

**Aktionsplan Niedrigwasser Rhein,
Handlungspunkt 7:
Untersuchung wasserbaulicher Optionen
zur Sicherstellung zuverlässig kalkulier-
barer Transportbedingungen am Rhein
bei Niedrigwasser**

B3953.02.06.10197

**Aktionsplan Niedrigwasser Rhein,
Handlungspunkt 7:**

**Untersuchung wasserbaulicher Optionen zur Sicherstellung
zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen
am Rhein bei Niedrigwasser**

Auftraggeber: Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt

Auftrag vom: 10.06.2021, Az.: 3800W21-233.03/3900/014-003000/2

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. B3953.02.06.10197

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Binnenbereich
Referate: Flussbau (Federführung), Schifffahrt
Bearbeiter: Dr. rer. nat. Martin Hämmerle
Dr.-Ing. Sven Wurms
Dipl.-Ing. Andreas Orlovius
Tarek Beck, M. Sc.

Karlsruhe, 24.05.2022

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

Zusammenfassung

Das extreme Niedrigwasserereignis am Rhein im Jahr 2018 mit Abflüssen von bis zu 30 % unter dem Gleichwertigen Abfluss $GIQ_{20(2012)}$ führte zu einer deutlich reduzierten Leistungsfähigkeit der Wasserstraße. In Folge wurde der Aktionsplan „Niedrigwasser Rhein“ formuliert, in dessen Handlungspunkt 7 die „Machbarkeit aller wasserbau- und wasserwirtschaftlicher Optionen zur Sicherstellung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen am Rhein (...) ergebnisoffen untersucht werden“ sollen. Die BAW erhielt vor diesem Hintergrund den Auftrag, den Rhein von Iffezheim bis zur deutsch-niederländischen Grenze auf abstrakter Ebene auf schiffahrtliche Engpässe bei extremem Niedrigwasser, d. h. bei Abflüssen, die unterhalb des GIQ liegen, zu untersuchen und eine Vorauswahl flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen in den Engpässen zu erstellen. Von den Betrachtungen ausgeschlossen wurden Klimawandelszenarien, die Option „Errichtung von Staustufen“, Maßnahmen zur Abladeoptimierung am Mittel- und Niederrhein, schiffahrtsrechtliche, verkehrliche, wirtschaftliche Aspekte sowie Szenarien der Flottenentwicklung.

Im Rahmen der Analyse wurden 16 schiffahrtliche Engpässe bei extremen Niedrigwasserabflussbedingungen ($GIQ_{20(2012)} - 10\%$ bis $GIQ_{20(2012)} - 30\%$) identifiziert, in denen Begegnungsverkehre aufgrund auftretender Fehlstellen nur noch eingeschränkt bzw. nicht mehr möglich sind. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass das Auftreten von Fehltiefen in der Fahrrinne bei diesen für die Schifffahrt extremen Abflusssituationen nicht zwangsläufig zu einem schiffahrtlichen Engpass führen muss, da eine Stelle unter Einschränkung der Leichtigkeit passierbar bleibt, solange noch ca. 50 % der Fahrrinnenbreite zur Verfügung steht.

Die Vorauswahl flussbaulicher Optionen in den Engpässen erfolgte zunächst schematisiert nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip anhand von flussbaulich relevanten Kriterien, die sowohl zur Charakterisierung eines Engpasses als auch zur Beschreibung der Voraussetzung für den Einsatz einer flussbaulichen Option geeignet sind. Die vorausgewählten Optionen wurden unter Einbeziehung flussbaulicher Streckenexpertise plausibilisiert und bezüglich der zu erwartenden Eingriffstiefe gereiht. Für alle Engpässe liegt eine Auswahl potenziell zielführender Optionen vor, die aufgrund des hohen Abstraktionsgrads dieser Studie als Grundlage für nachfolgende vertiefende Untersuchungen zu verstehen ist. In allen Engpässen bietet sich die vertiefte Untersuchung eines mit vergleichsweise geringem baulichen Aufwand herzustellenden Niedrigwasserkorridors an, um die Transportbedingungen am Rhein in extremen Niedrigwasserphasen zu verbessern. Konkrete Bereiche für vertiefende Untersuchungen können zu diesem Zeitpunkt noch nicht genannt werden. Hierfür bedarf es zunächst der Festlegung der zu erzielenden abflussspezifischen Tiefen sowie einer Priorisierung der zu behebenden Engpässe.

(1) Titel	Untersuchung wasserbaulicher Optionen zur Sicherstellung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen am Rhein bei Niedrigwasser		
(2) Ort	(3) Wasserstr.-Nr.	(4) Kilometer	
Rhein	3900	von	bis
		334	852
(5) Unterzeichner	Prof. Dr.-Ing. Andreas Schmidt		
(6) Bearbeiter	Dr. Martin Hämmerle		
(7) Mitarbeiter	Dr.-Ing. Sven Wurms Dipl.-Ing. Andreas Orlovius Tarek Beck, M. Sc.		
(8) Auftraggeberin	GDWS (im Rahmen des Aktionsplans Niedrigwasser Rhein Handlungspunkt 7)		
(9) Auftrags-Nr.	B3953.02.06.10197	(10) aufgestellt am	
(11) Seitenzahl	54	(12) Sonderhinweise	
(13) Kurzfassung Das extreme Niedrigwasserereignis am Rhein im Jahr 2018 mit Abflüssen von bis zu 30 % unter dem Gleichwertigen Abfluss $GIQ_{20(2012)}$ führte zu einer deutlich reduzierten Leistungsfähigkeit der Wasserstraße. In Folge wurde der Aktionsplan „Niedrigwasser Rhein“ formuliert, in dessen Handlungspunkt 7 die „Machbarkeit aller wasserbau- und wasserwirtschaftlicher Optionen zur Sicherstellung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen am Rhein (...) ergebnisoffen untersucht werden“ sollen. Die BAW erhielt vor diesem Hintergrund den Auftrag, den Rhein von Iffezheim bis zur deutsch-niederländischen Grenze auf abstrakter Ebene auf schiffahrtliche Engpässe bei extremem Niedrigwasser, d. h. bei Abflüssen, die unterhalb des GIQ liegen, zu untersuchen und eine Vorauswahl flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen in den Engpässen zu erstellen. Von den Betrachtungen ausgeschlossen wurden Klimawandelszenarien, die Option „Errichtung von Staustufen“, Maßnahmen zur Abladeoptimierung am Mittel- und Niederrhein, schifffahrtsrechtliche, verkehrliche, wirtschaftliche Aspekte sowie Szenarien der Flottenentwicklung. Im Rahmen der Analyse wurden 16 schiffahrtliche Engpässe bei extremen Niedrigwasserabflussbedingungen ($GIQ_{20(2012)} - 10\%$ bis $GIQ_{20(2012)} - 30\%$) identifiziert, in denen Begegnungsverkehre aufgrund auftretender Fehlstellen nur noch eingeschränkt bzw. nicht mehr möglich sind. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass das Auftreten von Fehltiefen in der Fahrrinne bei diesen für die Schifffahrt extremen Abflusssituationen nicht zwangsläufig zu einem schiffahrtlichen Engpass führen muss, da eine Stelle unter Einschränkung der Leichtigkeit passierbar bleibt, solange noch ca. 50 % der Fahrrinnenbreite zur Verfügung steht. Die Vorauswahl flussbaulicher Optionen in den Engpässen erfolgte zunächst schematisiert nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip anhand von flussbaulich relevanten Kriterien, die sowohl zur Charakterisierung eines Engpasses als auch zur Beschreibung der Voraussetzung für den Einsatz einer flussbaulichen Option geeignet sind. Die vorausgewählten Optionen wurden unter Einbeziehung flussbaulicher Streckenexpertise plausibilisiert und bezüglich der zu erwartenden Eingriffstiefe gereiht. Für alle Engpässe liegt eine Auswahl potenziell zielführender Optionen vor, die aufgrund des hohen Abstraktionsgrads dieser Studie als Grundlage für nachfolgende vertiefende Untersuchungen zu verstehen ist. In allen Engpässen bietet sich die vertiefte Untersuchung eines mit vergleichsweise geringem baulichen Aufwand herzustellenden Niedrigwasserkorridors an, um die Transportbedingungen am Rhein in extremen Niedrigwasserphasen zu verbessern. Konkrete Bereiche für vertiefende Untersuchungen können zu diesem Zeitpunkt noch nicht genannt werden. Hierfür bedarf es zunächst der Festlegung der zu erzielenden abflussspezifischen Tiefen sowie einer Priorisierung der zu behebenden Engpässe.			
(14) Standort	(15) Archiv-Nr.		

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Randbedingungen, Datengrundlagen	3
3	Methodik	5
3.1	Identifikation schiffahrtlicher Niedrigwasserengpässe	5
3.2	Engpass-Charakterisierung	8
3.3	Zusammenstellung flussbaulicher Optionen	10
3.4	Verknüpfung von Engpässen und flussbaulichen Optionen	12
3.5	Reihung der flussbaulichen Optionen	13
3.6	Hinweise zur Interpretation der Ergebnisse	15
4	Ergebnisse und Diskussion	17
4.1	Identifikation schiffahrtlicher Niedrigwasserengpässe	17
4.2	Engpass-Charakterisierung	21
4.3	Zusammenstellung flussbaulicher Optionen – Beispiel	23
4.4	Verknüpfung von Engpässen und flussbaulichen Optionen	25
4.5	Reihung der flussbaulichen Optionen	27
5	Schlussfolgerungen	30
6	Literatur	34
7	Anlagen	36
7.1	Hydrologische Einordnung Niedrigwasserphase 2018	36
7.2	Übersicht BauMaGs- und Unfallstatistik-Daten	38
7.3	Grafische Zusammenfassung (großformatig)	39
7.4	Zusammenstellung flussbaulicher Optionen – vollständige Auflistung	40
7.5	Engpass-Steckbriefe	54

Bildverzeichnis	Seite
Bild 1: BAW-seitige Gliederung des Auftrags in Arbeitspakete.	2
Bild 2: Schaubild zu den Parametern zur Berechnung der potentiellen Abladetiefe.	5
Bild 3: Schematische Darstellung zur Interpretation des Schwellenwertes, Beispiel 1,60 m: (a) Zwei Abladeszenarien eines Schiffs mit einem Mindesttiefgang von 1,60 m; (b) Drei Abladeszenarien eines Schiffs mit einem Mindesttiefgang von 1,35 m.	6
Bild 4: Skizze zum Ablauf der Untersuchung auf Engpässe a) IENC mit Ordnungsprofilen in grün, b) um die Ordnungsprofile aufgespannte Polygone in blau, Fläche innerhalb der Fahrrinne und innerhalb der aufgespannten Polygone in rot, c) Viertelung der Fahrrinnenbreite.	8
Bild 5: Informationen zur Identifizierung und Lokalisierung eines Engpasses im Steckbriefformat.	19
Bild 6: Beispiel Engpass-Steckbrief: Übersichtskarte.	20
Bild 7: Beispiel Engpass-Steckbrief: Verzeichnis der Fundstellen in vorhandenen Engpassanalysen als Zusatzinformation.	21
Bild 8: Charakteristika, die in den Engpass-Steckbriefen aufgelistet sind.	22
Bild 9: Beispiel Engpass-Steckbrief: Übersicht der Bagger- und Unfalldaten im Längsschnitt (X-Achse) und nach Jahr (Y-Achse). Obere Teilabbildung: Entnahmen im Zuge von Umlagerungsbaggerungen eingefärbt nach Entnahmevermögen, unteres Teildiagramm: Zugaben nach Baggerungen. Mittleres Teildiagramm: Unfälle in Abhängigkeit von Wasserstandslamellen bei Niedrigwasser bzw. extremem Niedrigwasser. Die roten Linien markieren den Bereich des betrachteten Engpasses.	23
Bild 10: Beschreibung der flussbaulichen Option „Nassbaggerung“.	24
Bild 11: Vorauswahl engpassspezifischer flussbaulicher Optionen im Oberrhein (ohne Plausibilisierung und Reihung).	25
Bild 12: Vorauswahl engpassspezifischer flussbaulicher Optionen im Mittel- und Niederrhein (ohne Plausibilisierung und Reihung).	26
Bild 13: Engpassspezifische flussbauliche Optionen im Oberrhein (inklusive Plausibilisierung und Reihung nach engpassspezifischer Diskussion). Graue Felder markieren flussbauliche Optionen, die im Zuge der Diskussion als nicht zielführend entfernt wurden.	27
Bild 14: Engpassspezifische flussbauliche Optionen im Mittel- und Niederrhein (inklusive Plausibilisierung und Reihung nach engpassspezifischer Diskussion). Graue Felder markieren flussbauliche Optionen, die im Zuge der Diskussion als nicht zielführend entfernt wurden.	28

Bild 15:	Engpassspezifische Darstellung der gereihten flussbaulichen Optionen - Beispiel Stadtstrecke Mannheim-Ludwigshafen.	29
Bild 16:	Grafische Zusammenfassung der 16 im Untersuchungsgebiet identifizierten schiffahrtlichen Engpässen bei einem dem Ereignis 2018 vergleichbaren Niedrigwasserabfluss (oberer Teil der Abbildung) sowie der für nähere Betrachtungen je Engpass vorausgewählten flussbaulichen Optionen (mittlerer Teil der Abbildung). Unterer Teil der Abbildung: Erläuterungen. (Die Abbildung ist im Anhang großformatig bereitgestellt.)	31
Bild 17:	Abflussganglinien für das Wasserhaushaltsjahr 2018. Gelb hinterlegt ist der abgeschätzte Zeitraum des Niedrigwasserereignisses 2018. Die graue Linie am 01.11.2018 markiert den Übergang vom Abflussjahr 2018 zum Abflussjahr 2019.	36
Bild 18:	Gegenüberstellung der Abflüsse $GIQ_{20(2012)}$, $Q(GIQ_{20(2012)} - 10 \%)$, $Q(GIQ_{20(2012)} - 20 \%)$, $Q(GIQ_{20(2012)} - 30 \%)$ (in Blautönen) und dem an 20 Tagen im WHJ 2018 unterschrittenen Abfluss sowie dem absoluten Minimalabfluss im WHJ 2018 (in Orangetönen) an Pegeln des Rheins zwischen Iffezheim und Emmerich.	37
Bild 19:	Integrierte Darstellung von BauMaGs- und Unfall-DB-Daten im Längsschnitt (X-Achse) und Zeitverlauf (Y-Achse). Oberes Teildiagramm: Entnahmebaggerungen aus der Fahrrinne. Blautöne geben Volumens-Klassen an. Mittleres Teildiagramm: Unfall-Statistik, Grundberührungen und Festfahrungen innerhalb der Fahrrinne. Die Symbole ordnen die Unfälle in verschiedene Wasserstandslamellen ein. Unteres Teildiagramm: Zugaben nach Umlagerungsbaggerungen. Graue Bereiche im oberen und unteren Teildiagramm: Datenlücken in BauMaGs zum 24.01.2022.	38

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Betrachtete Schwellenwerte und zugehörige Schiffstypen (nach Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V. 2015).	7
Tabelle 2: Übersicht der flussbaulichen Optionen zur Erhöhung der Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen.	11
Tabelle 3: Verknüpfung von Engpässen und flussbaulichen Optionen anhand von Kriterien (Beispiele).	12
Tabelle 4: Qualitative Skala zur Reihung vorausgewählter flussbaulicher Optionen.	14
Tabelle 5: Schiffahrtliche Engpässe bei einem extremen Niedrigwasserabfluss von $Q(GIQ_{20(2012)} - 30 \%)$.	17

Abkürzungsverzeichnis

2D-HN-Modell	Zweidimensional hydrodynamisch-numerisches Modell
AP	Arbeitspaket
BauMaGs	Erfassung von Baumaßnahmen und Maßnahmen zur Geschiebesteuerung
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
EP	Engpass
EPSG	European Petroleum Survey Group Geodesy
ES	Europaschiff
ETRS	European Terrestrial Reference System
GDWS	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
GK	Gustav Königs
GlQ	Gleichwertiger Abfluss
GIW	Gleichwertiger Wasserstand
GMS	Großmotorschiff
hm	Hektometer
JW	Johann Welker
KV	Koppelverband
MA-LU	Mannheim-Ludwigshafen
NfB	Nachrichten für die Binnenschifffahrt
NW	Niedrigwasser
Q	Abfluss
Rh-km	Rhein-Kilometer
SV	Schubverband
üGMS	überlanges Großmotorschiff
UTM	Universal Transverse Mercator
WHJ	Wasserhaushaltsjahr
WSP	Wasserspiegel
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Rhein-Niedrigwasser des Jahres 2018 trat nicht zuletzt aufgrund der negativen ökonomischen Auswirkungen medial und politisch stark in den Vordergrund. Der Bundesverkehrsminister hat daher im Juni 2019 zusammen mit Vertretern der Industrie und des Binnenschiffahrtsgewerbes einen Aktionsplan „Niedrigwasser Rhein“ („8-Punkte-Plan“) formuliert. Mit diesem Aktionsplan wird ein Rahmen für Optionen aufgespannt, mit denen den klimawandelbedingten Herausforderungen am Rhein begegnet werden soll. Dabei soll laut Handlungspunkt 7 die „Machbarkeit aller wasserbau- und wasserwirtschaftlicher Optionen zur Sicherstellung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen am Rhein (...) ergebnisoffen untersucht werden“ (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2019).

Auf der Grundlage dieses Aktionsplans wurden die Bundesanstalt für Wasserbau und die Bundesanstalt für Gewässerkunde von der GDWS zur Bearbeitung des Handlungspunktes 7 beauftragt, wobei im Hinblick auf die Bearbeitungstiefe die Untersuchungen auf abstrakter Ebene durchzuführen seien. Die in diesem Bericht vorgestellten Arbeiten der BAW leisten einen Beitrag zur Optimierung der schiffahrtlichen Bedingungen bei extremem Niedrigwasser durch flussbauliche Optionen, wobei Klimawandelszenarien und Maßnahmen zur Abladeoptimierung am Mittel- und Niederrhein ausdrücklich nicht einbezogen wurden. Schiffahrtsrechtliche, verkehrliche, wirtschaftliche Aspekte sowie Szenarien der Flottenentwicklung waren ebenso nicht Teil des Auftrags. Als hydrologische Bezugsgröße wurde das Extremniedrigwasser 2018 herangezogen. Entsprechend wurden bei der Auftragsbearbeitung ausschließlich Abflüsse unter dem aktuell gültigen gleichwertigen Abfluss $GlQ_{20(2012)}$ zugrunde gelegt. Die Ergebnisse geben Hinweise zum möglichen weiteren Vorgehen und konkretisieren mögliche weitere Untersuchungen. Sie wurden in Form von Engpass-Steckbriefen, die sich entlang der im Folgenden vorgestellten Arbeitspakete strukturieren, aufbereitet. Dies bietet einen schnellen Überblick über die Charakteristik der identifizierten schiffahrtlichen Engpässe bei extremem Niedrigwasser (im Folgenden kurz „Engpass“) und die im Rahmen der Auftragsbearbeitung für die jeweiligen Engpässe vorausgewählten flussbaulichen Optionen.

Der Auftrag zur „Untersuchung wasserbaulicher Optionen zur Sicherstellung zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen am Rhein bei Niedrigwasser“ wurde von der GDWS am 10.06.2021 an die BAW erteilt. Im Auftragsschreiben sind die folgenden vier Positionen aufgeführt:

Position 1	Identifikation und Charakterisierung schiffahrtlich relevanter Niedrigwasserengpässe zwischen Iffezheim und der deutsch-niederländischen Grenze
Position 2	Zusammenstellung flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen
Position 3	Verknüpfung von Engpässen und potentiell zielführenden flussbaulichen Optionen auf qualitativer Basis vor dem Hintergrund der Eingriffsminimierung und schiffahrtlicher Randbedingungen
Position 4	Synthese der Ergebnisse: Gemeinsame zusammenfassende Betrachtung und Einschätzung der BAW- und BfG-Ergebnisse

Für die Bearbeitung der Positionen 1 bis 3, welche der BAW oblagen, war eine Bearbeitungszeit von 9 Monaten angesetzt. Position 4 schließt mit weiteren 3 Monaten für die gemeinsame Erarbeitung einer Synthese aus den Ergebnissen von BAW und BfG an und ist nicht Bestandteil dieses Berichts.

Die im GDWS-Auftrag aufgeführten Positionen wurden an der BAW in die in Bild 1 dargestellten Arbeitspakete gegliedert und entlang dieser Pakete bearbeitet.

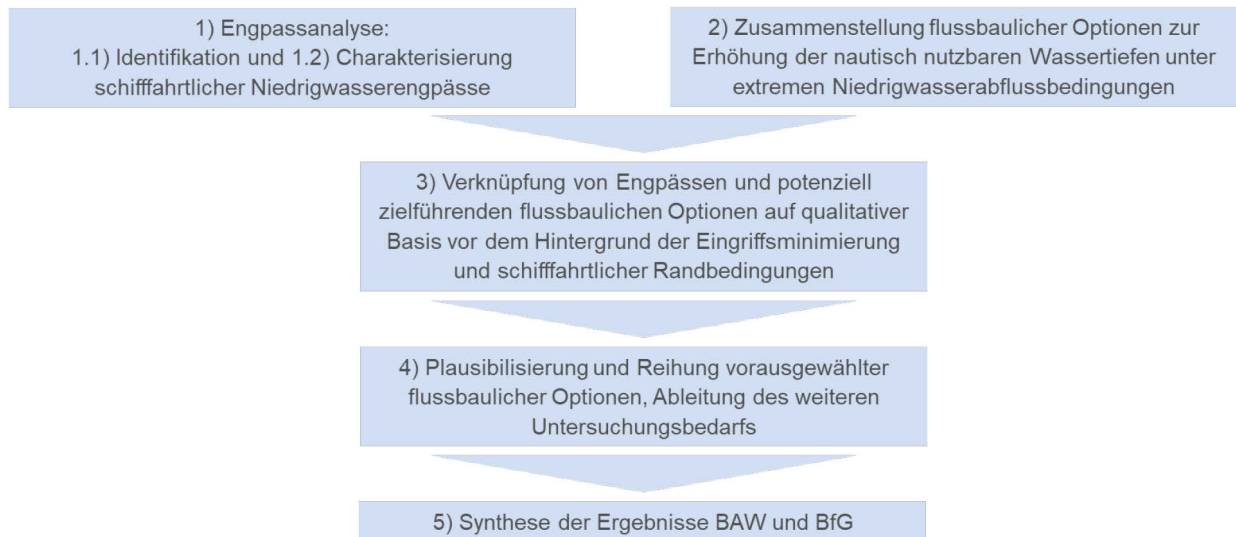


Bild 1: BAW-seitige Gliederung des Auftrags in Arbeitspakete.

Die gemäß Auftrag anzustrebende „abstrakte Betrachtungsebene“ leitet sich ab aus der angesichts des Untersuchungsumfangs (gesamter freifließender Rhein zwischen Iffezheim und Emmerich) kurzen Bearbeitungsdauer und der Entscheidung, zunächst eine effiziente Methode zur Identifizierung schiffahrtlicher Engpässe bei extremem Niedrigwasser zu entwickeln und beispielhaft anzuwenden. Insofern weist die vorliegende Arbeit den Charakter einer Machbarkeitsstudie auf, die naturgemäß die fachwissenschaftlichen Untersuchungen, die im Rahmen flussbaulicher Projekte erforderlich sind, nicht ersetzen kann. Nichtsdestotrotz lassen sich von den hier präsentierten Ergebnissen Ansatzpunkte für Detailbetrachtungen ableiten, die in den Schlussfolgerungen erläutert werden.

Im Folgenden wird in Kapitel 2 der Rahmen skizziert, in welchem sich die Bearbeitung des Auftrags bewegte. Kapitel 3 gibt einen Überblick über die Vorgehensweise, aufgegliedert nach den einzelnen Arbeitspaketen sowie deren Verknüpfungen. Zudem werden Hinweise zur Interpretation der Ergebnisse vor dem Hintergrund der abstrakten Betrachtungsebene des Auftrags gegeben. Die Ergebnisse der Bearbeitungen sind in Kapitel 4 zusammengefasst. Die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen sowie eine Skizzierung der Ansatzpunkte für nächste Schritte sind in Kapitel 5 dargestellt.

2 Randbedingungen, Datengrundlagen

Wesentliche Randbedingungen für die Auftragsbearbeitung waren vom Auftraggeber vorgegeben. Darüber hinaus mussten im Zuge der Bearbeitung weitere Randbedingungen definiert und Annahmen getroffen werden. Diese zielen darauf ab, auf effizientem Wege vereinfachte aber dennoch engpassspezifische Lösungsansätze zur Verbesserung der schifffahrtlichen Randbedingungen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen zu entwickeln. Im Folgenden sind die wesentlichen Festlegungen, die den Rahmen der Untersuchungen aufspannen, mit entsprechenden Erläuterungen aufgeführt.

- Untersuchungsgebiet, Granularität
 - Freifließender Rhein von Iffezheim (Rh-km 334,0) bis Pegel Emmerich (Rh-km 851,9)
 - Die Engpass-Identifikation basiert auf Rasterdaten in 1 m x 1 m Auflösung. Die Abgrenzung der identifizierten Engpässe im Längsverlauf des Flusses erfolgt in einer Hektometer-Auflösung entsprechend der gegebenen Ordnungsprofile.
- Betrachtete Abflüsse
 - Zur Betrachtung von Niedrigwasserereignissen mit einem zeitlichen Verlauf wie dem Ereignis 2018 wurde von der BfG der Bezugszeitraum *Wasserhaushaltsjahr (WHJ)* empfohlen. In diesem Bezugszeitraum werden winterliche Niedrigwasserereignisse nicht durchschnitten. Das WHJ 2018 beginnt am 01.04.2018 und endet am 31.03.2019 (Anhang Hydrologische Einordnung Niedrigwasserphase 2018 Bild 17).
 - Sowohl die absoluten Abflussminima als auch die an 20 Tagen unterschrittenen Abflüsse kommen im WHJ 2018 an allen Pegeln einem Abfluss nahe, der 30 % geringer ist als der maßgebende Niedrigwasserabfluss $GIQ_{20(2012)}$ (nachfolgend mit $Q(GIQ_{20(2012)} - 30 \%)$ abgekürzt; Anhang Hydrologische Einordnung Niedrigwasserphase 2018 Bild 18).
 - Die in diese Untersuchung einbezogenen Abflüsse sind entsprechend gestaffelt in $GIQ_{20(2012)}$, $Q(GIQ_{20(2012)} - 10 \%)$, $Q(GIQ_{20(2012)} - 20 \%)$, $Q(GIQ_{20(2012)} - 30 \%)$. Der Fokus der Betrachtungen liegt auf dem Niedrigwasserereignis 2018, also auf $Q(GIQ_{20(2012)} - 30 \%)$.
- Fahrrinne
 - Die Untersuchung auf schifffahrtliche Engpässe erfolgt innerhalb der aktuell ausgewiesenen Fahrrinne.
 - Die aktuell ausgewiesenen Fahrrinnentiefen werden mitgeführt, sind für die hier durchgeführte Betrachtung aber nicht von prioritärer Bedeutung.
 - Bei Fahrrinnenspaltungen werden die Hauptzweige betrachtet.
- Sohle
 - Für das gesamte Untersuchungsgebiet wurde ein flächendeckendes Geländemodell der Sohle als Rasterdatensatz mit einer einheitlichen Auflösung von 1 m x 1 m erstellt.

- Zur Herstellung der Datengrundlage für das Sohlmodell wurden die im 3D-Datenarchiv der WSV zum 14.06.2021 einheitlich in ETRS89/UTM32N (EPSG:25832) vorhandenen Flächenpeilungen aus den Jahren 2017 bis 2021 extrahiert.
- Um aus den in den Peilungen enthaltenen Momentaufnahmen der dynamischen Gewässersohle den für die Schifffahrt kritischsten Zustand zu betrachten, wurde aus der oberen Einhüllenden der überlappenden Flächenpeilungen ein künstlicher Sohlzustand erstellt.
- Im Bereich der Felsstrecke (Rh-km 528,5 – 557,5) wurde in Anlehnung an die gängige Praxis der Verkehrssicherung in diesem Streckenabschnitt das nautische Minima-Modell (Modell der minimalen Wassertiefen) 2013-2014 verwendet, um die obere Begrenzung von Felsspitzen zu erhalten. Im restlichen Bereich wurde das vermittelnde Modell (Modell der aus Peildaten gemittelten Sohlhöhenlagen) verwendet.
- Hydraulische Parameter
 - Als weitere Grundlage für die Untersuchungen wurden hydrodynamische Größen (u. a. tiefengemittelte Fließgeschwindigkeiten, Wassertiefen und Wasserspiegellagen) mit den jeweils aktuellsten vorliegenden zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen (2D-HN) Modellen für die vier oben genannten Niedrigwasser-Abflüsse berechnet.
 - Die 2D-HN-Modelle decken verschiedene Bereiche entlang des Untersuchungsgebiets ab: Rh-km 334,0 – 493,0; Rh-km 483,5 – 557,5; Rh-km 557,0 – 580,0; Rh-km 580,0 – 612,6; Rh-km 612,6 – 654,4; Rh-km 639,2 – 867,5.
 - Die 2D-HN-Modelle befinden sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien (v. a. bezüglich Kalibrierung und Validierung) und setzen sich, bedingt durch die Historie des jeweiligen Modells, aus Daten unterschiedlicher Aktualität zusammen.
- Auszüge BauMaGs und Unfall-Datenbank
 - Ergänzende Informationen zur Engpass-Charakterisierung werden aus den Datenbanken *BauMaGs* und *Unfälle am Rhein* bezogen.
 - Die BauMaGs-Daten können ergänzende Hinweise auf wiederkehrende Anlandungsbereiche innerhalb der Fahrrinne geben. Extrahiert wurden Entnahmen aus der Sohle im Fahrrinnenbereich im Zuge von Entnahmebaggerungen sowie Umlagerungsbaggerungen im Zeitraum 01.01.2000 bis 31.01.2020.
 - Die Unfälle am Rhein wurden abflussspezifisch ausgewertet, um ergänzende Hinweise auf Fehltiefen bei Abflüssen auch unterhalb des GlQ₂₀₍₂₀₁₂₎ zu erhalten. Extrahiert wurden Grundberührungen und Festkommen in der Fahrrinne bei Niedrigwasser. Unfälle aufgrund zu hoher Geschwindigkeit, zu tiefen Abladens, oder einer Kombination aus zu hoher Geschwindigkeit und zu tiefem Abladen sind nicht beinhaltet.
 - Eine Zusammenschau der extrahierten Daten für die gesamte untersuchte Strecke bietet Bild 19 in Anhang 7.2.
- Flussbauliche Optionen
 - Die Zusammenstellung der flussbaulichen Optionen beinhaltet neben konventionellen flussbaulichen Regelungsmaßnahmen auch innovative Ansätze.
 - Die Option „Errichtung von Staustufen“ wird gemäß Auftrag nicht untersucht.

3 Methodik

3.1 Identifikation schiffahrtlicher Niedrigwasserengpässe

Grundlage der Identifikation schiffahrtlicher Engpässe war in dieser Untersuchung die potentielle Abladetiefe, die angibt, bis zu welchem Tiefgang ein ruhendes Schiff abgeladen werden kann, um unter Berücksichtigung des fahrdynamischen Einsinkens (Squat) und des Flottwassers bei Kenntnis der örtlichen Tiefenverhältnisse eine Strecke unter der Annahme von zeitlich unveränderlichen Wasserständen noch durchfahren zu können. Die potentielle Abladetiefe ist somit die auf einen Abfluss bezogene, maximal mögliche Abladetiefe innerhalb eines Streckenabschnitts. Am konkreten Beispiel erklärt bedeutet dies, dass ein im Hafen auf 2,0 m abgeladenes Schiff einen Korridor passieren kann, in welchem die potentielle Abladetiefe mindestens 2,0 m beträgt. Die potentielle Abladetiefe ist ein orts- und abflussspezifischer Wert, der für das Untersuchungsgebiet in einer Rasterung von 1 m x 1 m wie folgt berechnet wird (siehe ergänzend Bild 2):

$$\text{Potentielle Abladetiefe} = \text{Wassertiefe} - \text{Mindestflottwasser} - \text{Squat}$$

Die Wassertiefe leitet sich in dieser Studie aus den Wasserspiegellagen für die vier Abflüsse von $Q_{20(2012)}$ bis $Q(Q_{20(2012)} - 30\%)$ aus den o. g. 2D-HN-Modellen sowie den Sohlhöhen aus der o. g. oberen Einhüllenden ab. Die Mindestflottwasserwerte wurden abhängig von der Sohlbeschaffenheit festgelegt, und sie betragen bei einer alluvialen Sohle (Sand / Kies) 0,2 m und bei einer Felssohle 0,4 m. Der Squat wurde in dieser Studie für ein mit 5 km/h über Grund zu Berg fahrendes GMS (am häufigsten auf dem Rhein verkehrendes Schiff) angesetzt. Bei dem Ansatz dieser Geschwindigkeit wird davon ausgegangen, dass dem Schiffsführer aufgrund seiner Ortskenntnis die Tiefenengstellen bekannt sind und er seine Geschwindigkeit im Bereich der Tiefenengstellen reduziert hat, um das fahrdynamische Eintauchen und damit den Tiefenanspruch zu reduzieren.

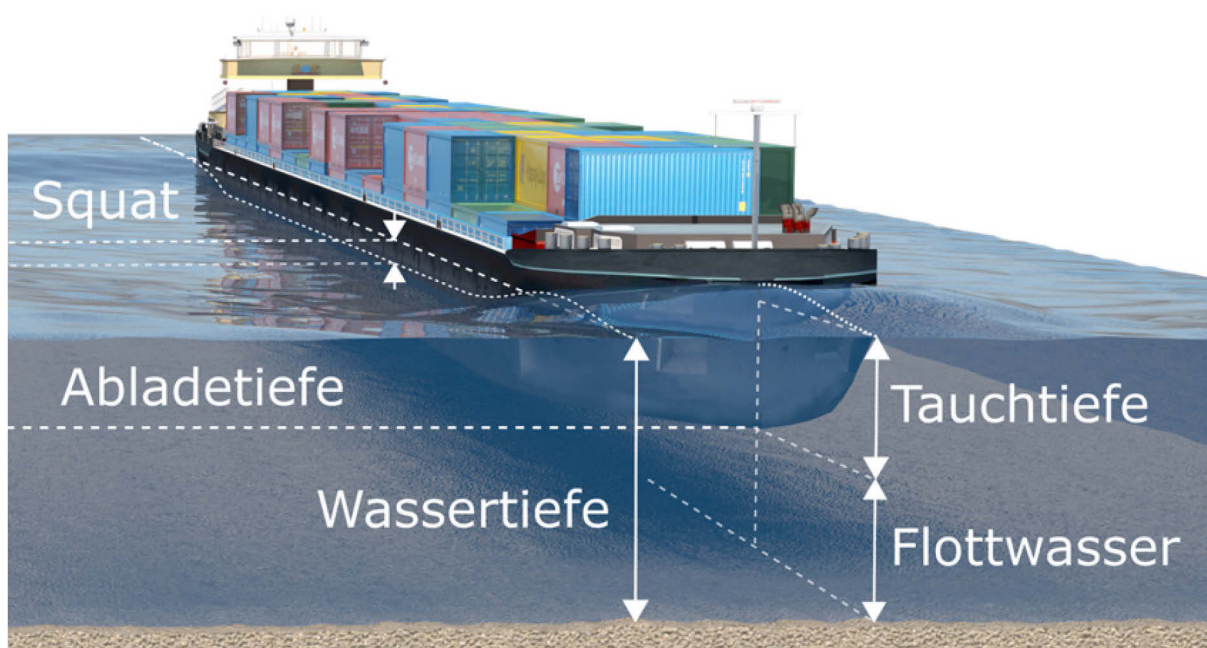


Bild 2: Schaubild zu den Parametern zur Berechnung der potentiellen Abladetiefe.

Um in der untersuchten Strecke eine Abschätzung zu schiffahrtlichen Engpässen treffen zu können, wurden für jeden der vier betrachteten Abflüsse die Werte der potentiellen Abladetiefe mit szenarienbezogenen Schwellenwerten verglichen und davon Fehltiefen abgeleitet, sowie die aus diesen Fehltiefen resultierende Einschränkung der fahrbaren Breite innerhalb der Fahrrinne untersucht.

Die gewählten Schwellenwerte lassen sich sowohl im Sinne einer Grenzbetrachtung mit dem Mindesttiefgang unterschiedlicher Schiffstypen (hier nach Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V. 2015) als auch mit Szenarien teilabgeladener Schiffe sowie schiffbaulichen Neuentwicklungen verknüpfen (Bild 3). Die Schwellenwerte und die zugeordneten schiffstypenspezifischen Mindesttiefgänge sind in Tabelle 1 aufgelistet. Eine Fehltiefe besteht somit beispielsweise für ein auf 1,60 m abgeladenes Schiff, wenn die potentielle Abladetiefe in der betrachteten Fläche kleiner 1,60 m ist. Eine Fehltiefe kann dabei auch aus einer einzigen Rasterzelle resultieren, deren potentielle Abladetiefe kleiner ist als der untersuchte Schwellenwert.

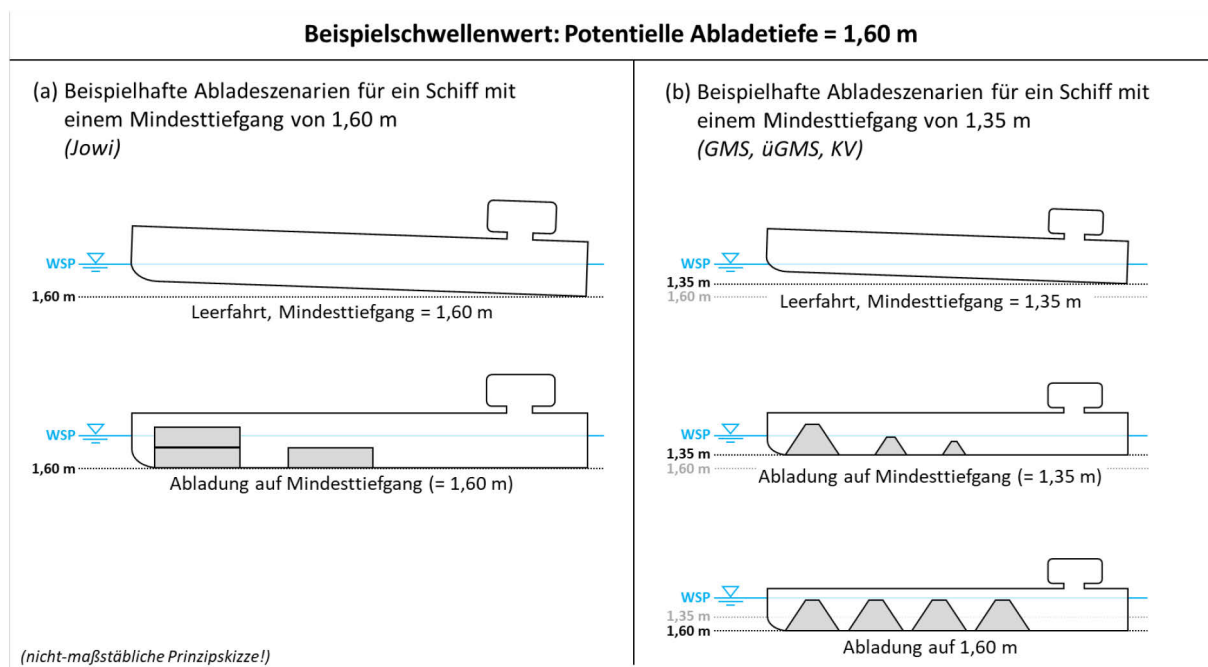


Bild 3: Schematische Darstellung zur Interpretation des Schwellenwertes, Beispiel 1,60 m: (a) Zwei Abladeszenarien eines Schiffs mit einem Mindesttiefgang von 1,60 m; (b) Drei Abladeszenarien eines Schiffs mit einem Mindesttiefgang von 1,35 m.

Tabelle 1: Betrachtete Schwellenwerte und zugehörige Schiffstypen (nach Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V. 2015).

Schwellenwert	Schiffstyp mit entsprechendem Mindesttiefgang
1,10 m	Gustav Königs (GK)
1,20 m	Johann Welker (JW)
	Europaschiff (ES)
1,35 m	Großmotorschiff (GMS)
	Überlanges Großmotorschiff (üGMS)
	Koppelverband: GMS+Leichter (KV)
1,60 m	Typ Jowi
1,75 m	Schubverband (SV; betrachtet von Rh-km 852,0 bis 768,0)

Der Vergleich zwischen potentieller Abladetiefe und Schwellenwert erfolgt in Hektometer-Schritten und bezieht sich auf die Fläche, die innerhalb der Fahrrinne liegt und sich nach ober- und unterstrom bis zur Hälfte zum jeweils benachbarten Ordnungsprofil erstreckt (Bild 4b). Um von einzelnen Fehltiefen zur Einschätzung zu kommen, ob an einer Stelle mit Fehltiefen auch ein schiffahrtlicher Engpass besteht, wurde untersucht, ob die Fahrrinne innerhalb einer definierten Breite frei von Fehltiefen ist. Ein Fahrrinnenabschnitt wird demnach als schiffahrtlicher Engpass betrachtet, wenn Fehltiefen auf mindestens 50 % der Fahrrinnenbreite vorliegen. Bei einer Einschränkung auf geringerer Breite als 50 % der Fahrrinne wird im Rahmen dieser Untersuchungen davon ausgegangen, dass einspuriger Begegnungsverkehr unter Beteiligung der für den untersuchten Fall maßgebenden Fahrzeuge zumindest in geraden Flussabschnitten noch stattfinden kann.

