

Licca liber - Weiterführende Untersuchungen

Erläuterungsbericht

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Zusammenfassung.....	9
2 Vorhabensträger	18
3 Projektgebiet	18
4 Veranlassung / Leitbild und Ziele.....	19
5 Vorgehensweise.....	22
6 Verwendete Daten.....	22
7 Voruntersuchungen	23
7.1 Flussmorphologische Studie – TU München	23
7.2 Flussdialog.....	23
7.3 Umsetzungskonzept.....	24
8 Bestehende Verhältnisse / Randbedingungen.....	24
8.1 Boden- und Untergrundverhältnisse	24
8.1.1 Geologische Situation	24
8.1.2 Altlasten.....	25
8.1.3 Grundwassersituation	25
8.2 Regulierung des Lech und Staustufenausbau	25
8.2.1 Zustand vor der Regulierung.....	25
8.2.2 Lechregulierung durch Längsbauten, 1863 bis 1937.....	26
8.2.3 Sohlstützung durch Querbauwerke, 1919 bis 1940.....	27
8.2.4 Staustufenausbau, 1940 bis 1984.....	28
8.2.5 Bauwerke im Stadtbereich von Augsburg	28
8.2.6 Sohlbreiten im Projektgebiet	29
8.3 Gewässernetz und Hydrographie	30
8.3.1 Gewässersystem und Ausleitungen	30
8.3.2 Pegeldaten	33
8.3.2.1 Pegel Haunstetten.....	33
8.3.2.2 Pegel Augsburg u. d. Wertachmündung / Lech	34

8.3.3	Steuerung des Forggensees.....	35
8.3.4	Schwellbetrieb	35
8.4	Sohlmorphologie des Lech.....	37
8.4.1	Auswertung Querprofilaufnahmen.....	37
8.4.1.1	Querprofil und Lotrechtendefinition.....	37
8.4.1.2	Mittlere Sohle	40
8.4.1.3	Massensummenlinien.....	42
8.4.1.4	Interpretation und Bewertung der Sohlentwicklung.....	46
8.4.2	Oberkante Tertiär.....	48
8.4.2.1	Allgemeines	48
8.4.2.2	Längsschnitt der Tertiäroberkante.....	49
8.4.2.3	Weitere Sondierungen.....	49
8.4.3	Sohlzusammensetzung.....	50
8.5	Hochwassersituation	51
8.6	Sparten und Brücken.....	55
8.7	Bannwald	56
8.8	Natura2000	59
8.9	EG-Wasserrahmenrichtlinie.....	67
8.10	Trinkwasserversorgung	72
8.11	Eigentumsverhältnisse der Grundstücke	73
8.12	Rechtsverhältnisse – Unterhaltspflicht.....	73
9	Variantenentwicklung	76
9.1	Vorgehensweise.....	76
9.2	Werkzeuge.....	76
9.2.1	Hydraulische Berechnung	76
9.2.2	Grundwassermodellierung	77
9.2.3	Geschiebetransportmodellierung	77
9.3	Planungsbereich I	77
9.3.1	Randbedingungen	77
9.3.2	Bausteine der Varianten	81
9.3.2.1	Aufweitungen – Weiche Ufer - Ufersicherungen – Deichsicherungen	81
9.3.2.2	Nebengewässer	84
9.3.2.3	Flächige Vorlandabsenkung - Sekundäraue.....	85
9.3.2.4	Geschiebezugabe	86
9.3.2.5	Rückbau von Abstürzen – Umbau in aufgelöste Sohlrampen.....	86
9.3.2.6	Deichrückverlegung	89
9.3.2.7	Übergangsbauwerk zur Staustufe 23	91

9.3.2.8	Rückverlegung vorhandener Wege	91
9.3.3	Überlegungen zum Längsgefälle und zur erzielbaren Flussbreite ..	92
9.3.4	Beschreibung der Varianten.....	106
9.3.4.1	Nullvariante	106
9.3.4.2	Voruntersuchung der Varianten - Grundwassersituation	107
9.3.4.3	Variantengruppe A	110
9.3.4.4	Variante I-B.....	119
9.3.4.5	Variante I-C.....	125
9.3.4.6	Kostenschätzung.....	126
9.3.5	Bewertung der Varianten / Ableitung Bestvariante	128
9.4	Planungsbereich II	131
9.4.1	Randbedingungen	131
9.4.2	Vorüberlegung zur Variantenentwicklung und Bausteine der Varianten	137
9.4.2.1	Sohlstabilisierung durch Aufweitung des Lech	138
9.4.2.2	Sohlstabilisierung Fkm 45,6 bis 42,6 – Sohlrampe und Sohlanhebung.....	138
9.4.2.3	Geschiebezugabe	143
9.4.2.4	„Aufweitung an der Flussmeisterstelle“.....	143
9.4.2.5	Erhöhung der Strukturvielfalt im Uferbereich und an der Lechsohle.....	149
9.4.2.6	Sonstige Maßnahmen zur Verbesserung der Erlebbarkeit des Lech	152
9.4.3	Varianten	153
9.4.4	Kostenschätzung	153
9.4.5	Bewertung der Varianten / Ableitung Bestvariante	154
9.5	Unsicherheit in den Prognosen - Folgerungen	159
9.5.1	Hydrologie	159
9.5.2	Hydraulische Berechnungen.....	160
9.5.3	Geschiebetransportberechnungen.....	160
9.5.4	Grundwassermodellierung	161
9.5.5	Schlussfolgerungen	162
10	Literaturverzeichnis	164

