials	Geschiebeinput
<b>Szenario 1</b> (Basisszenario)	2 x (1951-1995)	$d_m = 20 \text{ mm}$	$40.000 \text{ m}^3/\text{a}$
<b>Szenario 2</b> (Sensitivität hin-sichtlich des Korndurchmes-sers des Sohlmaterials)	2 x (1951-1995)	$d_m = 17 \text{ mm}$	$40.000 \text{ m}^3/\text{a}$
<b>Szenario 3</b> (Sensitivität hin-sichtlich der Geschiebeinput-menge)	2 x (1951-1995)	$d_m = 20 \text{ mm}$	$20.000 \text{ m}^3/\text{a}$

## 7.3 Ergebnisse

### 7.3.1 Geometrie

Hunzinger (2004) gibt als Faustregel für Flüsse im Alpen- und Voralpengebiet für die Ausbildung von Bänken ein Verhältnis von  $B/h > \approx 30$  an. Ab einem Verhältnis von  $B/h > \approx 50$  verzweigt sich das Gerinne. Für  $h$  muss je nach Gewässertyp die Abflusstiefe zwischen  $Q_0$  (Transportbeginn) und etwa  $HQ_2$  eingesetzt werden.

Im Maßnahmenkonzept kann für  $Q_0$  vereinfacht  $MQ$  angenommen werden, die mittlere Tiefe  $h$  liegt dabei bei rund 1-1,2m, die Wassertiefe bei  $HQ_1$  liegt bei etwa 2,6-2,8m, die Wassertiefen bei  $HQ_5$  liegen bei etwa 3,4-3,6m. Für die Verhältnisse an der Salzach im Tittmoninger Becken bedeutet dies, dass die notwendige Gewässerbreite für die Ausbildung von Verzweigungen bei etwa  $\geq 150$  m liegt. Die angestrebten Entwicklungsbreiten von im Mittel rund 180 m entsprechen diesen Ergebnissen.

Durch die Nebenarme erhöht sich die wirksame Gewässerlänge. Die Lauflängenerhöhung im Hauptgerinne wird dabei entlang des pendelnden Stromstrichs ermittelt.

Durch die Sohlverbreiterung und die Nebenarme ergeben sich für die Geschiebeeintragsannahmen (20.000 m<sup>3</sup>/a bis 40.000 m<sup>3</sup>/a) die jeweiligen Ausgleichsgefälle der Teilabschnitte und damit des Gesamtsystems. Die Geschiebeintragsannahme von 20.000 m<sup>3</sup>/a stellt dabei die Untergrenze (ungünstigster Fall), die Annahme eines Geschiebeintrags von 40.000 m<sup>3</sup>/a die Obergrenze dar (siehe Kap. 3.1.4).

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 9 zusammengefasst

Bei den Berechnungen eines Ausgleichsgefälles sind entsprechende Unsicherheiten bei den Basisdaten zu berücksichtigen. Die Ergebnisse stellen wichtige Hinweise für eine mögliche Entwicklung dar, sind jedoch untrennbar mit der Qualität der Basisdaten bzw. Annahmen verbunden. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist dieser Umstand daher zu berücksichtigen.

Für die Festlegung der Initialsohle wird ein mittlerer jährlicher Geschiebeintrag von 30.000 m<sup>3</sup> angenommen. In Abbildung 35 sind die Sohlentwicklungen analog der errechneten Ausgleichsgefälle (Tabelle 9) für die einzelnen Abschnitte dargestellt. In der Darstellung werden die Ausgleichshöhen auf die Salzach-Kilometrierung projiziert. Im Fall eines mittleren jährlichen Geschiebeintrags innerhalb der vorgegebenen INPUT-Bandbreite ist von einer stabilen mittleren Sohlentwicklung analog der Initialsohle auszugehen.

Tabelle 9: Lauflängen und Gefälleveränderungen

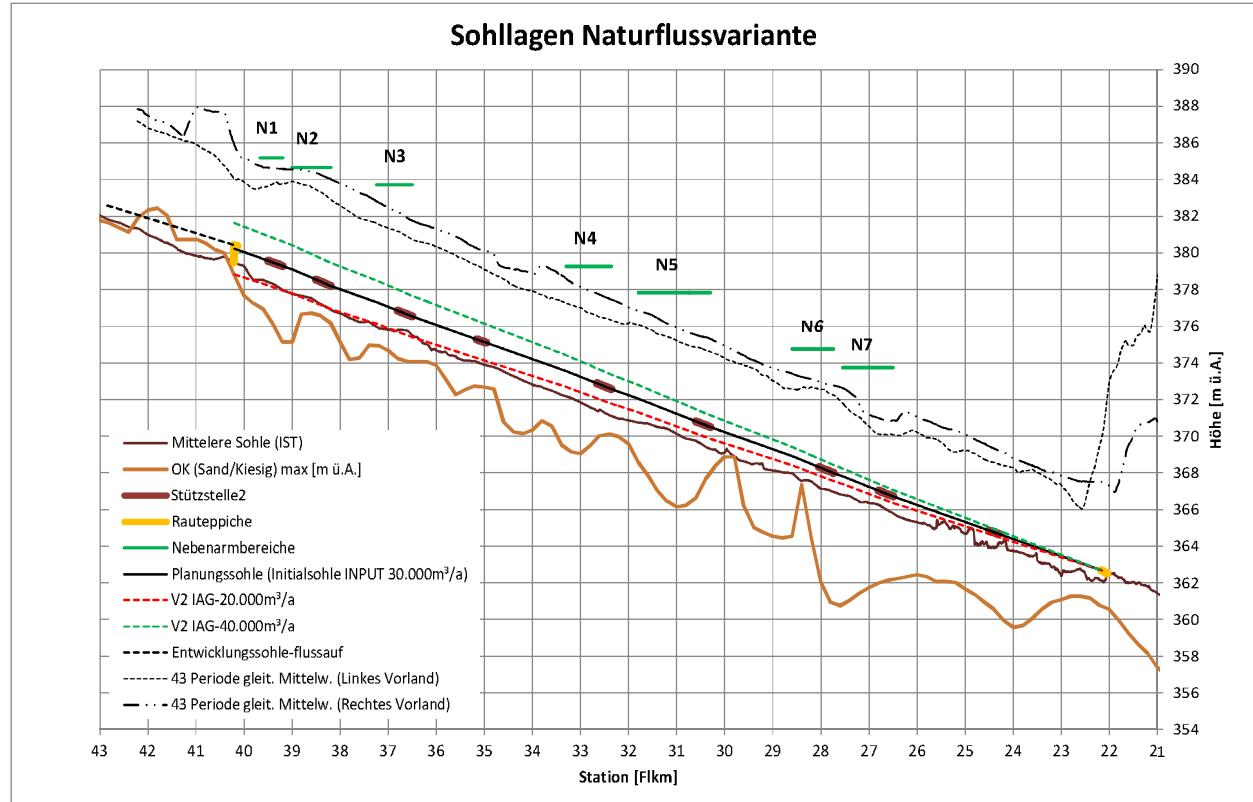
Maßnahmenbereich	Flkm22,0-40,2	IST-Zustand	Konzept - 05 Längen Nebenarmsystem bzw. Hauptgerinne	Abflussanteil				Höhenentwicklung - Basis Ausgleichsgefälle			
				20.000 m³/a		30.000 m³/a		40.000 m³/a			
				$l_{hG}$ <sup>3)</sup>	$\Delta h$ [m]	$l_{hG}$ <sup>3)</sup>	$\Delta h$ [m]	$l_{hG}$ <sup>3)</sup>	$\Delta h$ [m]		
Länge (Hauptgerinne)	18200 m	18600 m	MQ	HQ1	HQ5	HQ1+HQ5	0.083%	15.44	16.33	0.099%	18.41
Länge Zwischenbereiche <sup>4)</sup>		11610 m					0.083%	9.64	10.57	0.099%	11.49
<b>NebengerinneSysteme</b>											
NG1-Flkm 39,5	630 m	21.9%	20.1%	19.1%	25.0%	0.096%	0.60	0.65	0.65	0.109%	0.69
NG2-Flkm 38,5	850 m	25.0%	23.8%	22.9%	30.0%	0.098%	0.83	0.89	0.89	0.112%	0.95
NG3-Flkm 37,0	780 m	25.8%	25.5%	25.9%	30.0%	0.094%	0.73	0.79	0.79	0.108%	0.84
NG4-Flkm 33,0	1000 m	36.8%	32.9%	30.4%	35.0%	0.095%	0.95	1.03	1.03	0.110%	1.10
NG5-Flkm 31,0	1650 m	21.4%	22.1%	26.4%	30.0%	0.095%	1.57	1.69	1.69	0.110%	1.82
NG6-Flkm 28,2	930 m	32.4%	26.9%	24.8%	30.0%	0.103%	0.96	1.02	1.02	0.117%	1.09
NG7-Flkm 27,0	1150 m	30.4%	37.9%	42.0%	40.0%	0.088%	1.01	1.07	1.07	0.098%	1.13
<b>Gesamtänge inkl. Nebenarme</b>	18200 m	37200 m					6.66	7.13	7.61		
<b>ch</b>		17.1 m	17.7 m				16.3 m	17.7 m	19.1 m		
<b>ls<sub>m</sub></b>		0.0940%									
<b>Zusätzl. notw. Höhenreserven<sup>2)</sup></b>							1.4 m	0.0 m	0.0 m		

<sup>1)</sup> vereinfachte Abschätzung auf Basis von dargestellter Jahresfrachtnalyse (Präsentation)

<sup>2)</sup> Höhenreserven - Fehlende Gesamthöhe - Kompressionsbedarf über Sohleintiefung zwischen den Stützstellen

<sup>3)</sup>  $l_{hG}$  .... Ausgleichsgefälle

<sup>4)</sup> Hauptgerinne minus NebengerinneSystemlängen



**Abbildung 35: Sohlentwicklungsabschätzung**

In Tabelle 9 sind die zusätzlich notwendigen Höhenreserven ausgewiesen. Bei einem mittleren jährlichen Geschiebeeintrag von 30.000 m<sup>3</sup> wird die erforderliche Ausgleichshöhe erreicht (17.7 m). Bei einem mittleren jährlichen Geschiebeeintrag von lediglich 20.000 m<sup>3</sup> (untere Schranke – ungünstigster Fall) wird die erforderliche Ausgleichshöhe nicht vollständig erreicht. Es besteht daher ein Ausgleichsbedarf von rund 1,4 m, was einer mittleren Eintiefung in den Zwischenbereichen (mittlere Länge etwa 1,1 km) von etwa 14 cm entspricht. Bei einem mittleren jährlichen Geschiebeeintrag von 40.000 m<sup>3</sup> (obere Schranke – günstigster Fall) würde sich die Sohle langfristig bis zur grün strichlierten Linie (Abbildung 35 – I<sub>AG</sub> 40.000 m<sup>3</sup>/a) entwickeln.

In Kap. 7.3.4 wird die mögliche Sohlentwicklung auf Basis der Transportkapazitätsberechnungen und Jahresfrachten dargestellt. In Kap. 7.3.3.4 werden mögliche Eintiefungstendenzen und Kolktiefen ermittelt, um die künftige Sohlentwicklung abschätzen zu können.

### 7.3.1.1 Gerinnebreite – Regimebreiten

Für die Abschätzung der für ein Gewässer typischen Regimebreite stehen zahlreiche Ansätze zur Verfügung. Für die gegenständliche Untersuchung wurden die Ansätze von Blench (1969), Bray (1982), Gosh (1983), Yalin (1999) und Yalin & Da Silva (2001) untersucht. Die Ergebnisse liegen zwischen 53m und 165m. Basis bildet die Annahme (Q bzw.  $Q_{BV}$ ), dass es künftig (naturnaher Gewässerzustand) zu Ausuferungen bei  $HQ_2$  kommt. Es standen die kennzeichnenden Abflusswerte für  $HQ_1$  und  $HQ_5$  zur Verfügung, diese stellen daher die Bandbreite für die Berechnungen dar. Bei allen Regimebreitenansätzen handelt es sich um rein empirische Ansätze. Die Streuung der Ergebnisse zeigt, dass die Berechnungen lediglich als einfache Abschätzung verwendbar sind und eine Plausibilitätskontrolle zur Beurteilung sinnvoll ist. Für die Verwendung bei Kiesführenden Voralpenflüssen wird die Anwendung des Ansatzes von Yalin & Da Silva (2001) empfohlen (Jäggi, Hunzinger, Arborino; 2011).

$$\text{Ansatz Yalin \& Da Silva (2001): } B_R = 1.42 * \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{\theta_{cr} * (s-1) * g * d}}}$$

**Tabelle 10: Regimebreitenabschätzung - Ergebnisse**

Regimebreiten	Yalin & da Silva	Blench	Bray
$B_R$ [m] - $HQ_1/HQ_5$	140-165	100-110	115-120

Plausibilitätskontrolle (dokumentierter Zustand 1817): Die Ansätze sind von Q ( $Q_{BV}$  in  $m^3/s$ ) und d (Korndurchmesser im mm) abhängig. Eine frühere Ausuferung bzw. geringere Abflusswerte und gröberes Kornmaterial verringern die errechneten Regimebreitenwerte.

Angewendet auf die historische Geometrie (1817) unter der Annahme deutlich geringerer Scheitelwerte bei natürlicher Ausuferungsjährlichkeit (weitgehend natürliche Abflussräume im Oberlauf, daher deutlich gedämpfte Abflusswellen) wären die über die Regimeansätze berechneten Gewässerbreiten aber deutlich geringer anzusetzen, als die historischen Darstellungen belegen (siehe Tabelle 2).

A. Malcherek (Fließgewässer - Hydromechanik und Wasserbau, UniBW-München) merkt zu den Regimebreitansätzen kritisch an, dass die empirischen Formeln der Regimebreitenansätze nicht einheitenrein sind und weist alternativ auf Untersuchungen von naturbelassenen Vergleichsstrecken als geeignete Möglichkeit zur Abschätzung der unter natürlichen Bedingungen sich einstellenden Gewässerbreite hin.

### 7.3.2 Wasserspiegelveränderungen

Die Wasserspiegellagen werden durch die Sohlanhebung um im Mittel 1-1,2m bei MQ deutlich erhöht (um rund 0,70 m). Bei HQ<sub>1</sub> liegen die Wasserspiegel des Konzeptzustands bereits deutlich unterhalb des IST-Wasserspiegels.

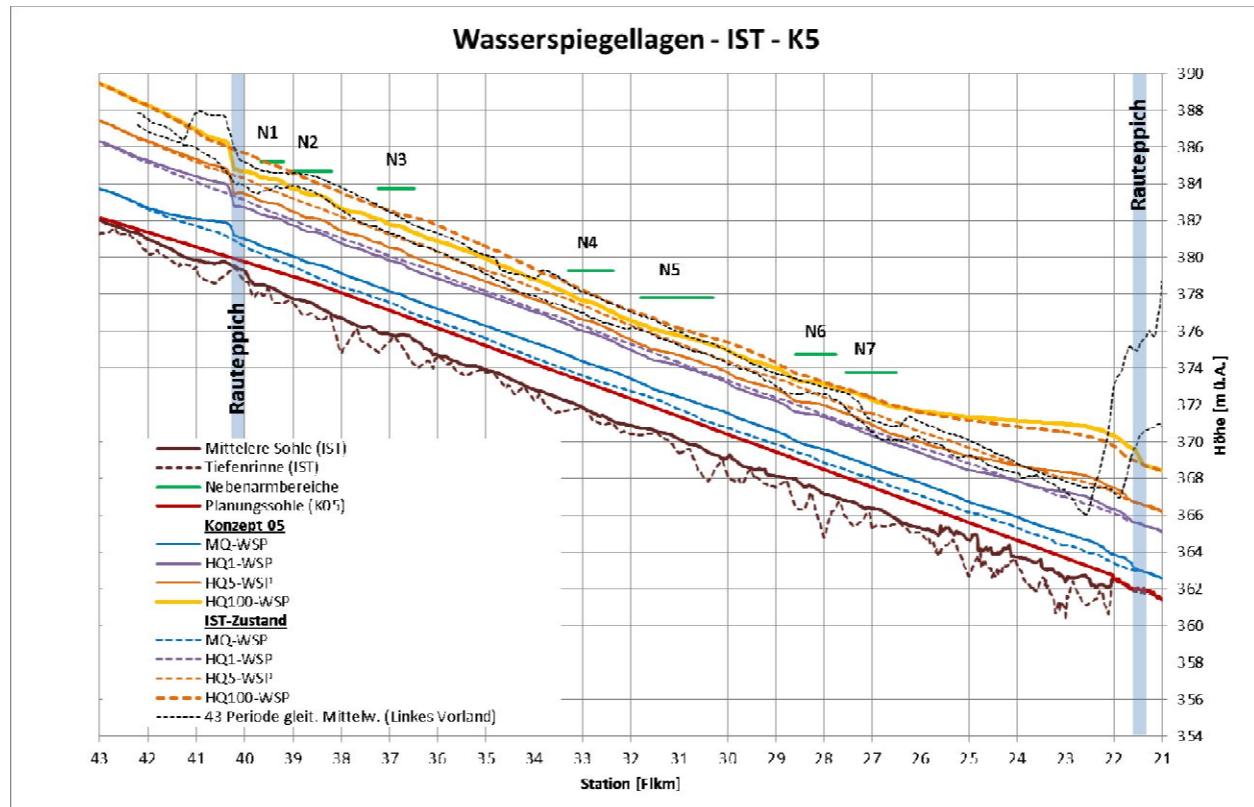


Abbildung 36: Wasserspiegellagen HQ<sub>1</sub>, HQ<sub>5</sub>, HQ<sub>100</sub> (IST-Konzept05)

Die mittlere Wasserspiegelabsenkung zwischen Flkm 25 und 40 beträgt bei HQ<sub>1</sub> rund 20cm, bei HQ<sub>5</sub> rund 70cm und bei HQ<sub>100</sub> rund 50cm. Unterhalb von Flkm 26 wirkt sich die Einschnürung in die Nonnreiter Enge aus. Die bei HQ<sub>100</sub> deutlich erkennbare Wasserspiegelerhöhung resultiert aus dem geringeren Transportvermögen im Gerinne, da es im Hochwasser-Fall zu einer deutlich früheren Ausuferung kommt. Der Einschnürungseffekt wirkt sich daher stärker aus. Klar erkennbar ist die Reduktion des Wasserspiegelgefälles (und damit des Energieliniengefälles) zwischen der Einschnürung bis etwa Flkm 26 (auch bereits im IST-Zustand bei Überbordung). Daraus resultieren die deutlich reduzierten Transportkapazitäten und Sohlbelastungen gegenüber dem Bereich oberhalb von Flkm 26. Hier besteht jedoch kein Hochwasserschutzbedarf, weder Siedlungsbereiche noch Infrastruktureinrichtungen sind betroffen. Von der Einhaltung der Wasserspiegellagen des IST-Zustands ist durch eine Maßnahmenoptimierung aber auszugehen. Aufgrund des engen Zeitplans wurde im Rahmen der Machbarkeitsstudie darauf verzichtet. Generell kann überwiegend von einer deutlichen Verbesserung der Hochwassersituation ausgegangen werden.