Für die Untersuchung der Strecke auf schiffahrtliche Engpässe wurde die Fahrrinne geviertelt und jeweils für zwei benachbarte Viertel, also 50 % der Fahrrinnenbreite, das Auftreten von Fehlflächen analysiert (Bild 4c). Daraus wurde abgeleitet, ob die linke oder rechte Hälfte der Fahrrinne oder die mittleren beiden Viertel der Fahrrinne frei von Fehlflächen sind und somit kein Engpass besteht. Umgekehrt gilt: Sind an einem Ordnungsprofil keine 50 % frei von Fehlflächen, wird am entsprechenden Hektometer ein Engpass festgestellt.

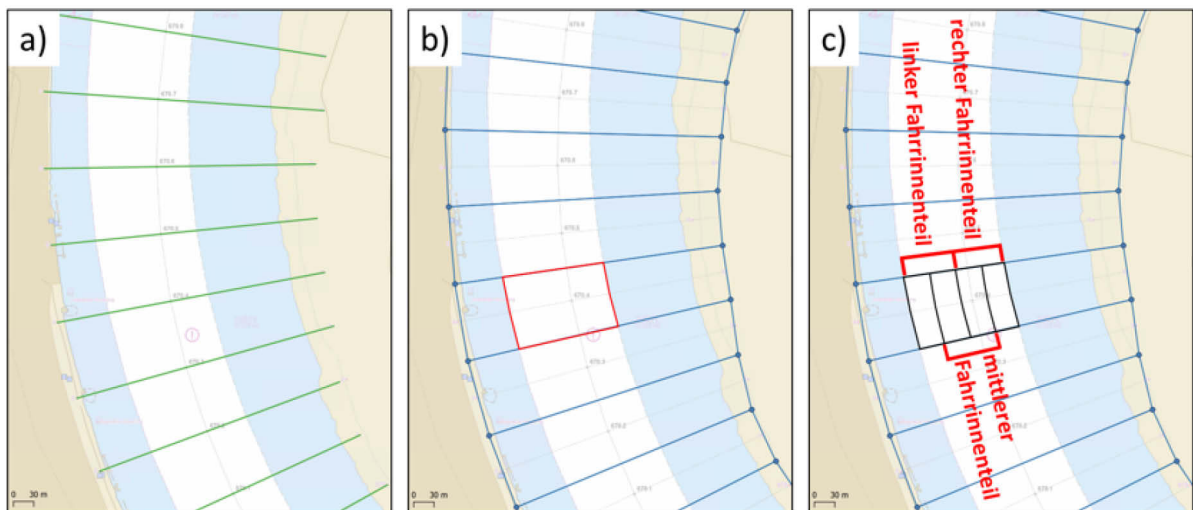


Bild 4: Skizze zum Ablauf der Untersuchung auf Engpässe a) IENC mit Ordnungsprofilen in grün, b) um die Ordnungsprofile aufgespannte Polygone in blau, Fläche innerhalb der Fahrrinne und innerhalb der aufgespannten Polygone in rot, c) Viertelung der Fahrrinnenbreite.

Eine rein auf einzelne Hektometer bezogene Betrachtung von Engpässen greift mit Blick auf morphologische Prozesse, das Ziel einer durchgängigen Schiffbarkeit, sowie die Vorauswahl flussbaulicher Optionen ggf. zu kurz. Um die räumliche Verteilung von Fehlflächen im Längsverlauf zu berücksichtigen, wurden in einem Nachbearbeitungsschritt aufeinanderfolgende Hektometer mit identifizierten Fehlflächen anhand einer kartografischen Darstellung inspiziert und die Längsausdehnung der zu betrachtenden Engpässe festgelegt.

3.2 Engpass-Charakterisierung

Die Auswahl geeigneter flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen hängt neben den engpassspezifischen Regelungszielen grundsätzlich von den örtlichen Gegebenheiten und einzuhaltenden Randbedingungen (z. B. hydraulisch-morphologische Prozesse, Platzverhältnisse, Auswirkungen auf Hochwasserspiegellagen) ab. Eine effiziente Vorauswahl potentiell zielführender flussbaulicher Optionen für die identifizierten Engpässe wird dann möglich, wenn die Engpässe vor diesem Hintergrund bereits zielgerichtet über geeignete Kriterien charakterisiert werden. Konkret bedeutet dies, dass mindestens diejenigen Kriterien, die Voraussetzung für die ortsspezifische Auswahl eines geeigneten flussbaulichen Maßnahmentyps (z. B. Längswerke, Bühnen) sind, Bestandteil der Beschreibung der einzelnen Engpässe sein müssen.

Potentiell geeignete flussbauliche Optionen können nach erfolgter Engpasscharakterisierung über die Verknüpfung der Engpasscharakteristika mit den Voraussetzungen, unter denen einzelne Maßnahmentypen zielführend eingesetzt werden können (siehe Kap. 3.3), identifiziert werden. Eine potentielle Eignung liegt dann vor, wenn engpassspezifische Charakteristika weitgehend deckungsgleich mit den maßnahmenspezifischen Voraussetzungen sind. Ein Ausschluss von Maßnahmentypen erfolgt, wenn eine Engpasscharakteristik oder mehrere in einer Art und Weise ausgeprägt sind, dass die für den Einsatz einer Regelungsmaßnahme im konkreten Engpass

erforderlichen Voraussetzungen nicht gegeben sind. Der Ablauf dieser Auswahlprozesse wird im Abschnitt 3.4 näher erläutert.

Beispielsweise erfordert der Einsatz eines Längswerks zur Stützung der Wasserspiegellagen innerhalb eines Engpasses zwangsläufig u. a. folgende Randbedingungen, die zur Prüfung der Eignung im Rahmen der Engpasscharakterisierung beschreibend abgedeckt werden müssen:

- Geeignete Platzverhältnisse unterhalb des Engpasses und außerhalb der Fahrrinne
- Engpass unterliegt keinen Anlandungstendenzen (diese würden im Zuge der Wasserspiegelstützung verschärft)
- Engpass hat lokalen Charakter (die erforderliche Wasserspiegelstützung hat eher lokalen als Streckencharakter)

Die Verschiedenheit sowohl der Engpässe als auch der Voraussetzungen der flussbaulichen Optionen führen dazu, dass über die drei genannten Beispiele hinaus insgesamt 23 beschreibende Kriterien identifiziert wurden, die für jeden einzelnen Engpass spezifiziert werden müssen. Selbst diese große Anzahl an Kriterien wird jedoch der Individualität der Engpässe nicht gerecht, so dass ein vollständiger Automatismus zur Auswahl geeigneter flussbaulicher Optionen allein über die Verknüpfung der 23 Kriterien nicht ermöglicht werden kann. Die vorausgewählten flussbaulichen Optionen müssen daher in einem nachgeschalteten Schritt zwingend unter Einbindung von flussbaulichem Erfahrungswissen und Streckenkenntnis plausibilisiert werden. Um dies zu vereinfachen, wurde neben den 23 Kriterien, die der Verknüpfung von Engpässen und flussbaulichen Optionen dienen, ergänzende Engpasscharakteristika definiert sowie kartographische Darstellungen zur Verdeutlichung der räumlichen Zusammenhänge generiert.

Die ergänzenden Engpasscharakteristika haben darüber hinaus das Ziel, die Reihung der vorausgewählten flussbaulichen Optionen bezüglich ihrer Eignung und mit Blick auf die Eingriffsminimierung zu unterstützen. Anhand des Wasserspiegelgefälles des GLW beispielsweise kann abgeschätzt werden, wie weit die Wirkung einer flussbaulichen Option reicht (eine wasserspiegelstützende Maßnahme hat bei starkem Gefälle nur eine begrenzte Reichweite nach oberstrom). Informationen über Infrastrukturobjekte im Umfeld eines Engpasses sind zudem erforderlich, um abschätzen zu können, welche flussbaulichen Optionen möglicherweise negative Auswirkung auf die Nutzbarkeit und Bereitstellung dieser Objekte haben und somit nachrangig zu betrachten oder gar auszuschließen sind (z. B. sollte die Zufahrt zu einem Hafen nicht durch Buhnenvorstreckungen erschwert werden; Düker sind nicht zu verbauen).

Übersichtskarten als dritte Informationsquelle zur Engpass-Charakterisierung stellen die Verteilung der Fehltiefen im Engpass detailliert dar. Die Fehltiefen beziehen sich auf das Niedrigwasserereignis 2018 (mit den niedrigsten Abflüssen bei etwa $Q(GlQ_{20(2012)} - 30 \%)$, vgl. Anlage in Kap. 7.1) und sind entsprechend der Schwellenwerte bzw. Mindesttiefgänge der Schiffstypen, für welche die Fehltiefen bestehen, farblich unterschieden. Anhand der räumlichen Verteilung der Fehltiefen im Engpass können zusätzlich zu den bereits erfassten Kriterien Schlüsse über die Engpass-Ursachen gezogen werden (z. B. Mittelgrundbildung bei Querschnittsaufweitungen, punktuell einschränkende Fehltiefen durch Felsspitzen, seitlich einschränkende Fehltiefen an Gleithängen).

Neben der detaillierten Darstellung der Fehltiefenverteilung wird in einer Übersichtskarte die großräumige Einbettung des Engpasses im Flussverlauf sowie seine geographische Lage dargestellt. Diese Zusatzkarte ist auf den Engpass zentriert und stellt den Verlauf der Wasserstraße über jeweils ca. 10 km oberstrom und unterstrom dar. Daraus kann z. B. abgeleitet werden, ob der Engpass in einem gestreckten Abschnitt des Rheins oder in einer Krümmung oder einem Krümmungsübergang liegt. Davon ausgehend lässt sich als weitere Information zur Auswahl und Reihung von flussbaulichen Optionen auf die im Bereich des Engpasses vorliegende Sohlmorphologie und ggf. deren Dynamik schließen (z. B. alternierende Bänke in gestreckten Bereichen, lagestabile Mittelgründe in Krümmungsübergängen).

3.3 Zusammenstellung flussbaulicher Optionen

Zur Verbesserung der Transportbedingungen am Rhein bei extremen Niedrigwasserabflüssen ist eine Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen in den identifizierten Engpässen erforderlich. Dies kann grundsätzlich mit Maßnahmen des klassischen Flussbaus in Abhängigkeit der Engpasscharakteristik entweder durch eine Stützung der Wasserspiegellagen, die Reduzierung von Sedimentanlandungstendenzen in Tiefenengpässen oder Sohlabträge erreicht werden.

Allerdings sind dem Potential klassischer flussbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Wassertiefen in extremen Abflusssituation im Einzelfall Grenzen gesetzt, insbesondere wenn eine Erhöhung von bis zu 0,5 m erforderlich wäre, wie dies im Niedrigwasserjahr 2018 zeitweise der Fall war. Eine Stützung der Wasserspiegellagen mit Buhnen oder Längswerken in dieser Größenordnung ist ohne eine Erhöhung der Wasserspiegellagen bei höheren Abflüssen in aller Regel kaum möglich, auch wenn die Auswirkungen der Querschnittseinengung mit zunehmend höheren Wasserständen geringer werden und bei sehr hohen, mit Abfluss über das Vorland verbundenen Wasserständen, asymptotisch ausklingen. Wenn die örtlichen Verhältnisse keine ausreichend kompensierenden Maßnahmen außerhalb des Niedrig- oder Mittelwasserbetts zulassen, beispielsweise im Fall von kleinen oder gänzlich fehlenden Vorlandflächen, könnten bewegliche Konstruktionen wie z. B. Schlauch- oder Sektorwehre, die in Abflussbereichen außerhalb der Fahrrinne platziert werden, eine sinnvolle Maßnahme darstellen. Eine Vertiefung der Fahrrinne zur Erhöhung der nutzbaren Wassertiefen um mehrere Dezimeter geht in freifließenden Gewässern mit einem Wasserspiegelabsink einher. Durch die Ausweisung eines Niedrigwasserkorridors, in dem im Vergleich zur freigegebenen Fahrrinne größere Tiefen auf einer reduzierten Breite vorliegen, könnte eine Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse bei extremen Niedrigwasserereignissen zumindest unter Inkaufnahme einer eingeschränkten Leichtigkeit erreicht werden (Bundesanstalt für Wasserbau 2022). Gleichzeitig würden die hydraulischen Auswirkungen sowie die baulichen Eingriffe gegenüber einer Vertiefung der Fahrrinne über die gesamte Breite deutlich verringert. Um die Konzepte sowohl der flexiblen Bauwerke als auch des Niedrigwasserkorridors in den Status praktikabler flussbaulicher Optionen für extreme Niedrigwassersituationen zu überführen, sind pilothafte Umsetzungen zwingend notwendig. Nur hierdurch können die erforderlichen praktischen Erfahrungen bezüglich Konstruktion, Betrieb und Unterhaltung derartiger Maßnahmen unter realen Bedingungen gewonnen werden.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über flussbauliche Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen bei extremen Niedrigwasserereignissen, gruppiert nach unterschiedlichen Ziel-

stellungen. Dabei ist auch Geschiebeentzug als potentielle Option aufgeführt, mit dem grundsätzlich Tiefenengpässe in größeren Streckenabschnitten, in denen ein Sedimentüberschuss vorliegt, entschärft werden können. Längswerke zur Erhöhung der Sohlschubspannung sind in Tabelle 2 um eine Variante mit nachregelbarer Hinterströmung (Zentralkommission für die Rheinschifffahrt 2011) ergänzt, die eine größere Flexibilität hinsichtlich der erzielbaren Schubspannungsänderungen im Hauptstrom bietet.

Tabelle 2: Übersicht der flussbaulichen Optionen zur Erhöhung der Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen.

Nr.	Zielstellung, Gruppe	Flussbauliche Option
11	Ausnutzung vorhandener Übertiefen	NW-Korridor
21	Sohlabtrag	Nassbaggerung
22	Sohlabtrag	Felsabtrag
31	WSP-Stützung	Buhnen
32	WSP-Stützung	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)
33	WSP-Stützung	Kolkverbau
34	WSP-Stützung	Längswerk
41	Erhöhung Sohlschubspannung	Buhnen
42	Erhöhung Sohlschubspannung	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)
43	Erhöhung Sohlschubspannung	Kolkverbau
44	Erhöhung Sohlschubspannung	Längswerk
45	Erhöhung Sohlschubspannung	Längswerk mit nachregelbarer Hinterströmung
51	Reduzierung Sedimentdargebot	Geschiebeentzug
52	Umlenkung Transportpfad	Grundswellen
53	Q-Konzentration bei NW	Buhnenkopfschwellen

Eine Zusammenschau flussbaulicher Optionen wird in den Abschnitten 4.3 und 7.4 in Form von Kurzbeschreibungen gegeben. Jede Option wird dabei bezogen auf die Zielstellung ihres Einsatzes, ihre Wirkungsweise sowie ihre spezifischen Voraussetzungen und Einsatzmöglichkeiten im Kontext Niedrigwasser beschrieben.

Darüber hinaus sind für alle flussbaulichen Optionen die jeweiligen Kriterien bezüglich örtlicher Gegebenheiten und einzuhaltender Randbedingungen formuliert, die als Voraussetzung für den Einsatz und die Eignung einer Maßnahme vorliegen müssen. Der Vergleich dieser Voraussetzungen mit den engpassspezifischen Charakteristiken führt in Abhängigkeit der erzielten Übereinstimmung zur Vorauswahl oder zum Ausschluss einer flussbaulichen Option. Nur Kriterien, die für den Einsatz einer Option relevant sind, werden für diese Option auch mit Werten belegt und bei der Verknüpfung mit den Engpasscharakteristiken berücksichtigt. Auch hier sei auf die Beschreibung der Vorauswahl von engpassspezifischen flussbaulichen Optionen auf Kapitel 3.4 verwiesen.

3.4 Verknüpfung von Engpässen und flussbaulichen Optionen

Die Zusammenführung der identifizierten und charakterisierten Engpässe mit den flussbaulichen Optionen erfolgte anhand der 23 thematischen Kriterien (siehe Kap. 3.2), über die die entsprechenden Engpasscharakteristiken mit den optionsspezifischen Voraussetzungen verknüpft werden können. In Tabelle 3 ist dies exemplarisch für mehrere Kriterien dargestellt. Beispielsweise würde das Kriterium „Sohlbeschaffenheit“ im Rahmen der Engpasscharakterisierung entweder mit „Fels“, „Alluvial mit Deckschicht“, „Alluvial ohne Deckschicht“ oder mit „Fels mit Sedimentauflage“ beschrieben werden. Da die für die Eignung einer flussbaulichen Option erforderliche Sohlbeschaffenheit bei der Zusammenstellung der flussbaulichen Optionen ebenfalls benannt wird, ist ein Vergleich zwischen Engpasscharakteristik und optionsspezifischer Voraussetzung bezüglich dieses Kriteriums direkt möglich. Liegen die Fehltiefen innerhalb eines Engpasses z. B. in Bereichen mit der Sohlbeschaffenheit „Fels“, so würden aufgrund dieses Kriteriums alle flussbaulichen Optionen in der Vorauswahl verbleiben, die diese Beschaffenheit als Voraussetzung haben. Dies wären Optionen, die einen Wassertiefengewinn durch Wasserspiegelstützung bewirken, aber auch Felsabtragsmaßnahmen. Je mehr Übereinstimmungen zwischen den Charakteristika eines Engpasses und den optionsspezifischen Voraussetzungen gegeben sind, umso eher ist diese Option für den konkreten Engpass geeignet. Allerdings gibt es auch Kriterien, die bei ansonsten hoher Übereinstimmung direkt zum Ausschluss einer Option führen können. Beispielsweise sind Felsabtragsmaßnahmen grundsätzlich keine Option im Falle der Sohlbeschaffenheit „Alluvial ohne Deckschicht“.

Tabelle 3: Verknüpfung von Engpässen und flussbaulichen Optionen anhand von Kriterien (Beispiele).

Kriterium	Mögliche Engpasscharakteristiken	Beispielhafte Vorauswahl flussbaulicher Optionen über optionsspezifische Voraussetzungen
Sohlbeschaffenheit	• Fels • alluvial mit Deckschicht • alluvial ohne Deckschicht • Fels mit Sedimentauflage	• Alluvial ohne Deckschicht: In der Vorauswahl verbleiben z. B. die flussbaulichen Optionen, die einen Wassertiefengewinn durch Erhöhung der Sohl Schubspannung und eine damit einhergehende Eintiefung der Sohle bewirken. • Fels: In der Vorauswahl verbleiben z. B. die flussbaulichen Optionen, die einen Wassertiefengewinn durch Wasserspiegelstützung bewirken.
Sohlmorphologie	• Gleithang • Mittelgrund • Fels • ebene Sohle über ganze Fahrrinnenbreite	• Gleithang: In der Vorauswahl verbleiben z. B. die flussbaulichen Optionen, die einen Wassertiefengewinn durch eine Änderung der Fließquerschnittsgeometrie oder durch eine Umlenkung des Geschiebepfades und einer damit einhergehenden Verringerung von Anlandungstendenzen am Gleithang bewirken. • Fels: In der Vorauswahl verbleiben z. B. die flussbaulichen Optionen, die einen Wassertiefengewinn

		durch eine Wasserspiegelstützung oder Felsabtrag ergeben.
Verzwei- gung	• Nein • EP-Bereich liegt in Verzweigung • EP-Bereich liegt oberstrom Verzweigung	• Nein: In der Vorauswahl verbleiben z. B. die flussbaulichen Optionen, deren Wirkungsweise nicht auf einer Änderung der Abflussverteilung beruht. • EP-Bereich liegt in einer Verzweigung: In der Vorauswahl verbleiben z. B. die flussbaulichen Optionen, deren Wirkungsweise auf einer Änderung der Abflussverteilung beruht.
Platz für flussbauli- chen Optio- nen im Eng- passbereich	• Links • rechts • beidseitig • nein	• Beidseitig: In der Vorauswahl verbleiben z. B. die flussbaulichen Optionen, die bauliche Maßnahmen im Engpassbereich erfordern.

3.5 Reihung der flussbaulichen Optionen

Aus der kriterienbasierten Vorauswahl der engpassspezifischen flussbaulichen Optionen resultieren in der Regel mehrere Optionen je Engpass. Diese unterscheiden sich jedoch voneinander entweder hinsichtlich der potentiell zu erzielenden Wassertiefengewinne, der wasserbaulichen Eingriffstiefe oder der technischen Umsetzbarkeit im jeweiligen Engpass.

Wassertiefengewinne können aufgrund des Abstraktionsgrads der vorliegenden Studie nicht in Absolutwerten angegeben werden. Stattdessen wurde abgeschätzt, ob eine flussbauliche Option potentiell geeignet ist, die Fehltiefen innerhalb eines Engpasses soweit zu reduzieren, dass ein Sprung vom engpassverursachenden Schwellenwert zum nächstgrößeren Schwellenwert oder darüber hinaus möglich wird. Hierdurch würde die Passage durch den Engpass für den nächstgrößeren, in Abhängigkeit des Tiefengewinns unter Umständen auch für den übernächsten Schiffstyp wieder möglich. Beispielsweise könnte ein Engpass, der für einen Schwellenwert von 1,35 m (GMS) festgestellt wurde, ggf. durch eine oder mehrere flussbauliche Optionen behoben werden, da die engpassverursachenden Fehltiefen maximal 15 cm betragen (da für den nächstkleineren Schwellenwert von 1,20 m kein Engpass vorliegt). Der Schritt zur Behebung des Engpasses für den nächstgrößeren Schwellenwert (1,60 m bzw. Jowi) ist bedeutend größer, da hierfür bereits Tiefengewinne zwischen 25 cm und 40 cm erzielt werden müssten. Diese Größenordnung wäre nur noch – wenn überhaupt – mit wenigen Optionen oder Kombinationen aus unterschiedlichen flussbaulichen Optionen zu erreichen.

Vor diesem Hintergrund müssen alle Optionen, die aus der Vorauswahl hervorgehen, zunächst auf ihre potentielle Wirkung hinsichtlich ihrer Eignung zur Behebung der schwellenwertspezifischen Engpässe geprüft werden. Dieser Bearbeitungsschritt wurde in Form von Diskussionen unter Einbeziehung von Streckenexpertise und flussbaulicher Erfahrung umgesetzt. Die somit engpassspezifisch plausibilisierten und als zielführend erachteten Anpassungsoptionen wurden nachfolgend bezüglich ihres Potentials der Zielerreichung sowie des abgeschätzten Umsetzungsaufwandes qualitativ anhand der in Tabelle 4 dargestellten Skala bewertet und gereiht. Die Reihung unter

Einbeziehung der potentiellen Wirksamkeit sowie des Aufwandes zur Umsetzung der Optionen kann dabei keinem starren Schema folgen, sie ist vielmehr unter Einbeziehung von Streckenexpertise für jeden identifizierten Engpass individuell zu diskutieren. Dabei ist auf die Herausforderungen hinzuweisen, welche aus den erforderlichen Vereinfachungen dieser Studie resultieren. Diese ergeben sich einerseits aus der abstrakten Betrachtungsebene und andererseits aus der individuellen Charakteristik jedes Engpasses: Die hier entwickelte und angewandte Methode der Verknüpfung von schiffahrtlichen Engpässen mit flussbaulichen Optionen stellt ein Werkzeug dar, mit welchem sich viele der Überlegungen, die auf der Suche nach flussbaulichen Lösungen anzustellen sind, schematisiert abarbeiten lassen. Es ist jedoch ausdrücklich zu betonen, dass das Werkzeug lediglich als Hilfestellung zur Vorauswahl einsetzbarer Optionen ist, es aber keinen generischen Mechanismus für die Auswahl flussbaulicher Maßnahmen anbietet. Ein allgemeingültiges Schema für die Auswahl flussbaulicher Maßnahmen verbietet sich generell aufgrund der Individualität eines jeden Engpasses, deren Ursachen jeweils im orts- bzw. streckenspezifischen Zusammenwirken hydro- und morphodynamischer Prozesse sowie weiterer Aspekte zu suchen sind - dies alles vor dem Hintergrund möglicher Einflüsse kurz- und langzeitiger sowie lokaler und regionaler Wirkungen flussbaulicher Eingriffe auf einen Engpass. Die vorgestellte Vorgehensweise bei der Reihung der flussbaulichen Optionen versucht, dieser Komplexität soweit wie möglich durch eine nachgelagerte engpassspezifische Diskussion Rechnung zu tragen. Falls verfügbar, wurde ergänzend auf Erkenntnisse aus der Bearbeitung vergleichbarer Aufgabenstellungen (z. B. Bundesanstalt für Wasserbau 2020) zurückgegriffen, die in die Reihung mit einbezogen werden können. Die Ergebnisse in Form der potentiell zielführenden und entsprechend der genannten Aspekte gereihten Optionen flossen schließlich als wesentlicher Teil in die Engpass-Steckbriefe ein.

Tabelle 4: Qualitative Skala zur Reihung vorausgewählter flussbaulicher Optionen.

Bewertung	Erläuterung
++	Bevorzugte flussbauliche Option(en). Einschätzung als effektiv und effizient. Bei konkreteren Untersuchungen wird eine prioritäre Betrachtung empfohlen.
+	Effektive flussbauliche Option(en). Ggf. größerer Aufwand bei der Umsetzung.
0	Grundsätzlich einsetzbare flussbauliche Option(en). Einschätzung als effektiv, aber relativ großer Aufwand bei der Umsetzung.
-	Technisch grundsätzlich mögliche flussbauliche Option(en). Effekt wird als gering eingeschätzt, der Aufwand bei der Umsetzung als hoch.
--	Flussbauliche Option(en) bei engpassspezifischer Diskussion als nicht zielführend bezüglich der Erreichung des als notwendig erachteten Wassertiefengewinns bzw. als nicht zielgerichtet einsetzbar bewertet und aus der Vorauswahl entfernt.

Kombinationen aus unterschiedlichen flussbaulichen Optionen wurden in dieser Studie nicht im Detail mitbetrachtet. Hierzu müssten die einzelnen Optionen in ihrer Wirksamkeit und deren Überlagerung wesentlich umfangreicher untersucht werden, was im Rahmen des gegebenen Abstraktionsgrades nicht möglich war. Lediglich bei den Optionen zur Erhöhung der Schubspannung

ist bereits konkret eine Nassbaggerung zur initialen Herstellung der erforderlichen Tiefen mitzudenken (siehe auch Kap. 4.3 und 7.4).

3.6 Hinweise zur Interpretation der Ergebnisse

Für die Interpretation der im nachfolgenden Kapitel 4 dargestellten Ergebnisse ist es erforderlich, die Auswirkungen der in dieser Studie getroffenen Vereinfachungen und Annahmen sowie die wesentlichen Unsicherheiten, die sich aus der Methodik, der verwendeten Datengrundlage und den einzelnen Prozessierungsschritten resultieren, zu berücksichtigen. An dieser Stelle sei nochmals auf den Abstraktionsgrad der Auftragsbearbeitung hingewiesen: Die entwickelten und angewendeten Methoden führen zu einer hektometergenauen Festlegung von Engpässen, die final ausgewerteten Daten liegen flächendeckend im 1 m x 1 m Raster vor. Die klare Abgrenzung und die relativ hohe Auflösung dürfen jedoch nicht vergessen lassen, dass die vorgelagerten Daten Einschränkungen bezüglich ihrer Aussagekraft unterliegen. Auch die einzelnen Prozessierungsschritte und vereinfachenden Annahmen führen zu Unsicherheiten, die nicht zuletzt dem Umstand zuzurechnen sind, dass die abstrakte Untersuchungstiefe der Auftragsbearbeitung den Charakter einer Machbarkeitsstudie verleiht. Nachfolgend wird auf die wesentlichen Unsicherheiten eingegangen:

- **2D-HN-Modelle (Bereitstellung hydraulischer Parameter)**
Die den Rhein zwischen Iffezheim und Emmerich abdeckenden Teilmodelle wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten erstellt und weisen demzufolge keine in sich konsistenten Sohlzustände auf. Da die zeitliche Differenz zwischen dem jüngsten und ältesten Teilmodell ca. 6 Jahre beträgt, wird die Auswirkung hieraus, im Gegensatz zu anderen vereinfachenden Annahmen, als gering angesehen.
Die Simulation der extremen Niedrigwasserabflüsse bis zum Abfluss $Q(GlQ_{20(2012)} - 30 \%)$ bedeutet, dass alle der Studie zugrunde liegenden Teilmodelle in einem Abflussbereich betrieben werden, der unterhalb der kalibrierten Bereiche liegt. Der hieraus resultierende Fehler wird aufgrund der geringen Differenzen der Abflüsse jedoch ebenfalls als gering eingestuft.
- **Sohlmodell**
Die Anzahl der sich räumlich überlappenden Flächenpeilungen aus unterschiedlichen Peilkampagnen (Jahre 2017-2021), aus denen die obere Einhüllende der Gewässersohle (→ Sohlmodell) generiert wurde, reicht von 0 (keine Daten, aufgetreten auf insges. 14 km Länge) bis 5 (aufgetreten bei insges. 5 km) pro Kilometer. Die obere Einhüllende besteht also im Längsverlauf aus Bereichen, die entweder aus einer einzigen Flächenpeilung – in diesem Fall der aktuellsten – und Bereichen, in denen sich mehrere Flächenpeilungen überlagern, bestehen. Die angesprochenen Lücken wurden mit älteren Daten gefüllt, um ein nahtloses Sohlmodell über die gesamten 518 km Strecke zu erhalten. Insgesamt beinhaltet die obere Einhüllende also Inkonsistenzen, die der Datenverfügbarkeit und der Größe des untersuchten Gebiets geschuldet sind. Der Fehler, der hieraus bei der Identifikation der Fehlflächen resultiert, wird, auf größerer räumlicher Skala gesehen, als gering eingestuft. Großräumige morphologische Tendenzen, insbesondere in dem betrachteten Zeitraum von maximal 5 Jahren betragen, in der Regel nur 1-2 cm pro Jahr. Größere Fehler treten bei kleinen räumlichen Skalen auf,

beispielsweise aufgrund dynamischer, abflussabhängig ausgeprägter Transportkörper. In diesen Bereichen ist es insbesondere im Fall von nur einer verfügbaren Peilung möglich, dass identifizierte Fehltiefen entweder zu gering ausfallen, (Momentaufnahme der Gewässersohle beinhaltet ggf. nicht Transportkörper in maximaler Ausdehnung), oder temporäre, transportkörperbedingte Fehltiefen überhaupt nicht identifiziert werden.

- **Potentielle Abladetiefe**

In die Berechnung der potentiellen Abladetiefe geht unter anderem das fahrdynamische Einsinken (Squat) ein. Der Squat ist abhängig von mehreren Faktoren wie z. B. lokale Fließquerschnittsgeometrie, Fließ- und Relativgeschwindigkeiten und der Form des Schiffskörpers. Für die vorliegende Untersuchung wurden die potentiellen Abladetiefen für ein GMS berechnet (siehe auch Abschnitt 3.1), das den größten Anteil der Rheinflotte ausmacht. Die berechneten Squatwerte des GMS werden im Rahmen dieser Untersuchungen in erster Näherung auch für die anderen betrachteten Schiffstypen angesetzt. Für breitere Schiffe, z. B. Schiffe vom Typ Jowi, wird der Squat somit tendenziell unterschätzt und für schmalere Schiffe, z. B. Schiffe vom Typ Johann Welker oder Gustav Koenigs, tendenziell überschätzt. Die Abweichungen liegen jedoch im unteren Zentimeterbereich und haben daher nur geringe Auswirkungen auf die Detektion der Engpässe.

- **Mindestbreite für Begegnungsverkehr**

Ein Engpass wird im Rahmen dieser Untersuchungen für einen Schiffstyp als solcher identifiziert, wenn mindestens auf 50 % der Fahrrinnenbreite die potentielle Abladetiefe kleiner als der Mindesttiefgang dieses Schiffstyps ist. Der Wert von 50 % der Fahrrinnenbreite resultiert aus der Annahme, dass bei dieser Breite bei Niedrigwasser in geraden Flussabschnitten Begegnungsverkehr typischer Fahrzeuge noch möglich ist. Für den Begegnungsverkehr zweier einspuriger Fahrzeuge lässt sich aus Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011) beispielsweise ein unterer Grenzwert der erforderlichen Breite für eine Begegnung zu 45 m in der Geraden ermitteln. Am Oberrhein dominiert der Verkehr mit 11,4 m breiten Fahrzeugen und der Wert von 45 m entspricht in weiten Teilen rd. 50 % der Fahrrinnenbreite. Am Mittelrhein lässt eine Breite von 60 m (dies entspricht 50 % der vorhandenen Fahrrinnenbreite) bei Übertragung der Angaben in Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011) in geraden Abschnitten die Begegnung eines einspurigen mit einem zweispurigen Verband oder von zwei Schiffen vom Typ Jowi zu. Am Niederrhein können bei einer verfügbaren Breite von 75 m voraussichtlich zwei zweispurige Verbände in geraden Abschnitten begegnen. Durch den gewählten Grenzwert von 50 % der vorhandenen Fahrrinnenbreite werden somit Engstellen für den Begegnungsverkehr von typischen Fahrzeugen in geraden Flussabschnitten identifiziert. Ein Richtungsverkehr, auch von größeren Fahrzeugen, ist aber i.d.R. auch bei noch größeren Breitereinschränkungen möglich. Durch die Zusatzbreiten infolge Kurvenfahrt können zudem in Krümmungen auch schon bei einer geringeren Breitereinschränkung schiffahrtliche Engstellen für Begegnungsverkehre entstehen, die entsprechend der örtlichen Randbedingungen zusätzlich zu berücksichtigen sind. Da dafür aber detaillierte fahrdynamische Analysen erforderlich sind, kann dies nur im Rahmen nachfolgender Untersuchungen und nicht im Rahmen dieser Studie erfolgen.

Unsicherheiten, die sich aus den genannten Punkten bei der Identifikation von Fehltiefen (potentielle Abladetiefe < Schwellenwert) aufgrund der Datengrundlagen ergeben, werden auf ca. ± 10 cm bis ± 15 cm geschätzt. Ferner ergeben sich Unsicherheiten aus den beschriebenen Annahmen, dem Vorgehen bei der Charakterisierung und Verknüpfung schiffahrtlicher Engpässe mit flussbaulichen Anpassungsoptionen über Kriterien, der engpassspezifischen Reihung der vorausgewählten Optionen sowie schließlich der Abschätzung erreichbarer Wassertiefengewinne. Hierzu wurden im Verlauf der Auftragsbearbeitung dauerhaft intensive und fachlich tiefgehende Diskussionen geführt. Wie in Kap. 3.5 ausgeführt, kann es jedoch aufgrund der Komplexität des Systems Fluss und der Individualität jeder als Engpass identifizierten Stelle keinen Automatismus bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen geben. Die im Folgenden präsentierten Ergebnisse sind somit entsprechend dem Abstraktionsniveau des Auftrags als erste Einschätzungen zu verstehen, die keine eingehenden Untersuchungen ersetzen können. So können z. B. aus umfassenden Breitenbedarfsanalysen weitere Engpässe resultieren oder sich die Zusammensetzung und Reihung der vorausgewählten flussbaulichen Optionen ändern. Entsprechende Vorschläge für die weitere Entwicklung des hier auf abstrakter Ebene bearbeiteten Auftrags finden sich im Schlusskapitel (Kap. 5).

4 Ergebnisse und Diskussion

Zentrales Ergebnis der vorliegenden Studie sind Steckbriefe für die schiffahrtlichen Engpässe zwischen Iffezheim und Emmerich, die auf Basis der in Kapitel 3 beschriebenen Vorgehensweise für extreme Niedrigwasserabflüsse identifiziert wurden. Die Bestandteile der Steckbriefe sind in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert. Die Gesamtheit aller erstellten Steckbriefe ist in Anhang 7.5 zu finden.

4.1 Identifikation schiffahrtlicher Niedrigwasserengpässe

In

Tabelle 5 sind alle schiffahrtlichen Engpässe zwischen Iffezheim und Emmerich aufgelistet, die bei einem Abfluss von $Q(GlQ_{20(2012)} - 30 \%)$ unter Verwendung der in Abschnitt 3.1 beschriebenen Annahmen und Randbedingungen identifiziert wurden. Für die Abflussszenarien ($Q(GlQ_{20(2012)} - 10 \%)$ und $Q(GlQ_{20(2012)} - 20 \%)$) werden ebenfalls schwellenwertspezifische Fehltiefen festgestellt, jedoch ergeben sich daraus keine Breitereinschränkungen von über 50 % der Fahrrinnenbreite.

Tabelle 5: Schiffahrtliche Engpässe bei einem extremen Niedrigwasserabfluss von $Q(GlQ_{20(2012)} - 30 \%)$.

Lfd. Nr.	Schiffahrtlicher Engpass bei extremem Niedrigwasser	von Rh-km	bis Rh-km	Länge in km ^[1]
1	Hagenbacher Grund	356,5	358,3	1,8
2	Sondernheim	372,4	374,7	2,3
3	Germersheim	385,5	389,0	3,5
4	Oberhausen-Rheinhausen	392,5	393,0	0,5

5	MA-LU-Stadtstrecke	423,5	427,0	3,5
6	Eisenbahnbrücke Worms	445,5	446,5	1,0
7	Biblis	453,5	454,2	0,7
8	Kemptener Fahrwasser	525,0	525,8	0,8
9	Binger-Loch-Strecke	530,3	531,1	0,8
10	Assmannshausen - Clemensgrund	532,2	536,0	3,8
11	Lorcher Werth	538,3	539,2	0,9
12	Lorch - Lorchhauser Grund	540,2	542,2	2,0
13	Kauber Werth	544,0	544,7	0,7
14	Tauber Werth - Geisenrücken	550,7	553,2	2,5
15	Loreley	554,5	555,6	1,1
16	Deutzer Platte	687,3	687,8	0,5
(Kumulierte Länge) ^[1]				26,4 km
(Anteil an 518 km Gesamtstrecke) ^[1]				ca. 5 %

^[1] Die Festlegung der Längsausdehnung der Engpässe erfolgte auf Grundlage der kartografischen Darstellung der Fehltiefen.

Für jeden dieser Engpässe ist in Anhang 7.5 ein Steckbrief zu finden. In Bild 5 ist am Beispiel der Deutzer Platte der erste Steckbriefteil dargestellt. In der Tabelle „Verortung“ sind zunächst Lage und Ausdehnung des Engpasses beschrieben, ebenso ist ergänzend die im betrachteten Bereich ausgewiesene Fahrrinntiefe mit angegeben. In der anschließenden Tabelle „Indikatoren“ ist aufgeschlüsselt, welche Schwellenwerte der potentiellen Abladetiefe bei welchem Abfluss zu den Fehltiefen führen, die zur Identifikation des Engpasses führen. Im Beispiel (Bild 5) ergibt sich somit bei einem Abfluss $Q(GlQ_{20(2012)} - 30 \%)$ ein Engpass für Schiffe, die bis 1,60 m abgeladen sind, was dem Mindesttiefgang eines Schiffs vom Typ Jowi entspricht. Für die höheren Abflüsse können ebenfalls Fehltiefen identifiziert worden sein, diese treten aber nicht auf mehr als 50 % der Fahrrinnenbreite auf und verursachen somit nach der hier angesetzten Definition keinen schiffahrtlichen Engpass bei extremem Niedrigwasser. Die räumliche Verteilung der Fehltiefen und die Abstufung nach Schwellenwerten bzw. nach Mindesttiefgängen ist für den Abfluss $Q(GlQ_{20(2012)} - 30 \%)$ in der Übersichtskarte dargestellt (siehe Bild 6 für das Beispiel Deutzer Platte). Als ergänzende Indikatoren für das Auftreten eines Engpasses an der betrachteten Stelle sind eventuelle Eintragungen in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt aufgeführt. Fundstellen von Hinweisen zu Engpässen unter normalen, d. h. nicht extremen Niedrigwasserabflussbedingungen aus den nachfolgend aufgeführten Engpassanalysen, werden ebenfalls mitgeführt (Bild 7):

- Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015 (Arbeitsgruppe EKR 2016)
- Projektgruppe Engpassanalyse Rhein (Projektgruppe Engpassanalyse Rhein 2007)
- Abladeoptimierung Mittelrhein Projektphase "Vertiefte Voruntersuchung". Teilbericht 1 (Bundesanstalt für Wasserbau 2019)
- Machbarkeitsstudie Abladeverbesserung und Sohlstabilisierung zwischen Köln und Duisburg (WSA Duisburg-Rhein 2013)

- Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßen-spezifische Wirkungszusammenhänge (Nilson et al. 2020)
- Nachrichten für die Binnenschifffahrt (Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)

Dabei ist zu beachten, dass sich die Methoden der einzelnen Studien untereinander und im Vergleich zur hier vorgestellten Arbeit unterscheiden, und dass die betrachteten Abflüsse ihre Untergrenze überwiegend beim GIQ haben. Eine Engpassnennung in den angeführten Quellen ist somit für die Identifikation eines Engpasses in der vorliegenden Studie nicht ausschlaggebend, sondern als ergänzende Information dafür zu interpretieren, dass an den entsprechenden Stellen grundsätzlich morphodynamische Prozesse oder andere örtliche Gegebenheiten zur Ausbildung von Engpässen führen.

Steckbrief

Deutzer Platte

Der Bereich „Deutzer Platte“ wird hier als schifffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GIQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GIQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Niederrhein	von Rh-km 687,3	bis Rh-km 687,8	Länge ^[1] 0,6 km	Fahrrinntiefe unter GIW 2,5 m
-------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2]	ab pot. Abladetiefe...
...bei $Q(GIQ_{20(2012)}-10\%)$	... --
...bei $Q(GIQ_{20(2012)}-20\%)$	... --
...bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%)$	... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	0899/2020_Deutzer_Platte
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016], [SP106], [AVNR13], [PGEPA3a]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GIQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

Bild 5: Informationen zur Identifizierung und Lokalisierung eines Engpasses im Steckbriefformat.