Anlagen

Anlage 1	Datenerfassung
Anlage 2.1	Übersichtslageplan
Anlage 2.2	Spartenplan
Anlage 2.3	Trinkwasserschutzgebiete
Anlage 2.4	Eigentumsverhältnisse
Anlage 2.5	Projektgebiet: Überflutungsflächen Bezugszustand
Anlage 2.6	Projektgebiet: Wasserspiegel Längsschnitt Bezugszustand
Anlage 2.6.1	Planungsbereich I
Anlage 2.6.2	Planungsbereich II
Anlage 2.7	Projektgebiet: Wasserspiegel Querschnitte Istzustand
Anlage 2.8	Projektgebiet: Grundwassersituation Istzustand
Anlage 2.9	Lageplan Variante I-A1
Anlage 2.10	Lageplan Variante I-A2
Anlage 2.11	Lageplan Variante I-B
Anlage 2.12	Lageplan Variante I-C
Anlage 2.13	Lageplan Variante II-B3
Anlage 2.14	Längsschnitt mittlere Sohle, Staustufe 23 bis Absturz Fkm 50,4
Anlage 2.15	Längsschnitt mittlere Sohle, Absturz Fkm 50,4 bis Fkm 44
Anlage 2.16	Längsschnitt mittlere Sohle, Eisenbahnerwehr bis Wehr Gersthofen
Anlage 2.17	Querschnitt Variante I-B, schematisch
Anlage 2.18	Querschnitt Variante II-B3 im Bereich Aufweitung an der Flussmeisterstelle, schematisch
Anlage 3	Bewertungssystem – Variantenbewertung
Anlage 3.1:	Ziele - Kriterien
Anlage 3.2:	Kriterium A2.5 Potential für Uferdynamik
Anlage 3.3:	Kriterium A2.6 Standpotential „Weiche Au“
Anlage 3.4:	Kriterium A2.7 Grundwasser – auentypischer Flurabstand
Anlage 3.5:	Kriterium A3.1 Qualität des genutzten Grundwassers
Anlage 3.6:	Kriterium A3.2 Menge des genutzten Grundwassers
Anlage 3.7:	Kriterium A3.4 Betroffenheit bebauter Gebiete durch potentielle Grundwasseranstiege
Anlage 3.8:	Kriterium B5.1 Forst – Flächenbedarf für Ausgleich
Anlage 3.9:	Kriterium B5.2 FFH-Lebensraumtypen – Flächenentwicklung und Ausgleichsflächenbilanzierung
Anlage 3.10:	Ergebnisse NWA Basisgewichtung
Anlage 3.11:	Ergebnisse NWA Gewichtung Arbeitsgruppe, Cluster 1
Anlage 3.12:	Ergebnisse NWA Gewichtung Arbeitsgruppe, Cluster 2
Anlage 3.13:	Ergebnisse NWA Gewichtung Arbeitsgruppe, Cluster 3
Anlage 3.14:	Ergebnisse NWA Gewichtung Arbeitsgruppe, Cluster 4

Anlage 4	Hydraulische Modellierung
Anlage 4.1	Modellaufbau und -anpassung
Anlage 4.1.1	Lageplan mit Modellgrenzen und Randbedingungen
Anlage 4.1.2	Auswertung Ergebnis der Kalibrierung
Anlage 4.1.3	Auswertung der Sensitivitätsanalyse (Strickler +15%)
Anlage 4.1.4	Auswertung der Sensitivitätsanalyse (Strickler -15%)
Anlage 4.2	Modelleinsatz
Anlage 4.2.1	Variante I-A1
Anlage 4.2.1.1	Längsschnitt MNQ
Anlage 4.2.1.2	Längsschnitt MQ
Anlage 4.2.1.3	Längsschnitt HQ1
Anlage 4.2.1.4	Längsschnitt HQ10
Anlage 4.2.1.5	Längsschnitt HQ100
Anlage 4.2.1.6	Flächige Auswertung HQ1
Anlage 4.2.1.7	Flächige Auswertung HQ10
Anlage 4.2.1.8	Flächige Auswertung HQ100
Anlage 4.2.2	Variante I-A2
Anlage 4.2.2.1	Längsschnitt MNQ
Anlage 4.2.2.2	Längsschnitt MQ
Anlage 4.2.2.3	Längsschnitt HQ1
Anlage 4.2.2.4	Längsschnitt HQ10
Anlage 4.2.2.5	Längsschnitt HQ100
Anlage 4.2.2.6	Flächige Auswertung HQ1
Anlage 4.2.2.7	Flächige Auswertung HQ10
Anlage 4.2.2.8	Flächige Auswertung HQ100
Anlage 4.2.3	Variante I-B
Anlage 4.2.3.1	Längsschnitt MNQ
Anlage 4.2.3.2	Längsschnitt MQ
Anlage 4.2.3.3	Längsschnitt HQ1
Anlage 4.2.3.4	Längsschnitt HQ10
Anlage 4.2.3.5	Längsschnitt HQ100
Anlage 4.2.3.6	Flächige Auswertung HQ1
Anlage 4.2.3.7	Flächige Auswertung HQ10
Anlage 4.2.3.8	Flächige Auswertung HQ100
Anlage 4.2.3.9	Flächige Auswertung Überschwemmungsgebiete bei HQ1, HQ10, HQ100