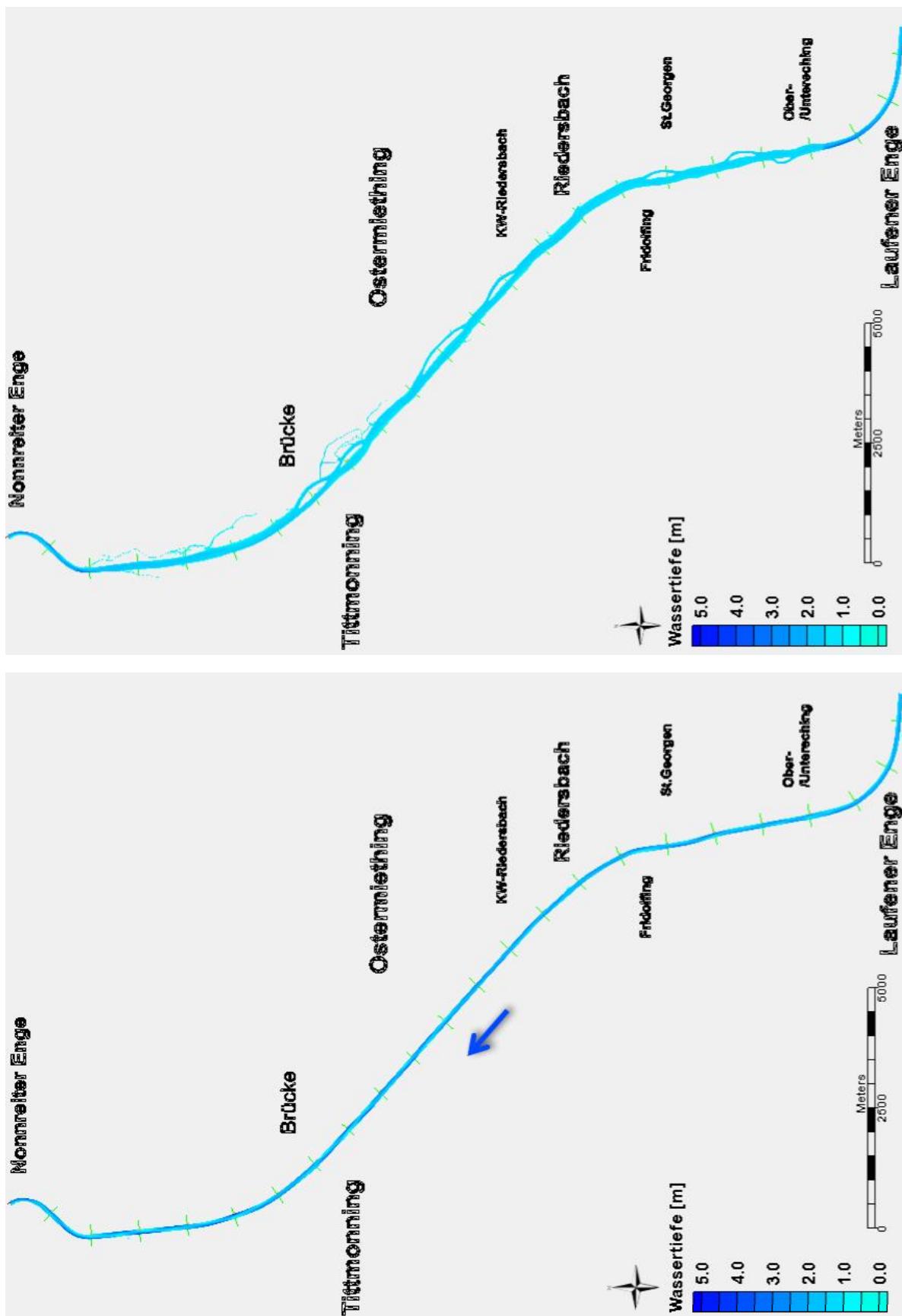


Abbildung 37: Wasserflächen MQ (IST (L) und Konzeptzustand (R))

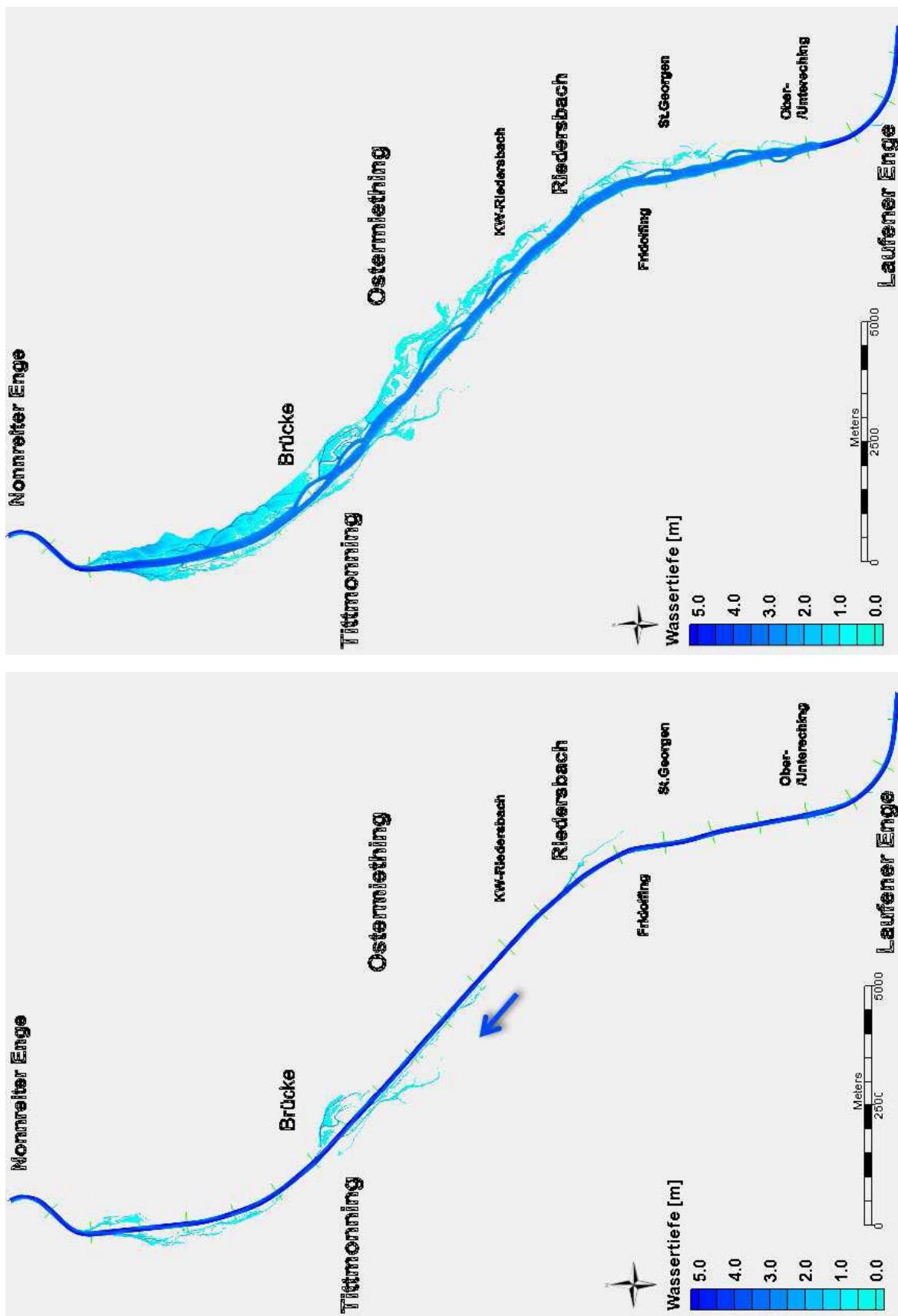


Abbildung 38: Wasserflächen HQ1 (IST (L) und Konzeptzustand (R))

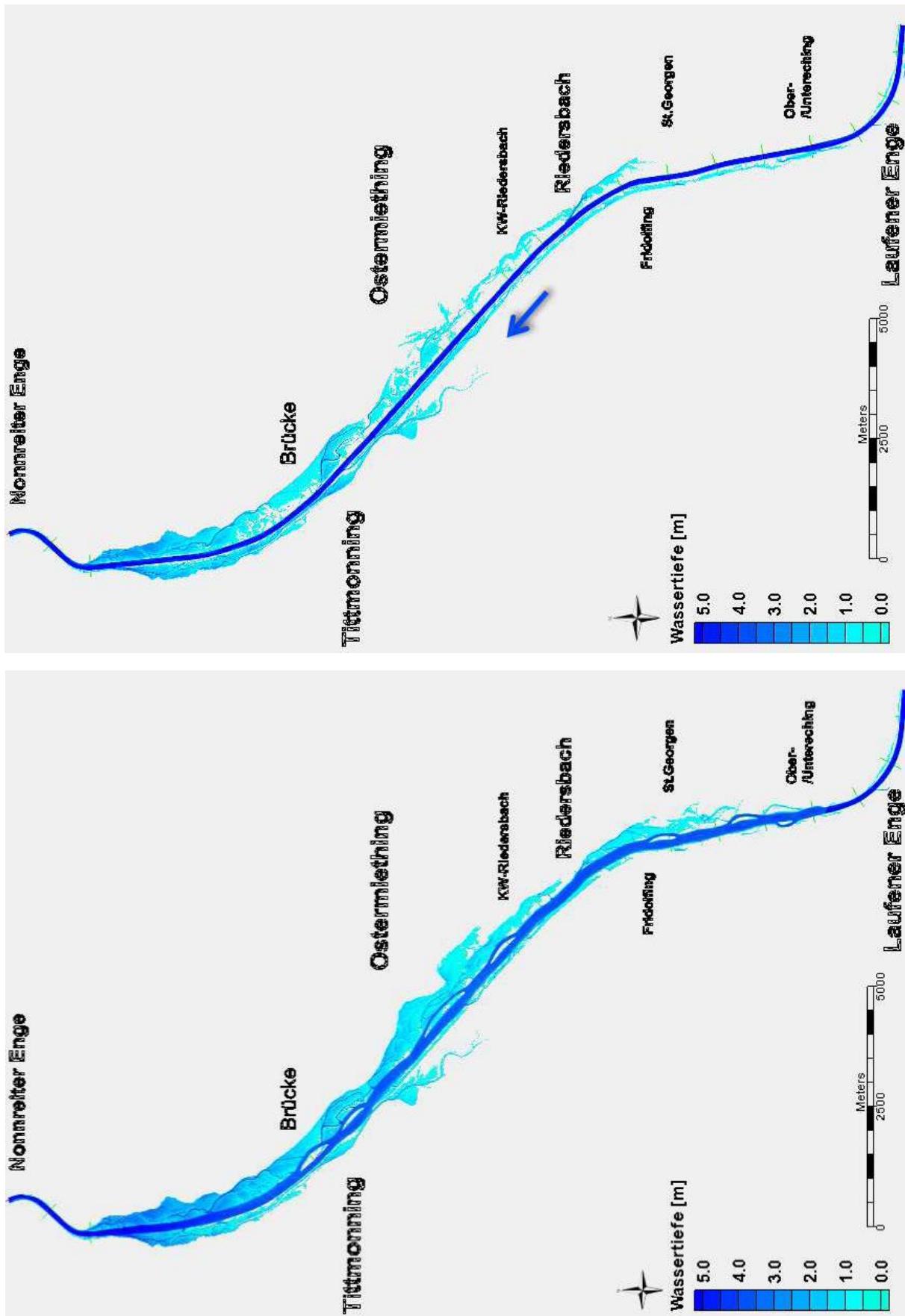


Abbildung 39: Wasserflächen HQ5 (IST (L) und Konzeptzustand (R))

### 7.3.2.1 Auswirkung auf die Grundwassersituation

Die Wasserspiegellagen werden bei MQ deutlich angehoben und bei HQ deutlich abgesenkt. Dieser Effekt ist generell bei großräumigen Flussaufweitungen mit ausreichendem Umfang zu erwarten. Durch die extreme Eintiefung der Salzach sinkt der Grundwasserspiegel entsprechend ab, da der Flusslauf in Trockenperioden als tiefliegende Entwässerung wirkt. Die Abfuhr von Hochwasserfrachten ohne Überbordung erfolgt rasch, ein „Auffüllen“ des Grundwasserkörpers ist flussseitig reduziert. Im Überbordfall hemmen die Uferdämme das rasche Abfließen von Vorlandüberflutungen bzw. Vorlandvernässungen (entsprechende Gegenmaßnahmen müssen errichtet und erhalten werden). Die Aufweitung zusammen mit Sohlanhebung und Vorlandanbindung wirkt sich zwangsläufig regulierend auf die Grundwasserspiegel aus. Es ist daher von einer Verbesserung der Grundwassersituation auszugehen.

### 7.3.3 Geschiebetransport und Sohlstabilität

Der Geschiebetransport und die Sohlstabilität stellen die wesentliche Problemstellung der wasserbaulichen Bearbeitung dar. In den nachfolgenden Kapiteln werden Argumente dargelegt und Nachweise erbracht, dass das gegenständlichen Maßnahmenkonzept mit ausreichender Sicherheit die Ziele (siehe Kap. 3) erreicht.

#### 7.3.3.1 Sohlschubspannungen

In Abbildung 40 sind die Sohlschubspannungen für HQ<sub>1</sub> und in Abbildung 41 für HQ<sub>5</sub> dargestellt. Der Bereich der Rautepicke ist dabei nicht enthalten. Die Rautepicke sind als technische Bauwerke separat zu beurteilen. Durch das Konzept der Energieumwandlung über raue Blocksteine errechnen sich hier extreme Schubspannungswerte. Die Trendlinien im Konzeptzustand stellen daher die Ergebnisse ohne Extremwerte dar. Die Ergebnisse stellen jeweils Mittelwerte über einen 40m breiten Streifen in Flussmitte dar.

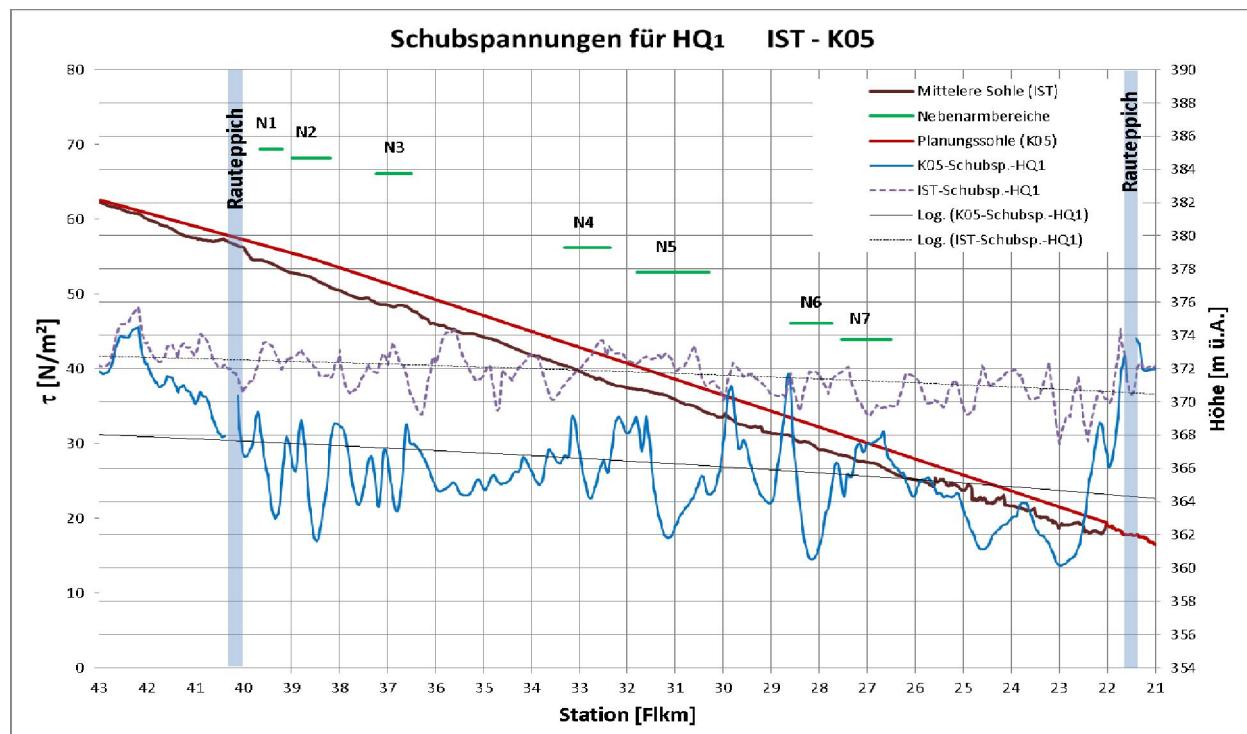


Abbildung 40: Sohlschubspannungen – Vergleich IST-Zustand und Konzept05 bei HQ1

Die Abnahme der Sohlbelastungen ist deutlich erkennbar. Bei HQ1 verringern sich die mittleren Sohlschubspannungen von rund 40N/m<sup>2</sup> auf 25-30N/m<sup>2</sup>.