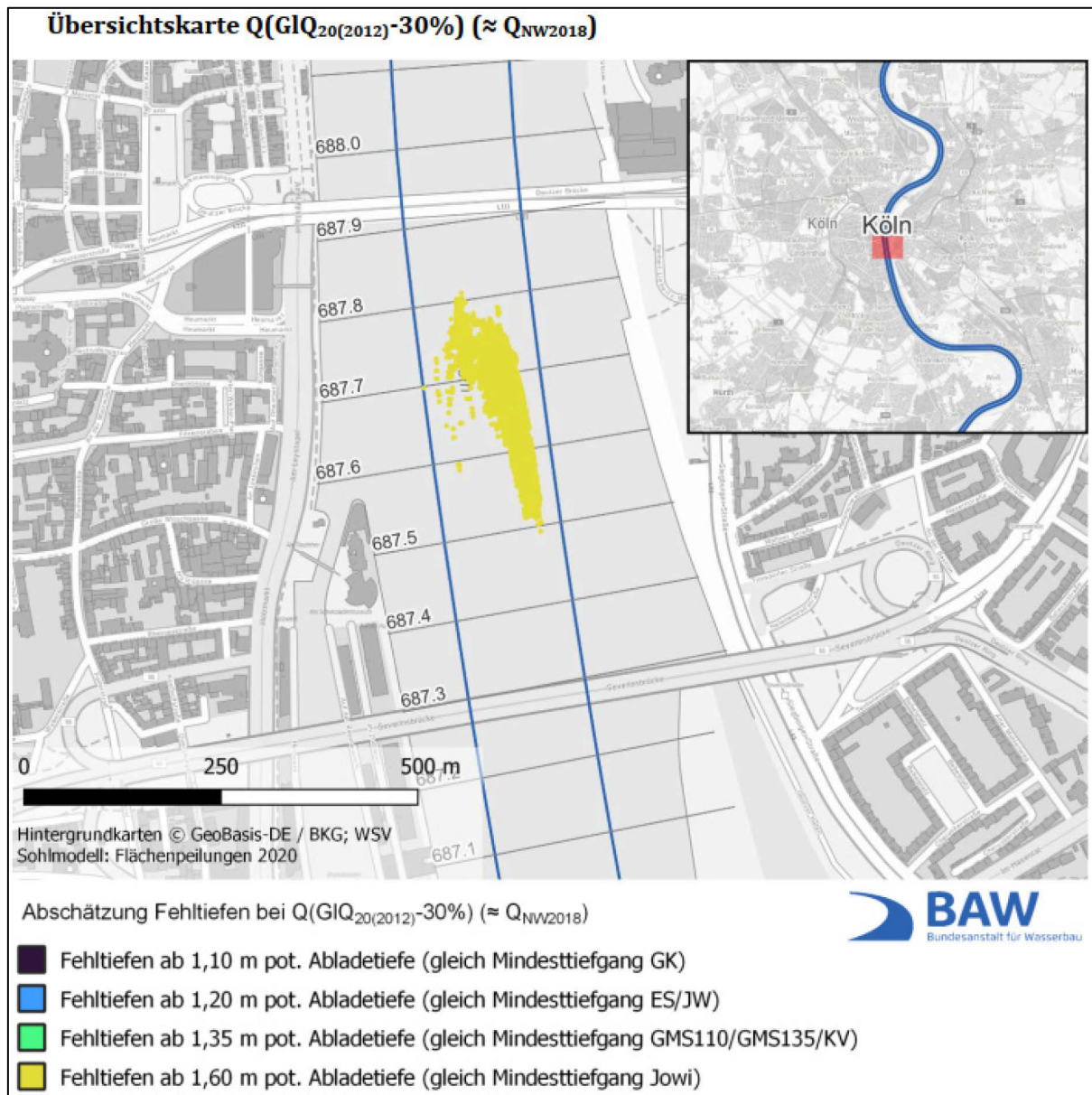


Bild 6: Beispiel Engpass-Steckbrief: Übersichtskarte.

Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[AVNR13]	WSA Duisburg-Rhein (Hg.) (2013): Machbarkeitsstudie Abladeverbesserung und Sohlstabilisierung zwischen Köln und Duisburg, Rhein-km 667,5 bis 769,0
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.
[PGEP3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a
[SP106]	Nilson, E.; Astor, B.; Bergmann, L.; Fischer, H.; Fleischer, C.; Haunert, G.; Helms, M.; Hillebrand, G.; Höpp, S.; Kikillus, A.; Labadz, M.; Mannfeld, M.; Razafimaharo, C.; Patzwahl, R.; Rasquin, C.; Rauthe, M.; Riedel, A.; Schröder, M.; Schulz, D.; Seiffert, R.; Stachel, H.; Wachler, B.; und Winkel, N. (2020): Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge – Schlussbericht des Schwerpunktthemas Schifffahrt und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des BMVI-Experten Netzwerks.

Bild 7: Beispiel Engpass-Steckbrief: Verzeichnis der Fundstellen in vorhandenen Engpassanalysen als Zusatzinformation.

4.2 Engpass-Charakterisierung

Für jeden Engpass wurden insgesamt 23 spezifische Charakteristika erfasst, die die Grundlage für die Verknüpfung des Engpasses mit den flussbaulichen Optionen bilden. Darüber hinaus wurden zehn weitere Charakteristika beschrieben, die nicht direkt der Verknüpfung dienen, sondern auf die nachfolgende Reihung der identifizierten Optionen ausgerichtet sind. In den Steckbriefen selbst werden nur die wichtigsten Kriterien und Charakteristika präsentiert, die in Kombination mit der Kartendarstellung der Fehltiefen einen Überblick über die Beschaffenheit des Engpasses geben und damit den Hintergrund für die Vorauswahl der flussbaulichen Optionen beschreiben. Die im Engpasssteckbrief dargestellten Charakteristika sind im Einzelnen:

- Sohlenzusammensetzung im Fehltiefenbereich: Hier wird unterschieden zwischen Felssohle, Felssohle mit Sedimentauflage, mobiler Sohle ohne Deckschicht, mobiler Sohle mit Deckschicht. Aufgrund der Sohlbeschaffenheit sind bestimmte flussbauliche Optionen grundsätzlich geeignet (z. B. Nassbaggerungen in Bereichen mobiler Sohle ohne Deckschicht) oder nicht geeignet (z. B. Nassbaggerungen in Bereichen mit Felssohle).
- Sohlmorphologie im Fehltiefenbereich: Hier wird unterschieden zwischen Gleithang/Prallhang, Mittelgrund, Felsspitzen, ebene Sohle über die ganze Fahrrinnenbreite. Bei der Vorauswahl flussbaulicher Optionen kann z. B. beim Auftreten von Felsspitzen im Engpassbereich deren Abtrag in der Options-Vorauswahl verbleiben.
- Wiederkehrende Baggerstelle: Hier werden die in der BauMaGs-Datenbank eingetragenen Umlagerungsbaggerungen als Indikator für eine bestehende Anlandungstendenz innerhalb des Engpasses herangezogen. Wasserspiegelstützende Maßnahmen würden somit nicht als geeignete flussbauliche Optionen bewertet werden, weil sie tendenziell die Anlandungstendenz verschärfen.
- Wasserspiegelgefälle bei $GLQ_{20(2012)}$: Das WSP-Gefälle ist kein Verknüpfungskriterium, sondern dient als ergänzendes Charakteristikum zur Abschätzung der Ausdehnung der

Wirksamkeit einer flussbaulichen Option: Zum Beispiel wirkt eine Wasserspiegelstützung bei geringem WSP-Gefälle weiter nach oberstrom als in steileren Abschnitten.

- Unfallschwerpunkt: Das Auftreten von Unfällen bei Niedrigwasser im Bereich eines identifizierten Engpasses unterstreicht, dass an der jeweiligen Stelle Sicherheit und Leichtigkeit im Niedrigwasserfall besonders eingeschränkt sein können. Dies kann bei der Priorisierung der Engpässe mitberücksichtigt werden.
- Infrastrukturobjekte: Befinden sich Infrastrukturobjekte im Umfeld des Engpasses, sind die vorausgewählten flussbaulichen Optionen ggf. in ihrer Lage, Dimensionierung oder auch der grundsätzlichen Einsetzbarkeit eingeschränkt. Beispiele dafür sind die schiff-fahrtlichen Einschränkungen, die sich durch Buhnenvorstreckungen unterstrom oder oberstrom von Hafeneinfahrten ergeben können, die reduzierte Zugänglichkeit von Dü-kern im Falle einer Überbauung, die Überschneidung eines Längswerks mit dem Betrieb einer Fähre etc.
- Einbettung in übergeordneten Engpassbereich: Hier wird eine Abschätzung gegeben, ob sich der jeweilige Engpass in Zusammenhang mit ober- oder unterstrom gelegenen Eng-pässen steht und ob übergeordnete Prozesse, die zur Ausbildung dieser Engpässe führen, bei der Auswahl und ggf. Kombination flussbaulicher Optionen mitzudenken sind.

Bild 8 zeigt die Tabelle mit den Charakteristiken im Steckbrief für den Beispiel-Engpass Deutzer Platte. Ergänzend ist in Bild 9 die Zusammenschau von Bagger- und Unfalldaten dargestellt. Neben den Hinweisen auf wiederkehrende Baggerstellen und Unfälle im Engpassbereich bei Niedrigwas-ser sind im unteren Teildiagramm in Bild 9 auch Zugaben nach Umlagerungsbaggerungen darge-stellt, um ggf. Hinweise auf Übertiefen im Umfeld des Engpasses zu erhalten, die bei der Reihung der vorausgewählten flussbaulichen Optionen insofern einfließen können, als z. B. die Optionen Kolkverbau oder Niedrigwasserkorridor auf das Vorhandensein von Übertiefen angewiesen sind.

Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	Alluvial_ohne_Deckschicht
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Ebene Sohle über ganze FR-Breite
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Ja
WSP-Gefälle	GIW ₂₀ (2012)	0,14 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Ja
Infrastrukturobjekte		Hafeneinfahrten, Stadtstrecke, Brücken, teilw. historische Objekte
Einbettung in übergeordneten Eng-passbereich		--

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#).

Bild 8: Charakteristika, die in den Engpass-Steckbriefen aufgelistet sind.

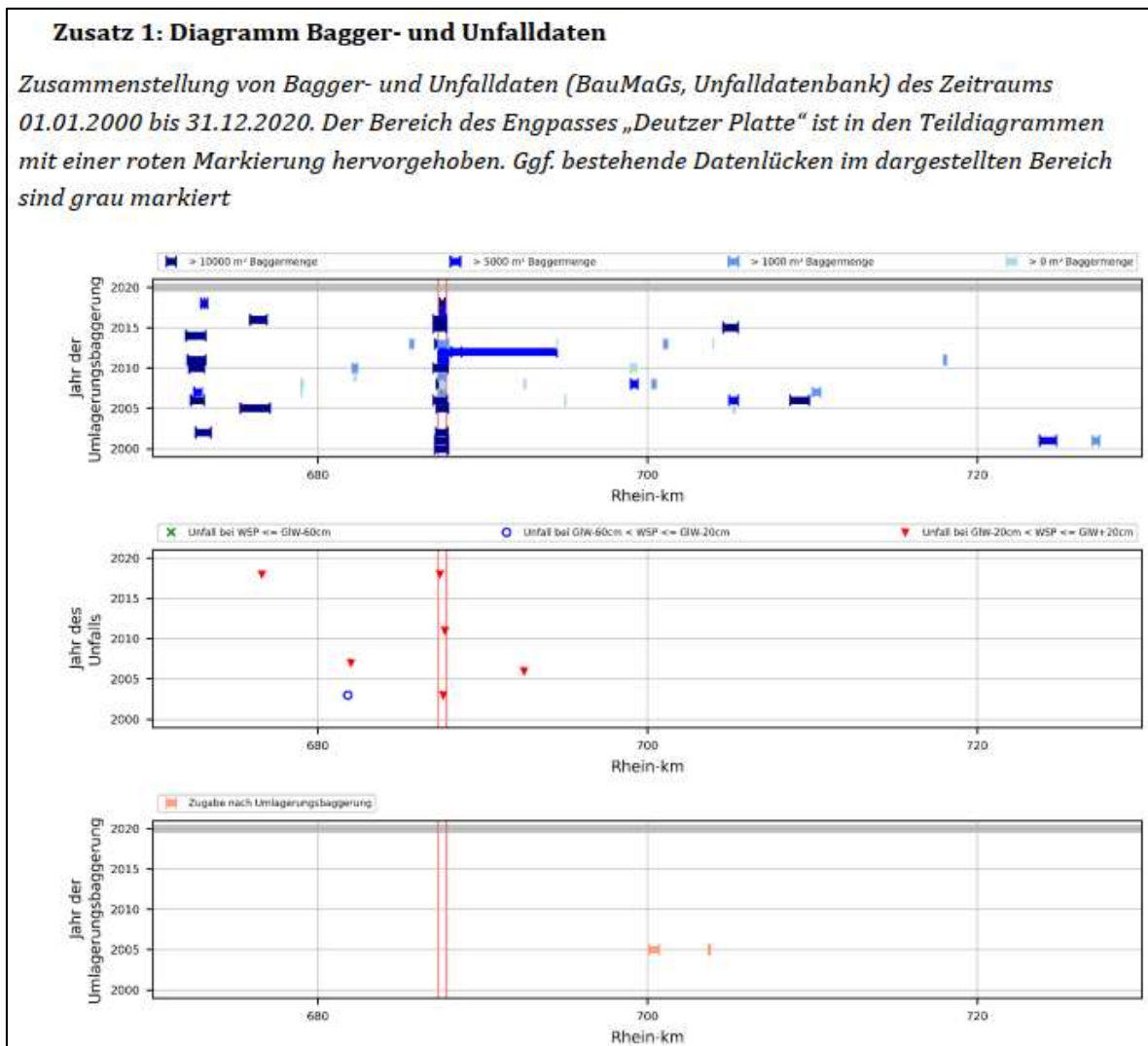


Bild 9: Beispiel Engpass-Steckbrief: Übersicht der Bagger- und Unfalldaten im Längsschnitt (X-Achse) und nach Jahr (Y-Achse). Obere Teilabbildung: Entnahmen im Zuge von Umlagerungsbaggerungen eingefärbt nach Entnahmevolumen, unteres Teildiagramm: Zugaben nach Baggerungen. Mittleres Teildiagramm: Unfälle in Abhängigkeit von Wasserstandslamellen bei Niedrigwasser bzw. extremem Niedrigwasser. Die roten Linien markieren den Bereich des betrachteten Engpasses.

4.3 Zusammenstellung flussbaulicher Optionen – Beispiel

Für die in Tabelle 2 aufgelisteten flussbaulichen Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen bei extremen Niedrigwasserereignissen wird für jede Option eine Beschreibung erstellt, in welcher die Bauart und die Wirkungsweise beschrieben werden. Generell ist hierbei zu beachten, dass die Wirkung je nach flussbaulicher Option bezogen auf extrem geringe Abflüsse direkt oder indirekt eintreten kann. Ein Beispiel für die direkte Wirkungsweise ist die Stützung des Wasserspiegels in einem Engpass in fester Sohle durch die Reduzierung des Fließquerschnitts bei Niedrigwasser, was z. B. durch ein Längswerk erreicht werden kann, dessen Oberkante ab GlQ oder darunter nicht mehr überströmt wird. Ein Beispiel für die indirekte Wirkungsweise ist die Erhöhung der Sohlschubspannung in mobiler Sohle durch die Reduzierung

des Fließquerschnitts bei bettbildendem Abfluss, z. B. durch Buhnen, deren Rücken ab MQ nicht mehr überströmt werden: Hierdurch können Anlandungstendenzen bei mittleren Abflüssen reduziert werden, damit bei niedrigen Abflüssen weniger Fehltiefen auftreten.

In Bild 10 ist beispielhaft die Beschreibung der flussbaulichen Option 21 - Nassbaggerung angeführt. Die vollständige Zusammenstellung der Beschreibungen ist in Anhang 7.4 zu finden.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser		
Regelungsziel	Wassertiefenerhöhung durch Sohlabtrag	
Flussbauliche Option	Nassbaggerung	<i>Option Nr. 2_1</i>
<i>Förderung von Sohlmaterial aus dem Gewässer mit schwimmendem Baggergerät.</i>		
		
<i>Abb.: Nassbaggerung (Quelle: BAW)</i>		
Hierbei handelt es sich um eine Maßnahme zur Herstellung oder Unterhaltung definierter Tiefen im alluvialen Gewässerbett (Steine, Kies, Sand, etc.) mit Hilfe von Nassbaggern (z. B. Saugbagger, Eimerkettenschwimmbagger oder Löffelschwimmbagger). Im Rahmen von Umlagerungsbaggerungen wird das Baggergut z. B. in Klappschuten aufgenommen, die an der Klappstelle durch Öffnen von Bodenklappen entleert werden können.		

Bild 10: Beschreibung der flussbaulichen Option „Nassbaggerung“.

4.4 Verknüpfung von Engpässen und flussbaulichen Optionen

Ergebnisse der kriteriengestützten Vorauswahl engpassspezifischer flussbaulicher Optionen sind in Bild 11 für den Oberrhein und in Bild 12 für den Mittel- und Niederrhein dargestellt. Diese initiale Auflistung beinhaltet ausdrücklich noch keine engpassspezifischen Plausibilisierungen, Abwägungen und Reihungen der Optionen, sondern zeigt vielmehr zunächst auf, welche Optionen aufgrund der angelegten Kriterien für einen Engpass nicht als zielführend gelten. Für das Ergebnis der engpassspezifischen Diskussion und Reihung siehe Kap. 0.

Gruppe / Zielstellung	Nr.	Flussbauliche Option	Hagenbacher Grund	Sondernheim	Germersheim	Oberhausen-Rheinhausen	MA-LU-Stadtstrecke	Eisenbahnbrücke Worms	Biblis	Kemptener Fahrwasser
Ausnutzung vorhandener Übertiefen	11	NW-Korridor								
Sohlabtrag	21	Nassbaggerung								
	22	Felsabtrag								
WSP-Stützung	31	Buhnen								
	32	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)								
	33	Kolkverbau								
	34	Längswerk								
Erhöhung Sohlschubspannung	41	Buhnen								
	42	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)								
	43	Kolkverbau								
	44	Längswerk								
	45	Längswerk mit nachregelbarer Hinterströmung								
Reduzierung Sedimentangebot	51	Geschiebeentzug								
Umlenkung Transportpfad	52	Grundschrwellen								
Q-Konzentration bei NW	53	Buhnenkopfschwellen								

Bild 11: Vorauswahl engpassspezifischer flussbaulicher Optionen im Oberrhein (ohne Plausibilisierung und Reihung).

Gruppe / Zielstellung	Nr.	Flussbauliche Option	Binger-Loch Strecke	Assmannshausen- Clemensgrund	Lorcher Werth	Lorch - Lorch- hauser Grund	Kauber Werth	Tauber Werth - Geisenrücken	Loreley	Deutzer Platte
Ausnutzung vor- handener Übertiefen	11	NW-Korridor	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	[1]	
Sohlabtrag	21	Nassbaggerung								
	22	Felsabtrag								
WSP-Stützung	31	Buhnen								
	32	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)					[2]			
	33	Kolkverbau								
	34	Längswerk								
Erhöhung Sohlschubspannung	41	Buhnen								
	42	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)								
	43	Kolkverbau								
	44	Längswerk								[3]
	45	Längswerk mit nachregelbarer Hinterströmung								
Reduzierung Sedimentangebot	51	Geschiebeentzug								[3]
Umlenkung Transportpfad	52	Grundschröten								
Q-Konzentration bei NW	53	Buhnenkopfschröten								

[1] Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2022): Entwicklung eines Niedrigwasserkorridors zur Verbesserung der Schiffbarkeit bei extremen Niedrigwasserereignissen am Mittelrhein. (BAW-Gutachten, B3953.04.06.10136)

[2] Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.) (2014): Verkehrswasserbauliche Regelungs- und Anpassungsoptionen an klimabedingte Veränderungen des Abflussregimes. Schlussbericht KLIWAS-Projekt 4.03. KLIWAS-45/2014.

[3] Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2020): Hydro- und morphodynamische Untersuchungen an der Fehlstelle Deutzer Platte/Niederrhein unter Berücksichtigung des Klimawandels. (BAW-Gutachten, B3953.02.04.70006)

Die exemplarisch angeführten Studien behandeln die jeweilige(n) Anpassungsoption(en) vor dem Hintergrund extremer Niedrigwasserabflüsse von bis zu 30 % unter GIQ.

Bild 12: Vorauswahl engpassspezifischer flussbaulicher Optionen im Mittel- und Niederrhein (ohne Plausibilisierung und Reihung).

4.5 Reihung der flussbaulichen Optionen

Die im Ergebnis in Kapitel 4.4 vorgestellte engpassspezifische Vorauswahl flussbaulicher Optionen wird im finalen Bearbeitungsschritt in Diskussionen unter Einbeziehung von Streckenexpertise und flussbaulichem Erfahrungswissen plausibilisiert und gereiht (Kap. 3.5). Das Resultat hieraus ist in Bild 13 und Bild 14 in Form einer angepassten Übersicht der engpassspezifischen flussbaulichen Optionen dargestellt.

Gruppe / Zielstellung	Nr.	Flussbauliche Option	Hagenbacher Grund	Sondernheim	Germersheim	Oberhausen-Rheinhausen	MA-LU-Stadtstrecke	Eisenbahnbrücke Worms	Biblis	Kemptener Fahrwasser
Ausnutzung vorhandener Übertiefen	11	NW-Korridor	++	++	++	++	++	++	++	++
Sohlabtrag	21	Nassbaggerung	+	+	+	+	+	+	+	+
	22	Felsabtrag								
WSP-Stützung	31	Buhnen								
	32	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)								
	33	Kolkverbau								
	34	Längswerk								
Erhöhung Sohlschubspannung	41	Buhnen	+	+	o	o	--	-	-	-
	42	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)	-	-	-	-	--	-	--	o
	43	Kolkverbau	--			--		--	o	-
	44	Längswerk	o	o	o	o	--	o	-	o
	45	Längswerk mit nachregelbarer Hinterströmung	o	o	o	o	--	--	-	--
Reduzierung Sedimentangebot	51	Geschiebeentzug	-	-	o	-	-	-	--	--
Umlenkung Transportpfad	52	Grundschrwellen								
Q-Konzentration bei NW	53	Buhnenkopfschwellen								

Qualitative Skala zur Reihung vorausgewählter flussbaulicher Optionen:

- ++ Bevorzugte flussbauliche Option(en). Einschätzung als effektiv und effizient. Bei konkreteren Untersuchungen wird eine prioritäre Betrachtung empfohlen.
- + Effektive flussbauliche Option(en). Ggf. größerer Aufwand bei der Umsetzung.
- o Grundsätzlich einsetzbare flussbauliche Option(en). Einschätzung als effektiv, aber relativ großer Aufwand bei der Umsetzung.
- Technisch grundsätzlich mögliche flussbauliche Option(en). Effekt wird als gering eingeschätzt, der Aufwand bei der Umsetzung als hoch.
- Flussbauliche Option(en) bei engpassspezifischer Diskussion als nicht zielführend bezüglich der Erreichung des als notwendig erachteten Wassertiefengewinns bzw. als nicht zielgerichtet einsetzbar bewertet und aus der Vorauswahl entfernt.

Bild 13: Engpassspezifische flussbauliche Optionen im Oberrhein (inklusive Plausibilisierung und Reihung nach engpassspezifischer Diskussion). Graue Felder markieren flussbauliche Optionen, die im Zuge der Diskussion als nicht zielführend entfernt wurden.

Gruppe / Zielstellung	Nr.	Flussbauliche Option	Binger-Loch Strecke	Assmannshausen- Clemensgrund	Lorcher Werth	Lorch - Lorch- hauser Grund	Kauber Werth	Tauber Werth - Geisenrücken	Loreley	Deutzer Platte
Ausnutzung vor- handener Übertiefen	11	NW-Korridor	++	++	++	++	++	++	++	++
Sohlabtrag	21	Nassbaggerung								+
	22	Felsabtrag	+	+	+	+	+	+	+	
WSP-Stützung	31	Buhnen	--	--	-	-		--	--	
	32	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)	--	--	--	--	-	--	--	
	33	Kolkverbau	--	--	--	--		--	--	
	34	Längswerk	--	--	-	-		-	--	
Erhöhung Sohlschubspannung	41	Buhnen								--
	42	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)								o
	43	Kolkverbau								
	44	Längswerk								+
	45	Längswerk mit nachregelbarer Hinterströmung								--
Reduzierung Sedimentangebot	51	Geschiebeentzug								+
Umlenkung Transportpfad	52	Grundschnellen								
Q-Konzentration bei NW	53	Buhnenkopfschnellen								

Qualitative Skala zur Reihung vorausgewählter flussbaulicher Optionen:

- ++ Bevorzugte flussbauliche Option(en). Einschätzung als effektiv und effizient. Bei konkreteren Untersuchungen wird eine prioritäre Betrachtung empfohlen.
- + Effektive flussbauliche Option(en). Ggf. größerer Aufwand bei der Umsetzung.
- o Grundsätzlich einsetzbare flussbauliche Option(en). Einschätzung als effektiv, aber relativ großer Aufwand bei der Umsetzung.
- Technisch grundsätzlich mögliche flussbauliche Option(en). Effekt wird als gering eingeschätzt, der Aufwand bei der Umsetzung als hoch.
- Flussbauliche Option(en) bei engpassspezifischer Diskussion als nicht zielführend bezüglich der Erreichung des als notwendig erachteten Wassertiefengewinns bzw. als nicht zielgerichtet einsetzbar bewertet und aus der Vorauswahl entfernt.

Bild 14: Engpassspezifische flussbauliche Optionen im Mittel- und Niederrhein (inklusive Plausibilisierung und Reihung nach engpassspezifischer Diskussion). Graue Felder markieren flussbauliche Optionen, die im Zuge der Diskussion als nicht zielführend entfernt wurden.

Der Niedrigwasserkorridor wird gemäß Bild 13 und Bild 14 in allen Engpässen als potentiell zielführende Option erachtet, die jedoch im Rahmen weiterer Untersuchungen vertieft zu betrachten wäre. Der Niedrigwasserkorridor weist hinsichtlich des zu erzielenden Gewinns an nautisch nutzbarer Wassertiefe potentiell eine hohe Wirksamkeit auf. Können bei der Umsetzung des Niedrigwasserkorridors vorhandene Übertiefen genutzt werden, so ist der bauliche Aufwand vergleichsweise gering, was mit entsprechend geringeren nachteiligen Auswirkungen auf die Entwicklung der Wasserspiegellagen als bei anderen flussbaulichen Optionen einhergeht.

Die in Bild 13 und Bild 14 zusammengefasste Auswahl engpassspezifischer flussbaulicher Optionen ist in den einzelnen Engpasssteckbriefen jeweils detaillierter aufgeschlüsselt. Bild 15 zeigt am Beispiel der Stadtstrecke Mannheim-Ludwigshafen die entsprechende Darstellung, die sich in folgende Teile gliedert:

- Name des Engpasses und Abschätzung der Größenordnung der Fehltiefen (Bild 15 oben). Die Abschätzung erfolgte visuell anhand einer Kartendarstellung der Differenzen zwischen den Werten der potentiellen Abladetiefe und dem betrachteten Schwellenwert.
- Darstellung der Schwellenwerte, für die der Engpass identifiziert wurde. Die Schwellenwerte sind mit Schiffssymbolen markiert, in denen sich die Kürzel der jeweiligen Schiffstypen befinden (Bild 15 links).
 - Graue Schiffssymbole: Für den betrachteten Schwellenwert besteht kein Engpass.

- Grüne Schiffssymbole: Für den betrachteten Schwellenwert besteht ein Engpass, es wurden jedoch flussbauliche Optionen identifiziert, mit denen potentiell ein Wassertiefengewinn in der Größenordnung der Fehltiefen erreicht werden könnte.
- Rotes Schiffssymbol: Tritt auf, wenn der Engpass für zwei Schwellenwerte identifiziert wurde. Zunächst werden die flussbaulichen Optionen aufgeführt, die als zielführend hinsichtlich eines Wassertiefengewinns in der Größenordnung der Fehltiefen des ersten Schwellenwertes erachtet werden (d. h. in der Darstellung erscheint ein grünes Schiffssymbol für den ersten, kleineren Schwellenwert und ein rotes Schiffssymbol für den zweiten, größeren Schwellenwert). Durch Kombinationen von Optionen und in der Regel größere Eingriffstiefen kann ein Wassertiefengewinn in der Größenordnung der Fehltiefen des zweiten Schwellenwertes erreicht werden – hierfür wird die Grafik ein zweites Mal dargestellt (Bild 15), dann mit zwei grünen Schiffssymbolen (1 x erster, kleiner Schwellenwert, 1 x zweiter, größer Schwellenwert).
- Tabelle mit der finalen Auswahl an flussbaulichen Optionen, gelistet entsprechend der Reihung (Bild 15 rechts). Die Tabelle kann Hinweise z. B. auf mögliche Kombinationen oder Ausführungsvarianten der flussbaulichen Optionen enthalten, sofern solche Hinweise aus der Diskussion oder aus vorliegenden Untersuchungen hervorgegangen sind.

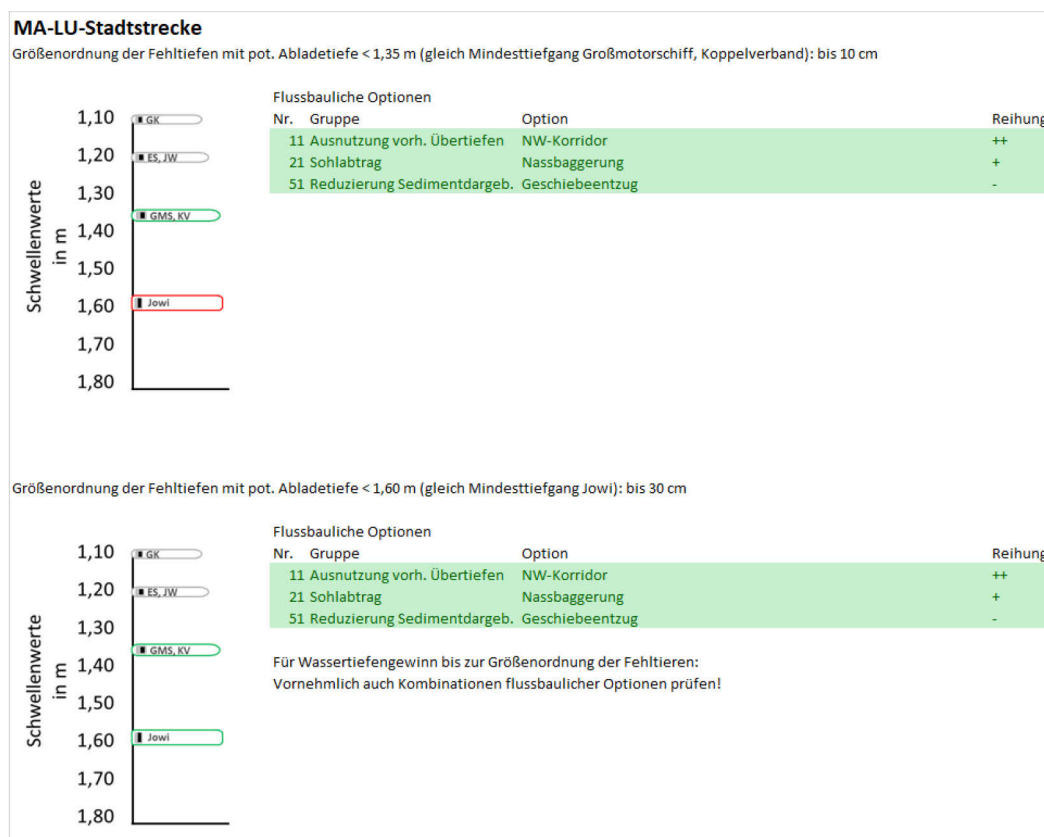


Bild 15: Engpassspezifische Darstellung der gereihten flussbaulichen Optionen - Beispiel Stadtstrecke Mannheim-Ludwigshafen.

5 Schlussfolgerungen

Mit den Ergebnissen dieser Studie liegt eine Zusammenstellung potentieller schiffahrtlicher Engpässe vor, die im Rhein zwischen Iffezheim und der deutsch-niederländischen Grenze bei extremem Niedrigwasserabfluss $Q(GIQ_{20(2012)} - 30 \%)$, vergleichbar mit den geringsten Abflüssen im Niedrigwasserjahr 2018, auftreten können. Der Identifikation der Engpässe liegt dabei die Annahme zugrunde, dass das alleinige Auftreten von Fehltiefen in der Fahrrinne unter diesen für die Schifffahrt extremen Bedingungen nicht zwangsläufig zu einem schiffahrtlichen Engpass führen muss: Solange eine bestimmte Breite frei von Fehltiefen ist, kann eine Stelle – auch im Begegnungsverkehr – unter Einschränkung der Leichtigkeit passierbar bleiben. Neben der Betrachtung extrem geringer Abflüsse liegt einer der wesentlichen Unterschiede dieser Studie zu anderen Engpassanalysen darin, dass nicht die Geometrie des Fahrrinnenkastens bzw. deren Verschneidung mit einem Modell der Flusssohle, sondern die potentielle Abladetiefe als ein Maß für die schiffahrtliche Nutzbarkeit der Wasserstraße herangezogen wurde.

Die differenzierte Darstellung der schiffahrtlichen Engpässe im Längsverlauf des Rheins (Bild 16, großformatig in Anhang 7.3) in Abhängigkeit unterschiedlicher Schwellenwerte, stellvertretend für potentielle Abladetiefen oder auch Mindesttiefgänge repräsentativer Schiffstypen, stellt eine geeignete Grundlage für nachgelagerte Betrachtungen zur Verbesserung der Transportbedingungen am Rhein unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen dar:

- Wo treten bei welchen Niedrigwasserabflüssen (GIQ und geringer) bezogen auf weitere Schwellenwerte bzw. Abladeszenarien schiffahrtliche Engpässe auf?
- Wäre die Beseitigung eines konkreten Engpasses über die Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe um ein bestimmtes Maß bezüglich der dortigen Verkehre und der abschnitts- bzw. relationsspezifischen Flottenzusammensetzung erforderlich und nutzbringend?
- In welchem Engpass müsste die nautisch nutzbare Wassertiefe um welches Maß erhöht werden, um die Durchgängigkeit des Schiffstransports mit einer bestimmten Abladetiefe auf relevanten Transportrelationen zu ermöglichen?
- In welchen schiffahrtlichen Engpässen sollte die Entschärfung prioritär angegangen werden, um schnellstmöglich einen Nutzen zu erzeugen?

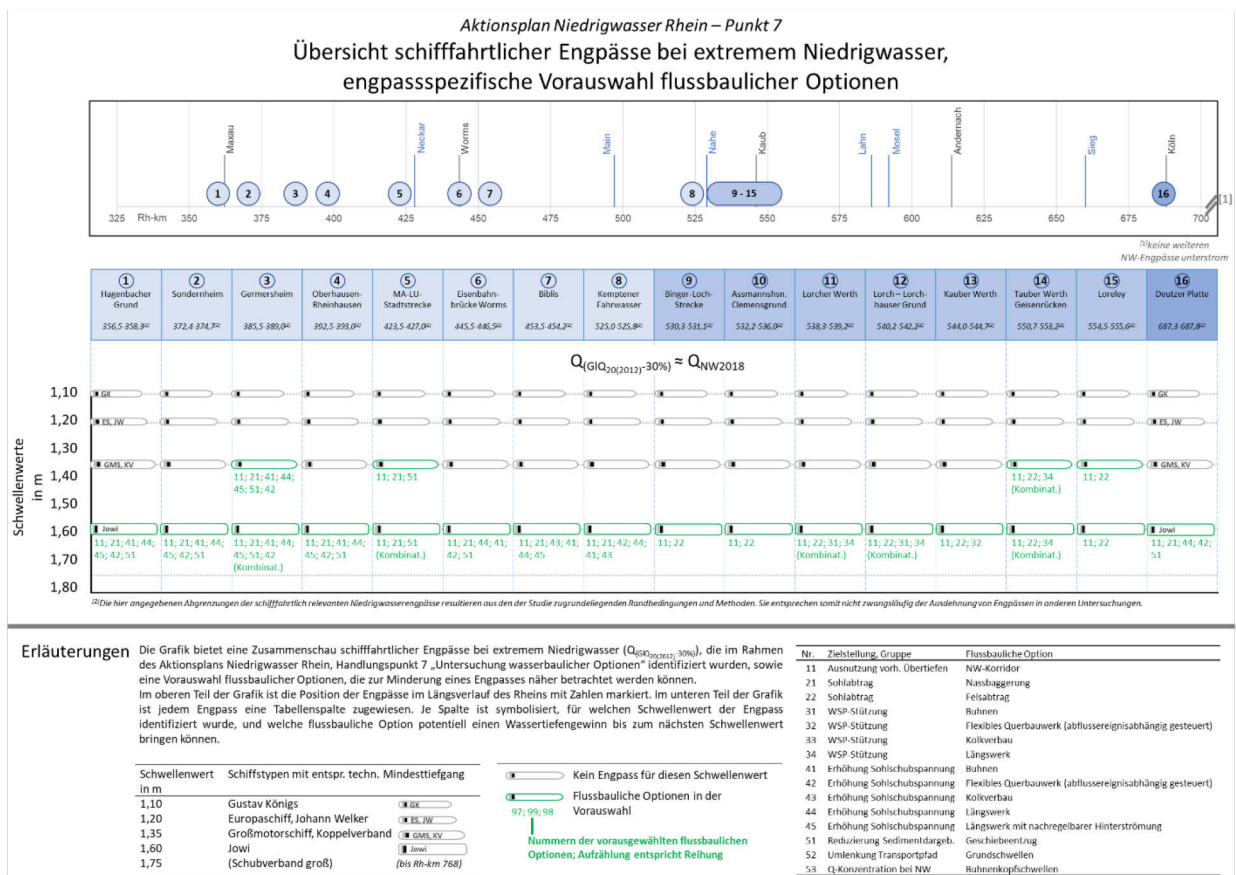


Bild 16: Grafische Zusammenfassung der 16 im Untersuchungsgebiet identifizierten schiffahrtlichen Engpässen bei einem dem Ereignis 2018 vergleichbaren Niedrigwasserabfluss (oberer Teil der Abbildung) sowie der für nähere Betrachtungen je Engpass vorausgewählten flussbaulichen Optionen (mittlerer Teil der Abbildung). Unterer Teil der Abbildung: Erläuterungen. (Die Abbildung ist im Anhang großformatig bereitgestellt.)

Die in dieser Studie gewählten Abladetiefen-Schwellenwerte orientieren sich an den Mindesttiefgängen typischer Schiffe. Die identifizierten Engpässe können somit als abladebestimmende Schwellen bei extremem Niedrigwasser im freifließenden Rhein interpretiert werden, die je nach Schiffstyp schon bei relativ geringer Zuladung (bei Abladung auf den Mindesttieftgang, siehe Kap. 3.1) die Passage einschränken. Eine darauf aufbauende Erweiterung der vorliegenden Studie könnte somit die **Analyse zusätzlicher Abladeszenarien** sein, um die hier präsentierte Zusammenstellung schiffahrtlicher Engpässe für das gesamte Spektrum relevanter Abladetiefen aufzufächern. Im gleichen Zuge könnten zur Beurteilung möglichen Handlungsbedarfs auch diejenigen Fehlflächenbereiche untersucht werden, die zwar weniger als 50 % der Fahrrinnenbreite einnehmen, aber dennoch eine Breitereinschränkung darstellen. Bei einer entsprechenden Betrachtung weiterer Abladeszenarien ist darüber hinaus zu erwarten, dass auch bei den Abflussszenarien $Q_{(GIQ_{20(2012)} - 10\%)}$ und $Q_{(GIQ_{20(2012)} - 20\%)}$ Engpässe identifiziert werden bzw. die in dieser Studie aufgeführten Engpässe bereits bei diesen Abflüssen auftreten. Durch die Analyse weiterer Abladeszenarien bietet sich die Möglichkeit, **Transportmengenbetrachtungen** anzuschließen. Durch die **Einbeziehung von Relationen** sowie von **Szenarien der Flottenentwicklung** können die vorliegenden Ergebnisse zusätzlich differenziert werden. Allgemein ist eine **Validierung** der

hier auf Grundlage theoretischer Überlegungen identifizierten Engpässe durch detaillierte fahrdynamische Analysen, durch die **Auswertung von AIS-Daten** oder auch, in Anlehnung an vorangegangene Engpassanalysen (Projektgruppe Engpassanalyse Rhein 2007), die **Befragung Schiff-fahrtsbetreibender** zu deren Erfahrung und Umgang mit extremen Niedrigwassersituationen zu empfehlen.

Über die Charakterisierung der identifizierten Engpässe anhand wesentlicher flussbaulicher Parameter ist es möglich, flussbauliche Optionen vorauszuwählen, die potentiell zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen bei extremen Niedrigwasserabflussbedingungen geeignet sind, und diese entsprechend ihrer Wirksamkeit sowie des abgeschätzten Umsetzungsaufwands zu reihen. **Die vorliegende Studie bewegt sich auf hohem Abstraktionsgrad und kann flussbauliche Untersuchungen, die mit einer der Komplexität des Fachthemas angemessenen Untersuchungstiefe zu flussbaulichen Lösungen kommen, nicht ersetzen.** Nichtsdestotrotz stellen die erarbeiteten Ergebnisse wesentliche Ausgangspunkte für mögliche Folgeuntersuchungen dar: Die hier durchgeführte Vorauswahl und Reihung einzeln betrachteter flussbaulicher Anpassungsoptionen kann für prioritär zu entschärfende Engpässe in einem nächsten Schritt gezielt auf eine konkretere Betrachtungsebene gehoben werden, und die flussbaulichen Untersuchungen können in diesem Zusammenhang im Bedarfsfall um engpassspezifische Kombinationen von flussbaulichen Optionen erweitert werden.

Vor dem Hintergrund der Eingriffsminimierung bietet sich insbesondere die **vertiefte Untersuchung des Niedrigwasserkorridors** zur Ausnutzung größerer nautisch nutzbarer Wassertiefen bei extremen Niedrigwasserabflüssen an. Mit dem Konzept des Niedrigwasserkorridors wird die Idee verfolgt, im Falle extrem niedriger Abflüsse natürlich vorhandene Übertiefen nach Möglichkeit schiffahrtlich zu nutzen, um Verringerungen der Transportkapazität in Niedrigwasserphasen, wie sie beim Ereignis 2018 zu größeren wirtschaftlichen Verlusten geführt haben, entgegenzuwirken (Bundesanstalt für Wasserbau 2022).

Liegen die erforderlichen Tiefen auf den für die Schifffahrt erforderlichen Breite nicht im Längsschnitt zusammenhängend vor, so könnte der Korridor baulich hergestellt werden. Der Mehrwert der baulichen Herstellung eines Niedrigwasserkorridors läge im Vergleich zur ausschließlichen Nutzung vorhandener und bekannter Übertiefen in der zusätzlich geschaffenen nautisch nutzbaren Tiefe und Breite. Hierdurch treten fehliefenbedingte Einschränkungen der Schifffahrt im Falle extrem geringer Abflüsse verglichen mit dem Istzustand später auf und fallen geringer aus. Auch speziell für Niedrigwasser neu entwickelte Schiffstypen können von einem hergestellten Niedrigwasserkorridor profitieren, da sie entsprechend der gewonnenen nautisch nutzbaren Wassertiefen tiefer abladen und somit wirtschaftlicher fahren können. Zu erwartende Vorteile eines Niedrigwasserkorridors gegenüber einer Vertiefung der Fahrrinne über ihre gesamte Breite wären geringere nachteilige hydraulisch-morphologische Auswirkungen sowie ein reduzierter Herstellungs- und Unterhaltungsaufwand. Ein Niedrigwasserkorridor wäre allerdings mit der Inkaufnahme eines eingeschränkten Verkehrsflusses (Richtungsverkehr für bestimmte Streckenabschnitte, zusätzliche Kurvenfahrtmanöver auch in geraden Strecken, etc.) verbunden. Gleichzeitig könnte er bei sehr niedrigen Abflüssen zumindest breitenbeschränkten schiffahrtlichen Verkehr ermöglichen bzw. die schiffahrtlichen Bedingungen bei diesen Abflüssen zumindest innerhalb des Korridors verbessern.

Zur Klärung offener Fragen im Zusammenhang mit der Herstellung, der Unterhaltung und dem Betrieb eines Niedrigwasserkorridors bietet es sich an, diesen im Rahmen eines Pilotprojekts umzusetzen und mit den entsprechenden Untersuchungen zu begleiten. Ein konkreter Bereich kann an dieser Stelle nicht empfohlen werden. Hierfür wäre zunächst eine Festlegung der zu erzielenden, abflussspezifischen Tiefen sowie eine Priorisierung der zu behebenden Engpässe erforderlich. Dies ist generell eine Voraussetzung für eine tiefergehende engpassspezifische Betrachtung flussbaulicher Optionen.

Die hier vorgestellte Studie fokussiert explizit auf flussbauliche Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen, um dem Ziel zuverlässig kalkulierbarer Transportbedingungen am Rhein unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen näherzukommen. Speziell das Niedrigwasser 2018 hat verdeutlicht, dass solche Extremereignisse kaum vorherzusehen und aus Sicht der Bereitstellung von Verkehrsinfrastruktur kurzfristig kaum abzufangen sind. Nicht zuletzt aus der Annahme heraus, dass die Häufigkeit vergleichbarer oder noch extremerer Abflussverhältnisse zukünftig steigt, entsteht verstärkt der **Bedarf an einer vorausschauenden, dauerhaft wirkenden Anpassung der Bundeswasserstraßen**, um auch bei Niedrigwasser zuverlässigere Transportbedingungen am Rhein zu erreichen. Hierzu will die vorliegende Studie einen Beitrag leisten

Die gemeinsame Betrachtung mit wasserwirtschaftlichen Optionen als weiterer Baustein des Handlungspunkts 7 des Aktionsplans Niedrigwasser Rhein erfolgt im anschließenden Synthesenbericht in Kooperation mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde.

Bundesanstalt für Wasserbau
Karlsruhe, Mai 2022

Im Auftrag

Bearbeiter

gez. Prof. Dr.-Ing. A. Schmidt

gez. Dr. rer. nat. M. Hämmerle

6 Literatur

Arbeitsgruppe EKR (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015. Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung.

Bundesanstalt für Wasserbau (2016): Fahrrinnenbreitenbedarf am frei fließenden Rhein: Grundlagenbericht (BAW-Gutachten, B3953.04.33.10106).

Bundesanstalt für Wasserbau (2019): Abladeoptimierung Mittelrhein Projektphase "Vertiefte Voruntersuchung". Teilbericht 1: Grundlagen und flussbauliches Untersuchungskonzept für die Projektstrecke von Budenheim bis St. Goar (Rhein-km 508,0-557,0). (BAW-Gutachten, B3953.02.30.10171).

Bundesanstalt für Wasserbau (2020): Hydro- und morphodynamische Untersuchungen an der Fehlstelle Deutzer Platte/ Niederrhein unter Berücksichtigung des Klimawandels. (BAW-Gutachten, B3953.02.04.70006).

Bundesanstalt für Wasserbau (2022): Entwicklung eines Niedrigwasserkorridors zur Verbesserung der Schifffbarkeit bei extremen Niedrigwasserereignissen am Mittelrhein. (BAW-Gutachten, B3953.04.06.10136).

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.) (2011): Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2019): H2O statt CO2 – Wir machen den Güterverkehr auf dem Rhein zukunftssicher. Aktionsplan „Niedrigwasser Rhein“ für zuverlässigen Transport. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Artikel/WS/gemeinsame-erklaerung-acht-punkte-plan-niedrigwasser-rhein.html>, zuletzt geprüft am 30.03.2022

Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. (DST) (2015): Auswirkungen unterschiedlicher Abflüsse auf die Transportkosten und Kapazität der Binnenschifffahrt auf dem Rhein (DST-Bericht, Nr. 2073).

Nilson, Enno; Astor, Birgit; Bergmann, Linda; Fischer, Helmut; Fleischer, Claudius; Haunert, Gundula; Helms, Martin; Hillebrand, Gudrun; Höpp, Simona; Kikillus, Alexander; Labadz, Martin; Mannfeld, Markus; Razafimaharo, Christène; Patzwahl, Regina; Rasquin, Caroline; Rauthe, Monika; Riedel, Annika; Schröder, Michael; Schulz, Dirk; Seiffert, Rita; Stachel, Hauke; Wachler, Benno; Winkel, Norbert (2020): Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge – Schlussbericht des Schwerpunktthemas Schifffbarkeit und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des

BMVI-Expertennetzwerks. Online verfügbar unter <https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/TFSPtBerichte/SPT106.html?nn=1371986>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

Projektgruppe Engpassanalyse Rhein (2007): Zwischenbericht 3a.

Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Hg.): Nachrichten für die Binnenschifffahrt. Online verfügbar unter <https://www.elwis.de/DE/dynamisch/mvc/main.php?modul=fahrrinnen>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

WSA Duisburg-Rhein (Hg.) (2013): Machbarkeitsstudie Abladeverbesserung und Sohlstabilisierung zwischen Köln und Duisburg, Rhein-km 667,5 bis 769,0.

Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (Hg.) (2011) Endgültig angenommene Beschlüsse. (CC/R (11) 2011-II). Straßburg. Dort v. a. Protokoll 22 und 23, S. 159 -170. Online verfügbar unter https://www.ccr-zkr.org/files/documents/resolutions/ccr2011_IId.pdf, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

7 Anlagen

7.1 Hydrologische Einordnung Niedrigwasserphase 2018

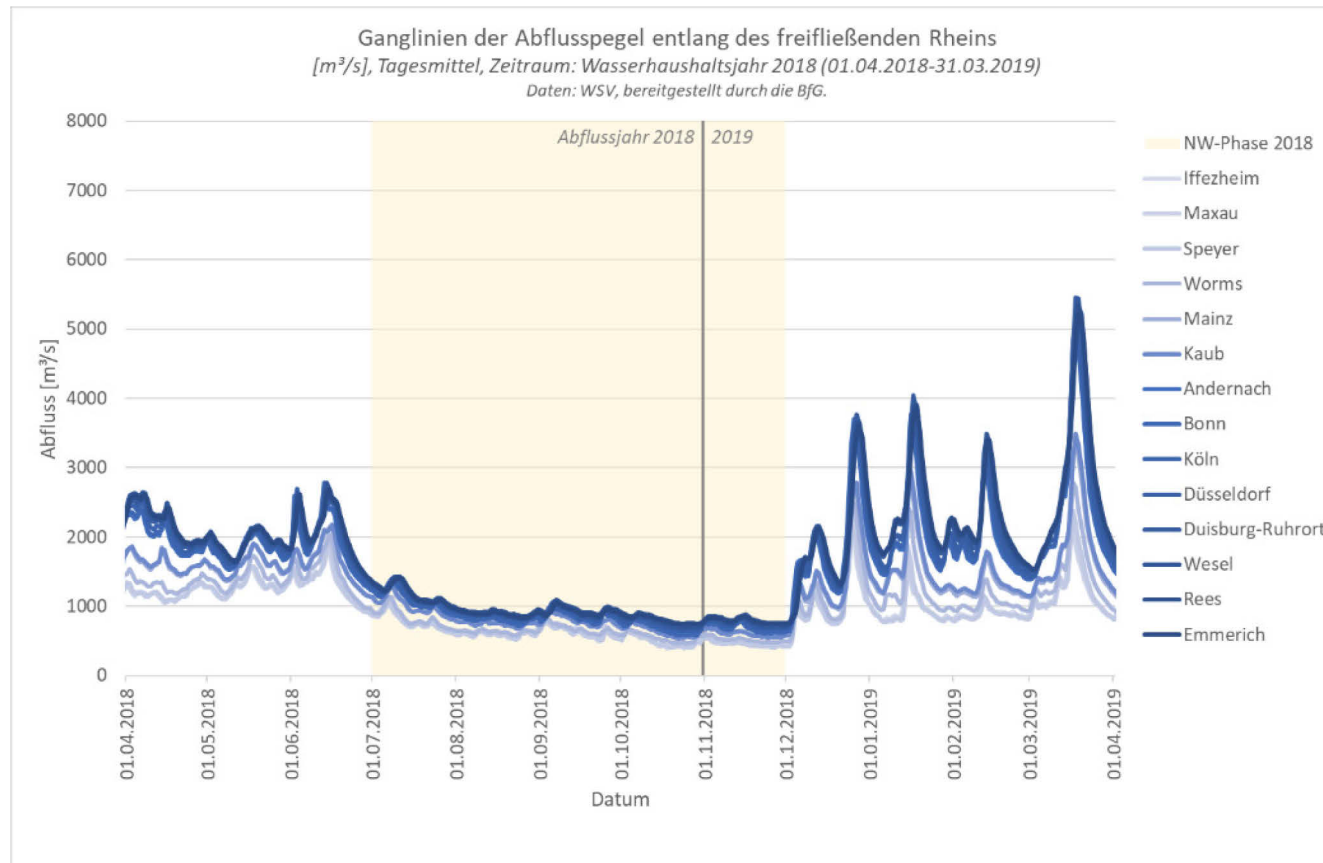


Bild 17: Abflussganglinien für das Wasserhaushaltsjahr 2018. Gelb hinterlegt ist der abgeschätzte Zeitraum des Niedrigwasserereignisses 2018. Die graue Linie am 01.11.2018 markiert den Übergang vom Abflussjahr 2018 zum Abflussjahr 2019.

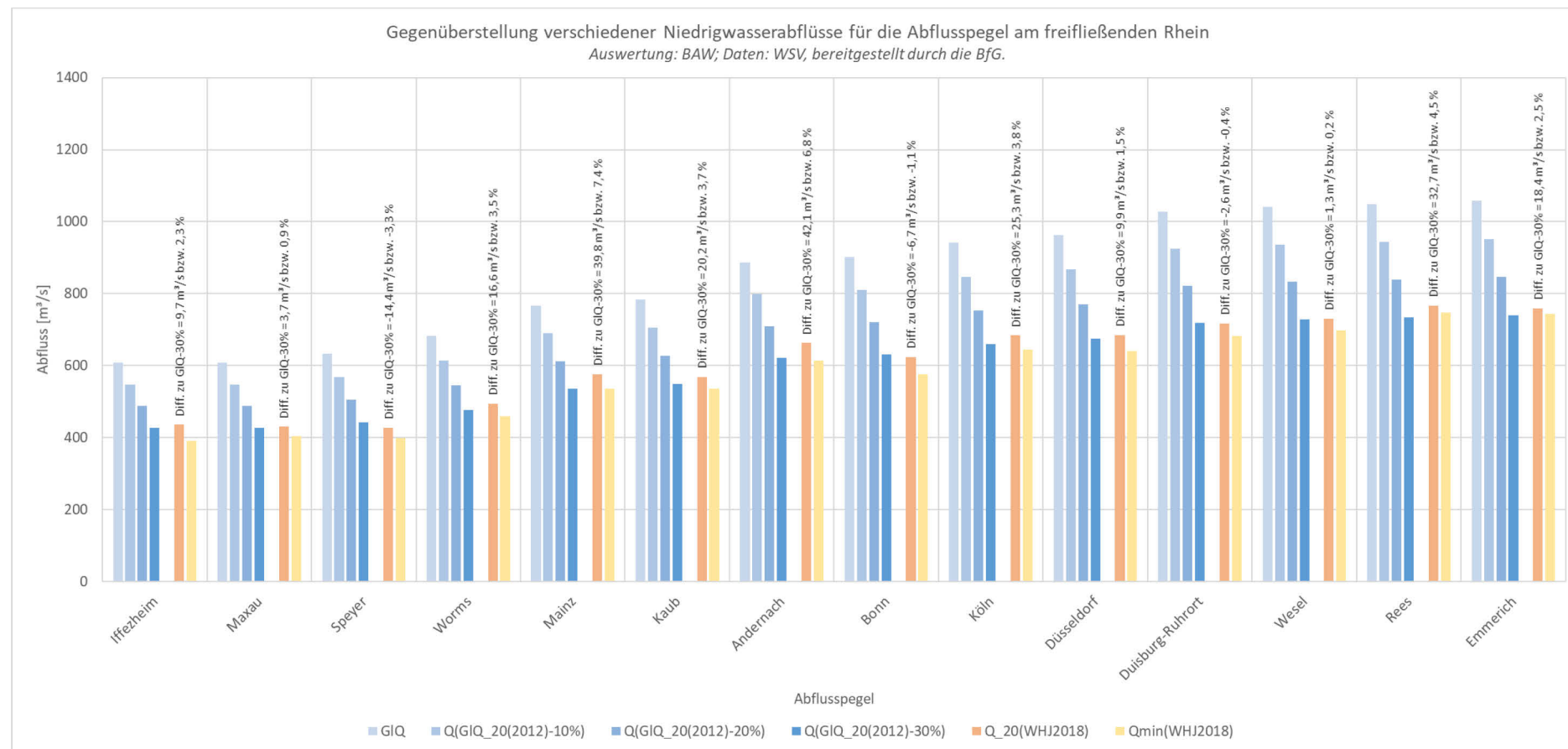


Bild 18: Gegenüberstellung der Abflüsse $GIQ_{20(2012)}$, $Q(GIQ_{20(2012)} - 10 \%)$, $Q(GIQ_{20(2012)} - 20 \%)$, $Q(GIQ_{20(2012)} - 30 \%)$ (in Blautönen) und dem an 20 Tagen im WHJ 2018 unterschrittenen Abfluss sowie dem absoluten Minimalabfluss im WHJ 2018 (in Orangetönen) an Pegeln des Rheins zwischen Iffezheim und Emmerich.

7.2 Übersicht BauMaGs- und Unfallstatistik-Daten

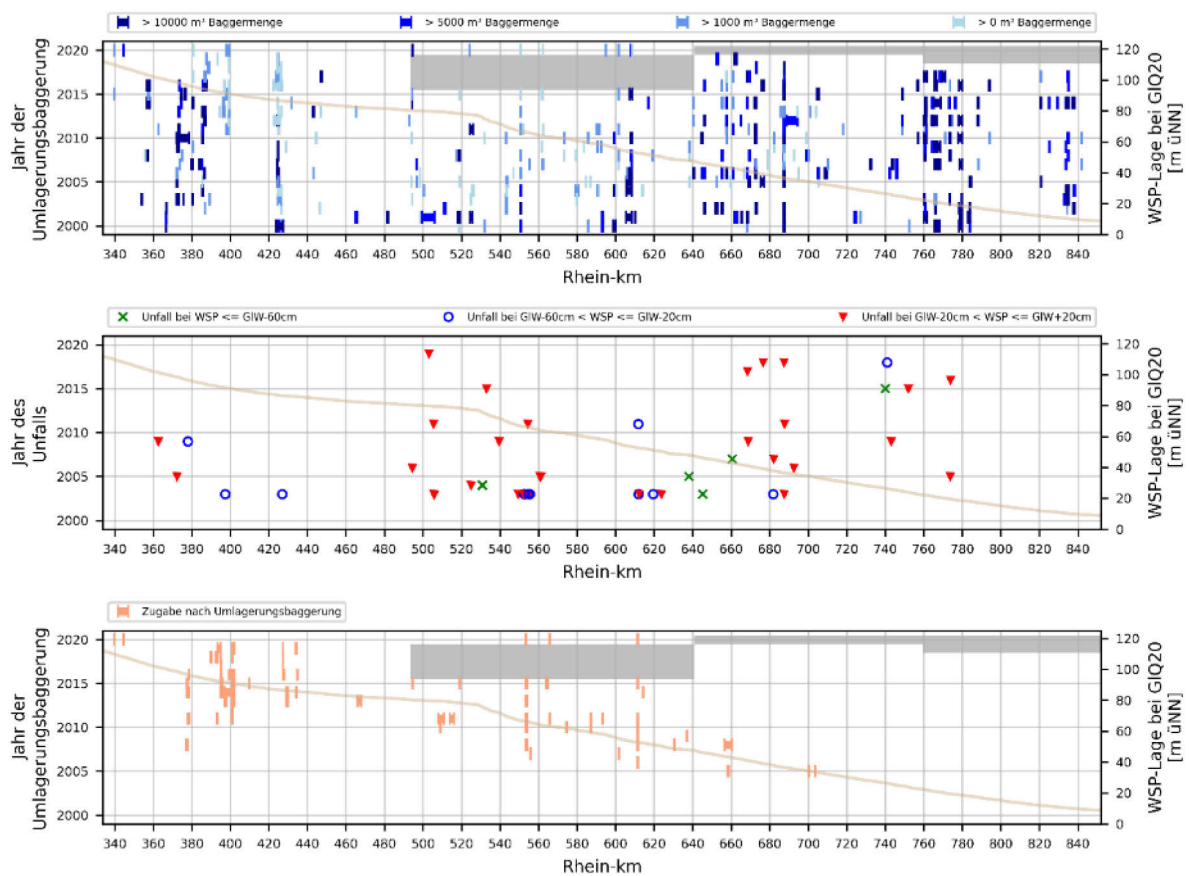
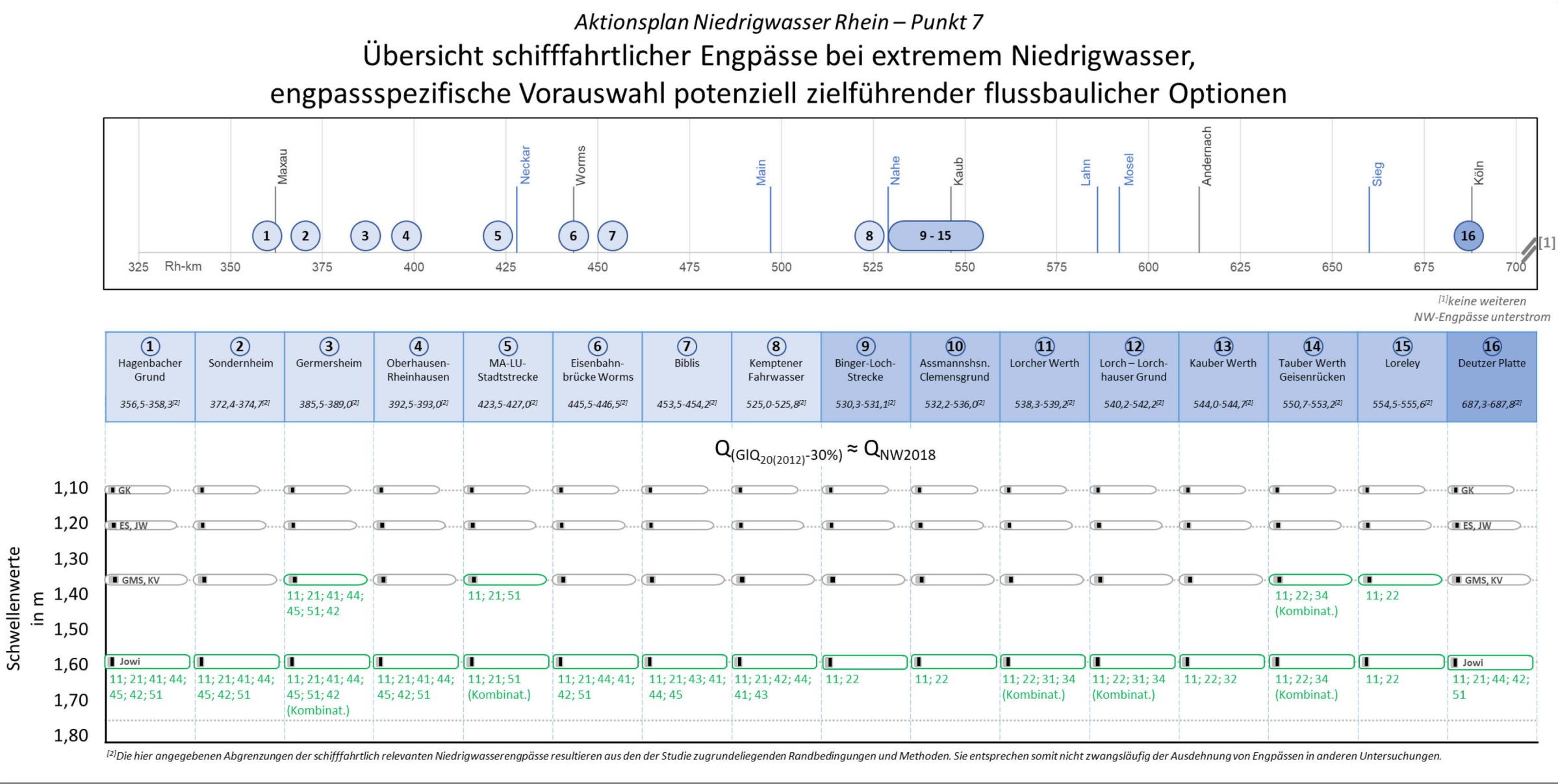


Bild 19: Integrierte Darstellung von BauMaGs- und Unfall-DB-Daten im Längsschnitt (X-Achse) und Zeitverlauf (Y-Achse). Oberes Teildiagramm: Entnahmebaggerungen aus der Fahrrinne. Blautöne geben Volumens-Klassen an. Mittleres Teildiagramm: Unfall-Statistik, Grundberührungen und Festfahrungen innerhalb der Fahrrinne. Die Symbole ordnen die Unfälle in verschiedene Wasserstandslamellen ein. Unteres Teildiagramm: Zugaben nach Umlagerungsbaggerungen. Graue Bereiche im oberen und unteren Teildiagramm: Datenlücken in BauMaGs zum 24.01.2022.

7.3 Grafische Zusammenfassung (großformatig)



Erläuterungen Die Grafik bietet eine Zusammenschau schifffahrtlicher Engpässe bei extremem Niedrigwasser ($Q_{(GLO_{20(2012)}-30\%)}$), die im Rahmen des Aktionsplans Niedrigwasser Rhein, Handlungspunkt 7 „Untersuchung wasserbaulicher Optionen“ identifiziert wurden, sowie eine Vorauswahl flussbaulicher Optionen, die zur Minderung eines Engpasses näher betrachtet werden können. Im oberen Teil der Grafik ist die Position der Engpässe im Längsverlauf des Rheins mit Zahlen markiert. Im unteren Teil der Grafik ist jedem Engpass eine Tabellenspalte zugewiesen. Je Spalte ist symbolisiert, für welchen Schwellenwert der Engpass identifiziert wurde, und welche flussbauliche Option potentiell einen Wassertiefengewinn bis zum nächsten Schwellenwert bringen können.

Schwellenwert in m	Schiffstypen mit entspr. techn. Mindesttiefgang	
1,10	Gustav Königs	GK
1,20	Europaschiff, Johann Welker	ES, JW
1,35	Großmotorschiff, Koppelverband	GMS, KV
1,60	Jowi	Jowi
1,75	(Schubverband groß)	(bis Rh-km 768)

Kein Engpass für diesen Schwellenwert

Flussbauliche Optionen in der Vorauswahl

97; 99; 98

Nummern der vorausgewählten flussbaulichen Optionen; Aufzählung entspricht Reihung

Nr.	Zielstellung, Gruppe	Flussbauliche Option
11	Ausnutzung vorh. Übertiefen	NW-Korridor
21	Sohlabtrag	Nassbaggerung
22	Sohlabtrag	Felsabtrag
31	WSP-Stützung	Buhnen
32	WSP-Stützung	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)
33	WSP-Stützung	Kolkverbau
34	WSP-Stützung	Längswerk
41	Erhöhung Sohlschubspannung	Buhnen
42	Erhöhung Sohlschubspannung	Flexibles Querbauwerk (abflussereignisabhängig gesteuert)
43	Erhöhung Sohlschubspannung	Kolkverbau
44	Erhöhung Sohlschubspannung	Längswerk
45	Erhöhung Sohlschubspannung	Längswerk mit nachregelbarer Hinterströmung
51	Reduzierung Sedimentdargeb.	Geschiebeentzug
52	Umlenkung Transportpfad	Grundswellen
53	Q-Konzentration bei NW	Buhnenkopfschwellen

7.4 Zusammenstellung flussbaulicher Optionen – vollständige Auflistung

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Ausnutzung und ggf. Erweiterung vorhandener Übertiefen	
Flussbauliche Option	Niedrigwasserkorridor	<i>Option Nr. 1_1</i>
Unter einem Niedrigwasserkorridor wird ein Bereich innerhalb des Fahrwassers verstanden, in welchem, im Vergleich zur freigegebenen Fahrrinne, eine größere Tiefe auf einer reduzierten Breite bereitgestellt wird.		

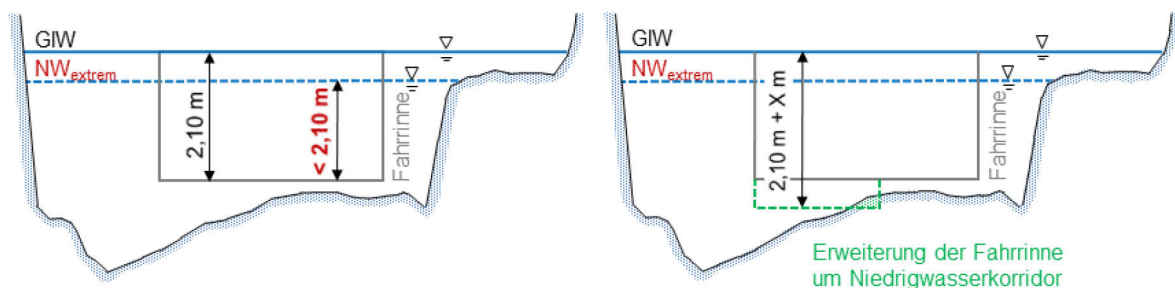


Abb.: Erweiterung der heutigen Fahrrinne um einen breitenreduzierten Niedrigwasserkorridor zur Aufrechterhaltung der Schifffahrt bei extremen Niedrigwasserständen (NW_{extrem}).

Ein Niedrigwasserkorridor bildet eine Option zur Anpassung der Schifffahrt bzw. der Wasserstraße an extreme Niedrigwasserphasen. Die Idee ist, einen Teil des Fließquerschnitts auf einem tieferen Niveau als dem der bestehenden Fahrrinne zu unterhalten, um durch die Bereitstellung eines Niedrigwasserkorridors zumindest breitenbeschränkten schiffahrtlichen Verkehr auch bei sehr niedrigen Abflüssen zu ermöglichen bzw. die schiffahrtlichen Bedingungen bei diesen Abflüssen zumindest innerhalb des Korridors zu verbessern. Durch moderate Ausbaumaßnahmen in abladebestimmenden Wasserstraßenabschnitten könnte somit ein hoher Nutzen für die Schifffahrt geschaffen werden.

Die Breite eines solchen Niedrigwasserkorridors, der sowohl die Tal- und Bergfahrt auch bei bestimmten Begegnungsverkehren mehrspurig zulassen könnte, würde nur rund 50-80 % der heute unterhaltenen Fahrrinne betragen, die sowohl für niedrige als auch hohe Abflüsse dimensioniert ist. Einen vergleichsweise geringen Aufwand stellt die flussbauliche Herstellung eines Niedrigwasserkorridors primär für die Bergfahrt dar, da die Bergfahrt im Grundsatz eine geringere Fahrspurbreite und somit einen schmaleren Niedrigwasserkorridor benötigt, wobei aufgrund des größeren fahrdynamischen Eintauchens (squat) ein größerer Tiefenbedarf zu berücksichtigen ist.

Die Eingriffsflächen fallen gegenüber einer Vertiefung der Fahrrinne über ihre gesamte Breite deutlich geringer aus, da im Wesentlichen vorhandene Übertiefen, die bereits heute von der Schifffahrt genutzt werden, durch punktuelle Abtragsmaßnahmen durchgängig miteinander verbunden werden. Damit einhergehend sind auch die hydraulisch-morphologischen Auswirkungen der Umsetzung eines Niedrigwasserkorridors vergleichsweise gering. Ein durch bauliche Eingriffe hergestellter Niedrigwasserkorridor könnte z. B. über virtuelle Tonnen für die Schifffahrt kenntlich gemacht werden.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Wassertiefenerhöhung durch Sohlabtrag	
Flussbauliche Option	Nassbaggerung	<i>Option Nr. 2_1</i>
<i>Förderung von Sohlmaterial aus dem Gewässer mit schwimmendem Baggergerät.</i>		



Abb.: Nassbaggerung (Quelle: BAW).

Hierbei handelt es sich um eine Maßnahme zur Herstellung oder Unterhaltung definierter Tiefen im alluvialen Gewässerbett (Steine, Kies, Sand, etc.) mit Hilfe von Nassbaggern (z. B. Saugbagger, Eimerkettenschwimmbagger oder Löffelschwimmbagger). Im Rahmen von Umlagerungsbaggerungen wird das Baggergut z. B. in Klappschuten aufgenommen, die an der Klappstelle durch Öffnen von Bodenklappen entleert werden können.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe
bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Wassertiefenerhöhung durch Sohlabtrag	
Flussbauliche Option	Felsabtrag	<i>Option Nr. 2_2</i>
<i>Bauverfahren zur Reduzierung der Gewässersohlenhöhe unterhalb der Fahrrinne im Festgestein.</i>		



Abb.: Fräskopf zum Felsabtrag (Quelle: BAW).

Beim Felsabtrag wird die Gewässersohle im Festgestein in Abhängigkeit von dessen Eigenschaften durch Meißeln, Reißen oder Fräsen abgetragen. Die Herstellungstoleranz hängt vom gewählten Bauverfahren ab.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Stützung der Wasserspiegellage	
Flussbauliche Option	Buhnen	<i>Option Nr. 3_1</i>

Buhne: Quer zum Ufer liegendes Bauwerk zur seitlichen Begrenzung des Abflussquerschnitts und/oder zum Schutz des Ufers, z. B. Flussbuhne, als Regelungsbauwerk im Fluss. (DIN 4054)

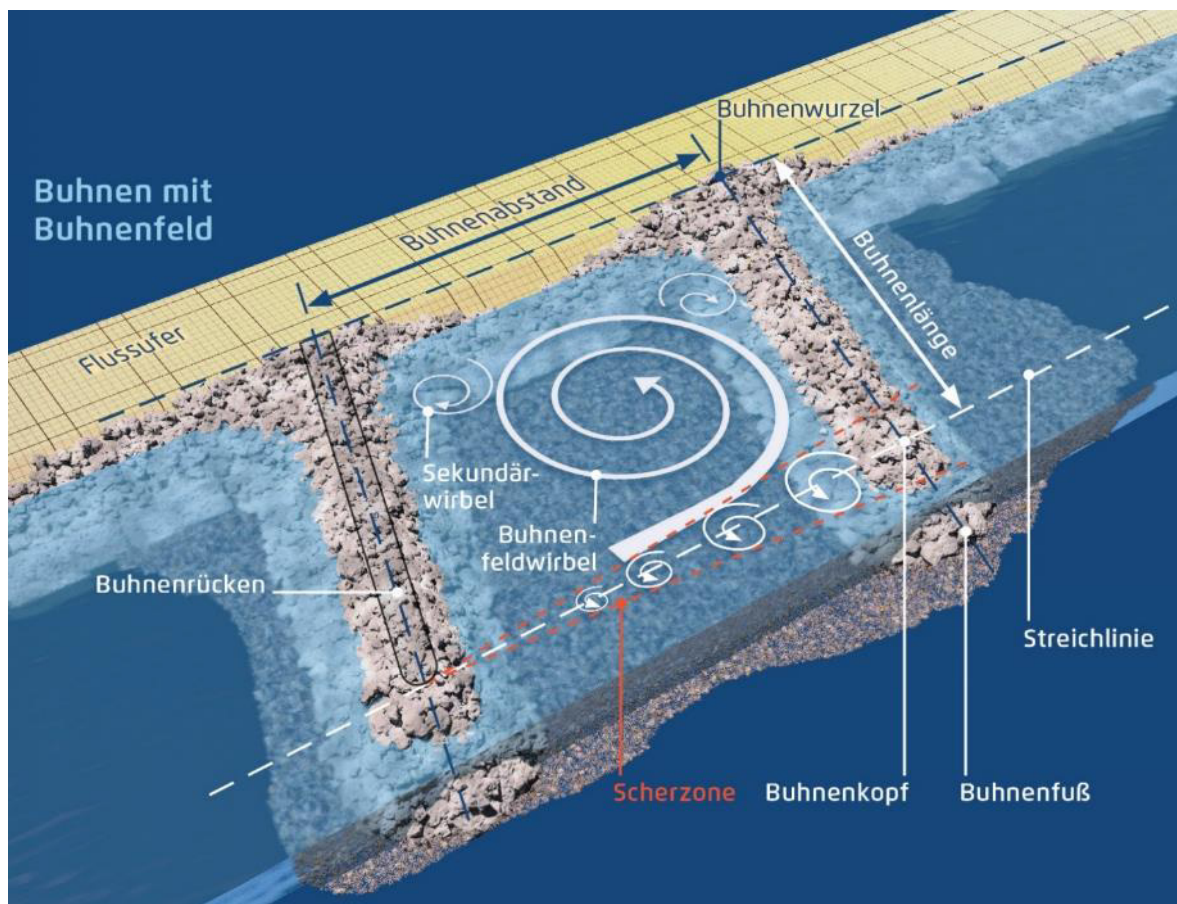


Abb.: Buhnen mit Buhnenfeld (https://wiki.baw.de/de/images/a/a5/BUHNENFELD_beschriftet.jpg).

Die mit dem Buhneneinbau einhergehende Querschnittsverengung bewirkt eine Durchflussbündelung im Regelungsbereich und eine Wasserspiegelanhebung im und oberhalb des Regelungsbereiches. Als Folge dessen erhöht sich die Sohlschubspannung innerhalb des Regelungsbereichs, was in Gewässerstrecken mit alluvialer Sohle zu einer begrenzten Sohleintiefung führt. Die Sohleintiefung führt wiederum zu einem begrenzten Wasserspiegelabfall und einer entsprechenden Reduzierung der Sohlschubspannung.

Eine dauerhafte Stützung der Wasserspiegellagen lässt sich insbesondere in Flussabschnitten mit felsiger bzw. felsdurchsetzter Sohle oder in Bereichen mit einer größeren Kornzusammensetzung der Sohle erzielen. Die Abstände, Längen und Höhen der Buhnen sind für die Wirksamkeit des Regelungssystems von zentraler Bedeutung.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Stützung der Wasserspiegellage	
Flussbauliche Option	Kolkverbau	<i>Option Nr. 3_3</i>

Kolk bezeichnet eine örtlich begrenzte, durch Strömungsvorgänge hervorgerufene Vertiefung im Gewässerbett (DIN 4054). Beim Kolkverbau wird der Kolkquerschnitt mit Kies verfüllt und mit Wasserbausteinen abgedeckt. (BMV, 1997)

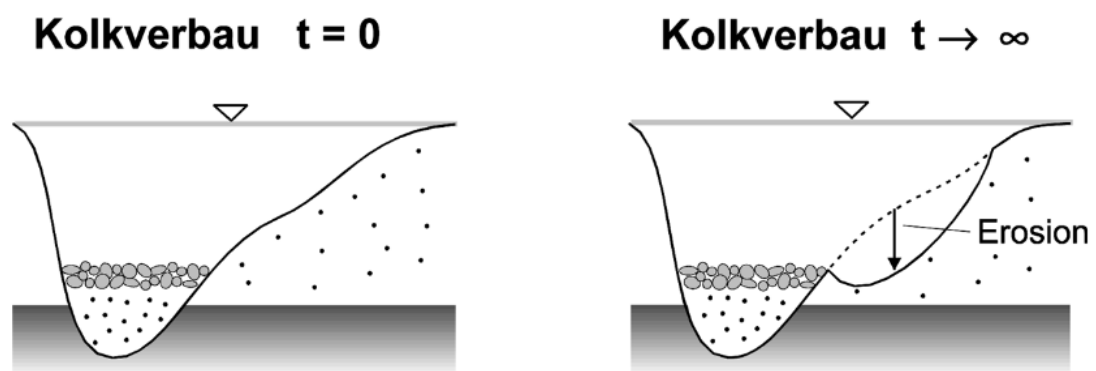


Abb.: Prinzipskizze zur Wirkung von Kolkverbaumaßnahmen (BAW, 1999).

Durch einen Kolkverbau wird eine kombinierte Wirkung aus Querschnittsreduktion und Rauheitswirkung erreicht. Dadurch kommt es zu einer Änderung der Abflussverteilung vom rauen (Verbaubereich) in den glatteren Querschnittsbereich, einhergehend mit einer Erhöhung der Schubspannungen in den Sohlbereichen mit erhöhter Strömungsgeschwindigkeit.

Nach oberstrom bewirkt der Kolkverbau zunächst eine Stützung der Wasserspiegellagen, welche gegebenenfalls mit einer im querschnittsverbauten Flussabschnitt einhergehenden Erosion, z. B. am Prallhang, wieder abnimmt. Die Wasserspiegelstützung ist dann von Dauer, wenn der Kolkverbau nicht zu einer signifikanten Erosion von Sedimentablagerungen im betroffenen Flussabschnitt führt. Eine dauerhafte Stützung der Wasserspiegellagen durch Kolkverbau lässt sich somit insbesondere in Flussabschnitten mit felsiger bzw. felsdurchsetzter Sohle oder in Bereichen mit einer größeren Kornzusammensetzung der Sohle erzielen.

BAW (1999): Donauausbau Straubing – Vilshofen, vertiefte Untersuchungen: 1D-Modellverfahren, Modelltechnik, 3D-Untersuchungen, Buhnen, flussmorphologische Änderungen. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 80.

BMV (1997): Sohlengleichgewicht am Rhein. Bericht der Arbeitsgruppe „Rheinsohlenerosion“.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Stützung der Wasserspiegellage	
Flussbauliche Option	Längswerk	<i>Option Nr. 3_4</i>
<i>In Fließrichtung liegendes Regelungsbauwerk zur seitlichen Begrenzung des Abflussquerschnitts. (DIN 4054)</i>		



Abb.: Längswerk am Binger Loch (Bildmitte) (Quelle: BAW).

Die mit einem Längswerkeinbau einhergehende Querschnittsverengung bewirkt eine Durchflussbündelung im Regelungsbereich und eine Wasserspiegelanhebung im und oberhalb des Regelungsbereiches. Als Folge dessen erhöht sich die Sohlschubspannung innerhalb des Regelungsbereichs, was in Gewässerstrecken mit alluvialer Sohle zu einer begrenzten Sohleintiefung führt. Die Sohleintiefung führt wiederum zu einem begrenzten Wasserspiegelabfall und einer entsprechenden Reduzierung der Sohlschubspannung. Eine dauerhafte Stützung der Wasserspiegellagen mit Längswerken lässt sich somit insbesondere in Flussabschnitten mit felsiger bzw. felsdurchsetzter Sohle oder in Bereichen mit einer gröberen Kornzusammensetzung der Sohle erzielen.