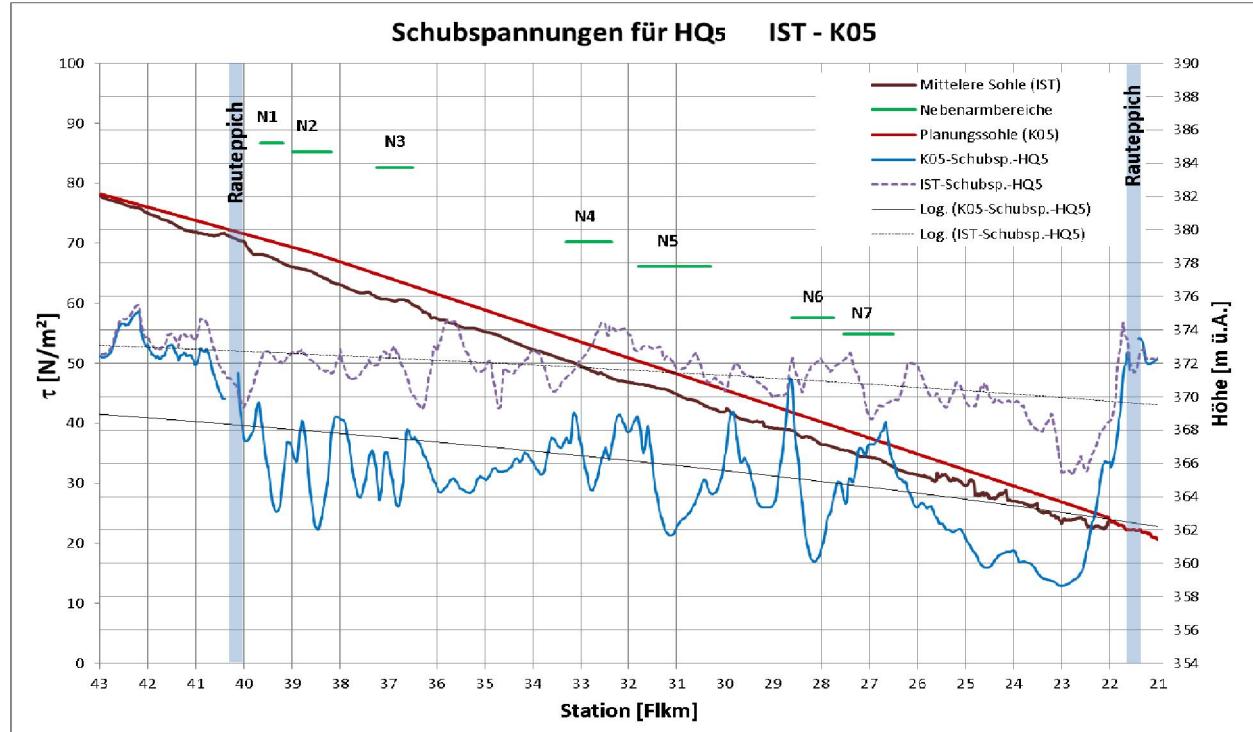


Abbildung 41: Sohlschubspannungen – Vergleich IST-Zustand und Konzept05 bei HQ5

Bei HQ5 verringern sich die mittleren Sohlschubspannungen von rund  $45-50\text{N/m}^2$  auf Werte zwischen  $22-40\text{N/m}^2$ .

Die Sohlschubspannungen sind wesentlich von der Wassertiefe abhängig. Die aktive Sohlanhebung in Kombination mit der Anbindung der Gerinnesysteme im Aubereich reduziert die Wassertiefen. Die frühere Ausuferung in den Aubereich verzögert die Erhöhung der Wassertiefen, wobei zusätzlich zur Reduktion der aktuellen Sohlbelastungen auch die zeitliche Komponente wirkt (siehe Jahresfrachten).

### 7.3.3.2 Transportkapazitäten

Die Transportkapazität wurde mit dem Geschiebetransportansatz von Smart / Jäggi (1983) ermittelt (Kap. 7.3.3.3). Die Transportkapazität wurde an die Erfordernisse einer 2D-Hydraulik angepasst und je Knoten berechnet. Es werden daher spezifische Transportkapazitäten [kg/s m] für die Beurteilung verwendet. Die Berechnung der Geschiebefrachten (Kap. 7.3.3.3) erfolgt nach dem Stand der Technik und Wissenschaft.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die spezifischen Transportkapazitäten für HQ1 und HQ5 dargestellt. Analog zu den Sohlschubspannungen stellen die Ergebnisse jeweils Mittelwerte über einen 40m breiten Streifen in Flussmitte dar. Deutlicher als die Sohlschubspannungen zeigen die Transportkapazitäten die Reduktion der Sohlbelastungen. Bei HQ1 (Abbildung 42) zeigt sich eine Halbierung der spezifischen Transportkapazität.

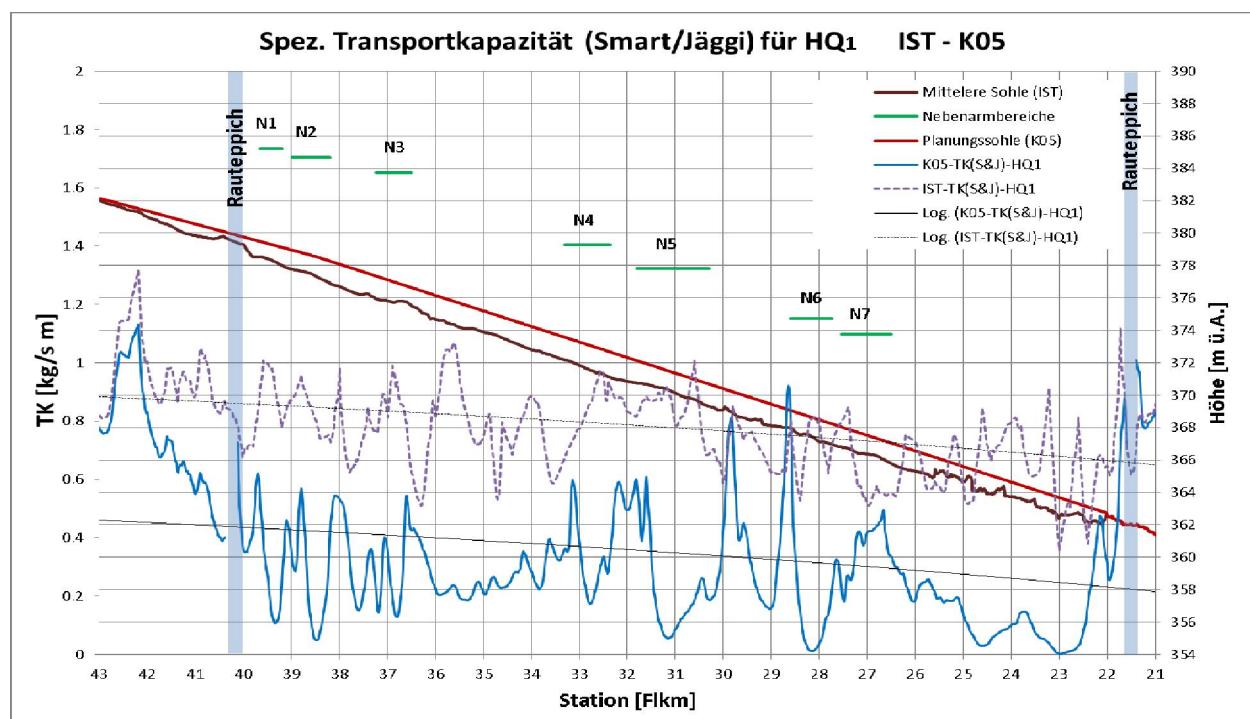


Abbildung 42: Spez. Transportkapazität – Vergleich IST-Zustand und Konzept05 bei HQ1

In Abbildung 43 sind die Ergebnisse für HQ5 dargestellt. Im oberen Bereich verringert sich die Transportkapazität bis zur ersten Nebenarmausleitung rasch. Die Reduktion der Transportkapazitäten zwischen Flkm .....Flkm 39.5 (N1) und der Nonnreiter Enge beträgt rund 60-70%.

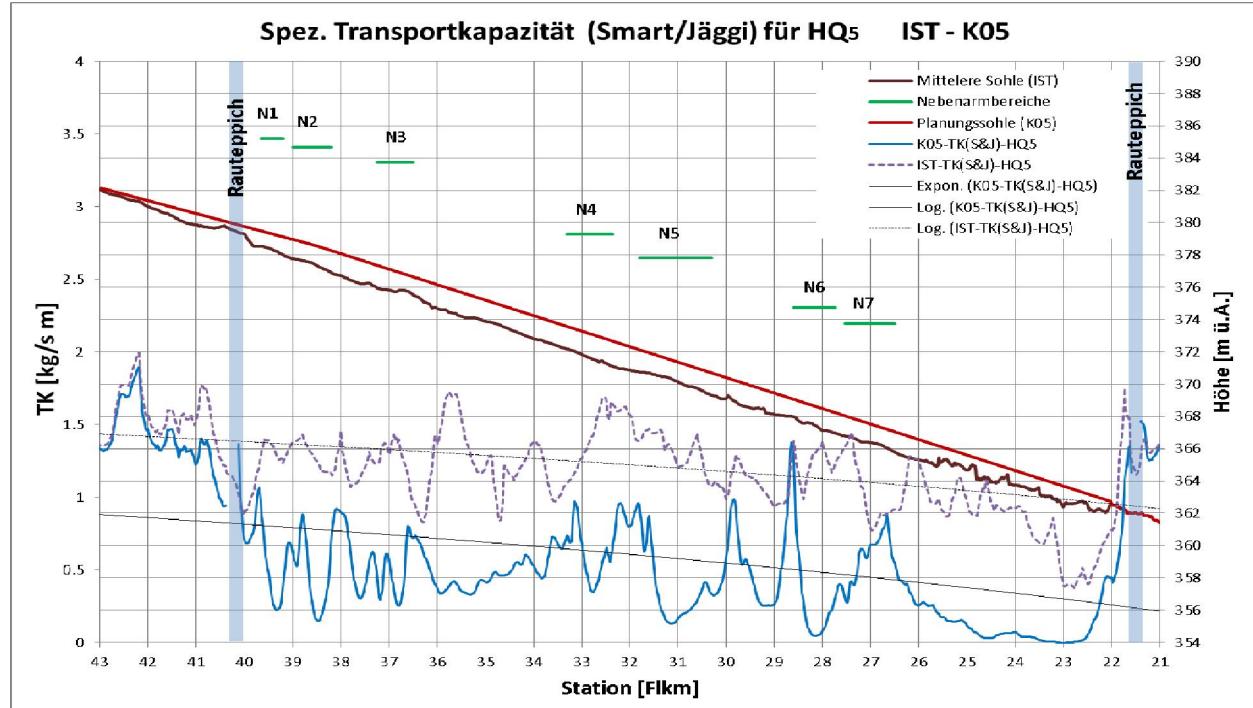


Abbildung 43: Spez. Transportkapazität – Vergleich IST-Zustand und Konzept05 bei HQ5

In den Bereichen der Furten errechnen sich jeweils die Minimalwerte. Die Ergebnisse basieren auf den 2D-Hydraulikberechnungen.

### 7.3.3.3 Feststofffrachten

Nachfolgend werden die Feststofffrachten für mittlere Jahre für den IST-Zustand und den Konzeptzustand ermittelt. Als Kalibrierungswert für die mittlere jährliche Austragsfracht wurde ein Wert von 90.000m<sup>3</sup>/Jahr angenommen. Die Annahmen der Korngrößen sind in Kap. 7.2.3 dargestellt. Als Geometrieannahme wird ein IST-Zustandsprofil mit einer mittleren Sohlbreite von 100m angenommen.

Folgende Transportansätze (Geschiebetransportansätze) wurden untersucht:

- Meyer-Peter und Müller (1949) nach DVWK
- Smart/ Jäggi (1983)
- Hunziker (1995)
- Rickenmann (1991)
- Zanke (1986)

**Tabelle 11: Frachtberechnungen IST-Zustand – Ansatzvergleich**

		Geschiebefracht m <sup>3</sup> /a		
		Berechnung	Vergleichswert	Abweichung
MP&M	dmG	197 215	90 000	219.1%
Smart/Jäggi	dmG	93 768	90 000	104.2%
Hunziker	dmG	113 275	90 000	125.9%
Rickenmann	dmG	144 947	90 000	161.1%
Zanke	d50	170 534	90 000	189.5%

Die Ergebnisse der Geschiebefrachtberechnungen ( $d_m=17\text{mm}$ ) zeigen, dass der Geschiebeansatz nach Smart/Jäggi die beste Übereinstimmung zeigt. Für die Berechnungen Transportkapazität und der Geschiebefracht wird daher dieser Ansatz gewählt.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Basisdaten große Schwankungsbreiten besitzen. Die Wahl des Transportansatzes, Korngrößenannahmen und Inputannahmen haben beträchtlichen Einfluss auf die Ergebnisse und Rückschlüsse. So bedeutet ein Streubereich für  $d_m$  von +/-3mm (Wiprecht, 1989) eine Schwankungsbreite von etwa +/- 40%, eine Streuung bei  $d_{90}$  von +/- 1mm eine Schwankungsbreite von etwa +/- 3% und eine Streuung bei  $d_{30}$  von +/-5mm eine Schwankungsbreite von +/- 5% der mittleren Jahres-Geschiebefracht.

In Abbildung 44 sind die Ergebnisse der Vergleichsberechnungen dargestellt. Der Zielwert (90.000m<sup>3</sup>) wird mit dem Ansatz von Smart / Jäggi (1983) sehr genau erreicht, üblich sind deutlich größere Abweichungen.

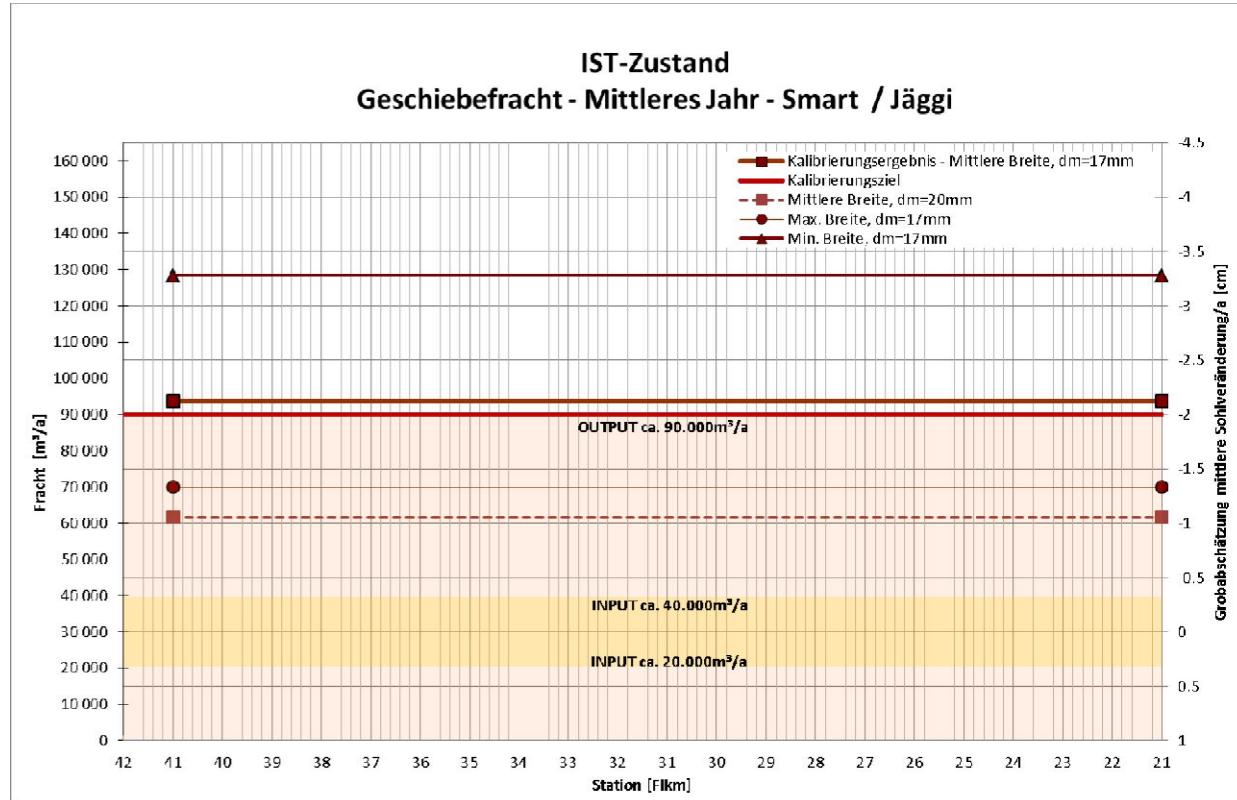


Abbildung 44: Berechnungsergebnisse IST-Zustand

In Abbildung 44 sind auch die Spannweiten der Ergebnisse mit unterschiedlichen Annahmen dargestellt. Für den IST-Zustand (Gefälle) errechnet sich eine notwendige Sohlbreite von rund 200m (Annahme Geschiebeinput 20.000m<sup>3</sup>/Jahr). Nach BECHTELER und WIEPRECHT (1998) ist im Abschnitt von Flkm 37,8 – 22,0 die, zur Stabilisierung der Sohle erforderliche, Sohlbreite auf 190 – 200m zu vergrößern (siehe Fachbericht 7 – Tab.I.3-3).

Im Anschluss wurden die Jahresfrachten des Maßnahmenkonzepts ermittelt. Dabei wurde ein mittleres Sohlgefälle von 0.85‰ (Tabelle 9) angenommen. In den Nebenarmen wurde mit geringfügig höheren Gefällewerten (0.94‰) gerechnet, um in geringem Maß die wahrscheinliche Eintiefung flussab auszugleichen (siehe Kap. 7.3.4).

Die angenommenen Sohlbreiten stellen einen maximalen Entwicklungszustand dar. Dabei liegt die mittlere Sohlbreite (Hauptgerinne) bei etwa 180m, nur in den Furten werden Sohlbreiten bis 200m vorgesehen. Die Breitenentwicklung außerhalb der Furten erfolgt eigendynamisch, die Furten werden in der Konzeptbreite hergestellt, da diese die Sohlstabilität sofort gewährleisten müssen.

Die Ergebnisse (Abbildung 45) zeigen die Wirkung der Furten und Nebenarme deutlich. In den Zwischenbereichen errechnen sich höhere Jahresfrachten. Diese liegen aber durchwegs in der Bandbreite des verbleibenden Geschiebeinputs. Überwiegend liegen die errechneten mittleren Jahresfrachten an der unteren Schranke oder darunter.

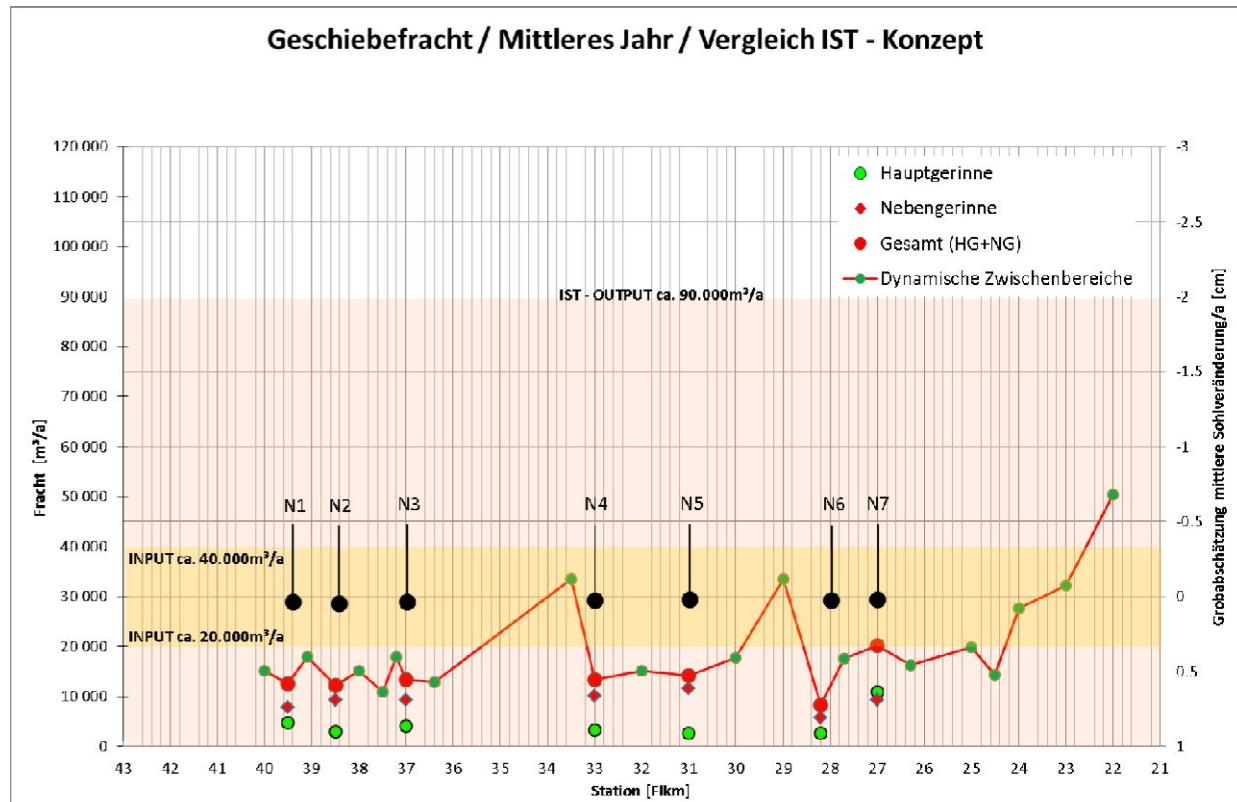


Abbildung 45: mittlere jährliche Geschiebefrachten

Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die eigendynamische Breitenentwicklung vermutlich in geringerem Ausmaß stattfinden wird, als ursprünglich geschätzt.