Der Abfluss zwischen Längswerk und Ufer bei Überströmung wird im Wesentlichen durch Queranschlüsse zum Ufer kontrolliert. Längswerke werden Buhnen insbesondere dann als Regelungselemente vorgezogen, wenn die Forderung nach Hochwasserneutralität bemessungsrelevant ist und wenn eine Buhnenregelung trotz gewollter Sohleintiefung immer noch erhöhte Hochwasserstände ergibt. (BMV, 1997)

BMV (1997): Sohlengleichgewicht am Rhein. Bericht der Arbeitsgruppe „Rheinsohlenerosion“.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Erhöhung der Sohlschubspannungen	
Flussbauliche Option	Buhnen	<i>Option Nr. 4_1</i>

Quer zum Ufer liegendes Bauwerk zur seitlichen Begrenzung des Abflussquerschnitts und/oder zum Schutz des Ufers, z. B. Flussbuhne, als Regelungsbauwerk im Fluss. (DIN 4054)

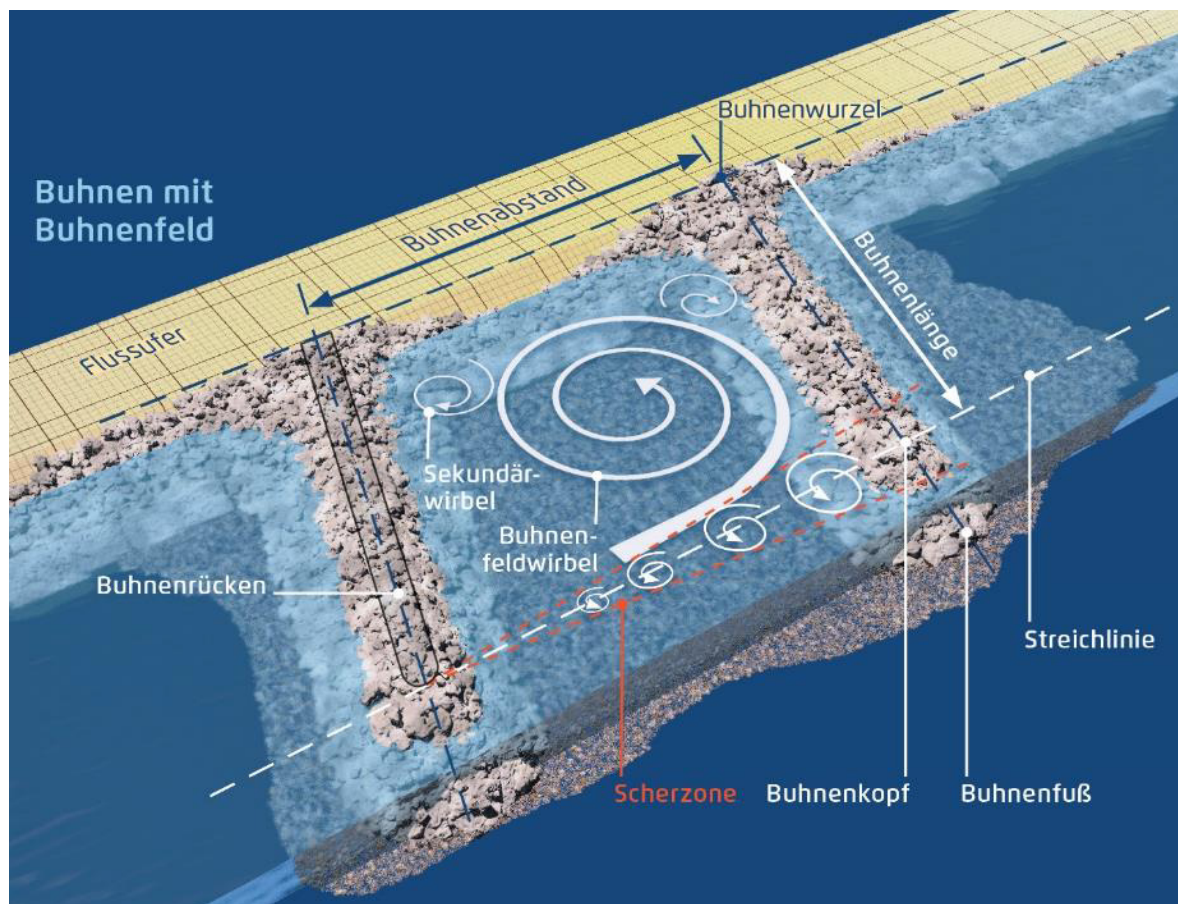


Abb.: Buhnen mit Buhnenfeld (https://wiki.baw.de/de/images/a/a5/BUHNENFELD_beschriftet.jpg).

Die mit dem Buhneneinbau einhergehende Querschnittsverengung bewirkt eine Durchflussbündelung im Regelungsbereich und eine Wasserspiegelanhebung im und oberhalb des Regelungsbereiches. Als Folge dessen erhöht sich die Sohlschubspannung innerhalb des Regelungsbereiches, was in Gewässerstrecken mit alluvialer Sohle zu einer begrenzten Sohleintiefung führt. Die Sohleintiefung führt wiederum zu einem begrenzten Wasserspiegelabfall und einer entsprechenden Reduzierung der Sohlschubspannung. Die Abstände, Längen und Höhen der Buhnen für die Wirksamkeit des Regelungssystems von zentraler Bedeutung.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe
bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Erhöhung der Sohlschubspannungen	
Flussbauliche Option	Kolkverbau	Option Nr. 4_3

Kolk bezeichnet eine örtlich begrenzte, durch Strömungsvorgänge hervorgerufene Vertiefung im Gewässerbett (DIN 4054). Beim Kolkverbau wird der Kolkquerschnitt mit Kies verfüllt und mit Wasserbausteinen abgedeckt (BMV, 1997).

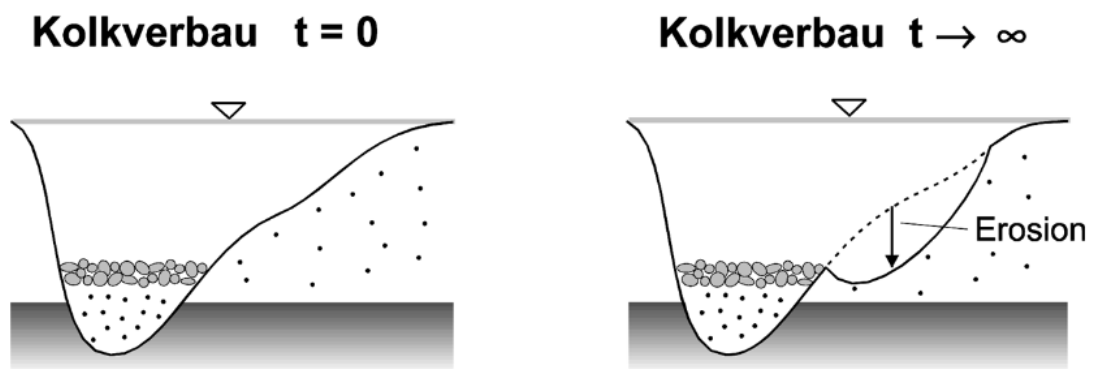


Abb.: Prinzipskizze zur Wirkung von Kolkverbaumaßnahmen (BAW, 1999).

Durch einen Kolkverbau wird eine kombinierte Wirkung aus Querschnittsreduktion und Rauheitswirkung erreicht. Dadurch kommt es zu einer Änderung der Abflussverteilung von rauhen (Verbaubereich) in den glatteren Querschnittsbereich, einhergehend mit einer Erhöhung der Schubspannungen in den Sohlbereichen mit erhöhter Strömungsgeschwindigkeit. Nach oberstrom bewirkt der Kolkverbau zunächst eine Stützung der Wasserspiegellagen, welche gegebenenfalls mit einer im querschnittsverbauten Flussabschnitt einhergehenden Erosion, z. B. am Prallhang, wieder abnimmt.

BAW (1999): Donauausbau Straubing – Vilshofen, vertiefte Untersuchungen: 1D-Modellverfahren, Modelltechnik, 3D-Untersuchungen, Buhnen, flussmorphologische Änderungen. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 80.

BMV (1997): Sohlengleichgewicht am Rhein. Bericht der Arbeitsgruppe „Rheinsohlerosion“.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Erhöhung der Sohlschubspannungen	
Flussbauliche Option	Längswerk	<i>Option Nr. 4_4, 4_5</i>
<i>In Fließrichtung liegendes Regelungsbauwerk zur seitlichen Begrenzung des Abflussquerschnitts. (DIN 4054)</i>		



Abb.: Längswerk am Binger Loch (Bildmitte) (Quelle: BAW).

Die mit einem Längswerkeinbau einhergehende Querschnittsverengung bewirkt eine Durchflussbündelung im Regelungsbereich und eine Wasserspiegelanhebung im und oberhalb des Regelungsbereiches. Als Folge dessen erhöht sich die Sohlschubspannung innerhalb des Regelungsbereichs, was in Gewässerstrecken mit alluvialer Sohle zu einer begrenzten Sohleintiefung führt. Die Sohleintiefung führt wiederum zu einem begrenzten Wasserspiegelabfall und einer entsprechenden Reduzierung der Sohlschubspannung. Der Abfluss zwischen Längswerk und Ufer bei Überströmung wird im Wesentlichen durch Queranschlüsse zum Ufer kontrolliert. Durch eine bedarfsweise Nachregelung der Höhe der Queranschlüsse lässt sich die Abflussaufteilung in Grenzen beeinflussen, wodurch die Wirkung des Längswerks hinsichtlich der zu erzielenden Sohlschubspannungserhöhung jeweils an die Entwicklung der Gewässersohle angepasst werden kann.

Längswerke werden Buhnen insbesondere dann als Regelungselemente vorgezogen, wenn die Forderung nach Hochwasserneutralität bemessungsrelevant ist und wenn eine Buhnenregelung trotz gewollter Sohleintiefung, immer noch erhöhte Hochwasserstände ergibt. (BMV, 1997)

BMV (1997): Sohlengleichgewicht am Rhein. Bericht der Arbeitsgruppe „Rheinsohlenerosion“.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Reduzierung Sedimentdargebot	
Flussbauliche Option	Geschiebeentzug	<i>Option Nr. 5_1</i>
<i>Reduzierung einer überschüssigen Geschiebemenge durch gezielte Entnahme von Geschiebe (Ort, Menge, Zeit) aus dem Fluss, i. d. R. zur Verhinderung unkontrollierter Anlandungen bzw. von Transportkörpern.</i> <i>(erweitert nach https://www.wiges-gmbh.de/fachbegriffslexikon/g/)</i>		

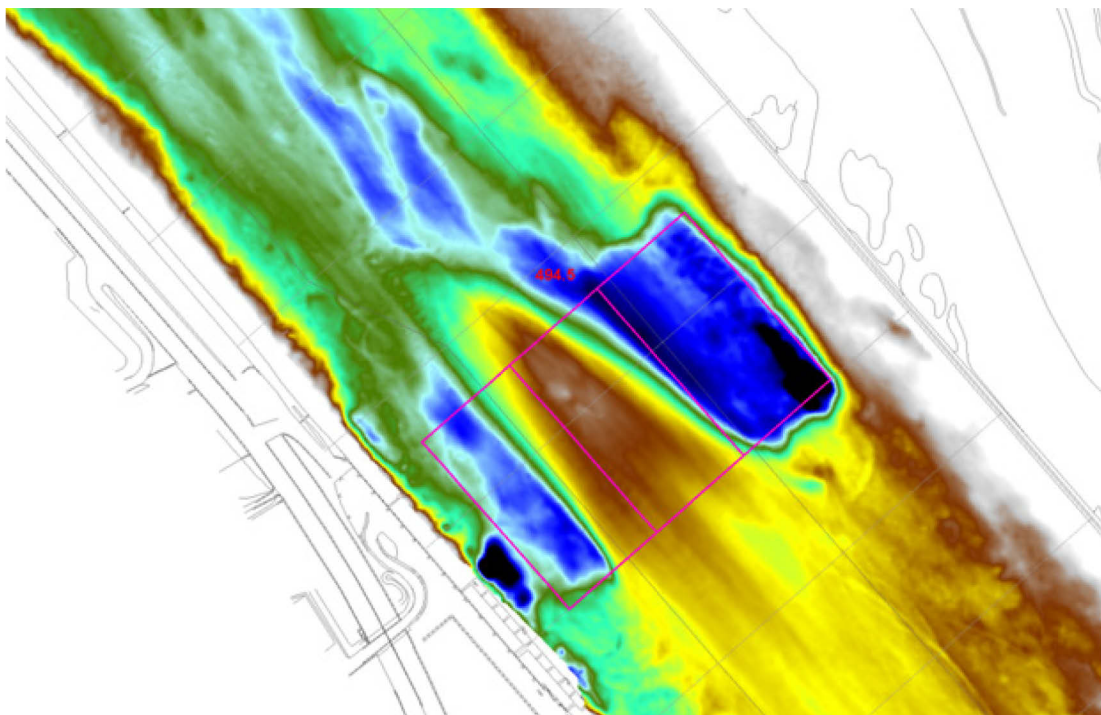


Abb.: Geschiebefang Mainz Weisenau (Sohlpeilung 23.03.2012).

In Streckenabschnitten mit Geschiebeüberschuss landet sich Material großflächig an. Dabei kann es zu verstärkter Transportkörperbildung mit der Folge einer Abladebeschränkung für die Schifffahrt kommen. Die Transportkörper lassen sich nicht durch Baggerung dauerhaft beseitigen; sie verschwinden zwar kurzfristig beim Einsatz des Baggers, entwickeln sich jedoch ebenso schnell an anderer Stelle neu. Hier kann eine Baggerstrategie helfen, bei der am Beginn der kritischen Strecke an geeigneter Stelle ein Geschiebeentzug für überschüssiges Material vorgenommen wird.

Hierzu wird am Beginn einer Anlandungsstrecke ein entsprechend dimensionierter Geschiebefang eingerichtet, um einen Teil des von oberstrom herantransportierten Geschiebes lokal zu binden, ehe es in die Anlandungsstrecke wandern kann. Das gebaggerte Material soll nach den Gesichtspunkten der Geschiebezugabe in der Regel am Beginn der nächsten unterhalb liegenden Erosionsstrecke dem Strom wieder zugeführt werden (BMV, 1997).

BMV (1997): Sohlengleichgewicht am Rhein. Bericht der Arbeitsgruppe „Rheinsohlenerosion“.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Umlenkung Geschiebetransportpfad	
Flussbauliche Option	Grundschwellen	<i>Option Nr. 5_2</i>
<i>Quer zur Fließrichtung liegendes Regelungsbauwerk in der Gewässersohle, das über diese hinausragt. (DIN 4054)</i>		



Abb.: Umlenkung des Geschiebetransportpfades durch Grundschwellen (Gegenständlicher Modellversuch der BAW).

Durch den sohnahen Querschnittsverbau mit Grundschwellen kann eine Umlenkung der sohnahen Strömung bewirkt werden. Mit der Änderung der sohnahen Strömung einhergehend ändert sich die Richtung des Geschiebetransportpfades. Dieser Effekt kann bei den entsprechenden örtlichen Gegebenheiten gezielt eingesetzt werden, um das Geschiebe in Bereiche größerer Strömungsgeschwindigkeiten umzulenken und somit potenziellen Anlandungsbereichen zu entziehen.

Beschreibungen flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefe bei extremem Niedrigwasser

Regelungsziel	Abflusskonzentration bei Niedrigwasser	
Flussbauliche Option	Buhnenkopfschwellen	<i>Option Nr. 5_3</i>

Verlängerung der Buhnen, am Buhnenkopf unterhalb der Bauwerkshöhe ansetzend. (Buhnenkopf: Wasserseitiges Ende einer Buhne. (DIN 4054))

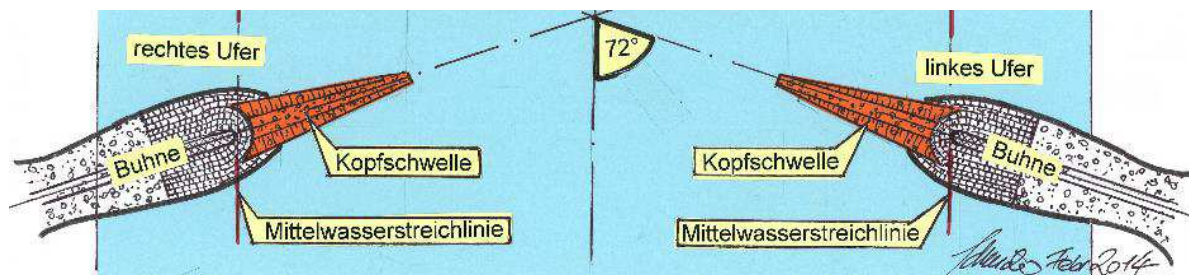


Abb.: Buhnenkopfschwellen bei Elbe-km 468,16 (<https://izw-medienarchiv.baw.de/pool/BG>).

Buhnenkopfschwellen sind vorrangig Maßnahmen zur Niedrigwasserregelung. Sie dienen der baulichen Ausformung des Niedrigwasserbetts und einer Bündelung des Abflusses bei Niedrigwasser. Im Bereich der Mittelelbe umgesetzte Buhnenkopfschwellen setzen beispielsweise etwa 1 m unterhalb der auf Mittelwasserniveau liegenden Bauwerkshöhe an und fallen mit einer relativ geringen Neigung von 1:10 bis 1:35 in Richtung der Strommitte bis zur Gewässersohle ab. Buhnenkopfschwellen stellen potenzielle Unterwasserhindernisse für die Schifffahrt dar und müssen als solche gekennzeichnet werden, wenn sie im Bereich des Fahrwassers liegen. (Schneider, 2016)

7.5 Engpass-Steckbriefe

Engpass-Steckbriefe siehe Folgeseiten.

Steckbrief

Hagenbacher Grund

Der Bereich „Hagenbacher Grund“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Oberrhein	von Rh-km 356,5	bis Rh-km 358,3	Länge ^[1] 1,9 km	Fahrrinntiefe unter GlW 2,1 m
-----------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	0464/2018_Hagenbach, 2821/2015_Rappenwörth, 0336/2013_Goldgrund
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016], [PGEPA3a]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

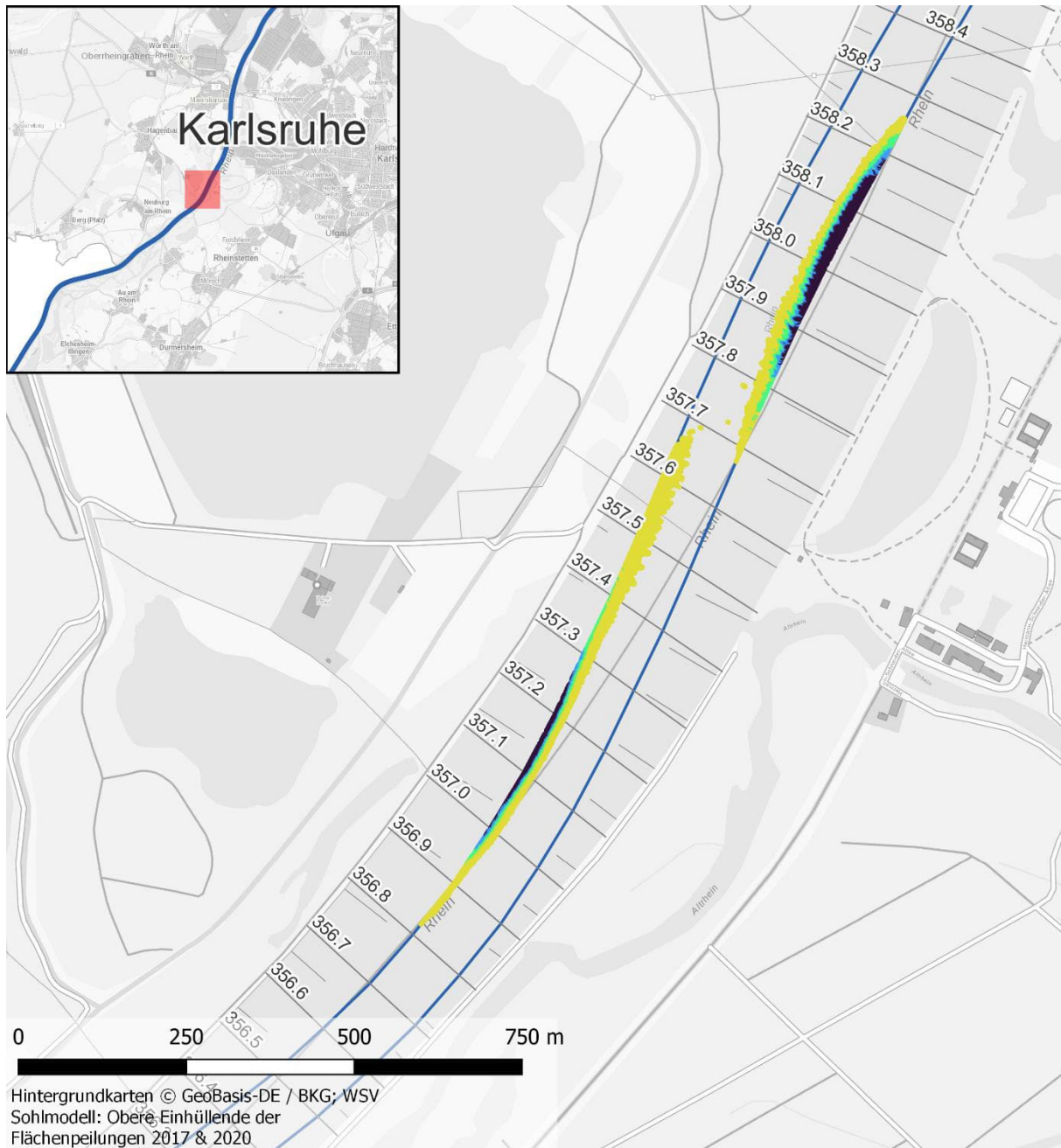
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	Alluvial_ohne_Deckschicht
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Mittelgrund
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Ja
WSP-Gefälle	$GlW_{20(2012)}$	0,40 ‰
Unfallsschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		(keine bekannt)
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Auswirkungsbereich Geschiebezugabe Iffezheim

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang Jowi)

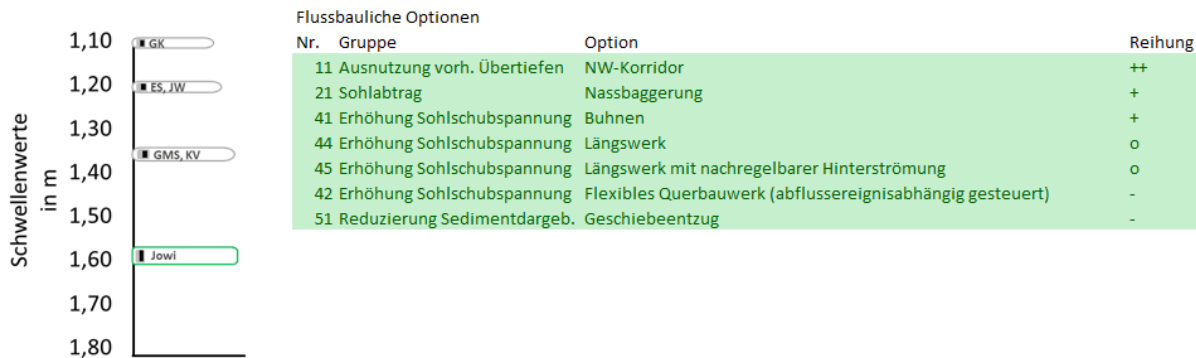
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

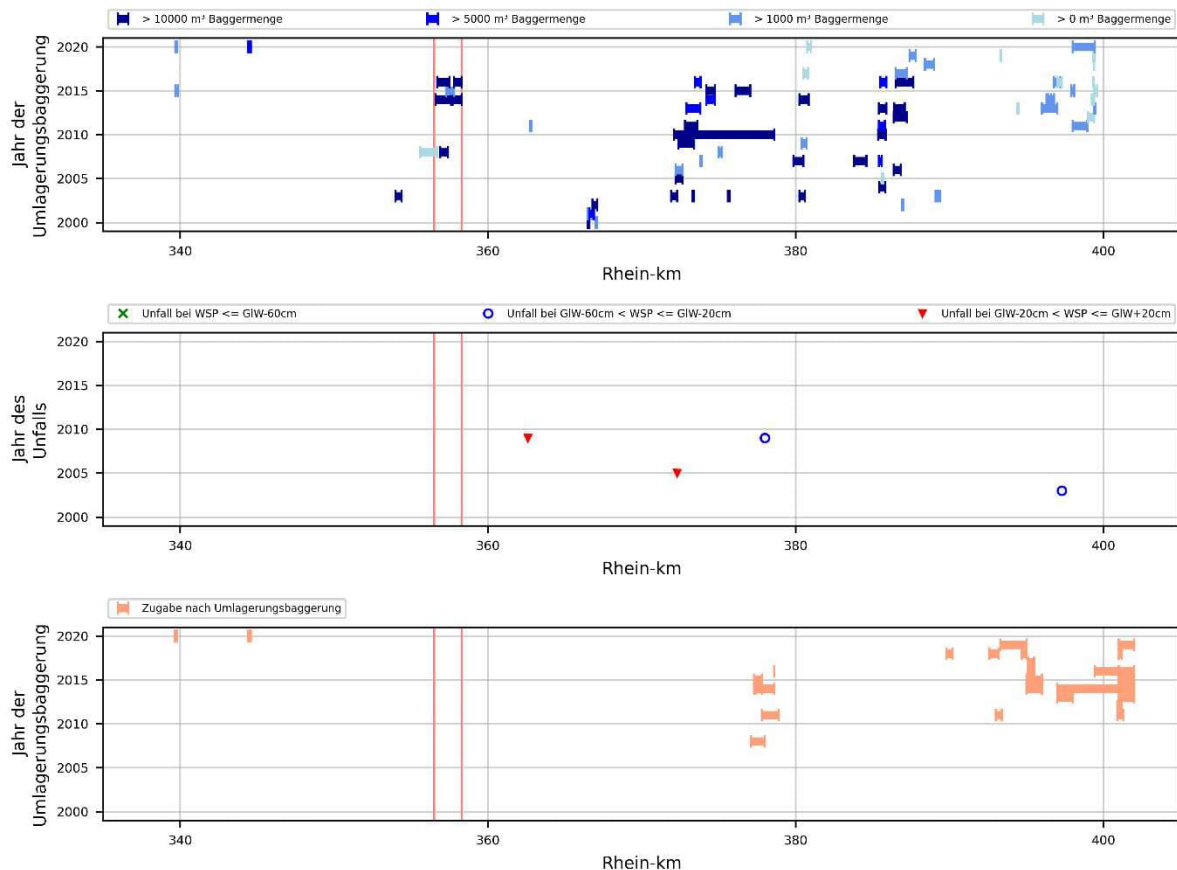
Hagenbacher Grund

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 5 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Hagenbacher Grund“ ist in den Teildia-grammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestell-ten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.
[PGEPA3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a

Steckbrief

Sondernheim

Der Bereich „Sondernheim“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GIQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GIQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Oberrhein	von Rh-km 372,4	bis Rh-km 374,7	Länge ^[1] 2,4 km	Fahrrinntiefe unter GlW 2,1 m
-----------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GIQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GIQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	1196/2014_Leopoldshafen, 0344/2020_Karlskopf, 0345/2020_Linkenheim, 2056/2017_Hördter_Grund, 0345/2013_Apotheker_Grund
Literaturnennungen ^[3,4]	[PGEPA3a]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GIQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

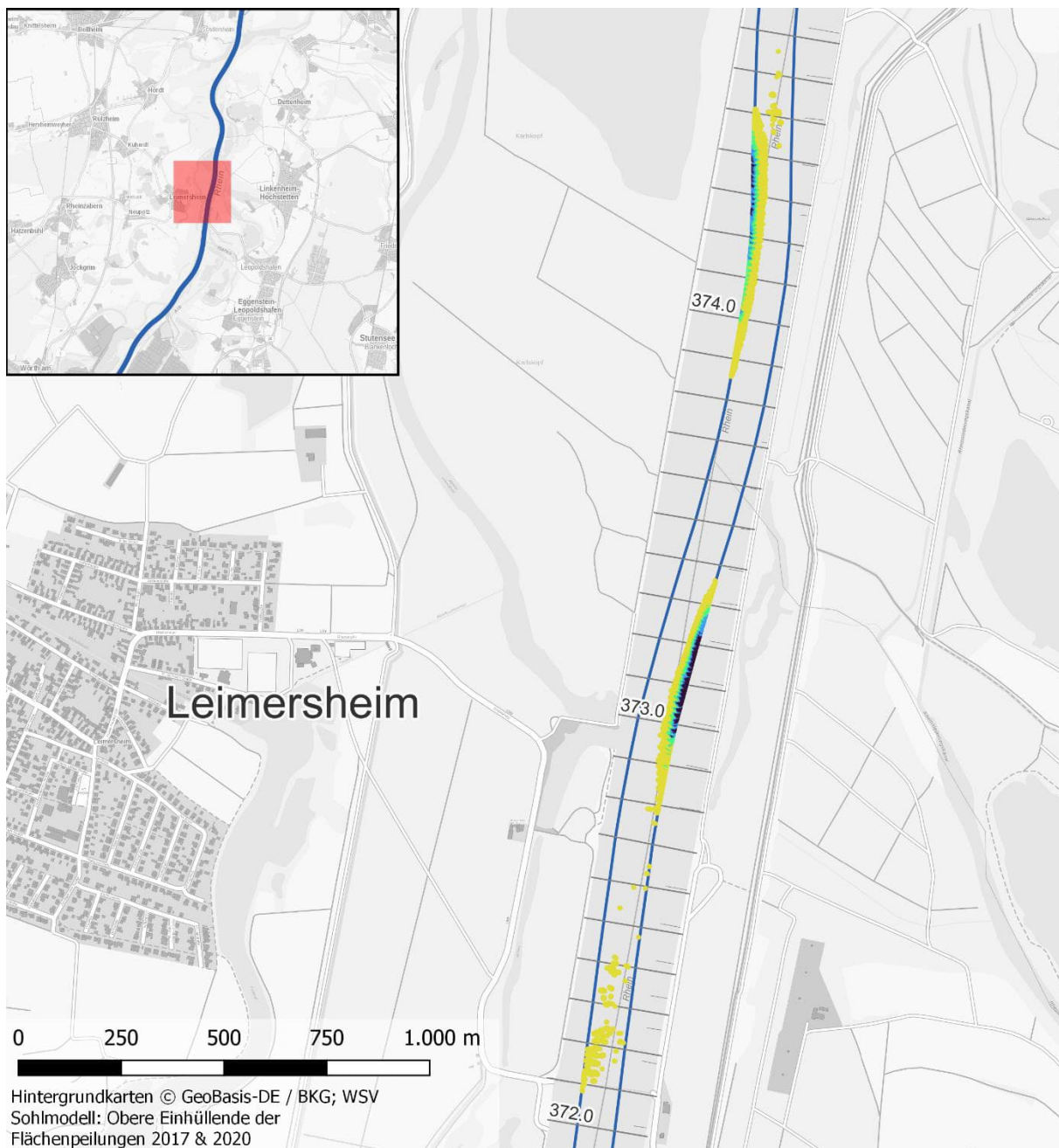
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	Alluvial_ohne_Deckschicht
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Ebene Sohle über ganze FR-Breite
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Ja
WSP-Gefälle	$GIW_{20(2012)}$	0,30 ‰
Unfallsschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		Fähre, Düker (Leitung mit DBWK-Kennung "G")
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Auswirkungsbereich Geschiebezugabe Iffezheim

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

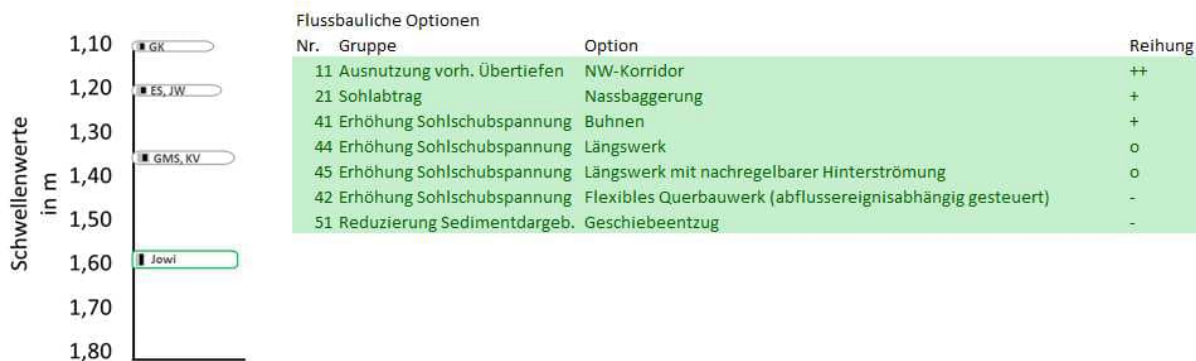
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

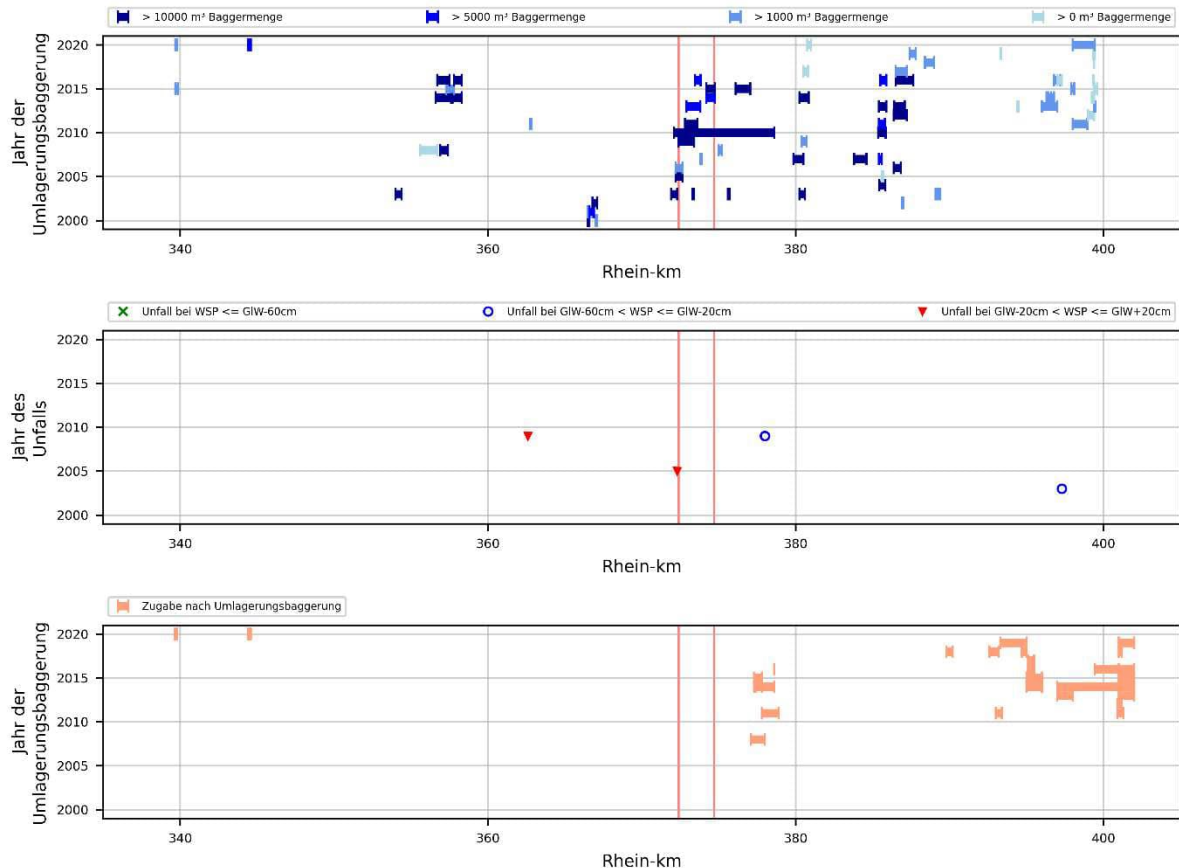
Sondernheim

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowil): bis 10 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Sondernheim“ ist in den Teildiagrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[PGEPA3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a

Steckbrief

Germersheim

Der Bereich „Germersheim“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Oberrhein	von Rh-km 385,5	bis Rh-km 389,0	Länge ^[1] 3,6 km	Fahrrinntiefe unter GlW 2,1 m
-----------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,35 (entspr. Mindesttiefgang GMS110_GMS135_KV)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	0350/2013_Germersheimer_Grund, 0349/2013_Rheinsheimer_Grund, 0296/2018_Rheinsheim
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016], [PGEPA3a]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

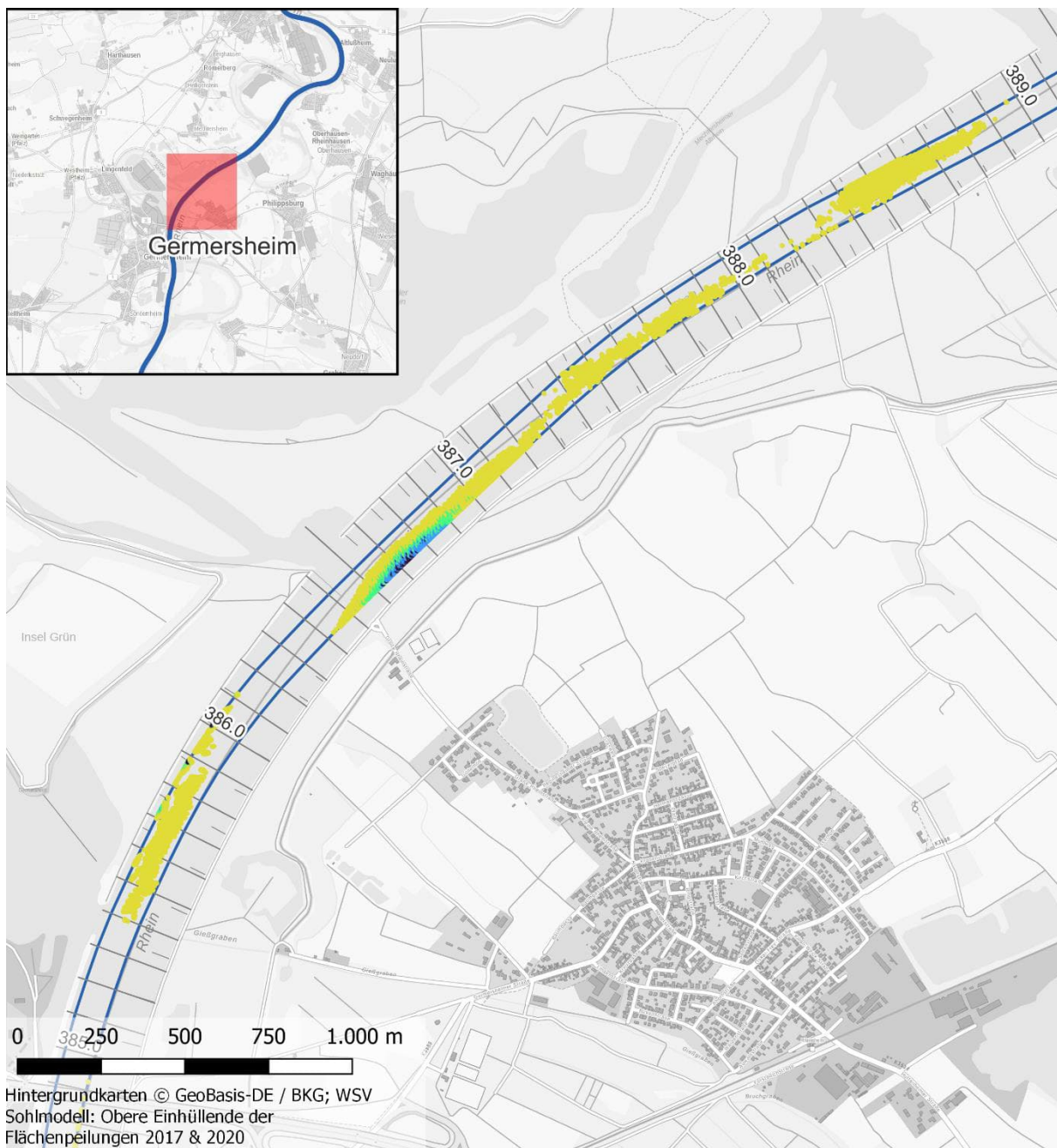
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	Alluvial_ohne_Deckschicht
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Ebene Sohle über ganze FR-Breite
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Ja
WSP-Gefälle	GlW ₂₀₍₂₀₁₂₎	0,30 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		Direkt oberstrom (Rh-km 384,9): Brücke B35, links Hafen Germersheim, unterstrom: ehem. KKW Philippsburg
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Auswirkungsbereich Geschiebezugabe Iffezheim; zusätzlich 4. Nachregulierung oberstrom vor ca. 5 Jahren abgeschlossen

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

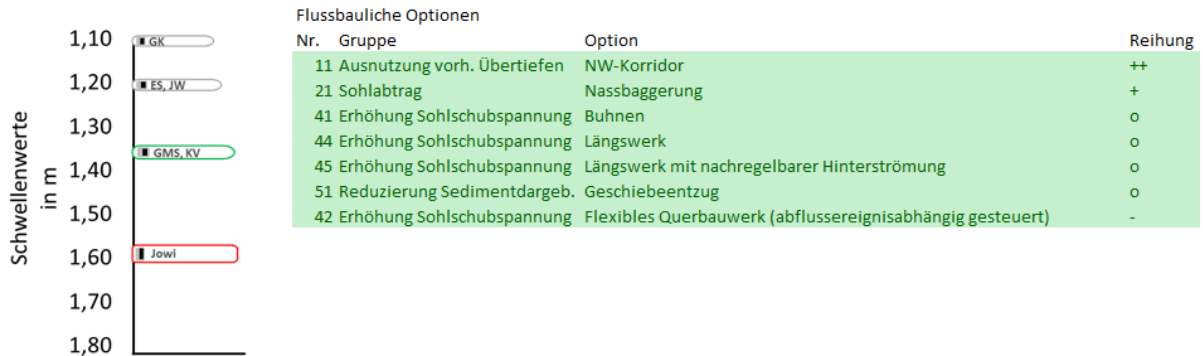
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

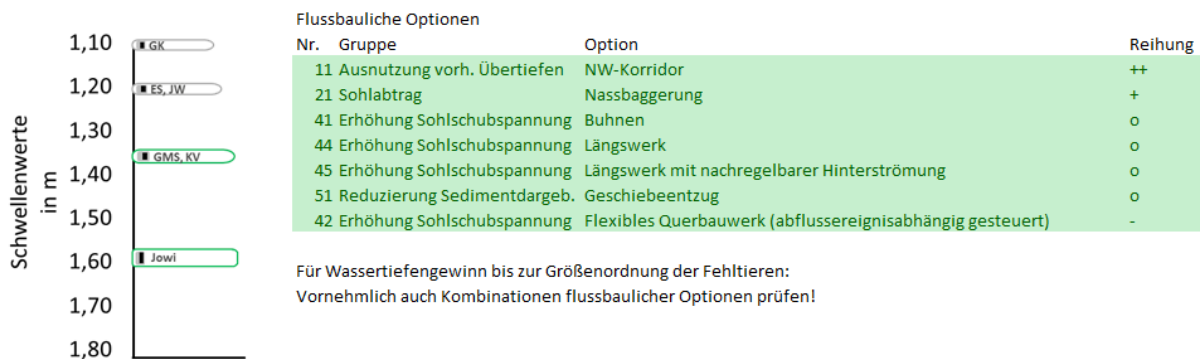
1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

Germersheim

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,35 m (gleich Mindesttiefgang Großmotorschiff, Koppelverband): bis 5 cm

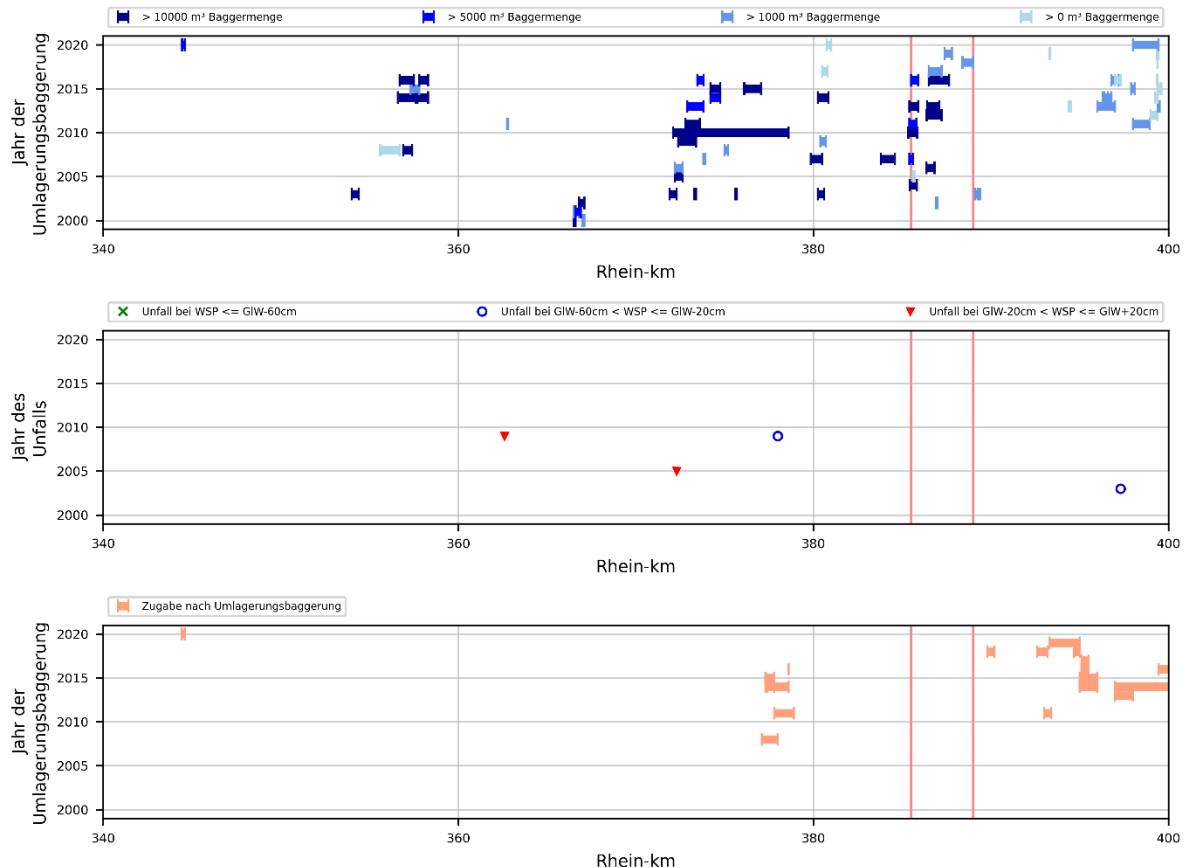


Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 30 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Germersheim“ ist in den Teildiagrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.
[PGEPA3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a

Steckbrief

Oberhausen-Rheinhausen

Der Bereich „Oberhausen-Rheinhausen“ wird hier als schifffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Oberrhein	von Rh-km 392,5	bis Rh-km 393,0	Länge ^[1] 0,6 km	Fahrrinntiefe unter GlW 2,1 m
-----------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2]	ab pot. Abladetiefe...
...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$	... --
...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$	... --
...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	--
Literaturnennungen ^[3,4]	--

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

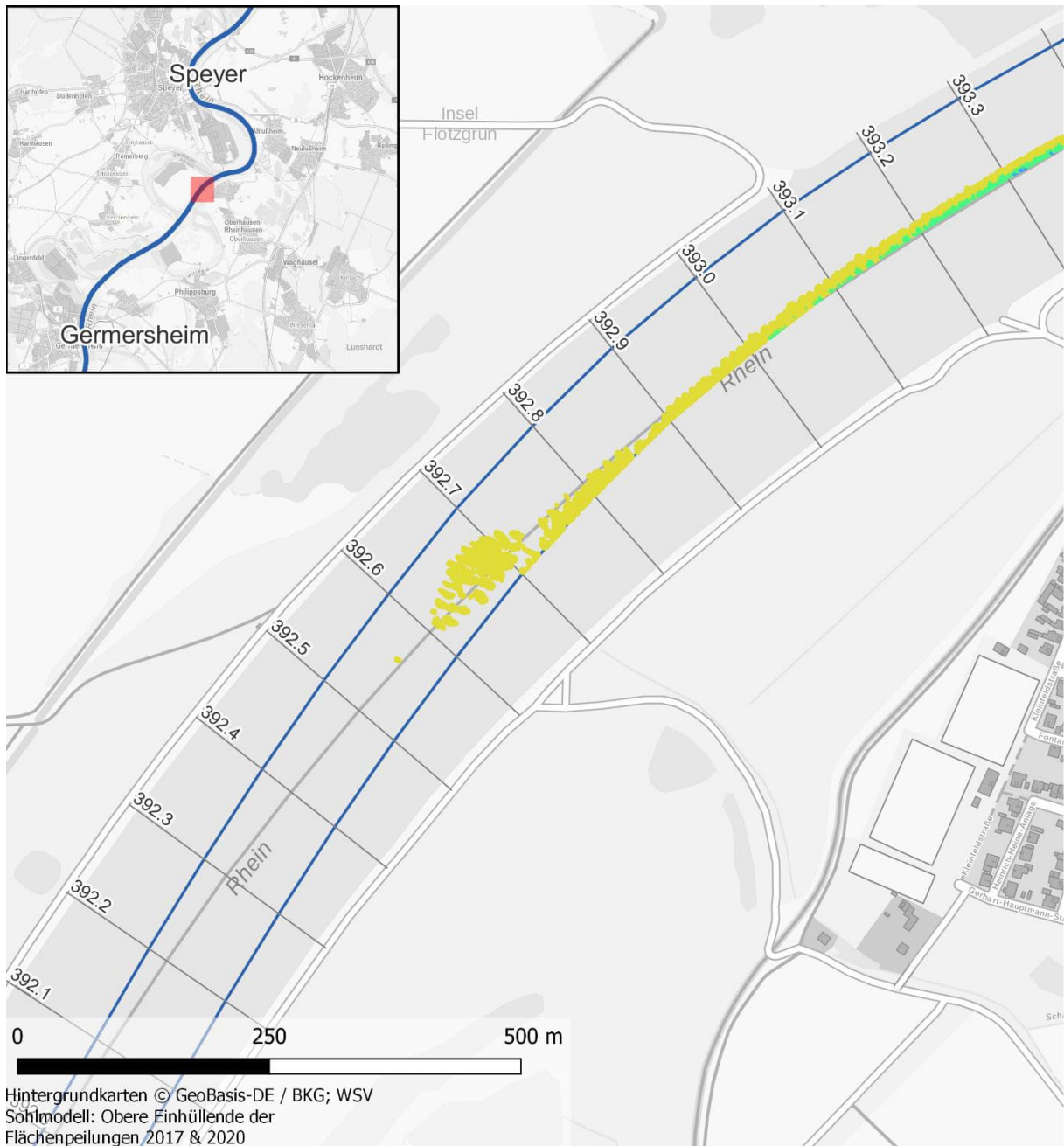
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	Alluvial_ohne_Deckschicht
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Mittelgrund
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Nein
WSP-Gefälle	$GlW_{20(2012)}$	0,30 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		ca. 1 km unterstrom: Fähre
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		von oberstrom: GZS, von unterstrom: Stauwirkung

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang Jowi)

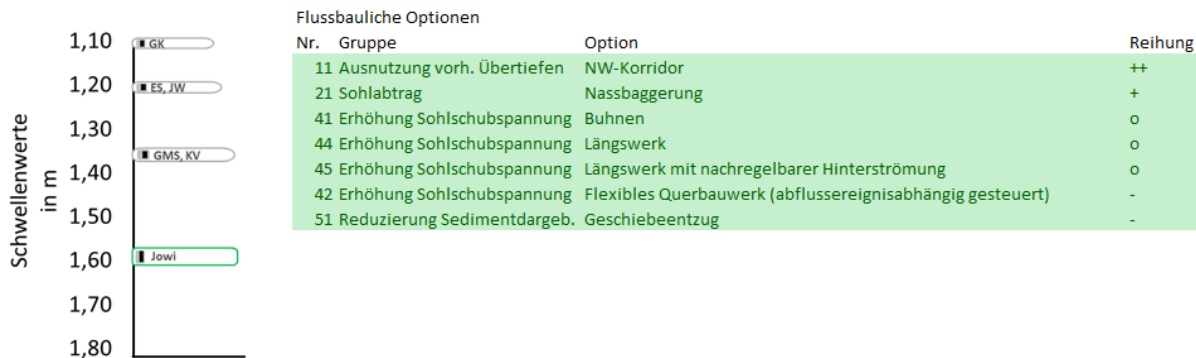
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

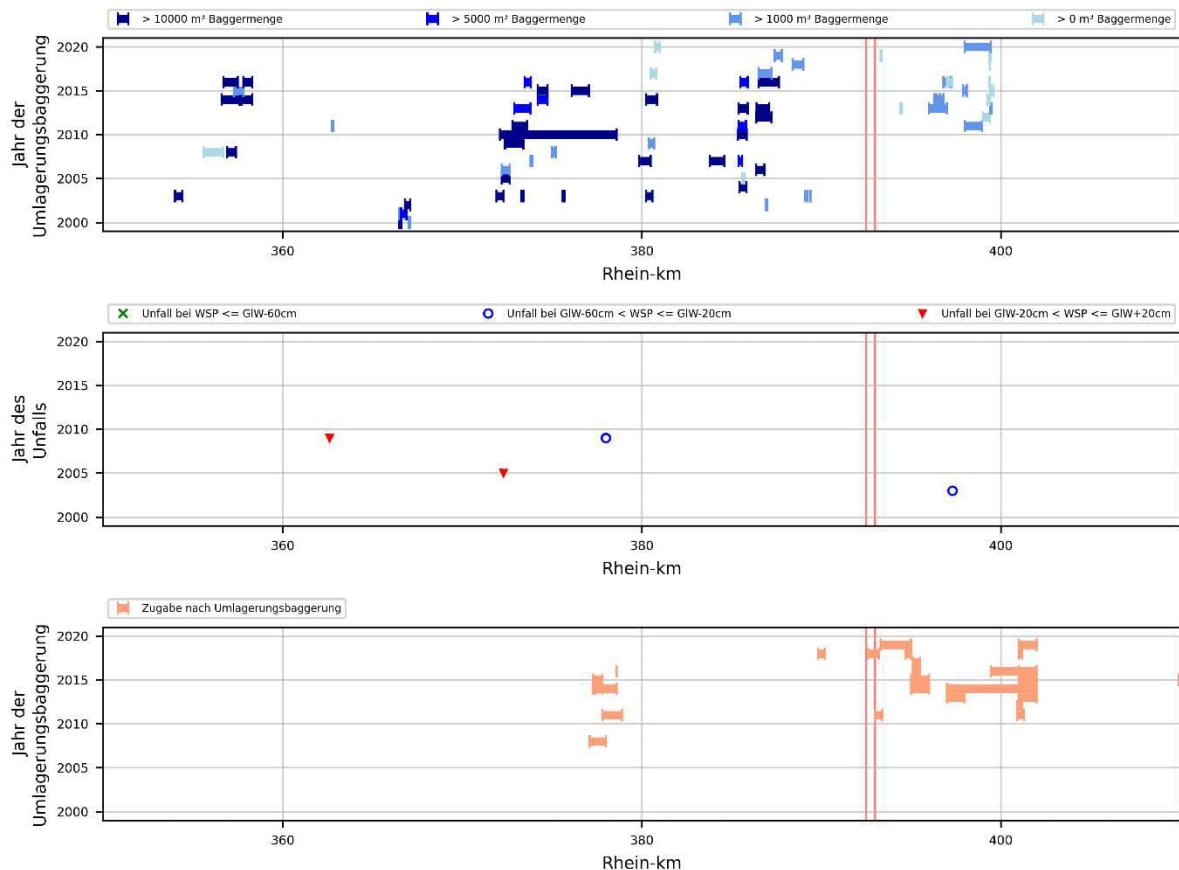
Oberhausen-Rheinhausen

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 15 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Oberhausen-Rheinhausen“ ist in den Teildigrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

(keine)

Steckbrief

MA-LU-Stadtstrecke

Der Bereich „MA-LU-Stadtstrecke“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Oberrhein	von Rh-km 423,5	bis Rh-km 427,0	Länge ^[1] 3,6 km	Fahrrinntiefe unter GlW 2,1 m
-----------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,35 (entspr. Mindesttiefgang GMS110_GMS135_KV)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	2922/2018_Ludwigshafen
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016], [PGEPA3a]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

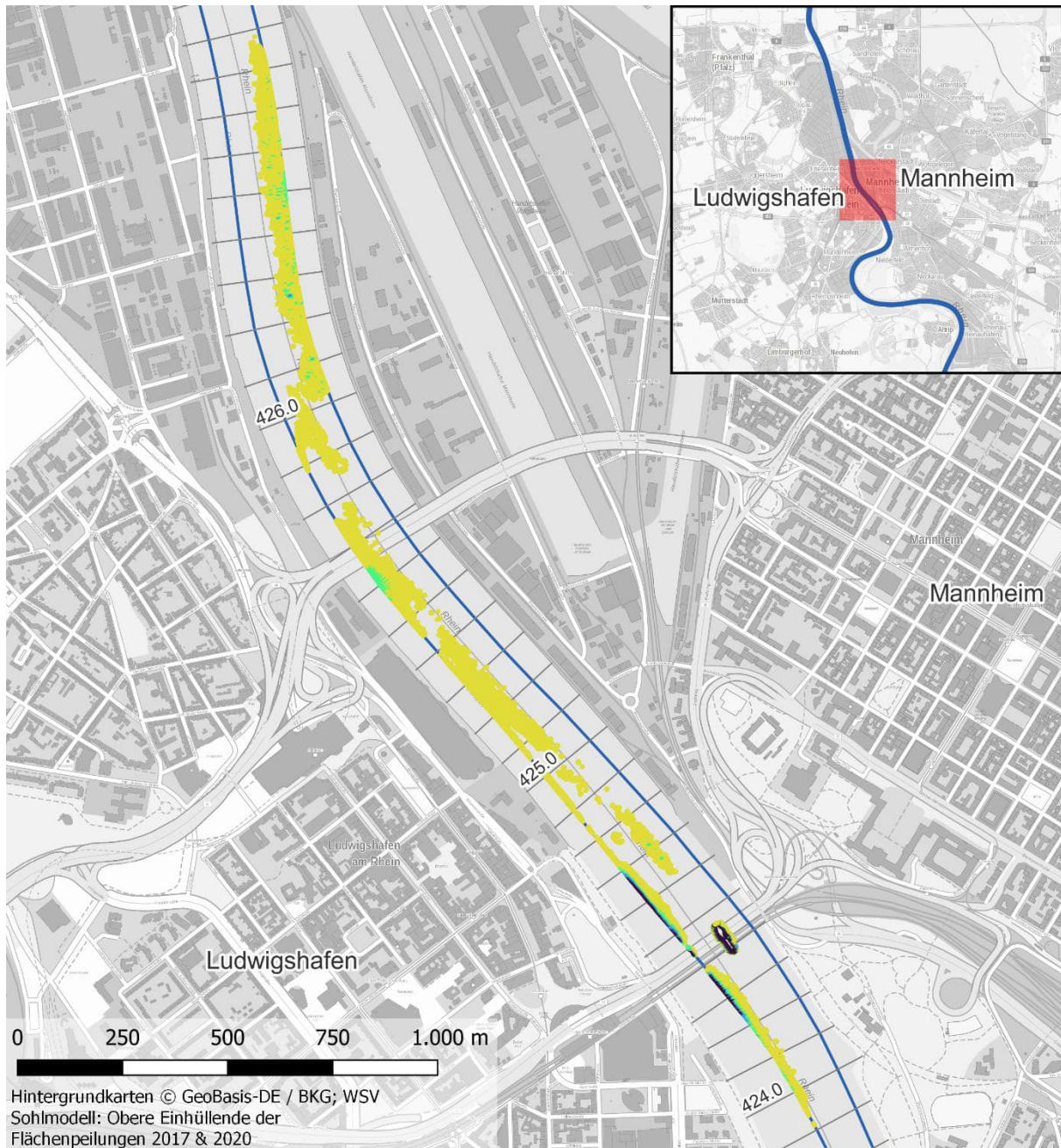
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	Alluvial_ohne_Deckschicht
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Ebene Sohle über ganze FR-Breite
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Ja
WSP-Gefälle	$GlW_{20(2012)}$	0,10 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		Stadt, Industrie im ganzen Umfeld, Anleger, Steiger, etc.
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		(Übergang NW- zu MW-Regulierung + keine Regulierung lokal > Streichlinienbreiten-Aufweitung unterstrom der NW-Buhnen)

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

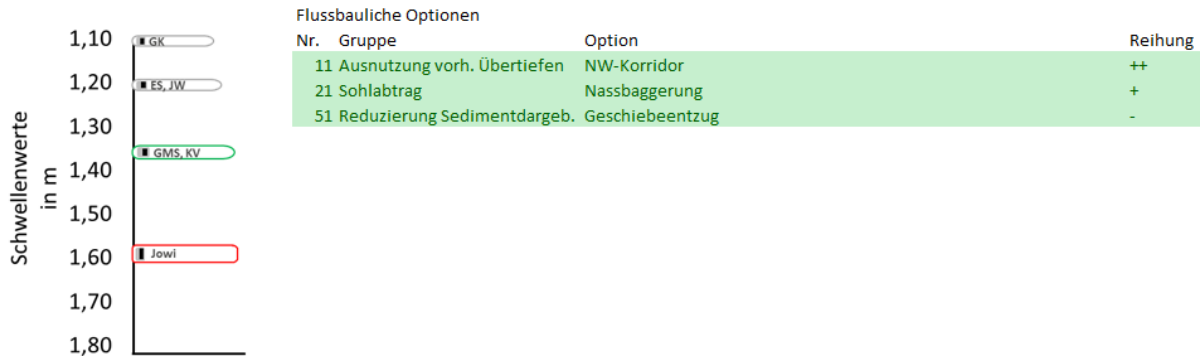
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

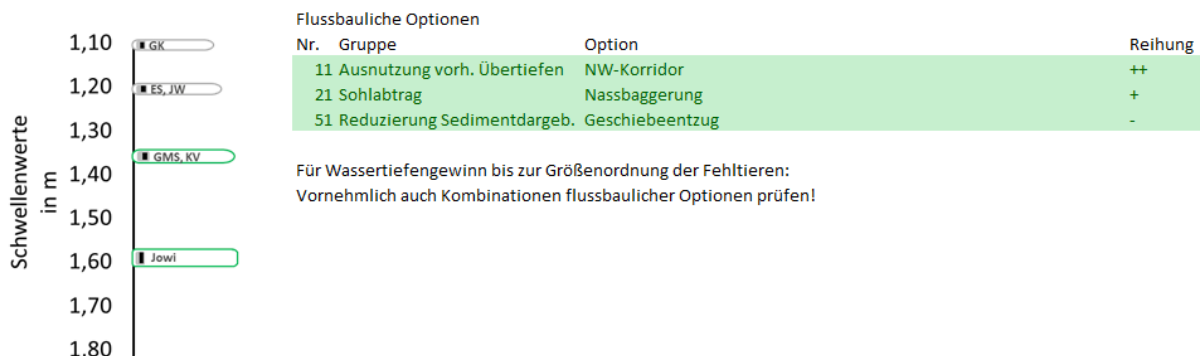
1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

MA-LU-Stadtstrecke

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,35 m (gleich Mindesttiefgang Großmotorschiff, Koppelverband): bis 10 cm

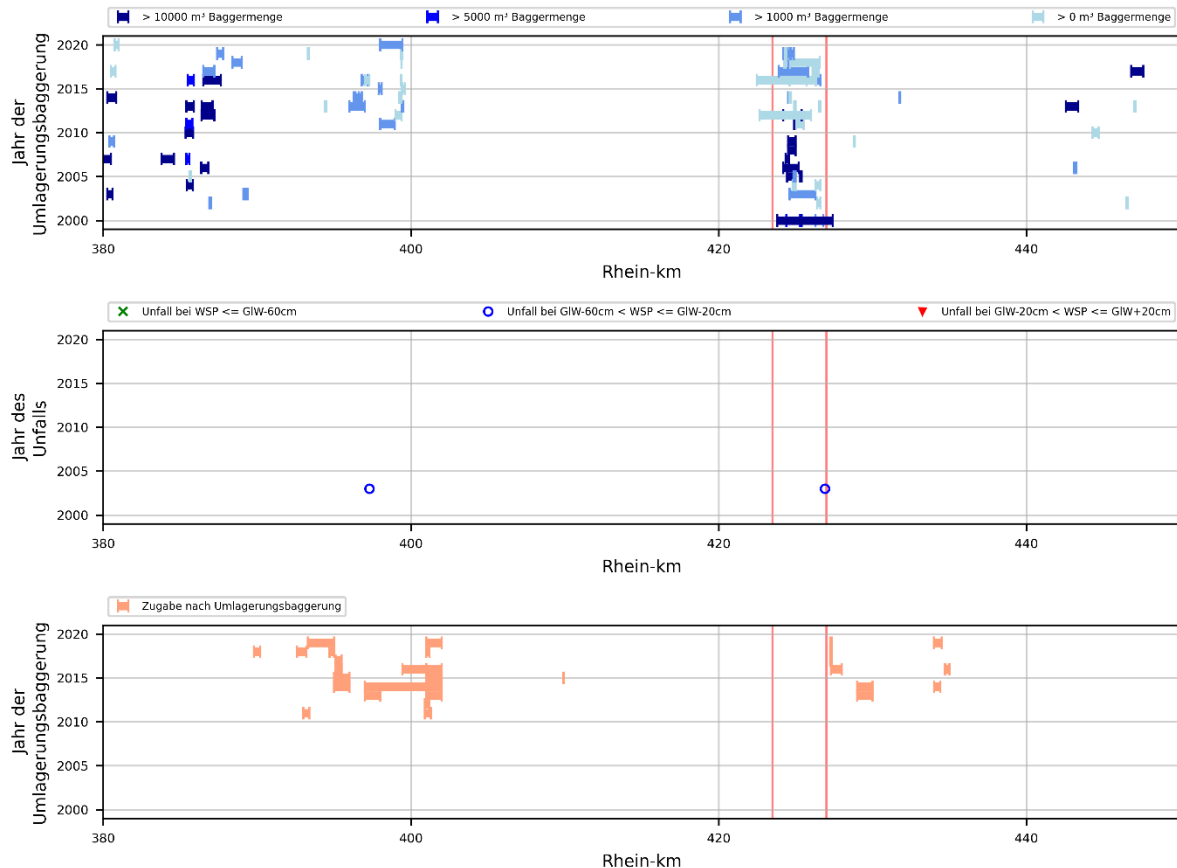


Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 30 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „MA-LU-Stadtstrecke“ ist in den Teildiagrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.
[PGEPA3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a

Steckbrief

Eisenbahnbrücke Worms

Der Bereich „Eisenbahnbrücke Worms“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Oberrhein	von Rh-km 445,5	bis Rh-km 446,5	Länge ^[1] 1,1 km	Fahrrinntiefe unter GlW 2,1 m
-----------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	--
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	Alluvial_ohne_Deckschicht
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Mittelgrund
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Nein
WSP-Gefälle	$GlW_{20(2012)}$	0,20 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		Links Stadt und Industrie, oberstrom Brücken und Düker
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Nein

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

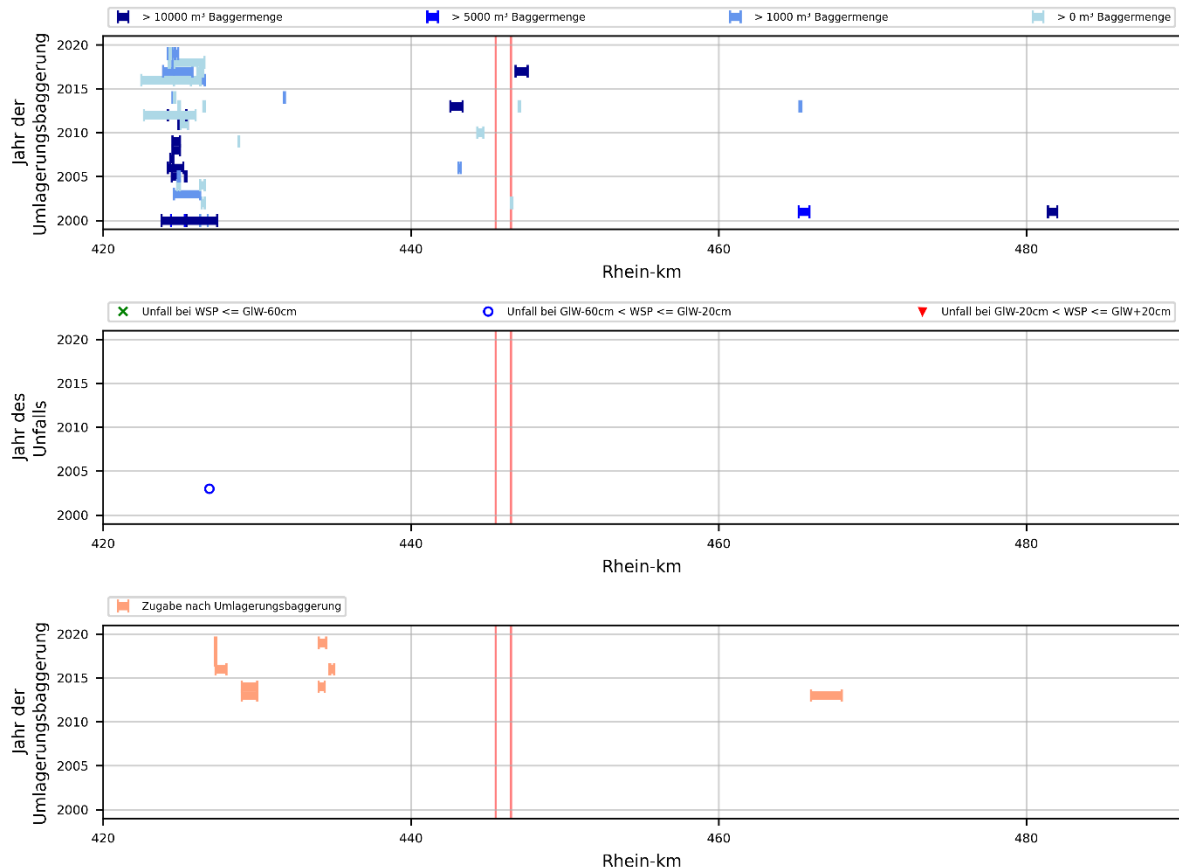
Eisenbahnbrücke Worms

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 10 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Eisenbahnbrücke Worms“ ist in den Teildia-grammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestell-ten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorlie-genden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde lie-gen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.

Steckbrief

Biblis

Der Bereich „Biblis“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Oberrhein	von Rh-km 453,5	bis Rh-km 454,2	Länge ^[1] 0,8 km	Fahrrinntiefe unter GlW 2,1 m
-----------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	--
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016], [PGEPA3a]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

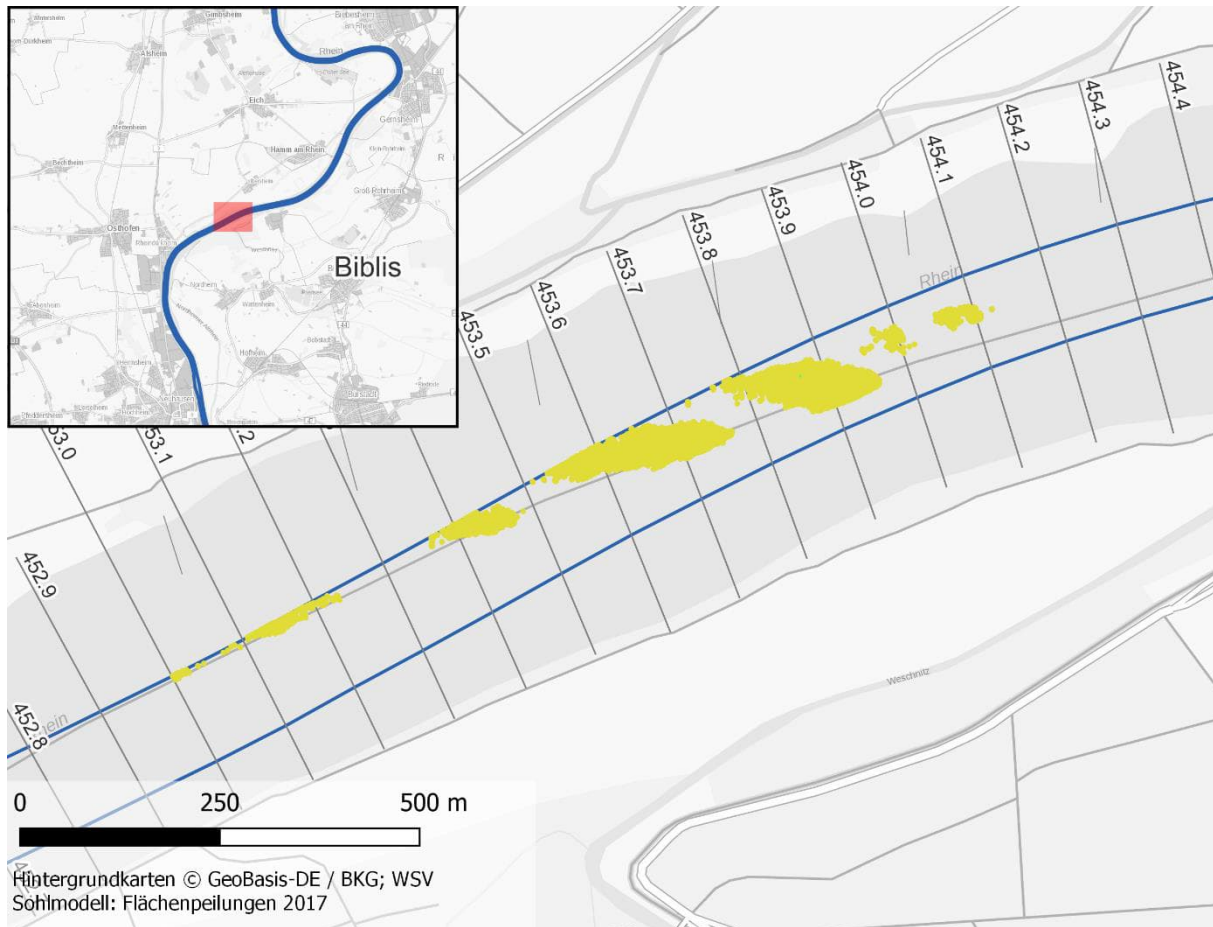
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	Alluvial_ohne_Deckschicht
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Mittelgrund
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Nein
WSP-Gefälle	$GlW_{20(2012)}$	0,07 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		im EP-Bereich keine Infrastr. Bekannt, unterstrom ehem. KKW Biblis
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Nein

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttieftgang Jowi)

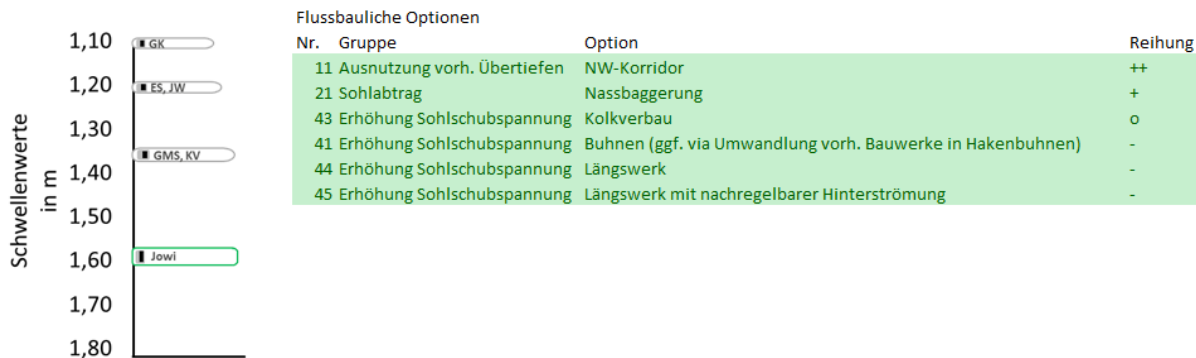
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

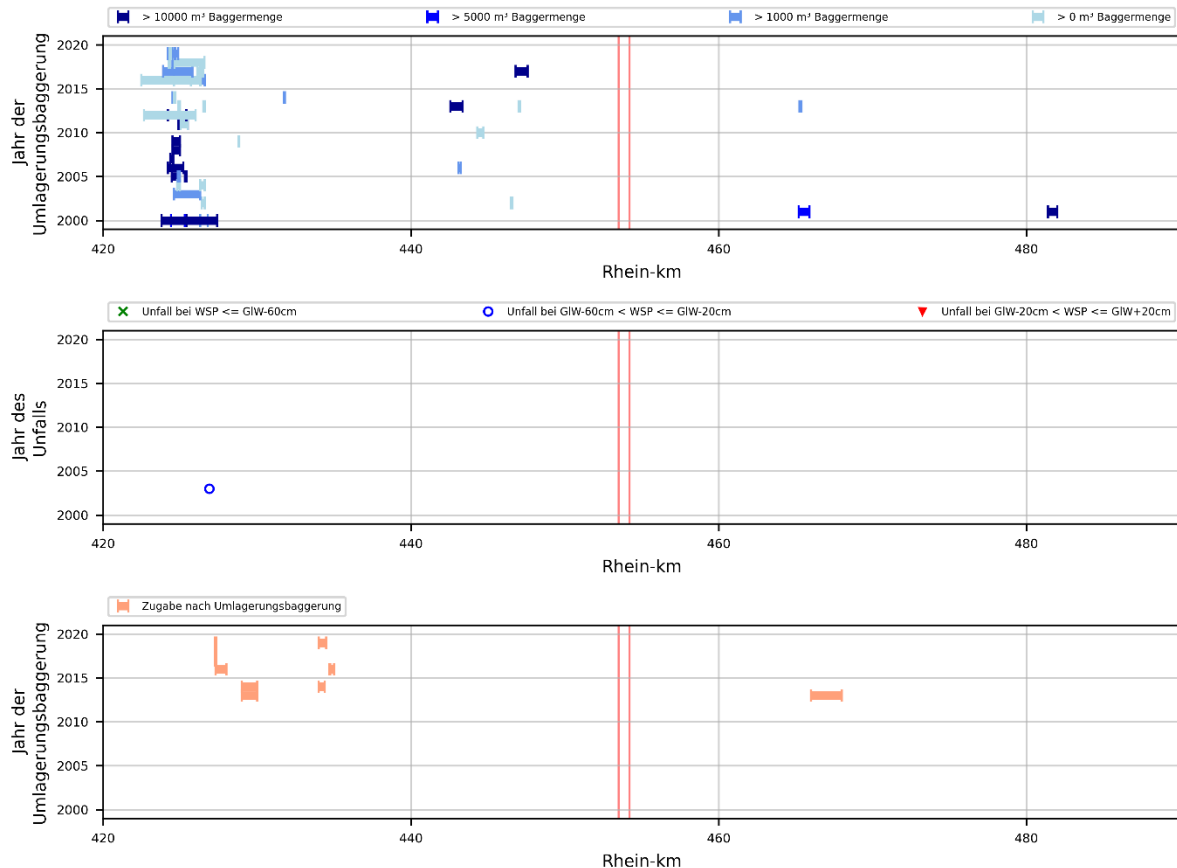
Biblis

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 20 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Biblis“ ist in den Teildiagrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.
[PGEPA3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a

Steckbrief

Kemptener Fahrwasser

Der Bereich „Kemptener Fahrwasser“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Rheingau	von Rh-km 525,0	bis Rh-km 525,8	Länge ^[1] 0,9 km	Fahrrinntiefe unter GlW 1,9 m
----------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	2363/2009_Rüdesheimer_Stromarm
Literaturnennungen ^[3,4]	[PGEPA3a], [BAW19]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

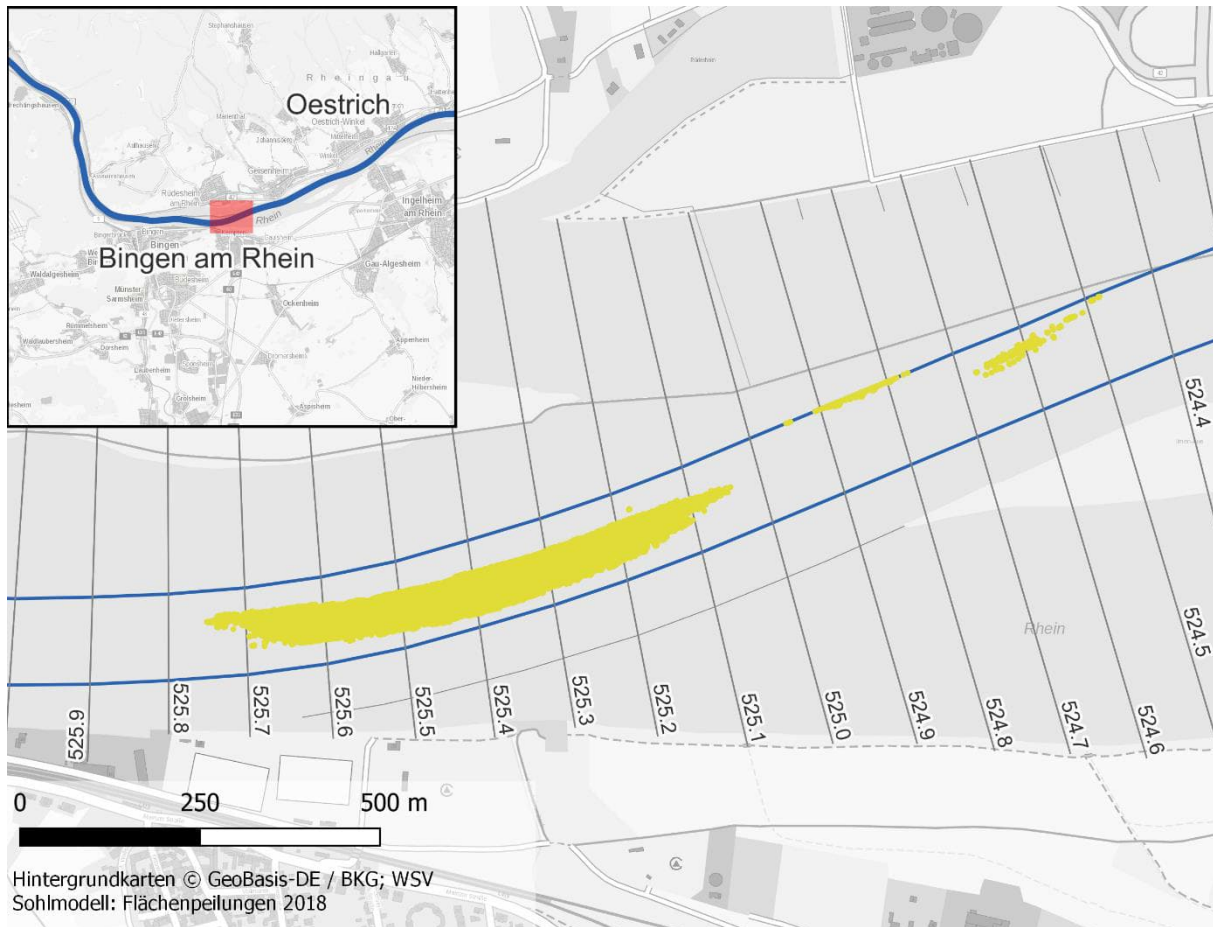
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	Alluvial_ohne_Deckschicht
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Mittelgrund
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Ja
WSP-Gefälle	$GlW_{20(2012)}$	0,10 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		Liegestellen, Hafenmole, Hafen oberstrom und unterstrom, Fähre unterstrom, ggf. unterird. Kabel im EP-Bereich, Pfeilerreste Bismarck-Brücke
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Nein