Die Berechnung stellt ein Annahmeszenario dar. Die Sohlentwicklungen ausgehend von den Ausgleichsgefällen (Bandbreitenberechnung) sind in Kap. 7.3.1 dargestellt.

Die Entwicklung erfolgt abhängig vom Geschiebeinput und strebt einen Gleichgewichtszustand an. Die Stärke dynamischer Konzepte liegt vor allem darin, sich an Veränderungen (Breiten-, Lauf-, Gefälleentwicklung) anpassen zu können. In Kap. 3.1.3 wird dargelegt, dass über einen größeren Zeitraum auch geringerer Geschiebe-Inputmengen als 20.000m<sup>3</sup>/s möglich sind.

### 7.3.3.4 Kolkabschätzung

#### 7.3.3.4.1 Beurteilung der Sohldurchschlagsgefahr

Die Methodik zur Beurteilung der Sohldurchschlagsgefahr wird übernommen. Im Fachbericht 4 (Geschiebemodellierung) ist diese dargelegt.

Nach ZARN (MARTI et.al, 2004) ist die mittlere Kolktiefe  $t_{K\_Mittel}$  von der räumlich gemittelten Abflusstiefe  $h$ , von der Flussbettbreite  $B_F$  und vom maßgebenden Korndurchmesser  $d_m$  des Sohlenmaterials abhängig.

$$t_{K\_Mittel} = -2.69 * h * e^{(-19.6/W)} \quad \text{mit} \quad W = \left(\frac{B_F}{h}\right) * \left(\frac{d_m}{B_F}\right)^{0.3}$$

Dabei ist zu klären, ob die Ergebnisse der Kolkiefenberechnung im Längenschnitt die Überdeckung (Planzustand) gegenüber den Seetonschichten unterschreiten. Falls dies zutrifft sind die Längen des möglichen Durchschlags zu ermitteln und darzustellen.

Mit ausreichender Sicherheit gegenüber Sohldurchschlag ist erst dann zu rechnen, wenn die mittleren Kolke nicht über eine größere Länge (> 600 m) in die feine Unterschicht einschneiden.

Die Berechnungen werden für die Sohlbreiten ( $B_F$ ) von 160m, 180m und 200m mit  $d_m$ -Werten von 17mm und 20mm durchgeführt.

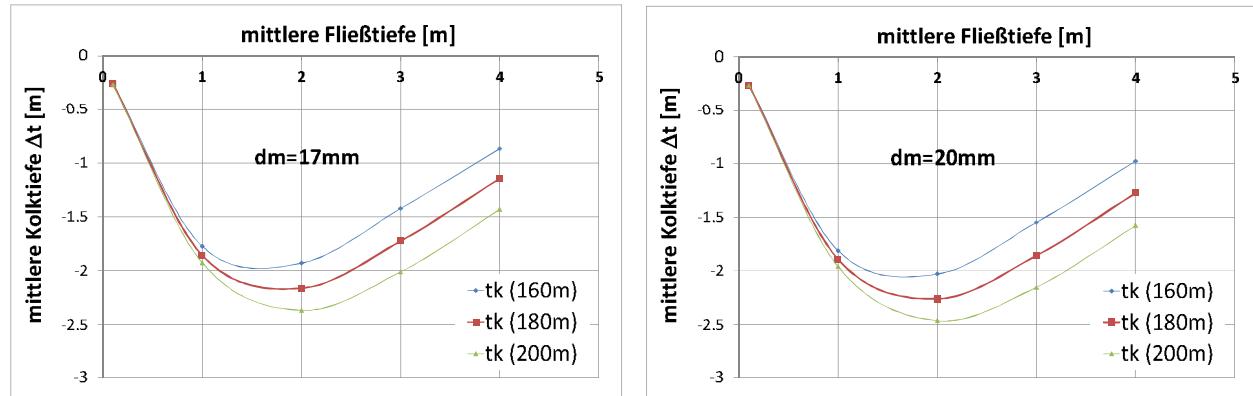
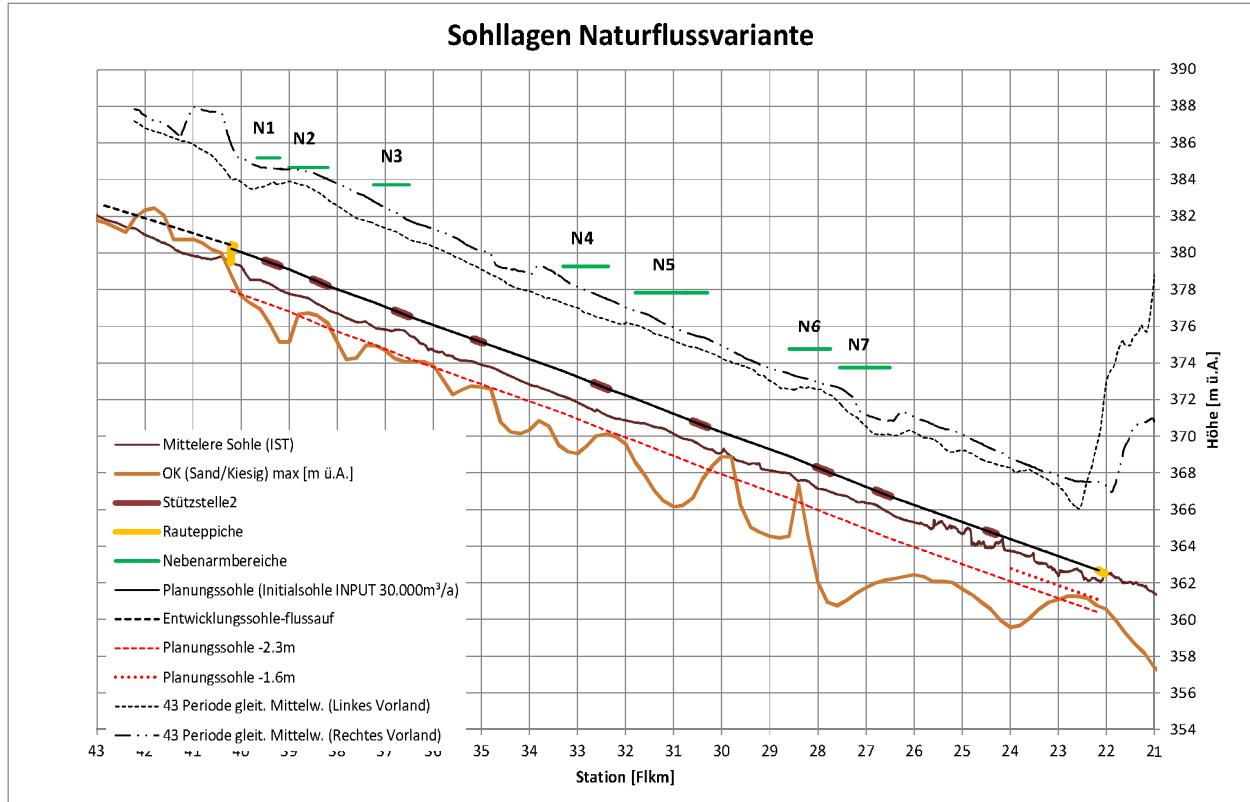


Abbildung 46: Bestimmung der mittleren Kolktiefe nach Zarn (1997) aus Marti (2003)

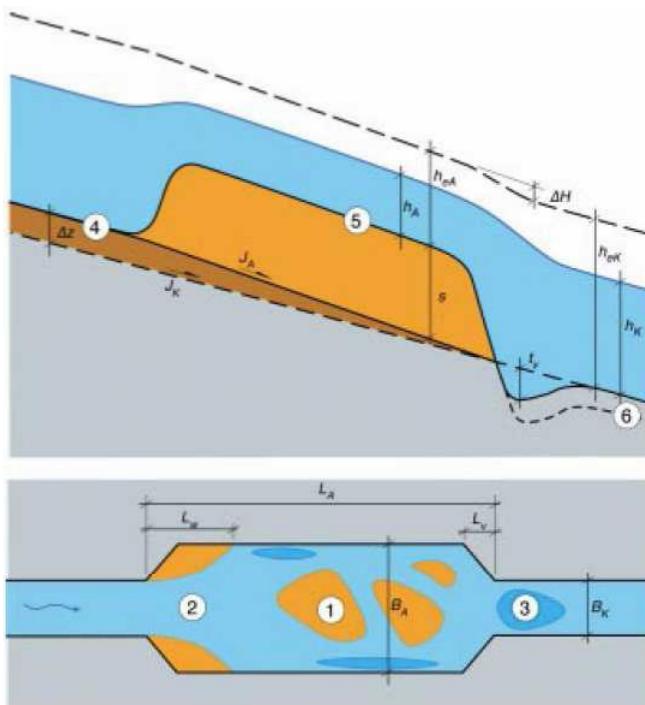


**Abbildung 47: Sohlzustand (IST- und Planzustand) mit Stützstellen und Kolkabschätzung**

In Abbildung 47 ist die mittlere mögliche Kolktiefe eingetragen. Die mittlere erwartete Entwicklungs-Sohlbreite beträgt etwa 180m. Im unteren Maßnahmenbereich liegt die erwartete Entwicklungs-Sohlbreite deutlich darunter (ca. 140-160m). Es zeigt sich, dass praktisch nirgends die feinen Sand-/Kies-Schichten berührt werden. In den gefährdeten Stellen, in denen die Feinsedimentschichten näher an die Sohllagen heranreichen, werden die Sohlhöhen durch die konzipierten Stützstellen stabilisiert. Jede Stützstelle stellt eine Erosionsbasis dar, in den Zwischenbereichen ist die Ausbildung von größeren, tieferreichenden Kolken nur eingeschränkt möglich.

### 7.3.3.4.1.1 Zusammenströmungskolk

Wie in Kap. 5 ausgeführt, stellen die Übergänge von Flussaufweitungen in verengte Gewässerabschnitte (ev. in regulierte Abschnitte) Problembereiche dar. Speziell bei erodierenden Flüssen treten hier verstärkt Probleme auf.



Vergleichbare Prozesse führen bei Gerinne-Vereinigungen zu entsprechenden Kolkerscheinungen.

Hunzinger (1995, 2003) führt aus, dass die am unteren Ende einer Aufweitung entstehenden Sekundärströmungen lokal einen tiefen Kolk verursachen können. Dieser ist umso tiefer, je größer das Verhältnis der beiden Flussbettbreiten, der Verengungswinkel oder der Abfluss sind. Seine Länge entspricht etwa 3 bis 5mal der Breite des Unterwassers.

Abbildung 48: Prinzip Aufweitung (Hunzinger, 2003)

Für die Berechnung der Tiefe des Kolks bietet Hunzinger folgenden Berechnungsansatz an:

$$t_{vDim} = h_k - h_A (2.70 * K_\delta * \ln \omega + 1) \quad \text{mit} \quad \omega = \left( \frac{B_A}{B_K} \right)^{0,36} * \left( \frac{h_A}{h_K} \right)^{-1,78}$$

Darin sind  $h_A$  die Abflusstiefe in der Aufweitung und  $h_K$  diejenige im Unterwasser enthalten/sichtbar.  $K_\delta$  ist ein Korrekturfaktor, der den Verengungswinkel berücksichtigt. Der Breitenwert  $B_A$  stellt die Sohlbreite in der Aufweitung bzw. die Summe der Verzweigungsbreiten dar, der Breitenwert  $B_K$  stellt die Sohlbreite im Zusammenströmungsbereich dar. Es ist  $K_\delta = 1$  bei einer Verengung von  $45^\circ$  und mehr und  $K_\delta = 0,7$  bei einer Verengung von  $25^\circ$ .

Für die Abflusstiefen wird der Wert für  $HQ_1$  (mittlere Annahme) und zum Vergleich die Abflusstiefe für  $HQ_5$  verwendet. Der maßgebliche Abflusswert liegt etwa bei  $HQ_2$ . Für die Breite  $B_K$  wird die Breite des minimalen Entwicklungszustands, ein um 20m reduzierter Wert und für  $K_\delta$  ein Wert von 0,7 (kontinuierlicher Übergang) angenommen. Weiters wurde die Annahme einer um 30 cm verringerten Wassertiefe  $BA$  getroffen, um die angestrebte Sohlanhebung in den Furtbereichen vorwegzunehmen (für die Kolktiefe ungünstige Annahme).

Die Ergebnisse für unterschiedlichen Entwicklungsannahmen zeigen mögliche mittlere Kolktiefe bei  $HQ_1$  von 0,9-1,4m und bei  $HQ_5$  von 1,1-1,6m (höchster Wert jeweils bei N2 mit um 30cm verringter Wassertiefe  $h_A$ ). Diese Werte liegen deutlich unter den errechneten Werten für  $t_{K\_Mittel}$  (Kap. 7.3.3.4.1.). Eine Gefährdung der Sohlstabilität besteht daher nicht. Vielmehr verringert eine breite und lange Eintiefung das Gefälle bis zur nächsten flussab gelegenen Stützstelle und verringert in diesem Abschnitt die Transportkapazität.

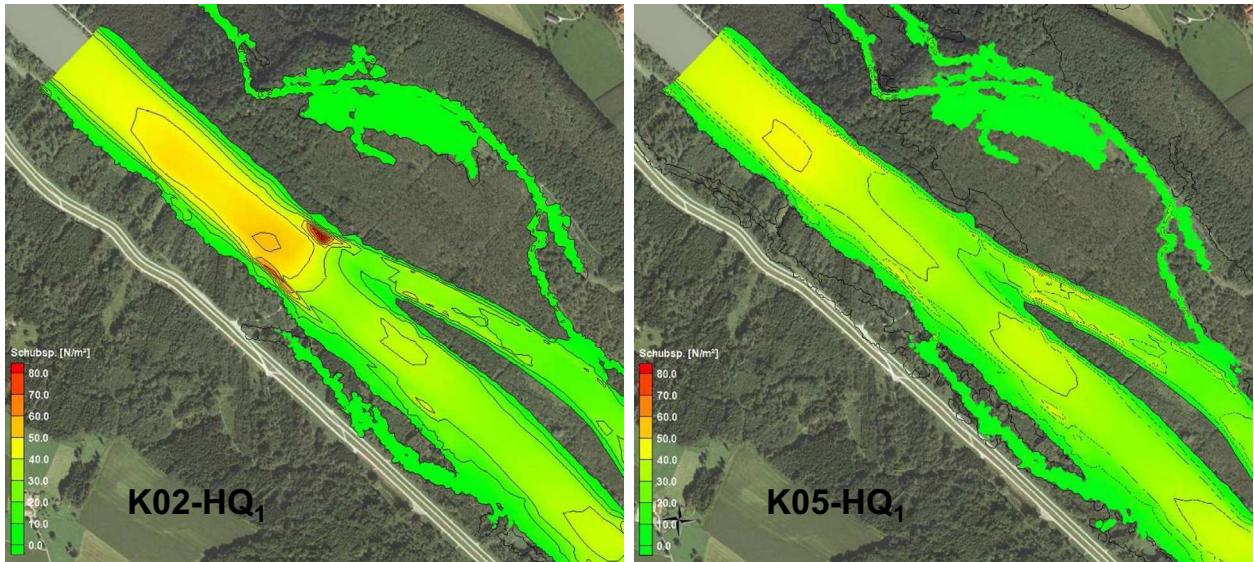


Abbildung 49: Geometrieeinfluss auf die Zusammenström-Situation

Die Optimierungsschritte im Rahmen der Maßnahmenentwicklung zeigen die Wirkungen der Zusammenström-Geometrie (Übergang/Breite) auf die Sohlbelastungen. In Abbildung 49 sind die Sohlschubspannungen beim N4 in den unterschiedlichen Entwicklungsstadien dargestellt. So verändern die Breite und Übergangsform maßgeblich die Sohlbelastungen und damit die möglichen Kolkausbildungen.

Durch die Systementkopplung (vorzugsweise Rautenpflanze) ist unterhalb des letzten geplanten Bauabschnitts (Nonnreiter Enge – siehe Lageplan) eine entsprechende Kolksicherung gegeben. Hier besteht eine natürliche Erosionsbasis, die Notwendigkeit eines Bauwerks ist daher fraglich.

### 7.3.3.5 Granulometrisches Erfordernis

Für die Festlegung des granulometrischen Erfordernisses werden die Furtbereiche mittels der Analysemethode ERO-SED (siehe Kap. 7.1.1.2.1) analysiert. Hierbei wird die mögliche Mobilisierung eines Sohlmaterials untersucht und graphisch dargestellt. Dabei bedeuten die Farbverläufe Grün bis Hellgrün Stabilität (Sedimentation), Weiß Bewegungsbeginn und Hellgelb bis Rot Bewegung (Erosion). Die Farbintensität (Grün-Rot) zeigt den Grad der Bewegung.

In den nachfolgenden Abbildungen ist die Bewertung nur für die Furtbereiche aussagekräftig, da nur hier die granulometrische Vergrößerung vorgesehen ist.

In Abbildung 50 ist der Zustand der Sohle mit dem zu erwartenden (und herzustellenden) Deckschichtmaterial (IST-Zustand,  $d_{mD} = 38\text{mm}$ ) dargestellt. Gut zu erkennen ist die stabilisierende Wirkung der Furten bis HQ<sub>5</sub>.

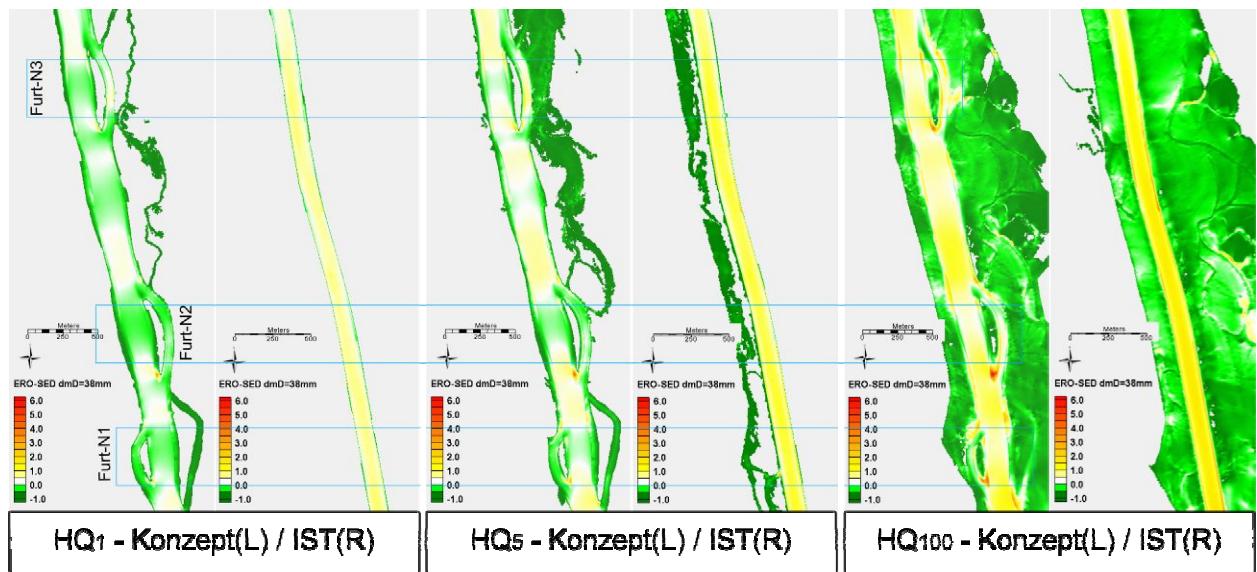


Abbildung 50: Sohlstabilität (ERO-SED) mit mittlerem dmD (38mm)

In Abbildung 51 sind die Ergebnisse bei Annahme eines mittleren Korndurchmessers der Deckschicht ( $d_{mD}$ ) von 60mm dargestellt. Es zeigt sich, dass selbst bei HQ<sub>100</sub> in den Furten praktisch keine Mobilisierung des Materials stattfindet. In Abbildung 52 sind die Ergebnisse für die Annahme eines  $d_{mD}$  von 80mm dargestellt.

Berücksichtigt werden muss, dass nicht Einkornmaterial sondern Korngemische die Deckschicht bilden. Der abgeschätzte, notwendige  $d_m$  - Wert stellt somit nur einen Richtwert für die Materialzusammensetzung dar. Für die granulometrischen Stabilisierungen sollte aber ein  $d_{mD}$ -Wert von 80mm ausreichen um die Stabilität der Furten zu gewährleisten. Die genaue Festlegung erfolgt im Rahmen einer weiterführenden Maßnahmenplanung.

## Maßnahmenkonzept Untere Salzach - Naturflussvariante

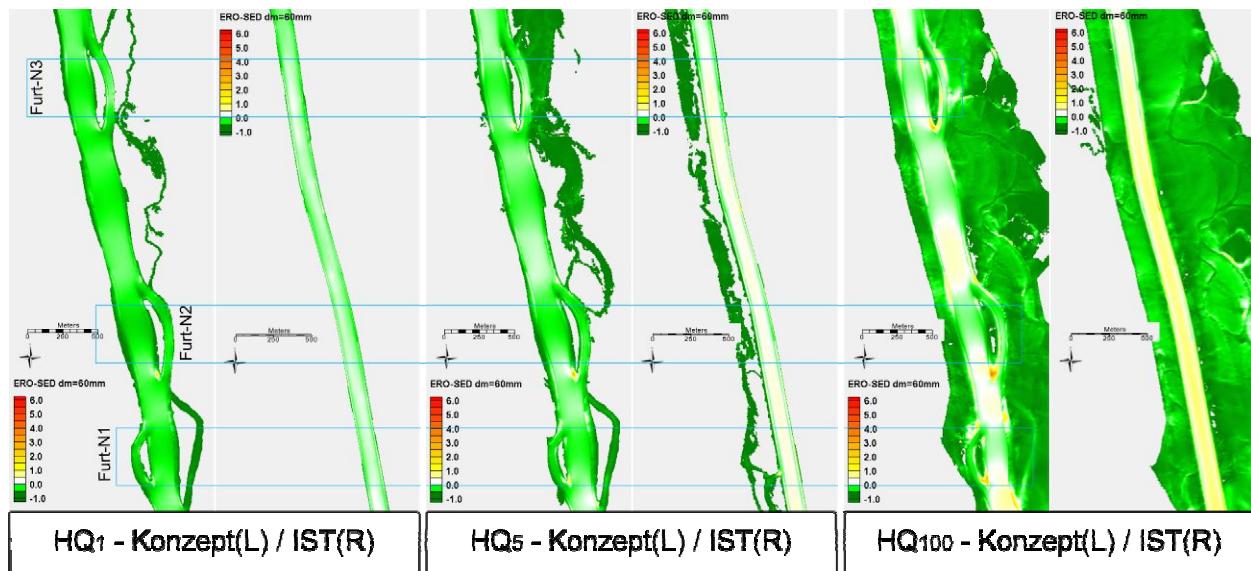


Abbildung 51: Sohlstabilität (ERO-SED) mit vergrößertem dmD=60mm

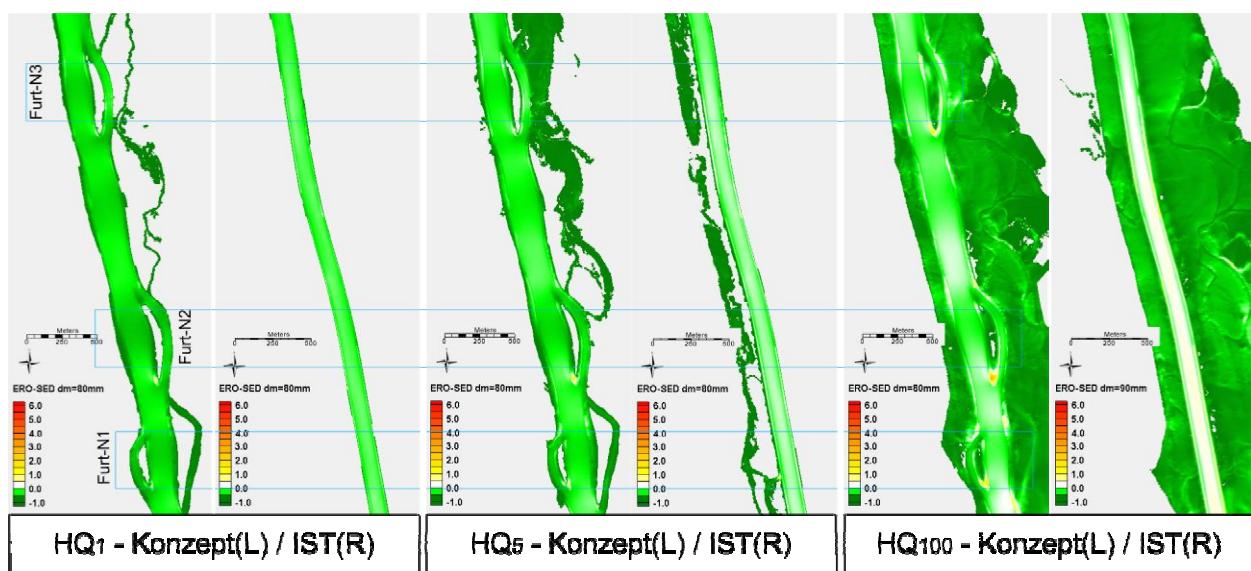
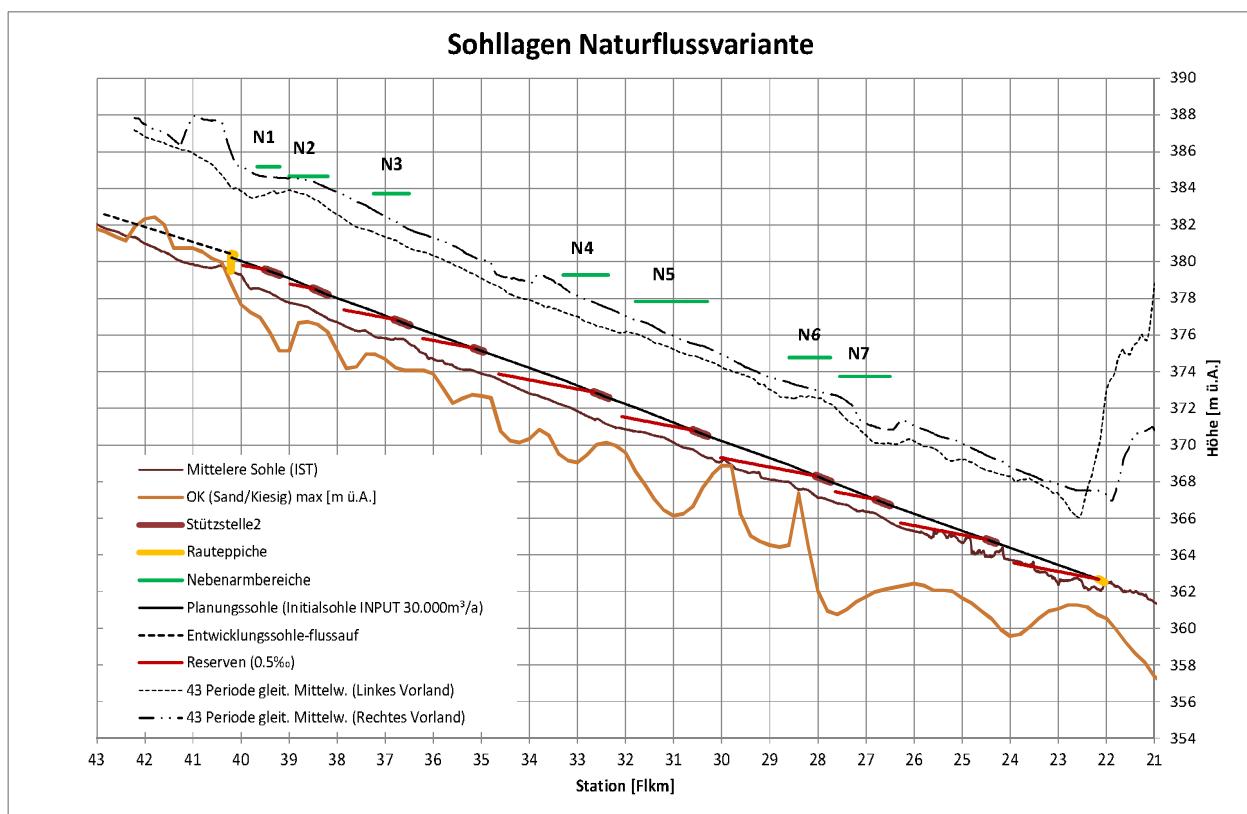


Abbildung 52: Sohlstabilität (ERO-SED) mit vergrößertem dmD=80mm

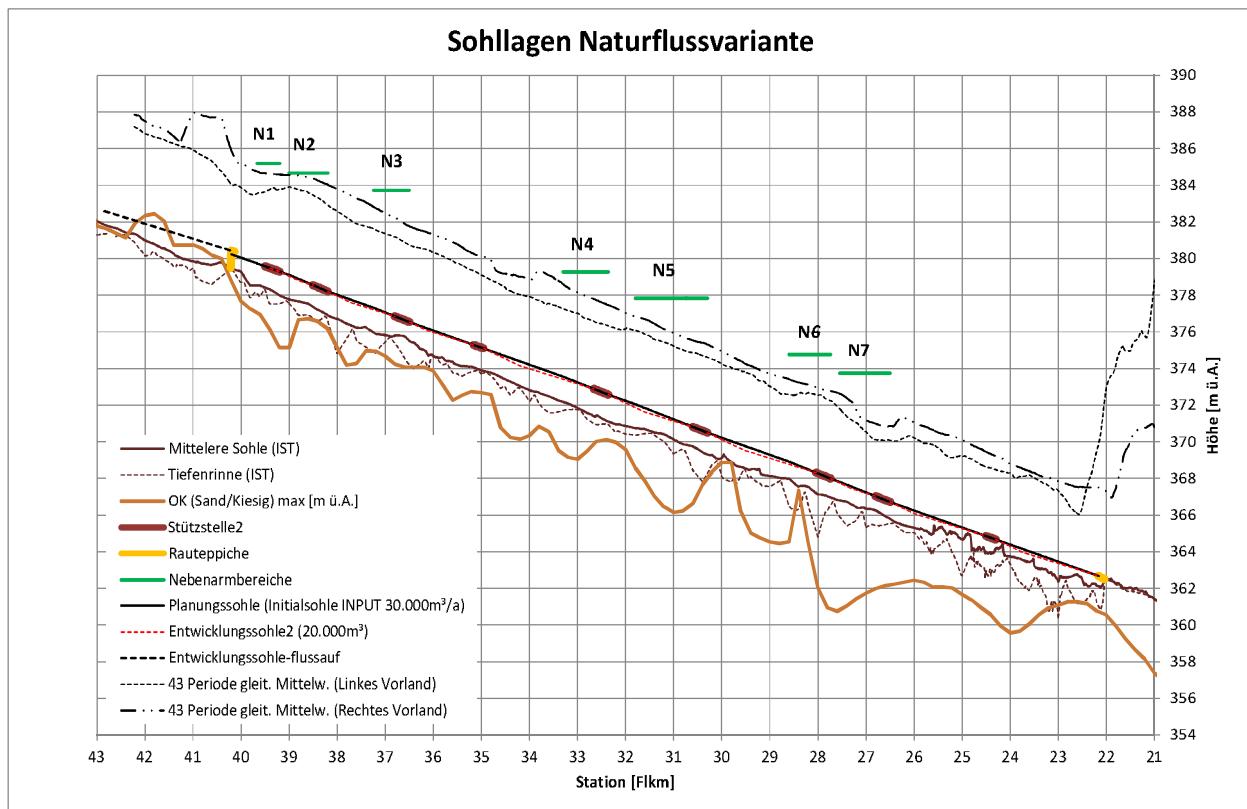
### 7.3.4 Sohlentwicklungsabschätzung - Auswirkungen der Transportkapazitätsberechnungen und Frachtermittlungen auf die Sohllagen

Rückrechnungen aus den Transportkapazitäten und Jahresfrachtberechnungen zeigen, dass bei einem Gefälle von rund 0,5‰ praktisch kein Geschiebetransport mehr stattfindet. Dieser Wert stellt somit das absolute theoretische Gefälleminimum dar. In Abbildung 53 ist eine Sohlentwicklung ausgehend von den Stützstellen mit diesem Minimalwert dargestellt um das theoretisch mögliche Eintiefungspotential darzustellen. Lokal sind größere Tiefenerscheinungen und Kolke möglich (siehe Kap. 7.3.3.4), diese gefährden aber nicht das Gesamtsystem.



**Abbildung 53: Sohlzustand (IST- und Planzustand) mit Stützstellen (Erosionsbasis und minimaler Sohlneigung)**

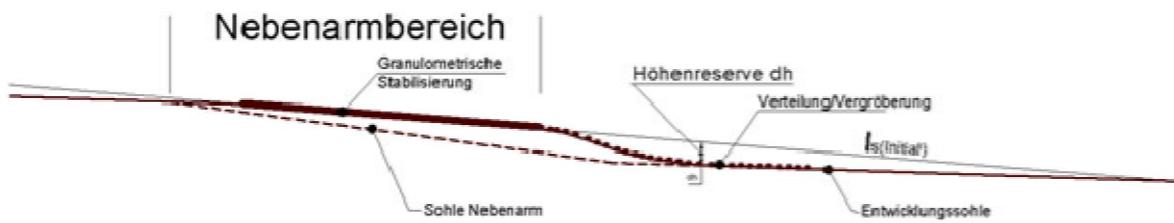
In Abbildung 54 ist eine mögliche Sohlentwicklung bei der Annahme eines mittleren jährlichen Geschiebeintrags von 20.000 m<sup>3</sup> (ungünstigste Annahme) dargestellt. Grundlage der Berechnungen sind die ermittelten Sohlneigungen auf Basis des Ausgleichsgefälles. In Tabelle 9 sind diese Ergebnisse zusammengefasst. Dabei wurde als Initialsohle die Ausgleichssohle bei einem mittleren jährlichen Geschiebeintrag von 30.000 m<sup>3</sup> gewählt. Im Fall einer Unterschreitung wäre ein Höhenunterschied von weiteren 1,4 m zu überwinden. Dies erfolgt über die Höhenreserven zwischen den Stützstellen. Im Mittel würde für diesen Fall eine Eintiefung zwischen zwei Stützstellen von 14 cm nötig sein.



**Abbildung 54: Sohlzustand (IST- und Planzustand) mit Stützstellen und Entwicklungsabschätzung**

Natürlich stellt sich die Frage nach der Systemstabilität durch die Möglichkeit einer Verlandung eines Nebenarms.

Die Verlandung eines Nebenarms führt zwangsläufig zu erhöhten Transportkapazitäten im Hauptgerinne. Durch die Höhenstabilisierung der Furt würde der flussab gelegene Gewässerabschnitt erhöht belastet, eine stärkere Eintiefung flussab wäre möglich.



**Abbildung 55: Schemaskizze – Auswirkung verstärkte Unterwassereintiefung**

Dies bedeutet aber gleichzeitig ein höheres Gefälle im Nebenarm, die Transportkapazität nimmt im Nebenarm zu und wirkt einer Verlandung entgegen (dynamischer Prozess). Die Stützstellen wirken weiterhin als Erosionsbasis, die Eintiefung kann daher nur in begrenztem Maß erfolgen

(siehe Abbildung 53). Die Breitenlimitierung des Ausströmbereichs in den Nebenarm limitiert wiederum die Dynamik im Nebenarm, das System strebt einen Gleichgewichtszustand an, die Dynamik der Entwicklung erfolgt daher kontrolliert und ist falls erforderlich einfach regulierbar.

## 8 KO-Kriterien

Es wurde vereinbart (siehe Kap. 4.2), die im Kriterienkatalog (Verfasser SKI/PIGe-NM) als KO-Kriterien für eine Beurteilung der Machbarkeit angeführten Anforderungen zusätzlich zur fachlichen Beurteilung heranzuziehen. Dabei wurde weiters vereinbart, dass es für den Nachweis einer Machbarkeit ausreichend ist, die jeweiligen Kriterien mit fachlich fundierten Begründungen und Nachweisen zu belegen.

Die nachfolgenden Kriteriums-Definitionen sind dem Kriterienkatalog entnommen (Quelle PlaGe/SKI).