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

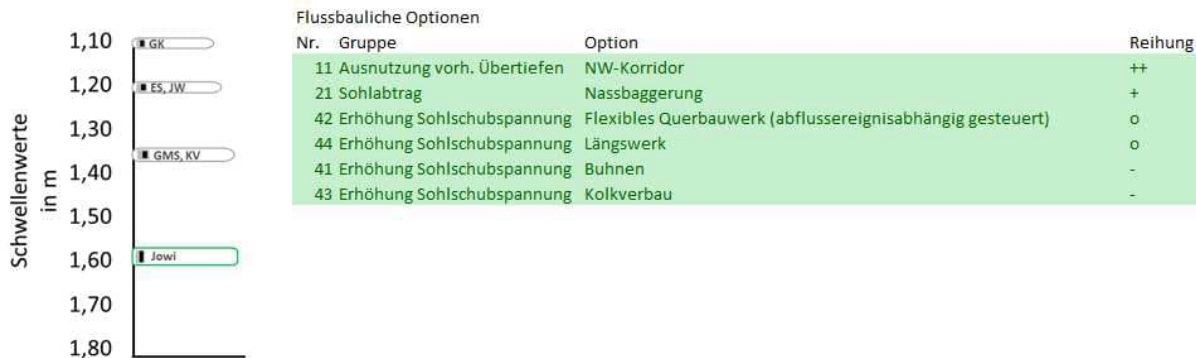
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

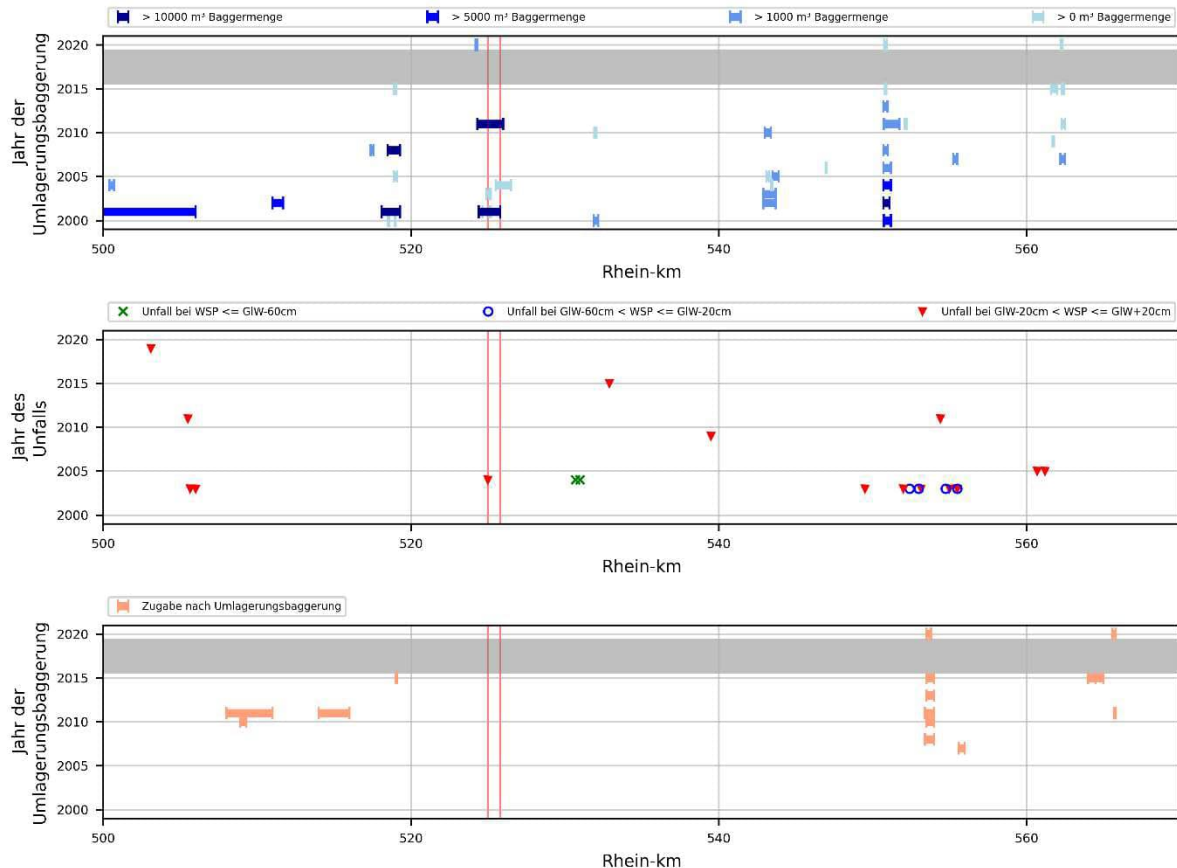
Kemptener Fahrwasser

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowil): bis 20 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Kemptener Fahrwasser“ ist in den Teildia-grammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestell-ten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorlie-genden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde lie-gen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.
[PGEPA3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a

Steckbrief

Binger-Loch-Strecke

Der Bereich „Binger-Loch-Strecke“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Mittelrhein	von Rh-km 530,3	bis Rh-km 531,1	Länge ^[1] 0,9 km	Fahrrinntiefe unter GlW 1,9 m
-------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	--
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016], [PGEPA3a]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

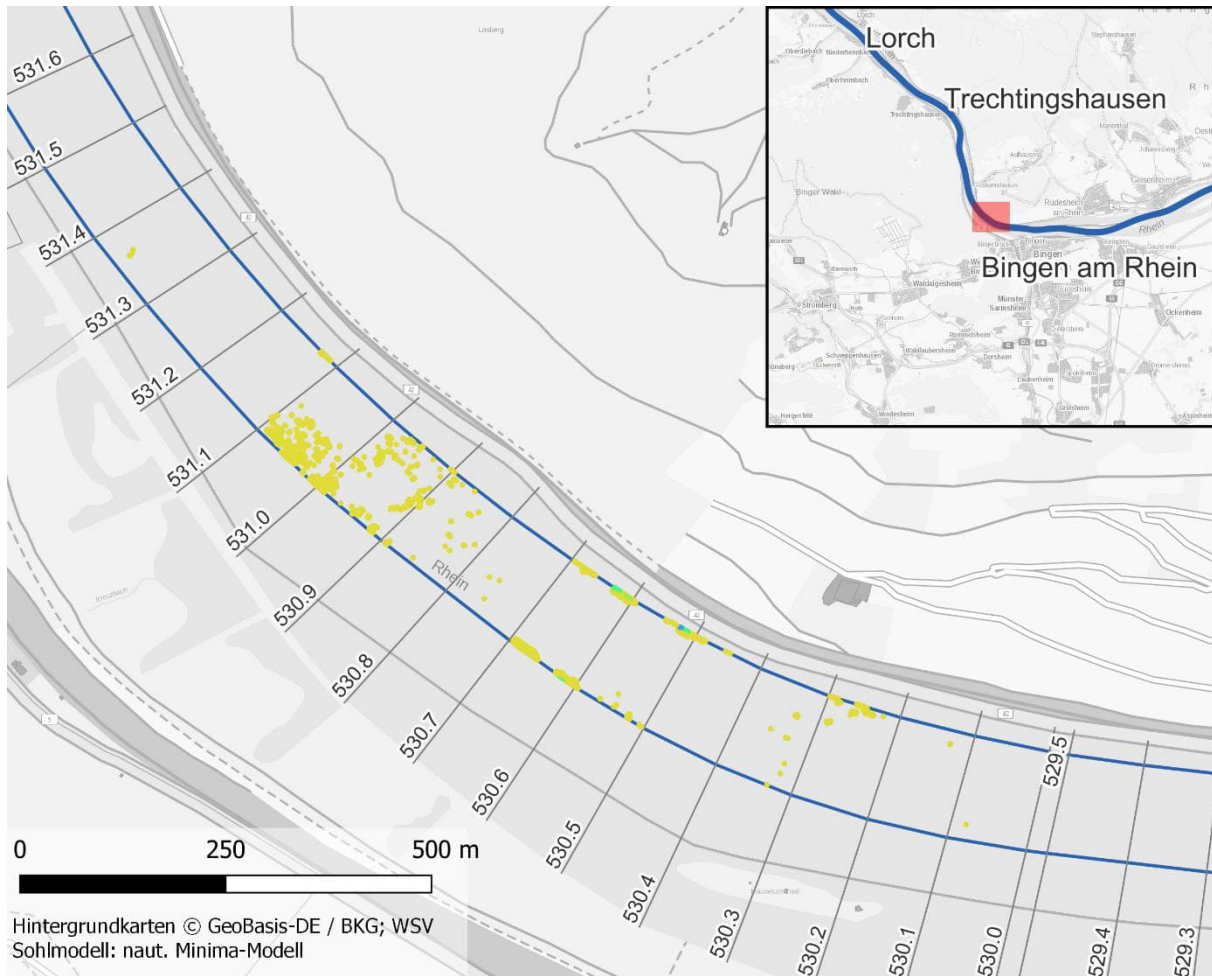
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	_Fels
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Fels
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Nein
WSP-Gefälle	GlW ₂₀₍₂₀₁₂₎	0,65 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Ja
Infrastrukturobjekte		(keine bekannt)
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Nein

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

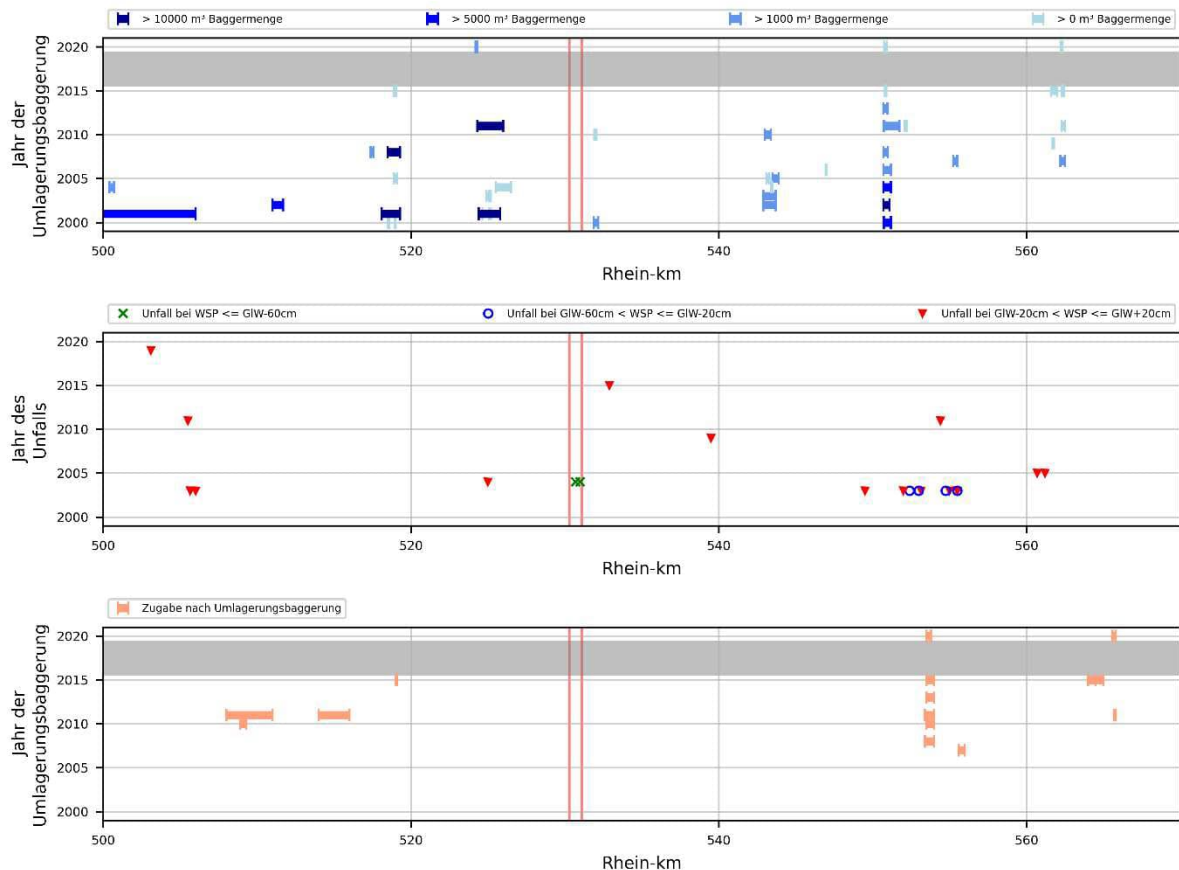
Binger-Loch-Strecke

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowli): bis 20 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Binger-Loch-Strecke“ ist in den Teildia-grammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestell-ten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorlie-genden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde lie-gen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.
[PGEPA3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a

Steckbrief

Assmannshausen - Clemensgrund

Der Bereich „Assmannshausen - Clemensgrund“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Mittelrhein	von Rh-km 532,2	bis Rh-km 536,0	Länge ^[1] 3,9 km	Fahrrinntiefe unter GlW 1,9 m
-------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	--
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

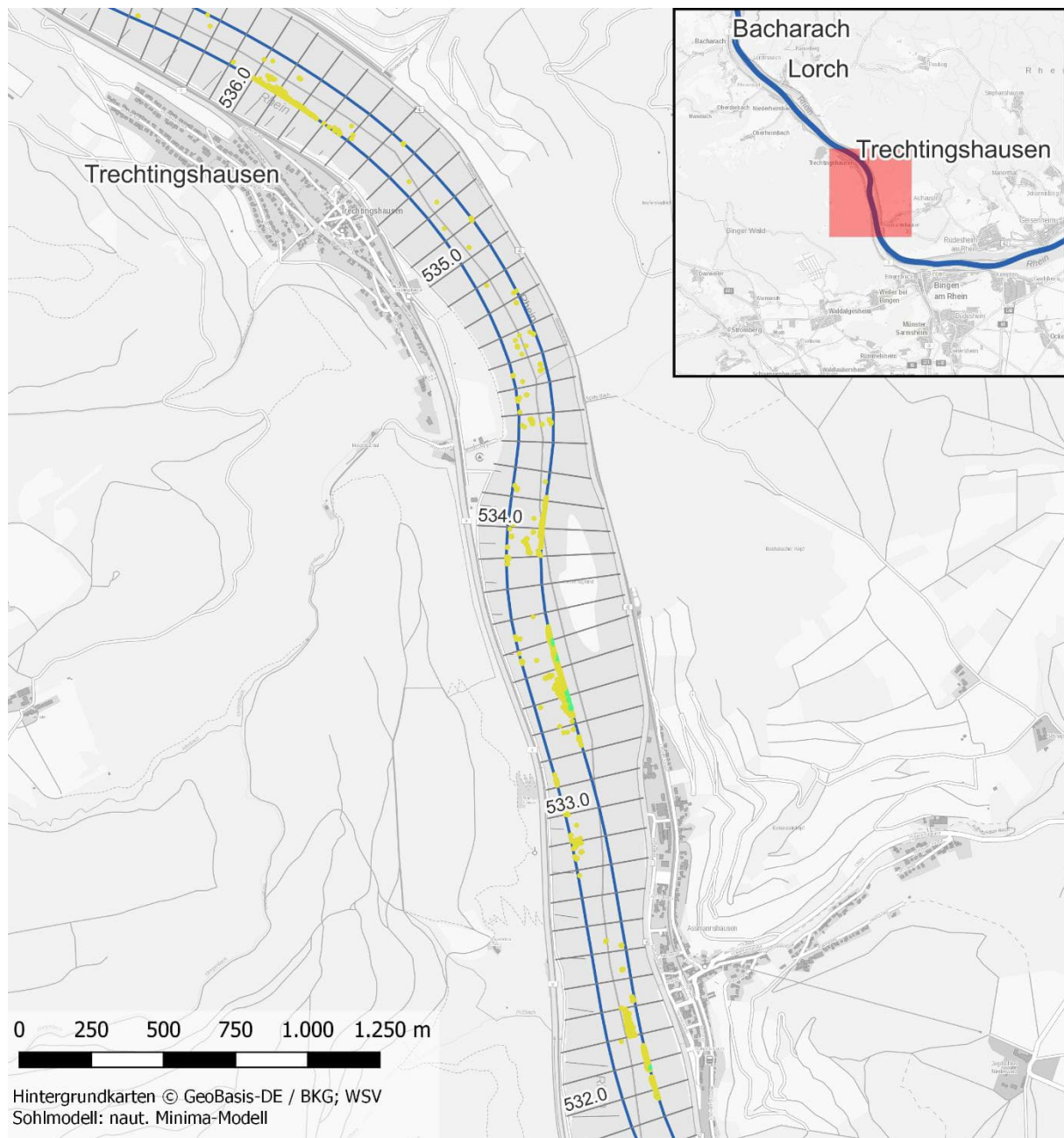
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	_Fels
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Fels
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Nein
WSP-Gefälle	GlW ₂₀₍₂₀₁₂₎	0,60 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		Verlader Trechtlingshausen, weiteres n. bek.
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Nein

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

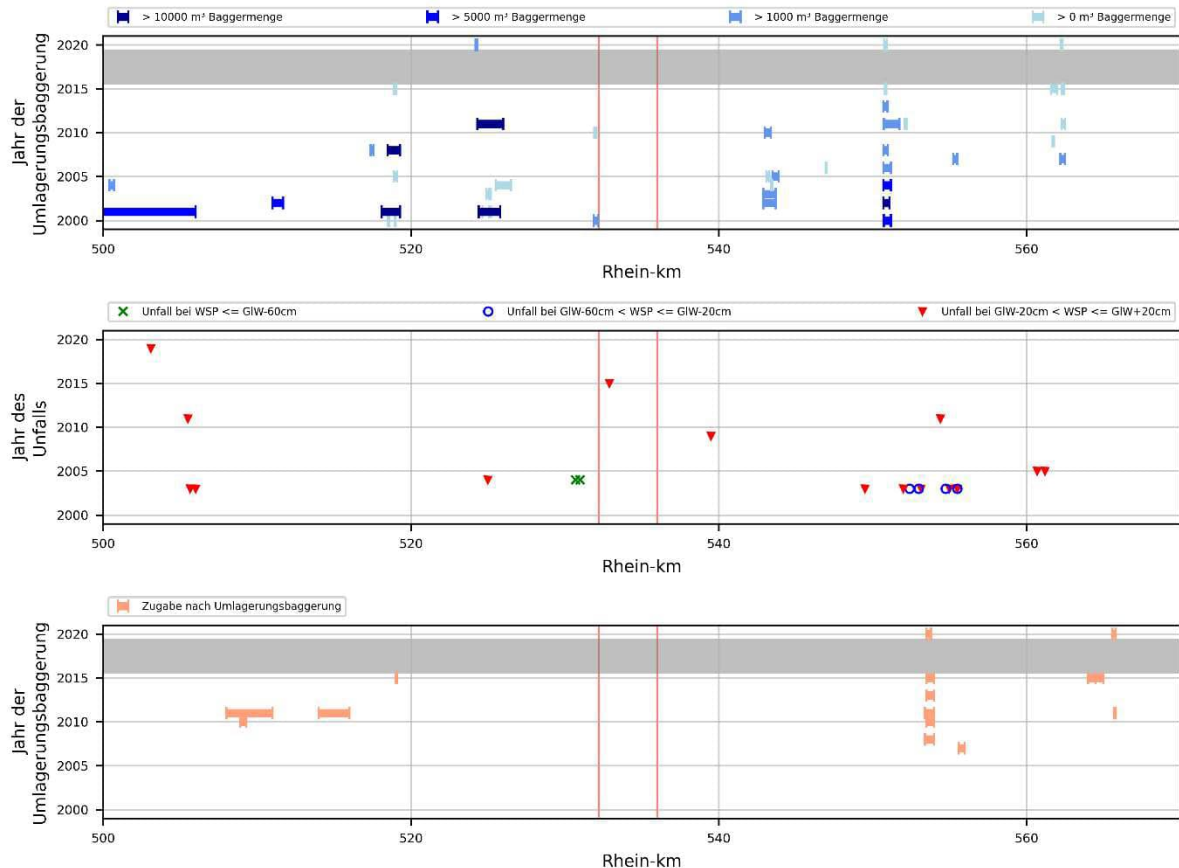
Assmannshausen - Clemensgrund

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 15 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Assmannshausen - Clemensgrund“ ist in den Teildigrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.

Steckbrief

Lorcher Werth

Der Bereich „Lorcher Werth“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Mittelrhein	von Rh-km 538,3	bis Rh-km 539,2	Länge ^[1] 1,0 km	Fahrrinntiefe unter GlW 1,9 m
-------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	--
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016], [PGEPA3a], [BAW19]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

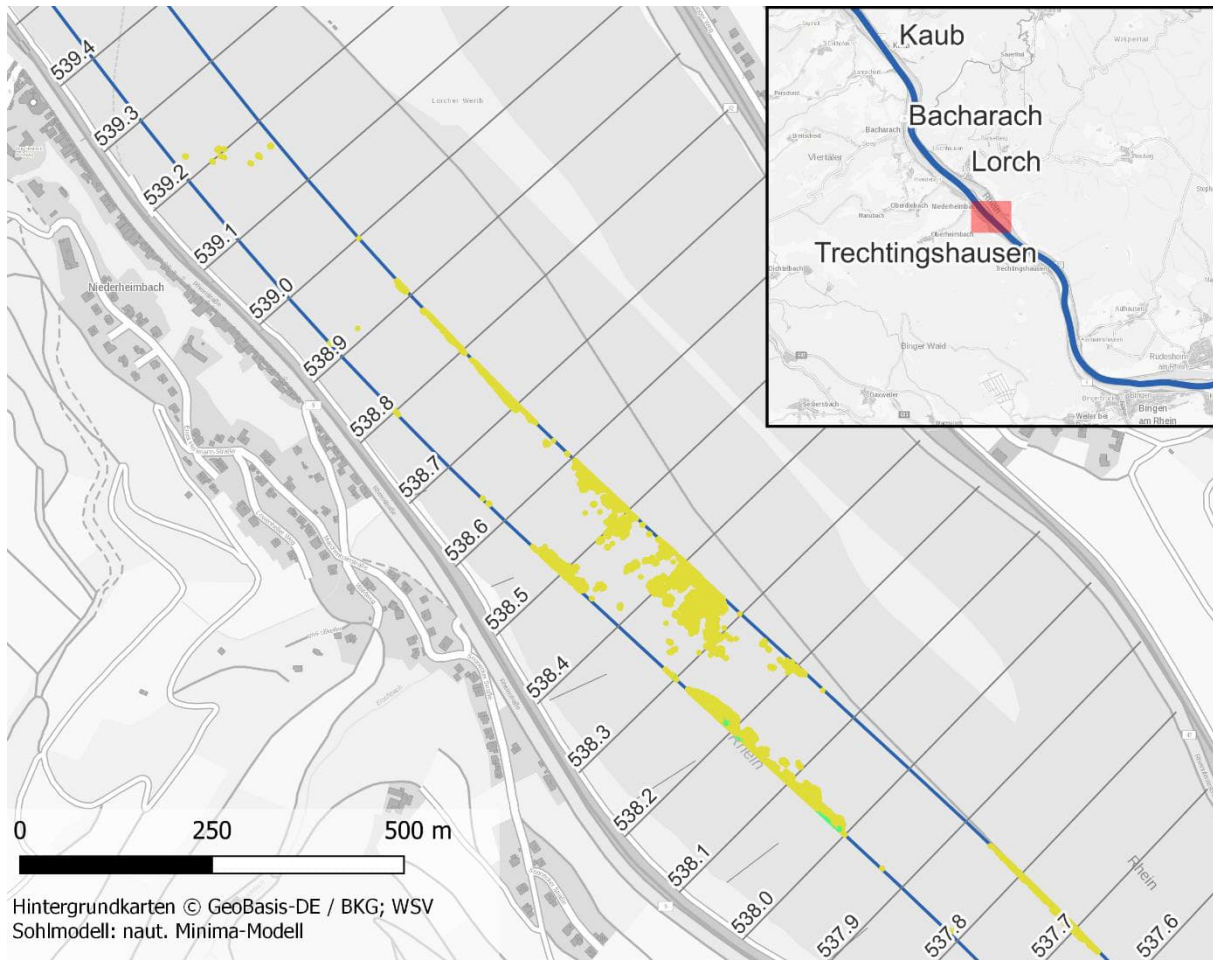
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	_Fels
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Fels
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Nein
WSP-Gefälle	GlW ₂₀₍₂₀₁₂₎	0,40 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		Fähre unterstrom, Sportboothafen unterstrom im Nebenarm, Steiger links
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Nein

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

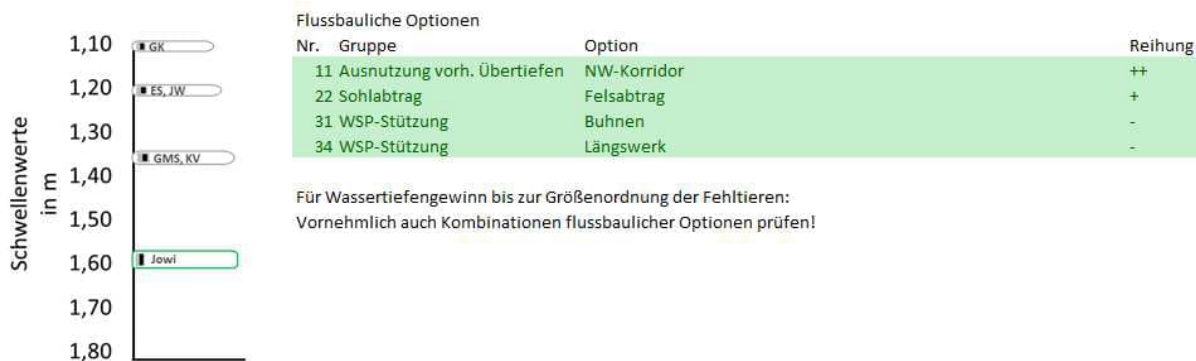
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

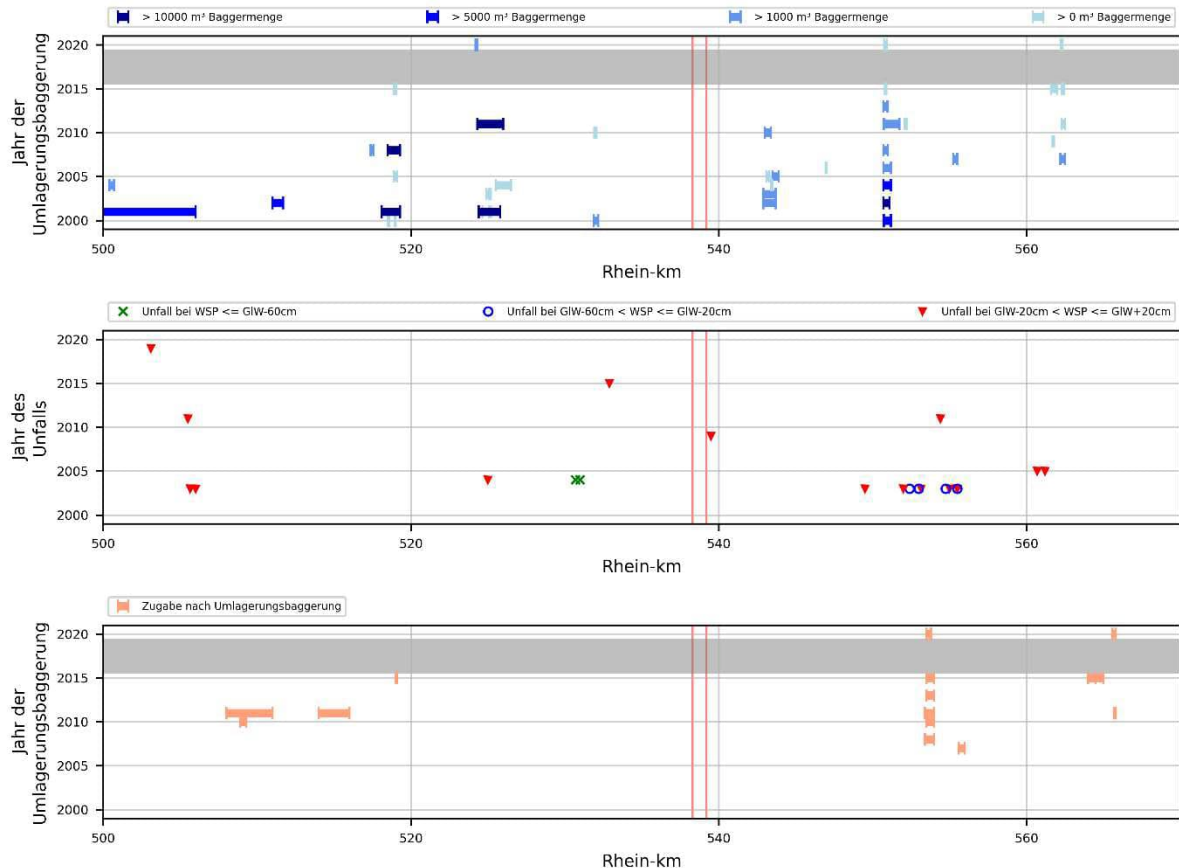
Lorcher Werth

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 20 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Lorcher Werth“ ist in den Teildiagrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[BAW19]	Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2019a): Abladeoptimierung Mittelrhein, Projektphase „Vertiefte Voruntersuchung“. Teilbericht 1: Grundlagen und flussbauliches Untersuchungskonzept für die Projektstrecke von Mainz bis St. Goar (Rhein-km 508,0-557,0) (BAW-Gutachten, B3953.02.30.10171).
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.
[PGEPA3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a

Steckbrief

Lorch – Lorchhauser Grund

Der Bereich „Lorch – Lorchhauser Grund“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Mittelrhein	von Rh-km 540,2	bis Rh-km 542,2	Länge ^[1] 2,1 km	Fahrrinntiefe unter GlW 1,9 m
-------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	--
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016], [PGEPA3a], [BAW19]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

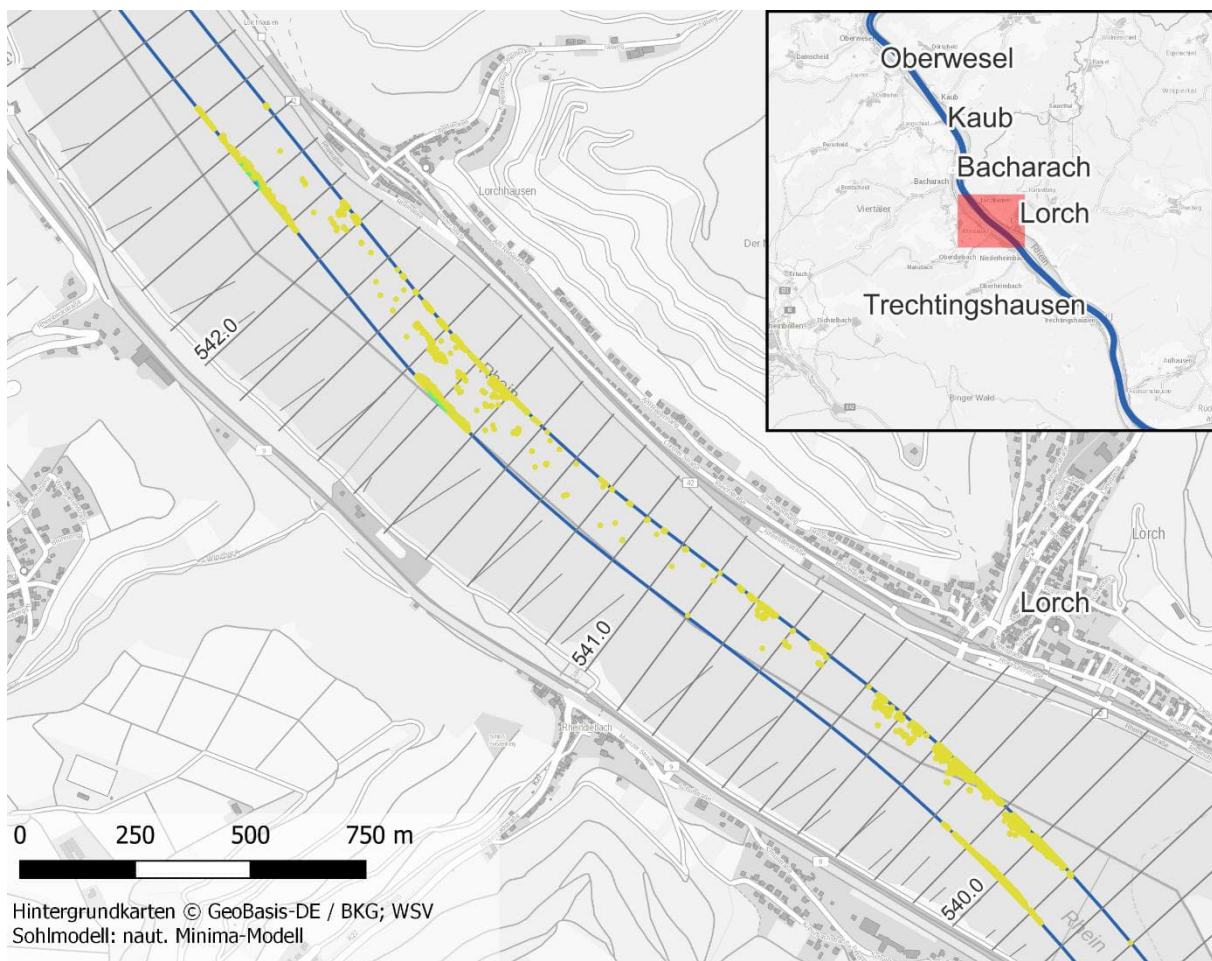
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	_Fels
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Fels
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Nein
WSP-Gefälle	$GlW_{20(2012)}$	0,60 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		Wispermündung im oberen Bereich rechts, Kläranlage links, Steiger rechts ca. 540,8, im untere Bereich Steiger links (WSA, Ruderverein, Sportboote)
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Nein

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

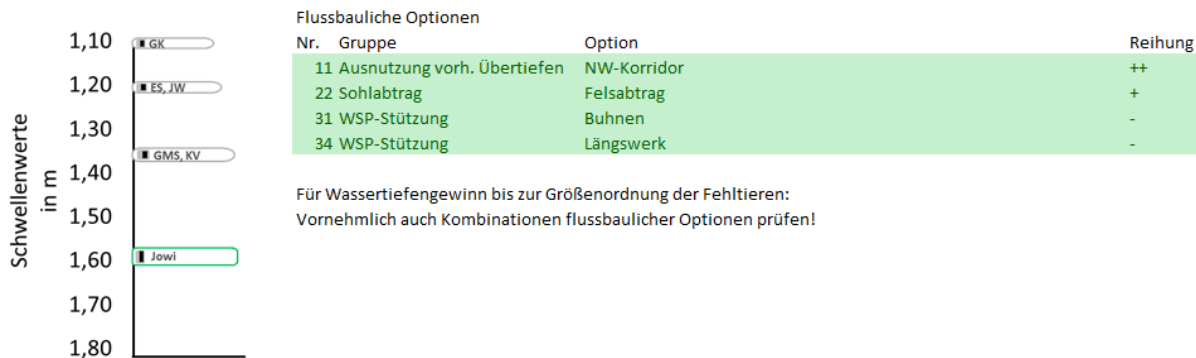
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

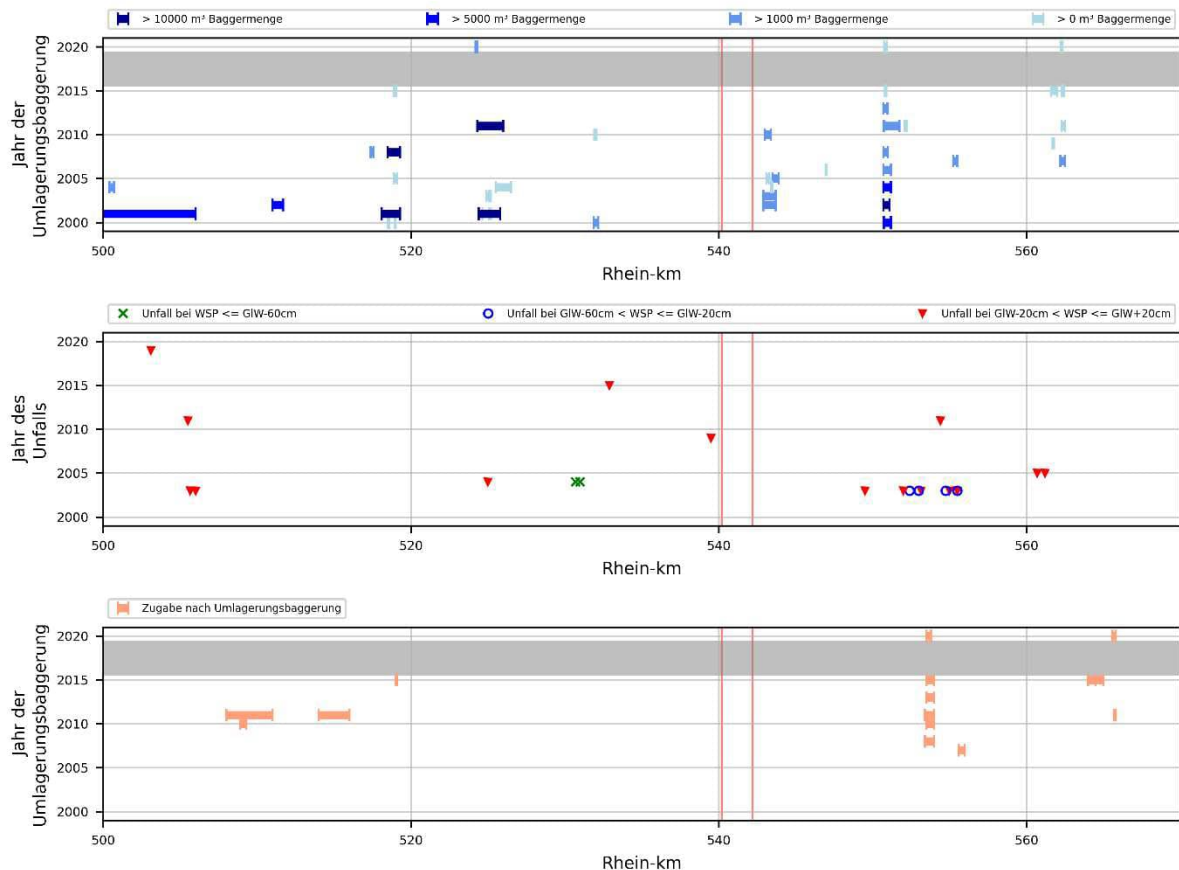
Lorch - Lorchhauser Grund

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowli): bis 15 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Lorch – Lorchhauser Grund“ ist in den Teil-diagrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[BAW19]	Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2019a): Abladeoptimierung Mittelrhein, Projektphase „Vertiefte Voruntersuchung“. Teilbericht 1: Grundlagen und flussbauliches Untersuchungskonzept für die Projektstrecke von Mainz bis St. Goar (Rhein-km 508,0-557,0) (BAW-Gutachten, B3953.02.30.10171).
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.
[PGEPA3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a

Steckbrief

Kauber Werth

Der Bereich „Kauber Werth“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Mittelrhein	von Rh-km 544,0	bis Rh-km 544,7	Länge ^[1] 0,8 km	Fahrrinntiefe unter GlW 1,9 m
-------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	--
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