### 8.1 Kriterien

#### 8.1.1 Kriterium 1.5 Risiko von Zwischenzuständen, die weitere Baumaßnahmen für das Erreichen der Projektziele erfordern

<b>Kriterium 1.5: Risiko von Zwischenzuständen, die weitere Baumaßnahmen für das Erreichen der Projektziele erfordern (Hochwasserschutz, Uferschutz, Sohlstabilität)</b>	
Zielfunktion	
Punkte	Beschreibung
4	kein Risiko
3	geringes Risiko
2	mittleres Risiko
1	hohes Risiko
0	<b>Beherrschbarkeit nicht gesichert</b>
<b>Erläuterung:</b> Die Bewertung erfolgt auf Basis von Ergebnissen bzw. Überlegungen zur Umsetzung der Maßnahmen (z.B. Umsetzungskonzept von 2005 für die Sanierungsvarianten). Zu betrachten sind sowohl Risiken hinsichtlich der Sohlstabilität, des Uferschutzes als auch des Hochwasserschutzes bei kritischen Zwischenzuständen.	

Die Wasserspiegellagen werden gegenüber dem IST-Zustand überwiegend abgesenkt. Nur beim Übergang in die Nonnreiter Enge errechnen sich geringfügig erhöhte Wasserspiegellagen. Diese Erhöhung ist im Rahmen einer weitergehenden Planung planerisch kompensierbar und resultiert aus der Lage des Rautteppichs flussab (siehe Kap. 7.3.2). In diesem Bereich befinden sich weder Siedlungsbereiche noch Infrastruktureinrichtungen. Es besteht daher kein Hochwasserschutzbedarf.

Der Uferschutz bleibt in den Siedlungs- bzw. Infrastrukturbereichen (Tittmoning und Tittmoninger Brücke) unverändert. Die Belastungen auf die bestehenden Verbauungen werden deutlich reduziert.

In den Aufweitungen wird durch zurückversetzte Ufersicherungen eine unkontrollierte Laufverlegung ausgeschlossen, innerhalb dieses Bereichs ist eine dynamische Sohlentwicklung ein Projektziel gemäß Vorgaben (WRRL, WRG, RIWA-T und Planungsvorgaben).

Die Sohlstabilität wird durch die Aufweitungen und die vorhandenen Seitenerosionspotenziale erreicht und durch insgesamt 9 Stützstellen, welche jeweils eine Erosionsbasis bilden, sichergestellt.

Ein Risiko von Zwischenzuständen, die weitere Baumaßnahmen für das Erreichen der Projektziele erfordern (Hochwasserschutz, Uferschutz, Sohlstabilität), besteht nicht.

### 8.1.2 Kriterium 2.1 - Vorhersagbarkeit der Sohlentwicklung

Kriterium 2.1: Vorhersagbarkeit der Sohlentwicklung	
Zielfunktion	
Punkte	Beschreibung
4	gesichert
3	mit geringen Unsicherheiten
2	
1	mit großen Unsicherheiten
0	<b>mit derzeitigen Methoden nicht vorhersagbar</b>

**Erläuterung:** Die Sohlentwicklung in Folge der geplanten Maßnahmen muss sowohl zeitlich als auch örtlich vorhersehbar sein. Die Beurteilung mit Hilfe folgender Gesichtspunkte bzw. Fragen:

- existieren Methoden, um die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen vorhersagen zu können?
- Wie gesichert sind diese Methoden in Bezug auf die geplanten Maßnahmen?
- Wie groß sind die Unsicherheiten in den Aussagen?

Durch die vorgesehenen Stützstellen in den Furtbereichen ist eine Sohleintiefung lediglich in den Zwischenbereichen möglich. Durch die Stützstellen ist der Umfang dieser Eintiefungen aber eingeschränkt. Die Systemstützstellen lassen einen Eintiefungstrend nicht zu, die Vorhersehbarkeit, ausgehend von der Bandbreite des anzunehmenden Feststoffinputs, ist daher gewährleistet.

Die Stabilität der Stützstellen ist abhängig vom Grad der Vergrößerung. Die Berechnungsverfahren/-formeln (Sohlschubspannungen, Transportkapazitäten) sind Stand der Technik. Die Sicherheiten der Aussagen können als „sehr sicher“ bis „mit geringen Unsicherheiten“ beschrieben werden.

In Kap. 7.3 sind die Berechnungsergebnisse dazu dargestellt.

### 8.1.3 Kriterium 2.2 - langfristige Stabilität der Sohle

Kriterium 2.2: Langfristige Stabilität der Sohle	
Zielfunktion	
Punkte	Beschreibung
4	mit Sicherheit erreichbar
3	mit hoher Wahrscheinlichkeit erreichbar
2	Grenzbereich
1	Erreichbarkeit sehr unsicher
0	<b>nicht erreichbar</b>

**Erläuterung:** Die langfristige Sohlstabilität betrifft das Erreichen einer Sohllage im morphodynamischen Gleichgewichtszustand nach Umsetzung der Maßnahmen sowie nach der Anpassung der Salzach an die Maßnahmen. Dabei wird ein Zeitraum von 90 Jahren angesetzt. Ausgehend vom prognostizierten Endzustand wird mit Hilfe eines Geschiebetransportmodells geprüft, ob sich die Sohle im Mittel einer stabilen Endlage annähert. Diese muss nach spätestens 90 Jahren erreicht werden. Es werden exemplarisch Querschnitte betrachtet, die möglichst weit von etwaigen Sohlfixpunkten entfernt liegen. Dabei werden zwei Szenarien betrachtet:

- Szenario 1: Geschiebeeintrag = 40.000 m<sup>3</sup>/a; d<sub>m</sub> = 20 mm
- Szenario 2: Geschiebeeintrag = 40.000 m<sup>3</sup>/a; d<sub>m</sub> = 17 mm

Abgrenzung der Bewertungsstufen:

- 4 Punkte: Beide Szenarien ergeben eine dynamisch stabile Endlage der mittleren Sohle.
- 3 Punkte: Dynamisch stabile Endlage in Szenario 1, Szenario 2 zeigt eine deutliche Verflachung des Trends innerhalb von 90 Jahren (max 1 cm pro Jahr).
- 2 Punkte: Dynamisch stabile Endlage in Szenario 1, Szenario 2 zeigt eine deutliche Verflachung des Trends innerhalb von 90 Jahren (größer 1 cm pro Jahr).
- 1 Punkt: Szenario 1 zeigt nur eine deutliche Verflachung des Trends an.
- 0 Punkte: Beide Szenarien ergeben keine dynamische Endlage der Sohle. Eine deutliche Trendverringerung innerhalb von 90 Jahren ist nicht ablesbar.

Für Kriterium 2.2 gilt im Wesentlichen das gleiche wie für Kriterium 2.1. Die stabilisierten Stützstellen lassen eine generelle Sohleintiefung nicht mehr zu, die Zwischenbereiche sind durch die Stabilisierungen in der Eintiefung limitiert. Die Entwicklungsbreiten in Kombination mit den Potentialen der Seitenerosion bilden ein stabil(isiert)es Gleichgewichtsgefälle aus. Die Seitenerosion und damit die Breitenentwicklung erfolgt abhängig von den geometrischen, hydrologischen, granulometrischen (verfügbares Material) Faktoren, sowie dem Geschiebe-Input und strebt einen Gleichgewichtszustand an. Der angestrebte Endzustand der Sohlhöhe wird vorweggenommen und stabilisiert. Die angestrebten Gefälle- und Breitenverhältnisse

werden überwiegend nur initiiert. Weiters stehen ausreichend Reserven aus der Seitenerosion für die Entwicklung eines stabilen Entwicklungszustands zur Verfügung.

Die Überprüfung kann mittels Geschiebetransportmodellen erfolgen. Die Eignung für Gerinnesysteme mit verzweigten Abflussverhältnissen ist jedoch zu beachten. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Varianten muss auch das gleiche Geschiebetransportmodell verwendet werden. Für die Machbarkeitstudie ist keine Durchführung einer Langzeitanalyse mittels Geschiebetransportmodell vorgesehen oder erforderlich. Dies wurde gemeinsam mit der PlaGe, dem AG-Gremium und den zugezogenen Experten vereinbart.

Auf Basis der Berechnungen und Annahmen kann nach aktuellem Wissensstand von einer langfristigen Stabilität der Sohle ausgegangen werden.

In Kap. 7.3.1 (speziell Kap.7.3.4) sind die Berechnungsergebnisse dazu dargestellt.

### 8.1.4 Kriterium 2.3 - Sicherheit gegen Sohldurchschlag

Kriterium 2.3: Sicherheit gegen Sohldurchschlag	
Zielfunktion	
Punkte	Beschreibung
4	ausreichend (kein Einschneiden in den feinen Untergrund)
3	lokal nicht ausreichend (Einschneiden in den feinen Untergrund < 800 m)
2	
1	<b>auf längeren Strecken nicht ausreichend</b>
0	<b>durchgehend nicht ausreichend</b>

**Erläuterung:** Die Sicherheit gegen Sohldurchschlag wird unter Berücksichtigung des Geschiebeintrags in die Untersuchungsstrecke beurteilt (Szenario 1: Geschiebeintrag 40.000 m<sup>3</sup> pro Jahr, Szenario 2: Geschiebeintrag 20.000 m<sup>3</sup> pro Jahr). Die Basis für die Beurteilung bilden die Geschiebetransportberechnungen für eine Langzeitprognose mit der geplanten Sohllage. Die Bewertung erfolgt durch einen Vergleich der berechneten Sohllage aus der Langzeitprognose im Vergleich zum Längsprofil des sohldurchschlagsgefährdeten Untergrunds unter Berücksichtigung der mittleren Kolktiefe. Die mittlere Kolktiefe als „Gegenstück“ zu einer Kiesbank ist unter anderem von der Gewässerbreite abhängig. Maßgebend für die Bewertung ist also der durch die geplanten Maßnahmen erzeugte Kiespuffer über dem feinen Untergrund.

Dieses Kriterium ist in Verbindung mit dem Kriterium 2.6 zu sehen. Hier wird der Umfang der Maßnahmen beurteilt, mit denen in Teilstrecken ein Einschneiden in den feinen Untergrund über längere Strecken vermieden werden kann.

Für Kriterium 2.3 gilt im Wesentlichen das Gleiche wie für Kriterium 2.1 und 2.2. Die stabilisierten Stützstellen lassen eine generelle Sohleintiefung nicht mehr zu, die Zwischenbereiche sind durch die Stabilisierungen in der Möglichkeit der Eintiefung limitiert. Es besteht ausreichend Sicherheit gegenüber Sohldurchschlag.

In Kap. 7.3.3.4 wird der entsprechende Nachweis analog WRS - Fachbericht 4 geführt, in Kap. 6.2. werden die Bereiche außerhalb des Projektbereichs (Maßnahmen in den Engen) erörtert.

### 8.1.5 Kriterium 2.4 - Risiko unkontrollierter Laufverlagerungen

Kriterium 2.4: Risiko unkontrollierter Laufverlagerungen	
Zielfunktion	
Punkte	Beschreibung
4	kein Risiko
3	geringes Risiko
2	
1	hohes Risiko
0	<b>sehr hohes Risiko</b>
<b>Erläuterung:</b> Insbesondere im Zusammenhang mit Weichen Ufern hat dieses Kriterium eine hohe Bedeutung. Eine selbständige Verlagerung des Flusslaufes in Bereiche außerhalb der vorgegebenen Grenzen ist mit dem Ziel der Sohlstabilität unvereinbar. Dies könnte	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ zur Umströmung von Sohsicherungsmaßnahmen führen,</li> <li>▪ zur Inanspruchnahme von nicht für das Projekt vorgesehenen Grundstücken (Privateigentum),</li> <li>▪ zu einem Sohldurchschlag bei höheren anstehenden feinen Schichten in diesen Bereichen,</li> <li>▪ zur massiven Geschiebeablagerung in Senken in Verbindung mit einem Geschiebedefizit flussab.</li> </ul>	
Basis für die Bewertung sind folgende Gesichtspunkte:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grundrissform des Flusses im Entwurf</li> <li>▪ Konzept der Ufersicherung – Weiche Ufer</li> <li>▪ verfügbarer Gewässerentwicklungsraum</li> <li>▪ soilmorphologisch verursachte, gegen das Ufer gerichtete Strömungsverhältnisse</li> <li>▪ Häufigkeit der großflächigen Ausuferungen in die Au.</li> </ul>	

Die IST-Zustandssohle liegt bis zu mehr als 4 m unterhalb der Urzustands-Sohllage. Trotz aktiver Sohlanhebung (ca. 1-1,2m) liegt der Konzeptzustand noch deutlich unterhalb des Ist-Zustands (bis ca. 3m). Ein geometrisch eindeutiger Talweg ist daher vorgegeben.

Die ursprünglich erkennbare hohe Dynamik der Laufverlegung (1817) resultiert vor allem aus dem geringen Höhenunterschied zwischen den ursprünglichen Sohllagen und dem Vorland (Abbildung 5). Das Gebiet oberhalb der ursprünglichen Sohllagen war aufgrund der hohen Überflutungshäufigkeit und dem Feststoffüberschuss von Bereichen hoch mobiler Sedimente durchzogen, wodurch eine hohe horizontale Laufvariabilität gegeben war.

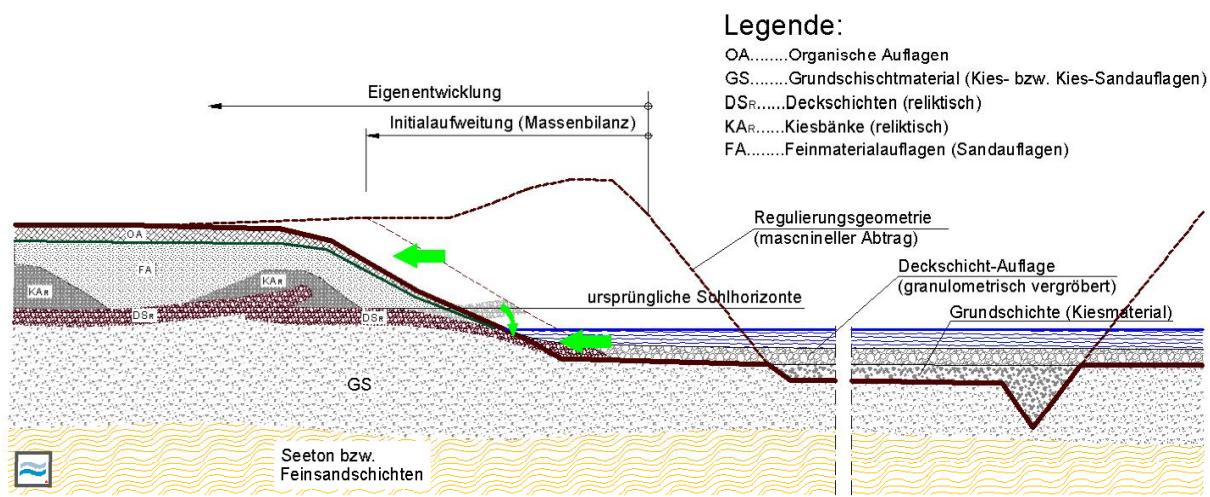
Dieser Zustand existiert nicht mehr. Die Konzept-Sohllagen befindet sich im Bereich von Kiesschichten (Abbildung 56), die leicht mobilisierbaren Feinsedimentschichten befinden sich

## Maßnahmenkonzept Untere Salzach - Naturflussvariante

trotz Sohlanhebung deutlich über MW und die Salzach befindet sich mittel- bis langfristig (Aussage WRS, Planungsteam und beigezogene Experten) im Zustand eines Feststoffmangels bzw. Feststoffdefizits.

Die relikтивischen Sohlablagerungen (Deckschichten ( $DS_R$ ) – Abbildung 56) bilden im Untergrund weitere Widerstände gegenüber horizontaler Laufverlagerungen.

Eine ähnlich dynamische Horizontalentwicklung wie jene vor der Regulierung ist trotz Sohlanhebung daher auch langfristig nicht mehr möglich.



**Abbildung 56: Prinzip Skizze Laufentwicklung**

Das vorliegende Konzept beinhaltet zusätzlich stabilisierende Elemente (Lagefixierungen der Ausleitungsgebiete von Nebenarmen - siehe Kap. 6.1) und limitierende (zurückversetzte Sicherungen - siehe Kap. 6.1.7 und Lageplan) Elemente. Diese Elemente berücksichtigen die Planungsvorgaben einer vorhersehbaren Sohlentwicklung und der beschränkten Raumverfügbarkeit und stellen eine weitere Sicherheit gegen die Möglichkeit einer, in größeren Umfang auftretenden, Laufverlagerung dar (siehe Lageplan).

Die Gefahr einer unkontrollierten Laufverlagerung ist daher weitgehend auszuschließen. Eine Erhöhung der Dynamik ist wünschenswert und aus fachlicher Sicht positiv für eine Sohlstabilität, ist jedoch von der Raumverfügbarkeit abhängig.

Es muss hier auch angemerkt werden, dass die Bezeichnung „Gefahr einer unkontrollierten Laufverlagerung“ lediglich bei einer limitierten Raumverfügbarkeit bzw. für die Beurteilung von Varianten mit künstlichen Anhebungs- bzw. Anstaubereichen (Schwellen oder Wehre) gültig ist. Im Falle einer unlimitierten Raumverfügbarkeit naturnaher Konzepte wäre der Begriff „Gefahr“ durch den Begriff „Chance“ zu ersetzen.

In einem natürlichen Gewässer weist eine „unkontrollierte“ Laufverlagerung zumeist auf einen Feststoffüberschuss oder zumindest auf einen ausgeglichenen Feststoffhaushalt hin, eine Gefährdung hinsichtlich Sohleintiefung oder Sohdurchschlag (wesentlicher Bestandteil aller Planungskonzepte) wäre daher nicht gegeben. Außerdem sind dynamische Laufveränderungen das Merkmal natürlicher Fließgewässerabschnitte und somit Zielzustand (WRRL und WRG).

Bei regulierten Gewässern besteht durch die Energiekonzentration in Kombination mit Schwachstellen in der Uferverbauungen oder kleinräumiger Schwächungen (lokale Aufweitungen) die Gefahr unerwünschter Laufverlagerungen.

Die Gefahr einer unkontrollierten Laufverlagerung über die gesetzten Grenzen hinaus, ist für das gegenständliche Maßnahmenkonzept weitgehend auszuschließen.

## Kriterium 5.1 - Erforderliche zusätzliche Schutzmaßnahmen für Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie Infrastruktureinrichtungen

<b>Kriterium 5.1: Erforderliche zusätzliche Schutzmaßnahmen für Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie Infrastruktureinrichtungen</b>	
<b>Zielfunktion</b>	
<b>Punkte</b>	<b>Beschreibung</b>
4	keine
3	lokaler Objektschutz
2	kurze Deiche bzw. geringfügige Anpassungen vorhandener Schutzsysteme oder andere Maßnahmen mit vergleichbarem Aufwand
1	lange Deiche bzw. aufwändige Anpassungen vorhandener Schutzsysteme oder andere Maßnahmen mit vergleichbarem Aufwand
0	<b>nicht möglich</b>

**Erläuterung:** Ziel ist es, einen bestehenden HQ<sub>100</sub>-Hochwasserschutz für Siedlungen und Infrastruktur zu erhalten. Soweit dafür kein HQ<sub>100</sub>-Schutz vorhanden ist, soll der bestehende Schutzgrad nicht verschlechtert werden. Bewertet wird der erforderliche Umfang von zusätzlichen Baumaßnahmen zur Erreichung dieses Ziels. Die Bewertung erfolgt auf Basis der Hochwasserabflussberechnungen für den Ist- und Planzustand, maßgebend sind insbesondere die Hochwasserabflussverhältnisse im Planungsgebiet bei HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>30</sub>.

**Kritische Bereich sind:**

- Tittmoning – Wasservorstadt
- Burghausen – Unterhadermark.

Von einer Verschlechterung der Hochwassersituation ist nicht auszugehen. Vielmehr ist eine deutliche Verbesserung, speziell bei kleineren Extremereignissen (HQ<sub>1</sub>-HQ<sub>50</sub>) zu erwarten. Die Hochwasserschutzmaßnahmen (z. B. der Begleitdamm) bleiben unverändert erhalten.

Zusätzliche Schutzmaßnahmen für Siedlungs- und Verkehrsflächen, sowie Infrastruktureinrichtungen sind voraussichtlich nicht erforderlich. Der Schutz des linksufrigen Begleitdamms erfolgt durch zurückversetze Buhnen (siehe Kap.6.1.7 – flankierende Maßnahmen).

Ein begrenzter Bedarf an Schutzmaßnahmen kann aber nicht vollständig ausgeschlossen werden. Lokale Sicherungsmaßnahmen (z. B. für Strommasten oder die Kühlwasserentnahme der TKA Riedersbach) stellen jedoch nur einen geringen Aufwand dar.

In Tittmoning verbleibt die linksufrige Uferverbauung und bei der Tittmoninger Brücke verbleibt auch rechtsufrig die bestehende Uferverbauung.

Die Herstellung eines Nebenarms im Bereich der Tittmoninger Brücke stellt eine Variante im Rahmen der Machbarkeitsstudie dar. Eine zusätzliche Brücke mit erhöhter Zufahrt

(hochwassersicher) ist keine Planungsnotwendigkeit, sondern eine angedachte Verbesserung der aktuellen Situation, die im Zuge einer Gesamtplanung einfach umsetzbar wäre. Dieser Planungsvorschlag resultiert aus dem Bestreben einer wasserbaulich gesamtheitlichen Betrachtungsweise. Die Maßnahmen im Rahmen dieser Planungsvariante (Hochwassersichere Anbindung der Tittmoninger Brücke und der Gebäude auf oberösterreichischer Seite) sind kein zwingender Bestandteil des Gesamtkonzepts.

Erforderliche zusätzliche Schutzmaßnahmen für Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie Infrastruktureinrichtungen bestehen daher nicht bzw. nur in geringen Ausmaß (nicht über das Ausmaß aller anderen, den Projektbereich Tittmoninger Becken betreffenden Maßnahmenplanungen hinaus).

### 8.1.6 Kriterium 6.1 - Beeinflussung wasserwirtschaftlicher Nutzungen

Kriterium 6.1: Beeinflussung wasserwirtschaftlicher Nutzungen	
Zielfunktion	
Punkte	Beschreibung
4	keine
3	geringfügig (tolerierbar)
2	mit geringem Aufwand behebbar
1	mit hohem Aufwand behebbar
0	<b>nicht behebbar</b>

**Erläuterung:** In diesem Kriterium wird die Beeinflussung vorhandener wasserwirtschaftlicher Nutzungen bzw. der Aufwand zur Vermeidung einer Beeinflussung erfasst. Folgende Nutzungen sind im Projektgebiet bekannt:

- Kraftwerk Riedersbach, Fkm 33,5
- Auslauf Kläranlage JVA Lebenau, Fkm 43,6
- Ausleitung Kläranlage Tittmoning, Fkm 26,0
- Regenüberlauf, Fkm 26,0

Kraftwerk Riedersbach: Die aktive Sohlanhebung bei der Kühlwasserentnahme Riedersbach liegt maximal auf dem geplanten Sohniveau von Planungsvariante A (Planungsteam) und hat daher keine anderen Auswirkungen auf die Kühlwasserentnahme als die anderen Planungsvarianten. Es ist die lokale Sicherung der Anlage oder auch (in Absprache mit dem KW-Betreiber) eine Verlegung denkbar. Eine Beeinflussung der wasserwirtschaftlichen Nutzung über die der anderen Planungsvarianten hinaus besteht prinzipiell nicht. Ein Belassen der Anlage ist prinzipiell möglich. Für die Machbarkeitsstudie wurde die Annahme einer Verlegung (als für die Variante günstigste Annahme) getroffen. Dies ist für eine weiterführende Planung lediglich eine Planungsvorgabe und mit geringem Aufwand durchführbar.

Auslauf Kläranlage JVA Lebenau: Die Anlage bleibt unberührt

Ausleitung Kläranlage Tittmoning, Flkm 26.0: Die geplante Sohlhöhe des Konzepts liegt etwa 30cm über der geplanten Sohlhöhe von Variante A. Bauliche Veränderungen außer der Sohlanhebung sind hier nicht vorgesehen. Eine mögliche Adaptierung der Ausleitung stellt technisch keine Notwendigkeit dar.

Regenüberlauf, Flkm 26.0: Es gilt generell die gleiche Aussage wie für die Kläranlagenausleitung. Ein Regenüberlauf stellt jedoch ein deutlich geringeres Problem als eine Kläranlagenausleitung dar.

### 8.1.7 Kriterium 7.1 - Mögliche technische Schwierigkeiten in der Umsetzung

Kriterium 7.1: Mögliche Schwierigkeiten in der Umsetzung	
Zielfunktion	
Punkte	Beschreibung
4	keine Schwierigkeiten zu erwarten
3	geringe Schwierigkeiten zu erwarten
2	mittelgroße Schwierigkeiten zu erwarten
1	erhebliche Schwierigkeiten zu erwarten
0	<b>Umsetzung nicht möglich</b>

**Erläuterung:** Die einzelnen Baumaßnahmen werden hinsichtlich folgender Gesichtspunkte und den damit verbundenen möglichen technischen Schwierigkeiten bewertet:

- Länge der Baumaßnahme
- Anforderungen an die Steinverlegearbeiten
- Auswahl und Verfügbarkeit der Steine
- Einbauverfahren der Steine
- Wasserhaltung
- Anfälligkeit gegenüber Hochwasserereignissen während der Bauzeit
- gesicherte Abwicklung innerhalb einer Niedrigwasserperiode etc.

Gegenüber technischen Varianten ist mit deutlich geringeren Schwierigkeiten bei der baulichen Umsetzung zu rechnen, da der überwiegende Teil Erdarbeiten sind. Das Ausmaß an Stein- und Verlegearbeiten ist gering.

Die Umsetzung erfolgt bei Flussbaustellen üblicherweise in den Monaten September bis März (brut- und laichfreie Zeit) abhängig von behördlichen Auflagen. Diese Einschränkungen betreffen alle am Fluss durchzuführenden Bauprojekte. Die Umsetzung kann modular erfolgen. Anzahl und Umfang der Module ist nicht projekt- sondern ressourcenabhängig.

Die Erfahrungen bei der Umsetzung vergleichbarer Maßnahmen lassen keine Schwierigkeiten über das übliche Maß bei Bauvorhaben hinaus erwarten.

## 9 Volums- und Massenabschätzung

Die Aufweitungen werden in den Furtstrecken (Hauptgerinnebereich) gleich in Entwicklungsbreite ausgeführt, damit die entsprechende Furtwirkung von Anfang an sichergestellt ist. Alle anderen Maßnahmenbereiche müssen maschinell lediglich soweit aufgeweitet werden, wie es für die aktive Sohlanhebung (Massenbilanz) nötig ist, um das benötigte Kiesmaterial zu gewinnen. Auf Basis der zu erwartenden Materialzusammensetzung (im Mittel ca. 40% Kies) sind die geplanten Aufweitungen im Mittel bis etwa 40m (40-50% des erwarteten Entwicklungsumfangs) vorgesehen. Die Volumenabschätzung basiert auf Geländemodell Verschneidungen (IST-Zustand – Konzeptzustand-05), lokale Tiefstellen (Kolke) sind daher in der Massenbilanz berücksichtigt.

Die Kiesverfügbarkeit aus der Aufweitung nimmt in Fließrichtung ab. So kann im oberen Maßnahmenteil mit einem ausreichenden Kiesanteil gerechnet werden, im unteren Maßnahmenbereich ist ein zusätzlicher Kiesbedarf (bei ausschließlicher Kiesgewinnung aus Aufweitung) möglich.

Die Datenlage für die Abschätzungen des Kies-Sandverhältnisses ist nicht ausreichend präzise, um detaillierte Aussagen über die tatsächlichen Massenverhältnisse treffen zu können. Erfahrungen aus umgesetzten Flussaufweitungen zeigen, dass die tatsächlichen Massenverhältnisse auch bei deutlich detaillierteren Vorerhebungen teils beträchtlich von den erwarteten Werten abweichen (überwiegend zu Gunsten des Kiesanteils).

Auch ist eine klare Trennung zwischen Kies und Sand für das gesamte Feststoffmaterial nicht möglich. Neben Kies und Sandmengen ist mit Gemischen unterschiedlicher Verteilungen zu rechnen. Ein entsprechender Aufbereitungsaufwand ist einzukalkulieren. Gleichzeitig sollte durch Beimischung größerer Kiesmaterials (Ankauf) die Herstellung zusätzlichen geeigneten Eintragsmaterials möglich sein.

Für die Massen und Kostenschätzung wird von der bestehenden Datenlage ausgegangen. Um mit einem Aufweitungsanteil von rund 50 % in den Zwischenbereichen auszukommen, wird vorgesehen, größeres Kies- bzw. Steinmaterial (Zuschlagmaterial) im Umfang von rund 300.000 m<sup>3</sup> anzukaufen (Reserve). Dies entspricht bei einer Annahme von rund 20 – 30 % Zuschlagsbedarf je m<sup>3</sup>, einer zusätzlichen Eintragsmenge von etwa 1 - 1,5 Mio m<sup>3</sup>.

Alternativ ist zur Gewinnung von Kiesmaterial aus den Aufweitungen auch die Kiesgewinnung im Vorland (Kiesschichten und reliktische Kiesbänke – siehe Abbildung 3) möglich. Dabei kann das Feinmaterial für die Wiederverfüllung (Materialtausch) verwendet werden, oder es können die Entnahmestellen als Feuchtbiotope (Grundwasserteiche) verbleiben. Die Umsetzbarkeit ist

durch die Raumverfügbarkeit, den Bedarf an ökologischen Begleitmaßnahmen und durch eine Kostenabwägung limitiert. Die Materialbilanz könnte dadurch aber deutlich verbessert werden.

### Einfache Abschätzung der Feststoffbilanz:

#### **Maschineller Aushub – Uferbereich:**

notwendiges Eintragsvolumen (Sohlanhebung/Kies)	2.000.000 m <sup>3</sup>	(1)
Abtragsvolumen	3.600.000 m <sup>3</sup>	(2)
(ca. 50 % der Entwicklungsbreite inkl. Feinanteil)		
davon Feinmaterial (Annahme 60 % Sand)	2.160.000 m <sup>3</sup>	(3)
davon Grobanteil (Annahme 40% Kies)	1.440.000 m <sup>3</sup>	(4)
<i>davon Grobanteil (Annahme 30% Kies)</i>	<i>1.080.000 m<sup>3</sup></i>	<i>(4a)</i>
<i>– ungünstigste Annahme</i>		
Reserve - Aufbereitetes Material	1.000.000 - 1.500.000 m <sup>3</sup>	(5)
durch Zukauf von Zuschlagmaterial und Aufbereitung		

#### **Eigendynamischer Anteil:**

Gesamtvolume bis zum Entwicklungszustand (BF ca. 180 m)	7.200.000 m <sup>3</sup>	(6)
Sand/Kies Vorland (6 - 2)	3.600.000 m <sup>3</sup>	(7)
davon Kies (ca. 40 %)	1.440.000 m <sup>3</sup>	(8)
Seitenerosionspotential Kies	ca. 1.4 Mio. m <sup>3</sup>	(8)

Die Differenz zwischen Initialzustand (nach baulichen Maßnahmen) und Entwicklungszustand steht für eine eigendynamische Entwicklung zur Verfügung. Das Geschiebepotenzial aus der Seitenerosion (berücksichtigt wird ein Grobanteil von rund 40%) beträgt damit rund 1,4 Mio m<sup>3</sup> Kies (auf 18,2km) oder rund 80.000m<sup>3</sup> Geschiebe pro km. Gemäß Gutachten (M. Hengl/BAW) ist von einer Beeinflussungsdauer der Rampe im Freilassinger Becken (etwa 1/3 des Geschiebes wird zurückgehalten) von mindestens 75 Jahren auszugehen. In dieser Zeit sind die fehlenden Eintragsmengen durch Seitenerosion zu kompensieren.

Der Flächenbedarf über öffentliches Wassergut hinaus (Entwicklungszustand siehe Lageplan) für die geplanten Maßnahmen beläuft sich auf österreichischer Seite auf rund 200ha (im Mittel rund 110m Breite) und auf bayrischer Seite auf rund 75ha (im Mittel rund 40m Breite). Etwa die Hälfte der Aufweitungsflächen wird baulich benötigt, die andere Hälfte ist durch eigendynamische Entwicklung berührt. Eine Flächenreserve von rund 20% wäre sinnvoll, die Flächennutzung kann für diese Flächen aber erhalten bleiben (in der Kostenschätzung durch Entschädigungen berücksichtigt).

## 10 Kostenschätzung

Die durchgeführte Kostenschätzung stellt eine vereinfachte Kostenschätzung im Rahmen einer Machbarkeitsstudie dar. Einheitspreise wurden von bereits durchgeführten Bauvorhaben übernommen. Es ist zu berücksichtigen, dass Einheitspreise sowohl regional als auch aufgrund von Positionsgewichtungen stark schwanken. Auch stehen die Detailmassen erst nach einer weiterführenden Planung zur Verfügung.

Über Kontrollabschätzungen wurde die Kostenschätzung auf Plausibilität überprüft. So lagen die Kosten je Fluss-km bei vergleichbaren Projektvorhaben (Traun und Drau) grob im Bereich von etwa 750.000 - 1.000.000 €. Dabei wurden keine Sohlanhebungen durchgeführt, dafür wurden anfallenden Abtragsmassen verfürt und deponiert (Materialverkauf fand nicht statt).

Die beabsichtigte aktive Sohlanhebung erhöht aber deutlich die Herstellungskosten. Die Kosten je Fluss-km liegen gemäß nachfolgender Kalkulation bei rund 2,6 Mio €.

Die Kosten für die Entkoppelungsbauwerke wurden vergleichsweise (im Vergleich zu Rampen) niedrig angesetzt, da das obere Bauwerk in der geplanten Konzeption (Kap. 6.1.1) deutlich kostengünstiger herstellbar wäre als eine Rampe und die Notwendigkeit des unteren Bauwerks fraglich ist.

**Tabelle 12: Kostenschätzung**

Pos	Kostenschätzung Maßnahmen Flkm 40.2-22.0	GP [€]
<b>1</b>	<b>Grundstückskosten und Entschädigungen</b>	5 900 000
<b>2</b>	<b>Herrichten und Erschließen</b>	4 700 000
	Baustelleneinrichtung und -Räumung, Gerätekosten, ...	
	Roden, Bäume fällen, Wurzelstöcke entfernen	
	Baustraßen (Herstellen und entfernen)	
<b>3</b>	<b>Erdarbeiten (Abtrag, Aufbereitung und Wiedereinbau)</b>	23 300 000
<b>4</b>	<b>Landschaftspflegerische Begleitmaßnahmen</b>	3 500 000
<b>5</b>	<b>Sicherungen/Bauwerke</b>	5 000 000
<b>6</b>	<b>Brückenbauwerk</b>	1 400 000
<b>8</b>	<b>Unvorhergesehenes und Reserven (ca. 10%)</b>	4 400 000
<b>Geschätzte Gesamtherstellungskosten Pos. 1-8 (exkl. 20% Ust.)</b>		<b>48 200 000</b>
<b>Geschätzte Gesamtherstellungskosten Pos. 1-8 (inkl. 20% Ust.)</b>		<b>57 840 000</b>

Im Falle einer erhöhten Flächenverfügbarkeit reduziert sich entsprechend der Aufwand für Sicherungsmaßnahmen. Es wird mit fünf Bauabschnitten gerechnet. Eine Verringerung der Abschnitte (Vergrößerung der Abschnittsgrößen) reduziert die Herstellungskosten. Die ermittelten Massen stellen die Ergebnisse der Differenzberechnungen dar, für die

Kostenschätzung wird ein um 20% erhöhter Massenbedarf angesetzt um zwischenzeitliche Entwicklungen und Unsicherheiten zu berücksichtigen.

Annahmen:

Pos. 1: Die Basiskosten für Grundstücke und Entschädigungen werden von Variante A übernommen (Vergleichbarkeit). Die Aufweitungen auf rund 200m (Variante A) bedeuten einen um etwa 30% geringeren Flächenbedarf (ohne Reserveflächen) als die Naturflussvariante. Die Flächenbeeinträchtigungen sind hingegen vergleichbar. Für die Naturflussvariante wird aufgrund eines etwas höheren Flächenbedarfs und einer vorgesehenen, begrenzte Laufvariabilität ein Aufschlag von 50% gegenüber Variante A angenommen.

Pos. 2: Die Kosten für Herrichten und Erschließen werden von Variante A übernommen (Vergleichbarkeit). Der Aufwand für Herrichten und Erschließen dürfte zwischen den Varianten weitgehend identisch sein.

Pos. 3: Position 3 berücksichtigt sowohl den Abtrag, Zwischenlagerung, Aufbereitung (Siebung und Mischung) und Einbau des, für die Sohlanhebung benötigten Materials. Weiter (Reserve) ist der Ankauf und Lieferung von Material für die Deckschichte und die granulometrisch vergröberten Deckschichten der Furten berücksichtigt (Kap. 9), weiter ein Reserveanteil von 20% beim Abtrag. Das Feinmaterial wird seitlich aufgebracht und nicht aus dem System entfernt. Optional könnte im Vorland gemäß Raumverfügbarkeit durch Materialtausch (Kies-Sand) zusätzlich Material gewonnen (Kies) und gleichzeitig Feinmaterial deponiert werden.

Pos. 4: Die Kosten für Landschaftspflegerische Begleitmaßnahmen sind geringer anzusetzen als bei Variante A, da die Naturflussvariante von einer überwiegend natürlichen sukzessiven Entwicklung ausgeht.