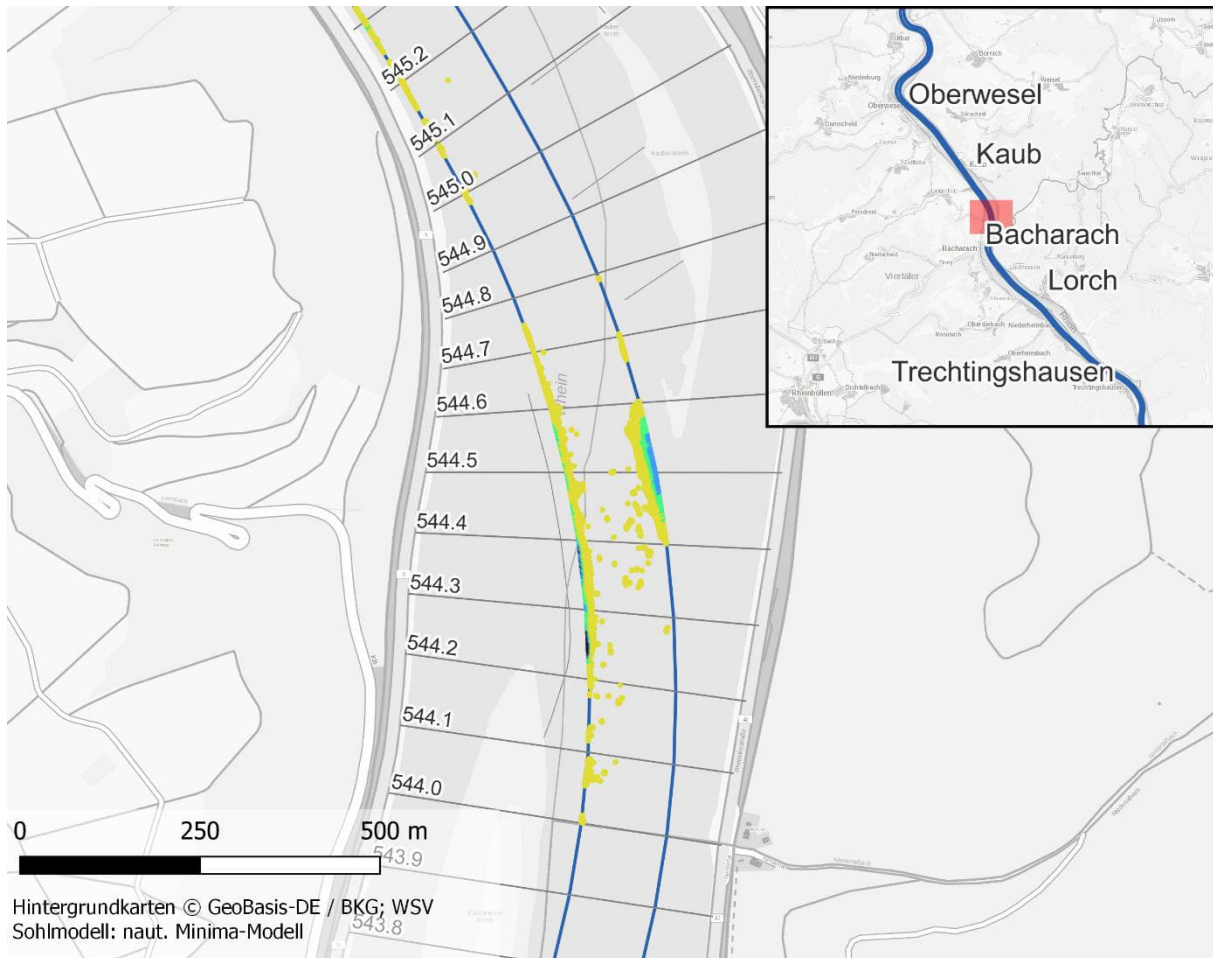
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	_Fels
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Fels
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Nein
WSP-Gefälle	$GlW_{20(2012)}$	0,50 ‰
Unfallsschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Nein
Infrastrukturobjekte		Fähre unterstrom Kauber Werth
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Nein

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

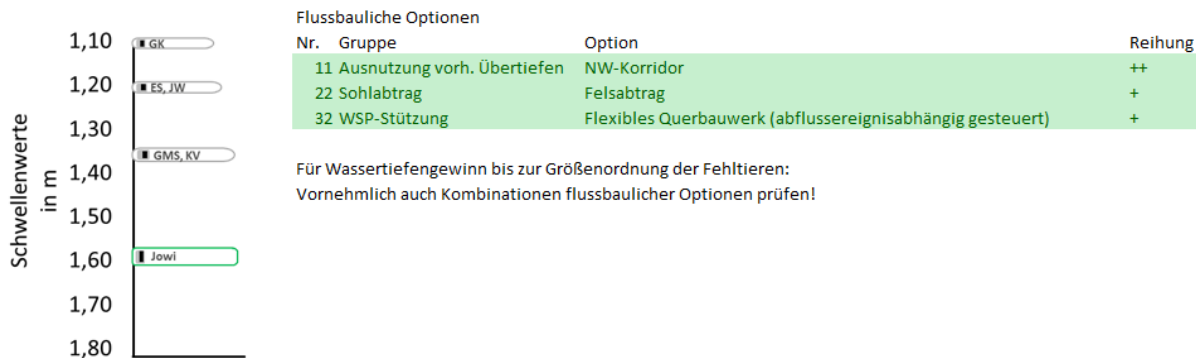
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

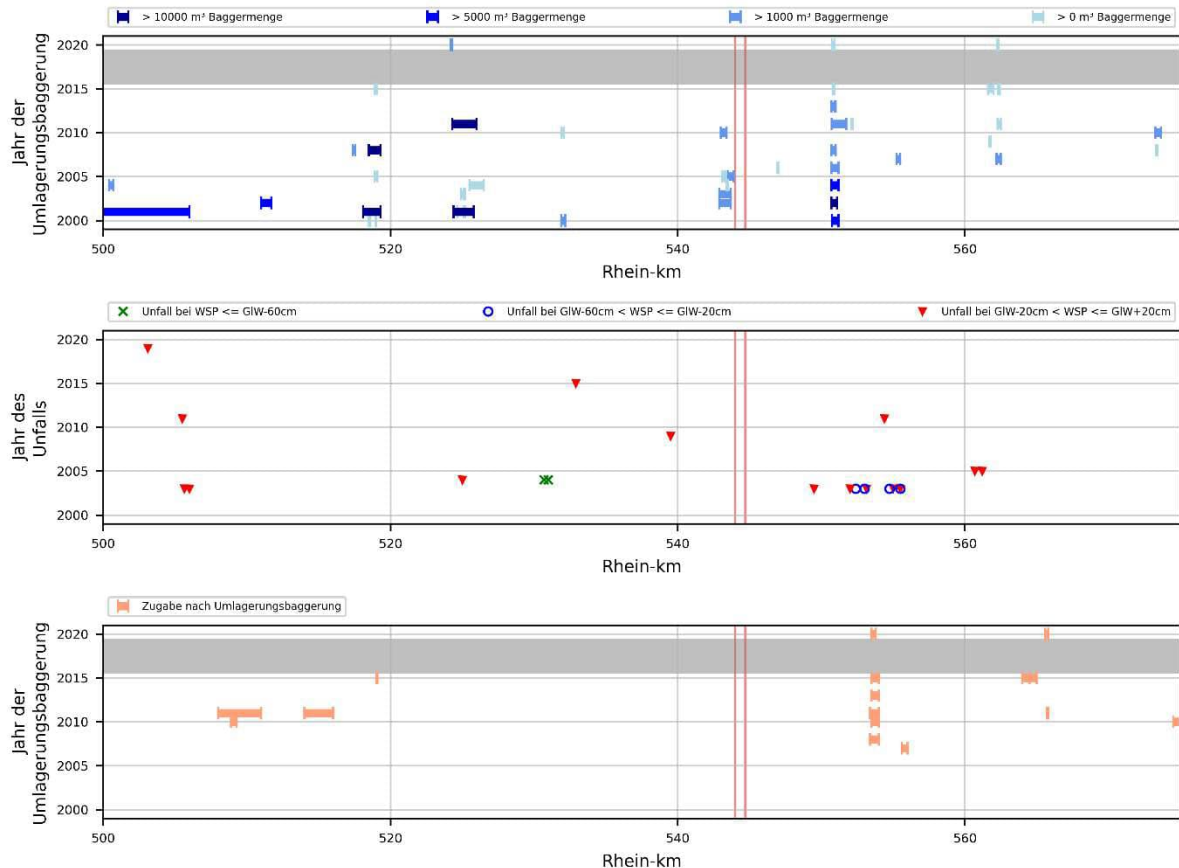
Kauber Werth

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 15 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Kauber Werth“ ist in den Teildiagrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.

Steckbrief

Tauber Werth - Geisenrücken

Der Bereich „Tauber Werth - Geisenrücken“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Mittelrhein	von Rh-km 550,7	bis Rh-km 553,2	Länge ^[1] 2,6 km	Fahrrinntiefe unter GlW 1,9 m
-------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,35 (entspr. Mindesttiefgang GMS110_GMS135_KV)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	--
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016], [BAW19]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

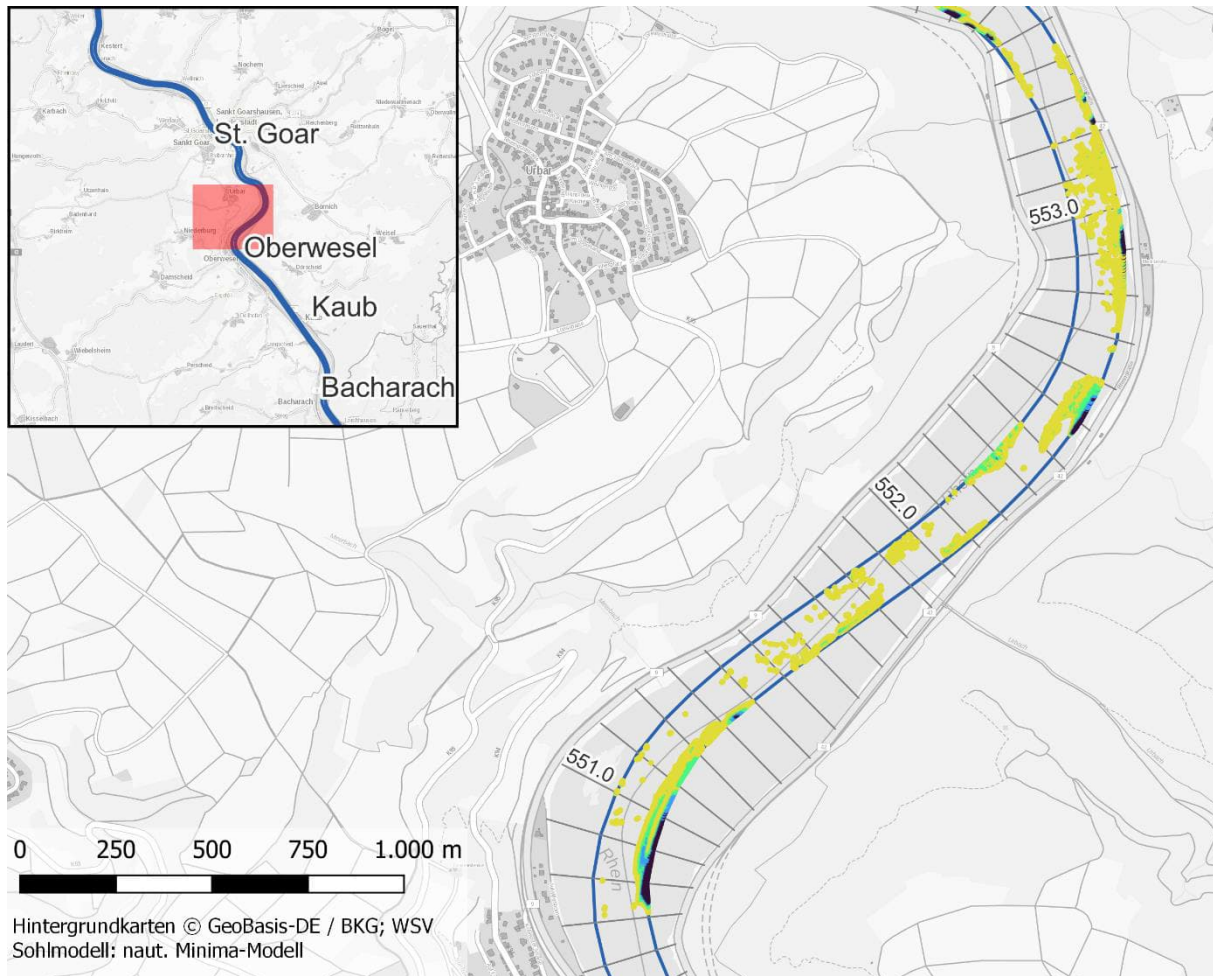
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	_Fels
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Fels
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Ja
WSP-Gefälle	GlW ₂₀₍₂₀₁₂₎	0,30 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Ja
Infrastrukturobjekte		Schutzhafen Loreley unterstrom
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Nein

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

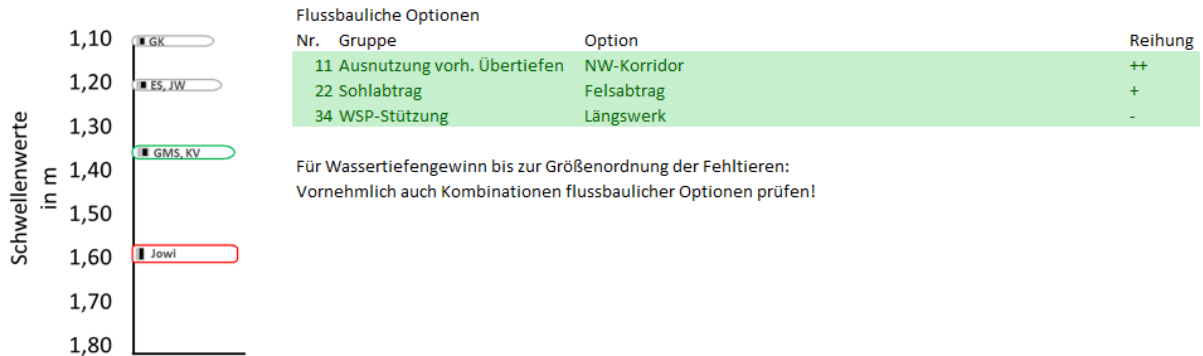
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

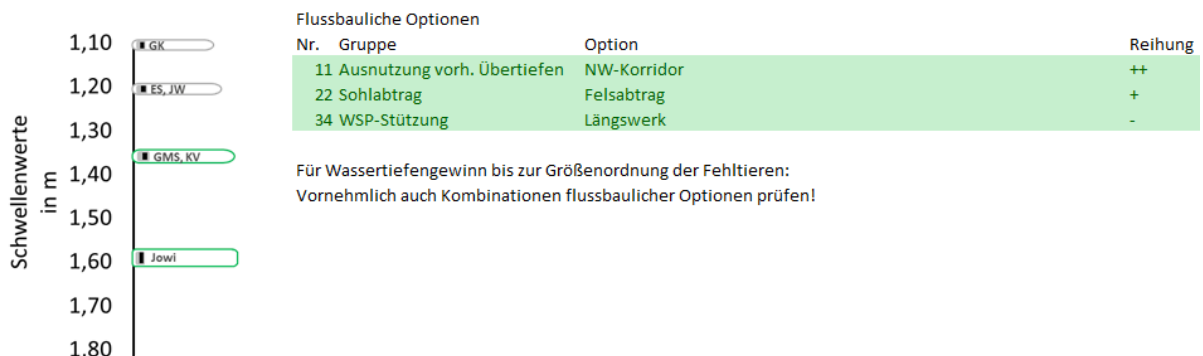
1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

Tauber Werth - Geisenrücken

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,35 m (gleich Mindesttiefgang Großmotorschiff, Koppelverband): bis 10 cm

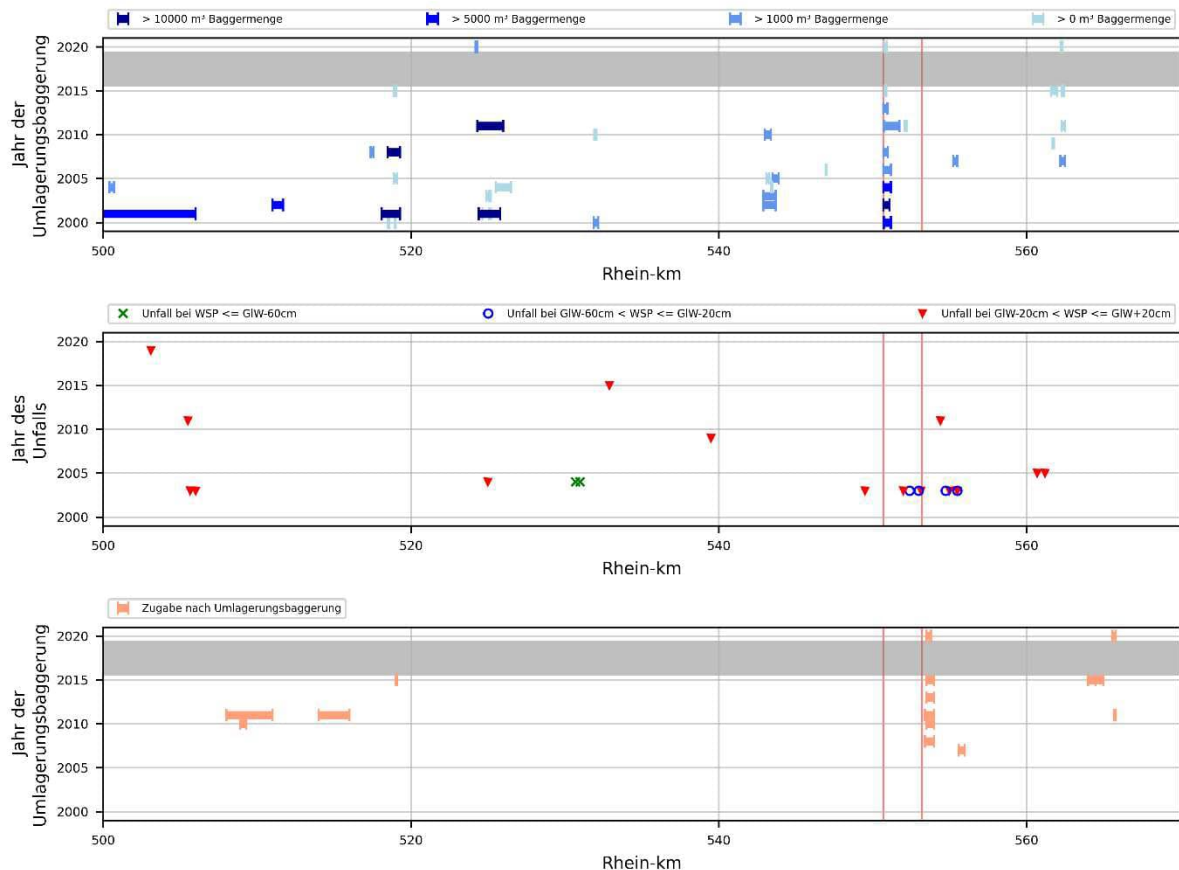


Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 35 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Tauber Werth - Geisenrücken“ ist in den Teildigrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[BAW19]	Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2019a): Abladeoptimierung Mittelrhein, Projektphase „Vertiefte Voruntersuchung“. Teilbericht 1: Grundlagen und flussbauliches Untersuchungskonzept für die Projektstrecke von Mainz bis St. Goar (Rhein-km 508,0-557,0) (BAW-Gutachten, B3953.02.30.10171).
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.

Steckbrief

Loreley

Der Bereich „Loreley“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Mittelrhein	von Rh-km 554,5	bis Rh-km 555,6	Länge ^[1] 1,2 km	Fahrrinntiefe unter GlW 1,9 m
-------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,35 (entspr. Mindesttiefgang GMS110_GMS135_KV)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	--
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

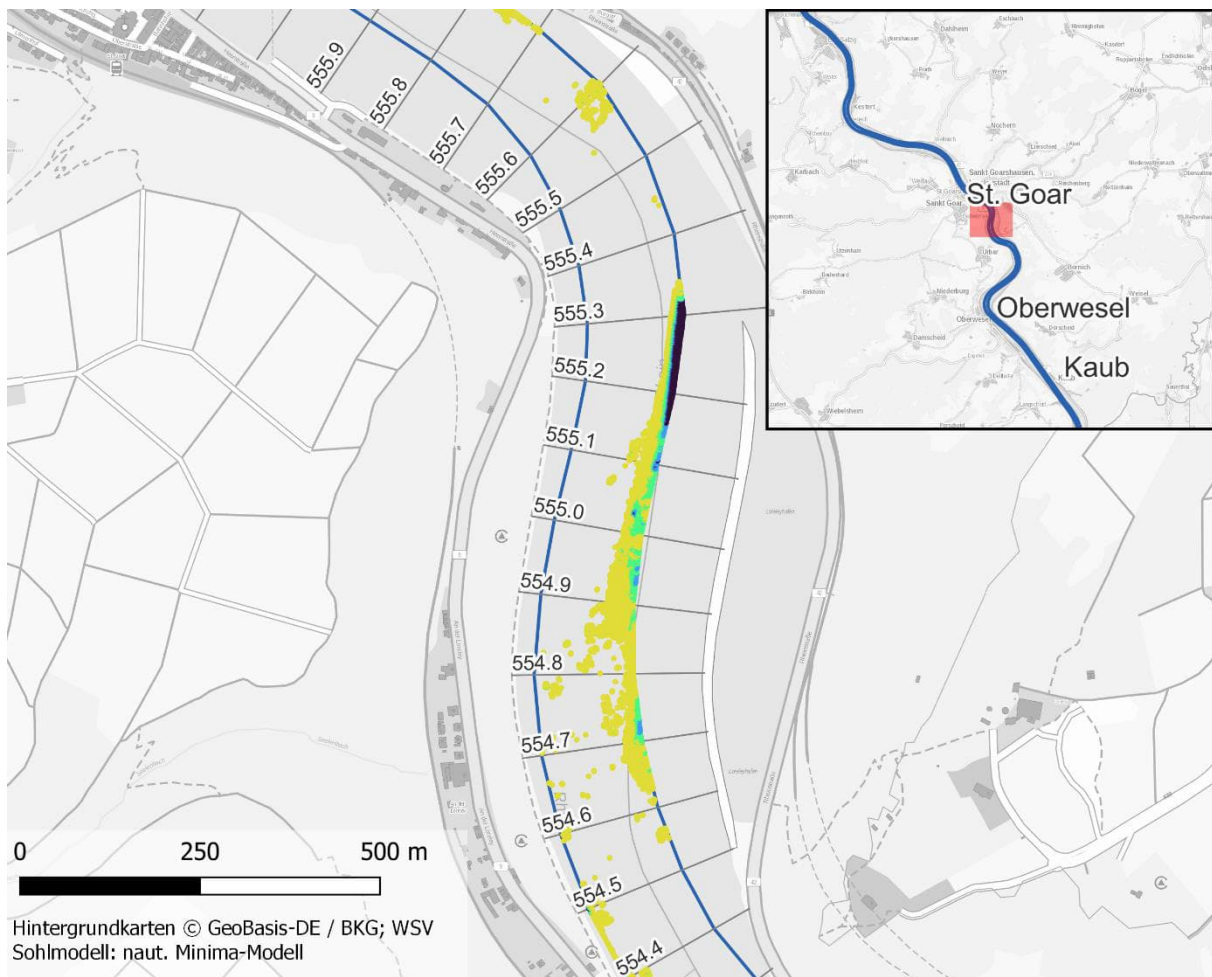
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	_Fels
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Fels
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Nein
WSP-Gefälle	GlW ₂₀₍₂₀₁₂₎	0,40 ‰
Unfallsschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Ja
Infrastrukturobjekte		Schutzhafen Loreley, Fähre unterstrom, Steiger unterstrom
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		Nein

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

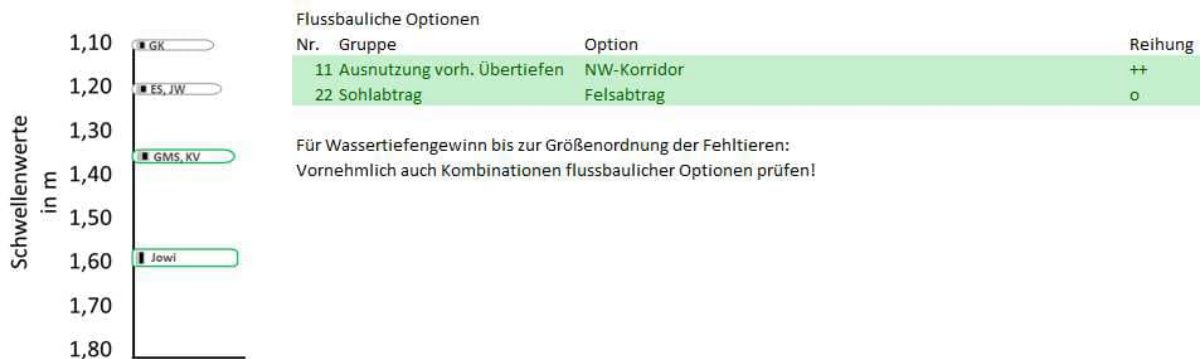
1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

Loreley

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,35 m (gleich Mindesttiefgang Großmotorschiff, Koppelverband): bis 10 cm

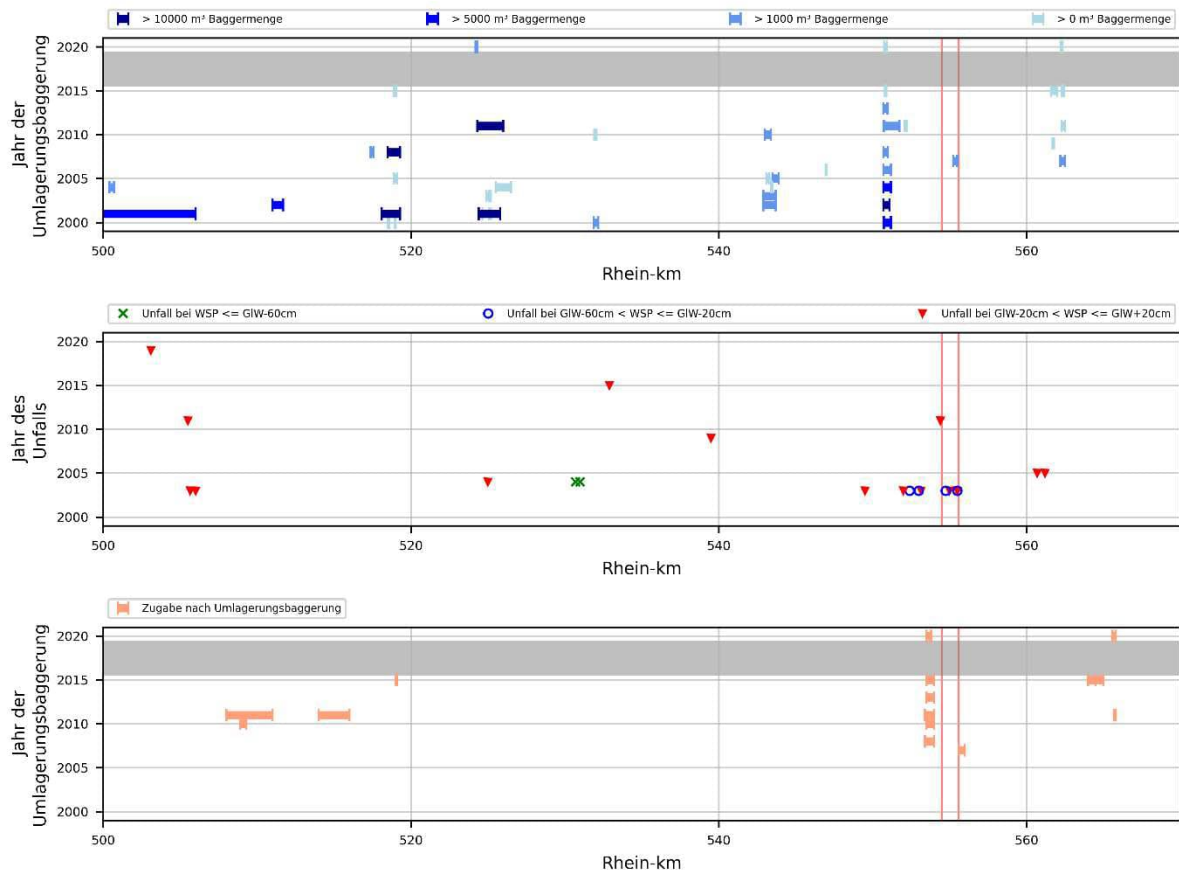


Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowi): bis 35 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Loreley“ ist in den Teildiagrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.

Steckbrief

Deutzer Platte

Der Bereich „Deutzer Platte“ wird hier als schiffahrtlicher Engpass bei extremen Niedrigwasserereignissen ausgewiesen, weil bei min. einem der Abflüsse $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$, $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$ oder $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$ auf über 50% der Fahrrinnenbreite schwellenwertbezogene Fehltiefen auftreten (siehe „[Indikatoren](#)“).

Verortung

Niederrhein	von Rh-km 687,3	bis Rh-km 687,8	Länge ^[1] 0,6 km	Fahrrinntiefe unter GlW 2,5 m
-------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------------

^[1] min. 0,1 km (wenn der Engpass nur einen Hektometer umfasst)

Indikatoren

Fehltiefen ^[2] ...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-10\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-20\%)$...bei $Q(GlQ_{20(2012)}-30\%)$	ab pot. Abladetiefe... ... -- ... -- ... 1,60 (entspr. Mindesttiefgang Jowi)
Nennung in den Nachrichten für die Binnenschifffahrt ^[3]	0899/2020_Deutzer_Platte
Literaturnennungen ^[3,4]	[EKR2016], [SP106], [AVNR13], [PGEPA3a]

^[2] wenn minimale potentielle Abladetiefe < Schwellenwert der Abladetiefe

^[3] nicht gezwungenermaßen mit Bezug auf Abflüsse von GlQ oder geringer

^[4] siehe [Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur](#)

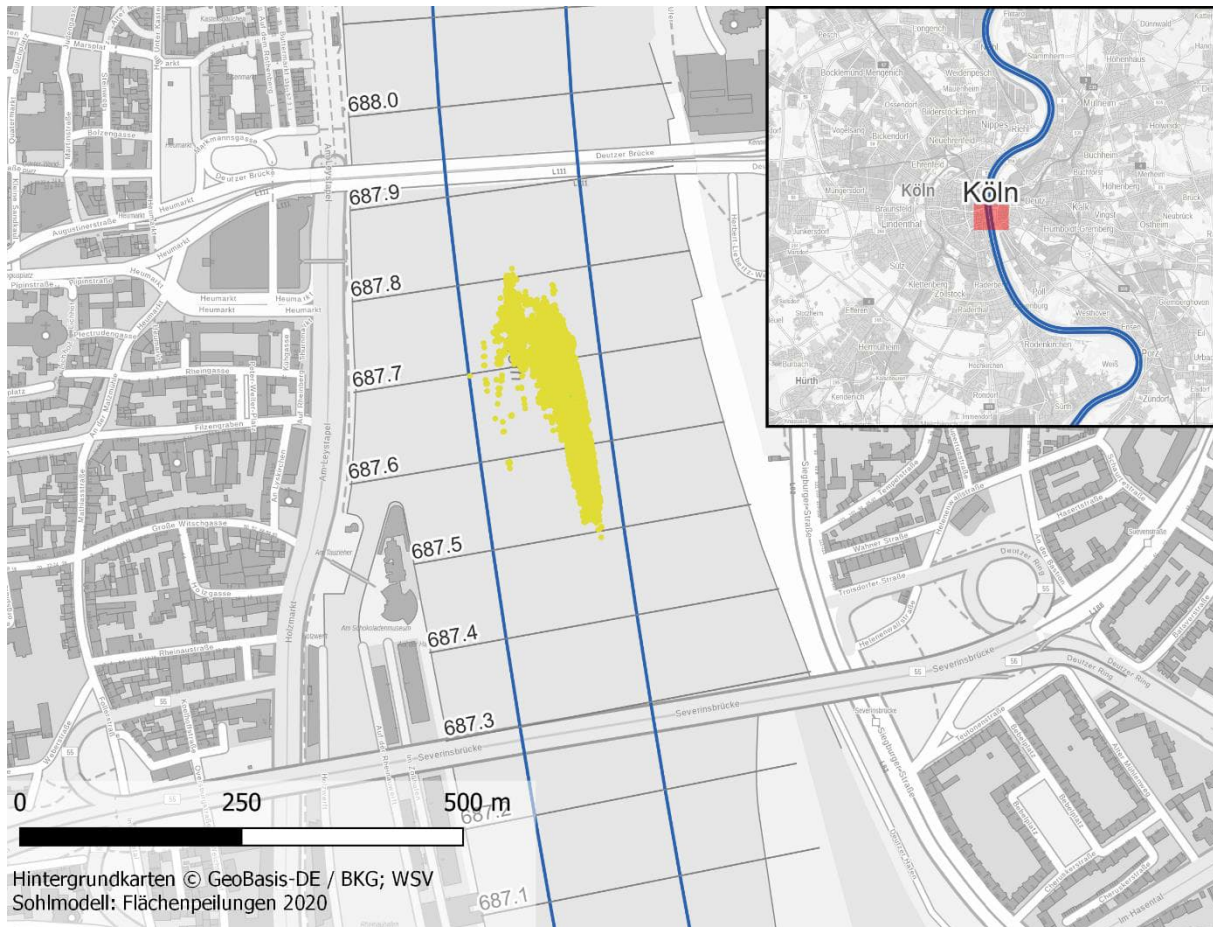
Engpasscharakterisierung

Die Engpass-Charakteristika dienen der Beschreibung des Engpasses. Sie unterstützen bei der Vorauswahl und Reihung flussbaulicher Optionen.

Charakteristikum	ggf. Spezifikation	Werte
Sohlenzusammensetzung...	...im Fehltiefenbereich:	Alluvial_ohne_Deckschicht
Sohlmorphologie...	...im Fehltiefenbereich:	Ebene Sohle über ganze FR-Breite
Wiederkehrende Baggerstelle ^[5]		Ja
WSP-Gefälle	GlW ₂₀₍₂₀₁₂₎	0,14 ‰
Unfallschwerpunkt... ^[5]	...bei Niedrigwasser	Ja
Infrastrukturobjekte		Hafeneinfahrten, Stadtstrecke, Brücken, teilw. historische Objekte
Einbettung in übergeordneten Engpassbereich		--

^[5] siehe [Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten](#)

Übersichtskarte $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$



Abschätzung Fehltiefen bei $Q(GIQ_{20(2012)}-30\%) (\approx Q_{NW2018})$

- Fehltiefen ab 1,10 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GK)
- Fehltiefen ab 1,20 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang ES/JW)
- Fehltiefen ab 1,35 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang GMS110/GMS135/KV)
- Fehltiefen ab 1,60 m pot. Abladetiefe (gleich Mindesttiefgang Jowi)

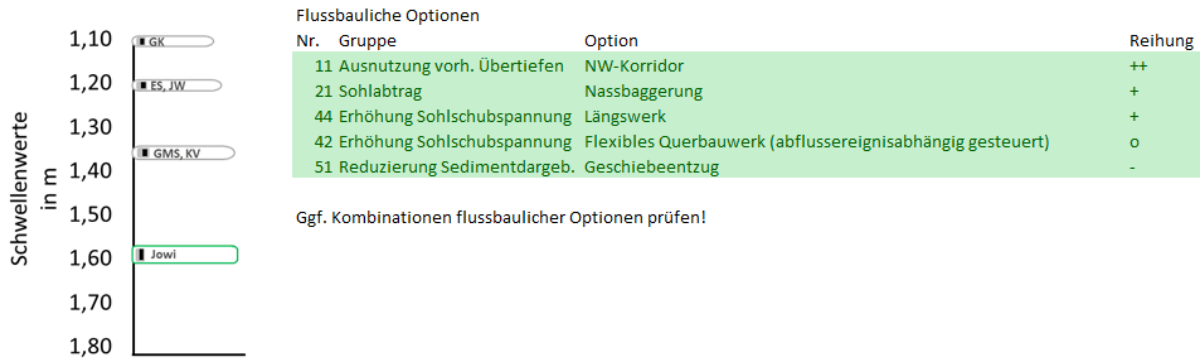
Flussbauliche Optionen

Die folgende Vorauswahl möglicher flussbaulicher Optionen zur Erhöhung der nautisch nutzbaren Wassertiefen unter extremen Niedrigwasserabflussbedingungen entstand aus einem zweistufigen Verfahren:

1. Engpassspezifische Verknüpfung mit Optionen mittels eines kriterienbasierten Schemas
2. Diskussion und Reihung der in Schritt 1 verknüpften Optionen unter Einbeziehung von Streckenkenntnis und ggf. vorhandenen Erkenntnissen aus Vorarbeiten oder parallelen Studien

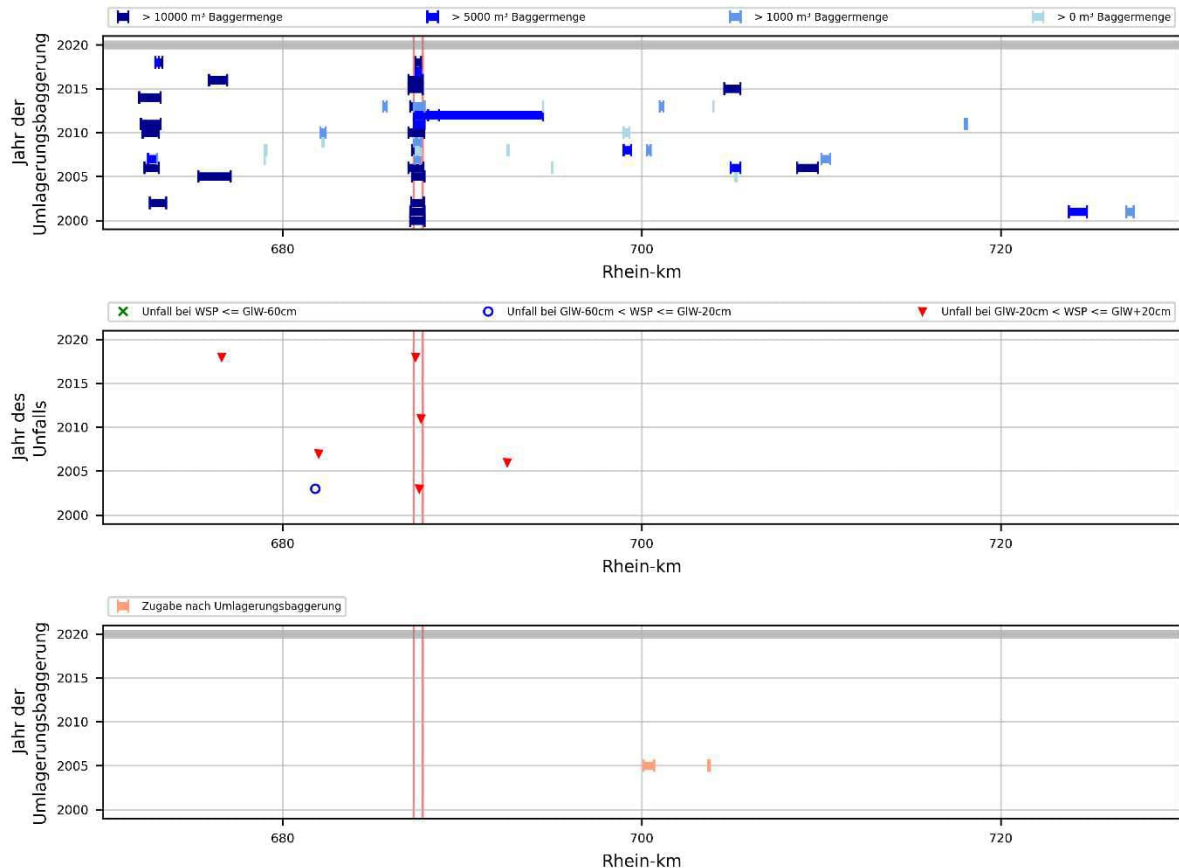
Deutzer Platte

Größenordnung der Fehltiefen mit pot. Abladetiefe < 1,60 m (gleich Mindesttiefgang Jowil): bis 10 cm



Zusatz 1: Diagramm Bagger- und Unfalldaten

Zusammenstellung von Bagger- und Unfalldaten (BauMaGs, Unfalldatenbank) des Zeitraums 01.01.2000 bis 31.12.2020. Der Bereich des Engpasses „Deutzer Platte“ ist in den Teildiagrammen mit einer roten Markierung hervorgehoben. Ggf. bestehende Datenlücken im dargestellten Bereich sind grau markiert



Zusatz 2: Querbezüge zu Engpassnennungen in der Literatur

Im Zuge der Engpass-Identifizierung wurden begleitend auch vorhergegangene Engpassanalysen gesichtet (siehe untenstehende Tabelle). Die methodischen Herangehensweisen der anderen Studien unterscheiden sich zur hier vorliegenden Analyse sowie auch untereinander. Zudem können in den aufgeführten Studien andere Abflüsse zugrunde liegen. Als ergänzende Engpass-Indikatoren werden diese Vorarbeiten jedoch mitgeführt:

Kürzel	Quelle
[AVNR13]	WSA Duisburg-Rhein (Hg.) (2013): Machbarkeitsstudie Abladeverbesserung und Sohlstabilisierung zwischen Köln und Duisburg, Rhein-km 667,5 bis 769,0
[EKR2016]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Arbeitsgruppe Erfolgskontrolle Rhein (Hg.) (2016): Erfolgskontrolle Rhein am gesamten frei fließenden Strom, Statusbericht 2015.
[PGPEA3a]	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, Projektgruppe Engpassanalyse Rhein: Zwischenbericht 3a
[SP106]	Nilson, E.; Astor, B.; Bergmann, L.; Fischer, H.; Fleischer, C.; Haunert, G.; Helms, M.; Hillebrand, G.; Höpp, S.; Kikillus, A.; Labadz, M.; Mannfeld, M.; Razafimaharo, C.; Patzwahl, R.; Rasquin, C.; Rauthe, M.; Riedel, A.; Schröder, M.; Schulz, D.; Seiffert, R.; Stachel, H.; Wachler, B.; und Winkel, N. (2020): Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge – Schlussbericht des Schwerpunktthemas Schifffbarkeit und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des BMVI-ExpertenNetzwerks.



Kußmaulstraße 17 · 76187 Karlsruhe
Tel. +49 (0) 721 9726-0 · Fax +49 (0) 721 9726-4540

www.baw.de

Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg
Tel. +49 (0) 40 81908-0 · Fax +49 (0) 40 81908-373