Pos. 5: Für die Sicherungen wird das bestehende Material aus der Uferverbauung und den Rodungsarbeiten (Wurzelstücke) verwendet (Sicherungen der Ausströmbereiche und Inselköpfe und zurückversetzte Sicherungen). Das Material für die Rauteppiche (Blocksteine) wird in der Kostenschätzung als vollständig anzukaufen kalkuliert

Pos. 6: im Bereich der bestehenden Tittmoninger Brücke ist rechtsufrig ein Nebenarm vorgesehen, wodurch eine Brücke herzustellen ist (Zweifeldbrücke ca. 2\*40m).

Die Herstellung einer hochwassersicheren Zufahrt zur Tittmoninger Brücke (aktuell nicht gegeben) von österreichischer Seite, ist nicht notwendiger Teil des Maßnahmenkonzepts und wurde in der Kostenschätzung daher nicht berücksichtigt.

Die aktive Sohlanhebung gewährleistet die Sicherheit gegenüber Sohldurchschlag sofort nach Bauumsetzung, das Risiko von Zwischenzuständen (vergl. Kap. 8.1.1) verringert sich gegenüber den bisher vorgestellten Varianten deutlich. Die Notwendigkeit aktiver Sohlanhebungen oder Sohlstabilisierungen unterhalb konzipierter Rampen ist auch bei den bisher vorgestellten Varianten wahrscheinlich. Diese Aufwände sind in der „Naturflussvariante“ bereits weitgehend enthalten, bei den anderen Varianten sollten diese Aufwände daher zumindest als mögliche Folgeaufwände bzw. -kosten ausgewiesen werden, um die Vergleichbarkeit herzustellen.

Dagegen besteht die Möglichkeit, dass Bauelemente der anderen Varianten (Variante A) in das gegenständliche Konzept einzubinden sind (vergl. Kap. 6.2). Eine entsprechende Neubeurteilung der Kosten (Kostenverschiebung) wäre dann notwendig.

## 11 Zusammenfassung

Naturnahe Konzepte unter Ausnutzung eigendynamischer Entwicklungsmöglichkeiten (Naturflussvariante und Variante A) haben den entscheidenden Vorteil, sich einem breiteren Spektrum veränderbarer Rahmenbedingungen oder Abweichungen (Geschiebeinput, Korngrößen) anpassen zu können, als reglementierte technische Maßnahmenkonzepte. Im aktuellen Zustand hat die Salzach als reguliertes, hart verbautes Gewässer nur die Möglichkeit durch eine kontinuierliche Sohleintiefung dem Problem Geschiebedefizit zu entgegnen.

Naturnahe Systeme verfügen dagegen über eine Reihe wirksamer Möglichkeiten und Potentiale (siehe Kap. 4.1) dem Geschiebedefizit erfolgreich entgegen zu wirken. Die konsequente Nutzung dieser Potentiale wird sowohl von technischer Seite (WRS-Grundsätze, RIWA-T) als auch von wissenschaftlicher Seite (Kap.4.1 – Gutachten H.Habersack und M.Hengl (2009)) eingefordert.

Bereits vorhandene Potentiale wiederherzustellen bzw. durch geeignete Initialmaßnahmen zu erschließen bedeutet auch relativ geringe Herstellungs- und Erhaltungskosten.

Dynamik benötigt Raum. Der Grad einer tolerierbaren Dynamik ist primär von der Raumverfügbarkeit und (wie im Fall der Salzach die Sohdurchschlagsgefahr) von speziellen Problemstellungen abhängig.

Der aktuelle Zustand der Salzach zeigt klar, dass die Beherrschbarkeit der Problemlage durch rein technische Lösungen (Ziel der ursprünglichen Salzachregulierung) nicht gegeben ist. Das gegenständliche Konzept stellt aufgrund seiner Kombination aus dynamischen Bereichen, stabilisierenden und regulierenden Elementen und lauflimitierenden Maßnahmen ein ausgewogenes und dauerhaft funktionierendes Umsetzungskonzept dar.

Dabei werden sowohl eine Sohlstabilität mit ausreichender Sicherheit, als auch eine deutliche Verbesserung des Gewässerzustands erreicht. Das Maßnahmenkonzept geht dabei sowohl mit den Grundsätzen der WRS, als auch mit den gesetzlich vorgegebenen Rahmenbedingungen konform.

Im Rahmen der durchgeführten Fachgespräche und bei den Zwischenpräsentationen im Rahmen von Projektgruppensitzungen (PlaGe und AG) wurde von Vertretern der PlaGe, Experten (BAW) wiederholt die Frage nach den Unterschieden der Naturflussvariante zur aktuellen Variante A (PlaGe) gestellt.

Die wesentlichen Unterschiede lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Naturflussvariante berücksichtigt den morphologischen Gewässertyp (Kap.3.2.1), Variante A stellt eine weitgehend gestreckte Aufweitung des IST-Zustands dar, dessen Verlauf durch aktive Buhnen erhalten wird bzw. werden muss, um dauerhaft zu funktionieren.
- Nutzung des Prinzips natürlicher Furten als Stützstellen bei der Naturflussvariante, anstelle von Querbauwerken (Variante A).

Nutzung einer Gewässertypcharakteristik als Lösungskonzept (verzweigter Gewässertyp und als Basisprinzip Kolk-Furt Abfolgen), lediglich durch punktuelle Sicherungen und geringe Vergrößerungen der Deckschichten unterstützt (vom mittleren aktuellen  $d_{mD}=40\text{mm}$  (Spannweite ca.  $d_{mD}$  ca. 20-60mm) auf  $\geq d_{mD}=80\text{mm}$ ).

- Sohl- und Wasserspiegelerhöhungen erfolgen bei der Naturflussvariante auf der gesamten Länge der natürlichen Sohle, anstelle punktueller Sohl- und Wasserspiegelerhöhungen durch Rampen (wie bei Variante A und B). Dadurch bleiben natürliche ungestörte Abflussverhältnisse erhalten und es entstehen keine Kontinuumsunterbrechungen im Tittmoninger Becken
- Zielführende Aufteilung zwischen baulicher Herstellung (überwiegend durch aktive Aufweitung auf 50 % der zu erwartenden Flussbreite) und eigendynamischer Prozesse (passive Umlagerungen). Daraus resultiert ein geringer Bedarf an Sicherungsmaßnahmen bei der Naturflussvariante.
- Überwiegende Nutzung vorhandener Potentiale (Kap.4.1 – Gutachten H.Habersack und M.Hengl (2009))
- Einfache Anpassung auf veränderte zukünftige Rahmenbedingungen (großteils eigendynamisch, keine aufwändigen Bauwerke)

Eine Umkehrung der aktuellen Feststoffsituation (Geschiebedefizit) ist nach Aussage der beteiligten Experten und WRS unwahrscheinlich, das bestehende Geschiebedefizit wird mittel- bis langfristig als weitgehend unveränderlich angesehen (siehe Kap. 3, 4 und 11).

Unabhängig davon, wird auch immer wieder die Frage nach der Auswirkung eines theoretischen Geschiebeüberschusses gestellt. Dabei wäre von Verlandungen, speziell in den Gleituferbereichen auszugehen, was zu einer Zonierung des Abflussquerschnitts und erhöhten Transportkapazitäten führen würde (Transportzonen, Verlandungszonen). Darüber hinaus können rasch und einfach zusätzliche Maßnahmen zur Systemanpassung getroffen werden. Diese können sein:

- Einengen des Hauptabflussgerinnes durch zusätzliche Buhnen – Schaffung eines erhöht belasteten Transportbereichs
- Einengung des Ausströmbereichs in den Nebenarm – Erhöht den Durchflussanteil im Hauptgerinne und vermindert den Feststoffeintrag in das Nebengerinne.

Die Maßnahmen sind rasch, einfach und relativ kostengünstig herzustellen – möglich ist eine schrittweise Anpassung in Abhängigkeit der Entwicklung, was einen großen Vorteil von dynamischen Lösungsansätzen darstellt.

Die Anpassung technischer Maßnahmen (Querbauwerke) ist in diesem Fall deutlich schwieriger und mit beträchtlich höheren Kosten verbunden.

Im Fall einer zukünftigen Umkehrung der aktuellen Feststoffsituation (Geschiebe Überschuss) wären technische Maßnahmen (Rampen) gänzlich überflüssig bzw. problematisch (Hochwasser-Risiko) und müssten zumindest teilweise entfernt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, das die Naturflussvariante

- alle Anforderungen zur technischen Machbarkeit erfüllt.
- dem visionären Leitbild und dem bestehenden Gewässertyp näher kommt als bisherige Varianten und daher als die ökologische bessere Variante anzusehen ist.
- rasch und kostengünstig umsetzbar ist.
- alle gesetzlichen Vorgaben und Richtlinien erfüllt.

#### Abschließende Anmerkung:

Ganzheitlich betrachtet treffen die Probleme eines Feststoffüberschusses in den Einzugsgebieten, auf ein Geschiebedefizit in den Fließgewässern (Unterlauf). Die Geschiebedefizite sind dabei überwiegend anthropogen verursacht. Die bereits deutlich erkennbaren Auswirkungen einer Klimaveränderung (Rückgang der Gletscher, Intensitäts-Verschiebungen bei Niederschlagsereignissen, Anhebung der Frostgrenzen u.v.m.) führen zu einer erhöhten Mobilisierung von Feststoffen in den Einzugsgebieten. Die enormen Kosten der Sohlstabilisierungsmaßnahmen zusammen mit den Zielsetzungen gemäß WRRL und den nationalen Gesetzen wird mittel- bis langfristig eine Lösung dieser Problemstellung erfordern.

## LITERATURVERZEICHNIS

DWK DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (1988): Feststofftransport in Fließgewässern – Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis, Regeln der Wasserwirtschaft, H. 87/1988, Verlag Paul Parey, Bonn

EMME 2050 (1987): Studie über die Entwicklung des Klimas, der Bodenbedeckung, der Besiedelung, der Wasserwirtschaft und des Geschiebeaufkommens im Emmatal, sowie über die Sohlentwicklung und den Geschiebehaushalt in der Emme und mögliche zukünftige Verbauungskonzepte. VAW Zürich.

GÜNTER, A. (1971): Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubspannungsschwankungen. Zürich: Mitteilungen der VAW der ETH-Zürich Nr. 3.

HABERSACK, H. (1997): Wiener Mitteilungen. Raum-Zeitliche Variabilitäten im Geschiebehaushalt und dessen Beeinflussung am Beispiel der Drau. Band 144. Hrsg.: Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau.

HABERSACK, H. (2000): The river-scaling concept (RSC): a basis for ecological assessments. Springer-Verlag

HABERSACK, H.; HENGL, M. (2009): GUTACHTEN - Maßnahmen zur Verhinderung der Sohleintiefung und gleichzeitigen Verbesserung des ökologischen Zustandes Vergleich mit Vorschlägen für die Salzach an der oberösterreichischbayrischen Grenzstrecke. AG: Oberösterreichische Umweltanwaltschaft

HABERSACK, H.; SATTLER, S.; GRUPE, S.; PORZER, W. (1999): Feststofftransport an der Oberen Salzach.. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, 7/8, 51, 212-222

HABERSACK, H.; SCHNEIDER, J. (2000): Ableitung und Analyse flußmorphologisch relevanter Parameter von historischen Karten. Wasser und Boden, Springer, 52(6):55 – 59,.

HABERSACK, H.; SCHÖBERL, F.; HENGL, M.; RICKENMANN, D.; SCHÖBER, B. (2011): Grundlagen zum Feststofftransport und zur Gewässermorphologie. In: BMLFUW, ÖWAV (Hrsg.), Fließgewässermodellierung - Arbeitsbehelf Feststofftransport und Gewässermorphologie, 17-34, Wien

HENGL, M.; STEPHAN, U. (2008). Ermittlung des sohlmorphologischen Gleichgewichtsgefälles von Fließgewässern. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, 60. Jg. , Heft 11-12.

HUNZIKER, R.-P. (1995): Fraktionsweiser Geschiebetransport. Mitteilung Nr. 138 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH, Zürich.

HUNZINGER, L. (1998): Flussaufweitungen – Morphologie, Geschiebehaushalt und Grundsätze zur Bemessung. Mitteilung Nr. 159 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH, Zürich.

HUNZINGER, L. (2004): Flussaufweitungen: Möglichkeiten und Grenzen; Wasser Energie Luft; 96. Jahrgang, 2004, Heft 9/10, CH-5401 Baden.

JÄGGI, M. (1992). Sedimenthaushalt und Stabilität von Flussbauten. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 119.

KOLL, K. (2002): Feststofftransport und Geschwindigkeitsverteilung in Raugerinnen. Dissertation an der Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen.

LANGE, G.; LECHER K. (1993): Gewässerregelung und Gewässerpfllege. Paul Parey Verlag.

LEHMANN, B.; BERNHART, H.-H.; NESTMANN, F. (2005): Hydraulik naturnaher Fließgewässer. Empfehlungen zur naturnahen Entwicklung ausgebauter Fließgewässer in Ortslagen unter besonderer Berücksichtigung des Hochwasserschutzes. Forschungsericht, Universität Karlsruhe, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung.

MAYR, P. (2002): Hydraulische Simulationsmodelle mit Anwendungsbereich in Gebirgsbächen. Bericht im Rahmen des BMLFUW-Projekts "Gesamtheitliche Erfassung und Bewertung von Erosion- & Transportvorgängen in Wildbacheinzugsgebieten", Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen (ANFI), Universität für Bodenkultur, Wien.

MERTENS, W. (2006): Hydraulisch-sedimentologische Berechnung naturnah gestalteter Fließgewässer. Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

## Maßnahmenkonzept Untere Salzach - Naturflussvariante

MUHAR , S. et. (1996): Ausweisung flusstypisch erhaltener Fließgewässerabschnitte in Österreich – Österreichische Bundesgewässer. BMLF, Wasserwirtschaftskataster, Wien.

MALCHEREK, A. (1999): Numerische Methoden. In: Numerische Modell in Flüssen, Seen und Küstengewässern. DVWK-Schriften 127, Bonn

MALCHEREK, A.: Fließgewässer - Hydromechanik und Wasserbau und Sedimenttransport und Morphodynamik, Institut für Wasserwesen, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg

NACHTNEBEL, H.P.; HABERSACK, H.; SCHNEIDER, J.; POPPE, M.; HENGL, M. (2000): Wasserwirtschaftliches Grundsatzkonzept an der Grenzmur von km 95,0 bis km 129,5; Abschlussbericht zu Arbeitspaket 1.5: Flussbau. Final report, Österreichisch-Slowenische Murkommission, Vienna, Austria.

REQUENA, P.; BEZZOLA, G. R.; MINOR, H.-E. (2005): Aufweitungen in erodierenden Flüssen. Aus „Wasser Energie Luft“, 97. Jahrgang, Heft 7/8, Baden.

SATTLER S. (1999): Numerische Simulation des Geschiebetransports an der Oberen Salzach. Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau an der Universität für Bodenkultur, Wien.

SATTLER, S. & MAYR, P. (2008). Vereinfachte Analyseverfahren zur Beurteilung feststoffspezifischer und morphologischer Fragestellungen wasserbaulicher Konzeptionen in der Praxis auf Basis numerischer 2D-Hydraulikmodelle. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, (11-12/08), 175-181.]

SCHOKLITSCH, A. (1934): Der Geschiebetrieb und die Geschiebefracht. Wasserkraft Wasserwirtschaft 4.

SHIELDS, A. (1936): Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung. Mitteilung der Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin, Heft 26.

SMART, G.M. (1984): Sediment transport formulae for steep channels. Journal of Hydraulic Engineering, vol.110, No.3.

SMART, G.M.; JAEGGI, M.N.R. (1983): Sediment Transport on Steep Slopes. Mitteilung nr. 64 of the Laboratory for Hydraulics, Hydrology and Glaciology at the Federal Technical University, Zürich.

SPANRING, M. (2009): Sanierung Salzach – ein innovativer Lösungsansatz: weich und aufgelöst, Ingenieurbüro SKI GmbH + Co.KG.

YALIN, M.S.; DA SILVA, A.M.F. (2001): Fluvial Processes. IAHR Monograph, IAHR, Delft, The Netherlands.

### BERICHTE:

„Fachbericht 1 – Zusammenfassender Bericht“ - ad-hoc Arbeitsgruppe der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag (2000)

„Fachbericht 5 – 2d-Abfluss-Simulation“ - ad-hoc Arbeitsgruppe der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag (2000)

„Fachbericht 7 – Morphologische Auswirkungen von Aufweitungen in der Salzach – ingenieurpraktische Berechnungen und physikalische Modellierung“ - ad-hoc Arbeitsgruppe der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag (2000)

„Salzach Umsetzungskonzept – Abschlussbericht“- BAW und SKI (2005)

„Sanierung der Unteren Salzach – Verbesserung des ökologischen Erhaltungszustandes. Vorschlag der Oö. Umweltanwaltschaft und der Abteilung Naturschutz des Landes OÖ“ (2011)

OÖ. UMWELTANWALTSCHAFT (2009): Sanierung Untere Salzach. Verbesserung des ökologischen Erhaltungszustandes. Vorschlag der und der Abteilung Naturschutz des Landes OÖ. Bericht.

Anmerkungen und Stellungnahmen der Oö. Umweltanwaltschaft und der Abteilung Naturschutz des Landes OÖ (2010-2011)

„Maßnahmen zur Verhinderung der Sohleintiefung und gleichzeitigen Verbesserung des ökologischen Zustandes“, GUTACHTEN, Univ. Prof. DI Dr. Helmut Habersack unter Mitwirkung von HR DI Dr. Michael Hengl, BAW (Juli 2009)

## Maßnahmenkonzept Untere Salzach - Naturflussvariante

---

„Wasserbau & Ökologie Vorarlberg - Gewässerausbau im Hinblick auf die Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie – Teilbericht“: Mitwirkung an der Methodenentwicklung und Begutachtung der Ergebnisse. Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung, Wien (2009).

„Wasserbau & Ökologie Vorarlberg - Gewässerausbau im Hinblick auf die Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie – Teilbericht“: Ökologischer Teil, Maßnahmenentwicklung, Analyse und Interpretation – Maßnahmenbeschreibung; REVITAL ZIVILTECHNIKER GMBH (2009)

„Wasserbau & Ökologie Vorarlberg - Gewässerausbau im Hinblick auf die Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie – Teilberichte“: Wasserbaulicher Teil und Habitatmodell - Allgemeines und Methodik - Berichtsteil A, B und C, Verfasser: MAYR&SATTLER OG; Wien (2009).

### REGELWERKE:

„Feststofftransportmodelle für Fließgewässer“ ATV-DVWK-Arbeitsbericht (2003).

„Fließgewässermodellierung – Arbeitsbehelf Feststofftransport und Gewässermorphologie.“ ÖWAV (o.J.)

RIWA-T (2006) - Technische Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung; RIWA-T gemäß § 3 Abs. 2 WBFG; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser A -1012 Wien, Stubenring 1