Anlage 4.2.4 Variante I-C

- Anlage 4.2.4.1 Längsschnitt MNQ
- Anlage 4.2.4.2 Längsschnitt MQ
- Anlage 4.2.4.3 Längsschnitt HQ1
- Anlage 4.2.4.4 Längsschnitt HQ10
- Anlage 4.2.4.5 Längsschnitt HQ100
- Anlage 4.2.4.6 Flächige Auswertung HQ1
- Anlage 4.2.4.7 Flächige Auswertung HQ10
- Anlage 4.2.4.8 Flächige Auswertung HQ100

Anlage 4.2.5 Variante II-B1

- Anlage 4.2.5.1 Längsschnitt MNQ
- Anlage 4.2.5.2 Längsschnitt MQ
- Anlage 4.2.5.3 Längsschnitt HQ1
- Anlage 4.2.5.4 Längsschnitt HQ10
- Anlage 4.2.5.5 Längsschnitt HQ100
- Anlage 4.2.5.6 Flächige Auswertung HQ1
- Anlage 4.2.5.7 Flächige Auswertung HQ10
- Anlage 4.2.5.8 Flächige Auswertung HQ100

Anlage 4.2.6 Variante II-B3

- Anlage 4.2.6.1 Längsschnitt MNQ
- Anlage 4.2.6.2 Längsschnitt MQ
- Anlage 4.2.6.3 Längsschnitt HQ1
- Anlage 4.2.6.4 Längsschnitt HQ10
- Anlage 4.2.6.5 Längsschnitt HQ100
- Anlage 4.2.6.6 Flächige Auswertung HQ1
- Anlage 4.2.6.7 Flächige Auswertung HQ10
- Anlage 4.2.6.8 Flächige Auswertung HQ100

Anlage 4.2.7 Wasserstands-Abfluss-Beziehungen

- Anlage 4.2.7.1 Hochablass: Wasserstands-Abfluss-Beziehung
- Anlage 4.2.7.2 Eisenbahnerwehr: Wasserstands-Abfluss-Beziehung
- Anlage 4.2.7.3 Wolfzahnauwehr: Wasserstands-Abfluss-Beziehung
- Anlage 4.2.7.4 Wehr Gersthofen: Wasserstands-Abfluss-Beziehung

Anlage 5	Geschiebetransportmodellierung
Anlage 5.1	Modellkonzept
Anlage 5.2	Modellaufbau und -anpassung
Anlage 5.3	Modelleinsatz – Entwicklung Bezugszustand
Anlage 5.4	Gewässermorphologische Langzeitprognose Planvarianten
Anlage 5.5	Literaturrecherche – stabile Gerinneformen bei aktiver Verbreiterung
Anlage 6	Hydrogeologie - Grundwassermodellierung
Anlage 6.1	Hydrogeologisches Modell
Anlage 6.1.1	Flächige Darstellung der Quartärbasis
Anlage 6.1.2	Flächige Darstellung der Deckschichtmächtigkeit
Anlage 6.1.3	Berechnung der Grundwasserneubildung
Anlage 6.2	Aufbau und Anpassung des Grundwassermodells
Anlage 6.2.1	Übersichtslageplan Modellgebiet (Messstellen, Grundwasserentnahmen, Wasserschutzgebiete, Geologische Einheiten)
Anlage 6.2.2	Übersichtslageplan Diskretisierung und Randbedingungen des Grundwassermodells
Anlage 6.2.3	Übersichtslageplan Gewässer im Stadtwald
Anlage 6.2.4	Grundwassergleichen MW2010 (Messung) und grundwassererfüllte Mächtigkeit
Anlage 6.2.5	Wasserspiegel der Oberflächengewässer
Anlage 6.2.6	Stationär kalibrierte Durchlässigkeiten
Anlage 6.2.7	Stationär Kalibrierte Leakage-Koeffizienten Infiltration
Anlage 6.2.8	Stationär Kalibrierte Leakage-Koeffizienten Exfiltration
Anlage 6.2.9	GWGL im südlichen Aussagegebiet bei Mittelwasser und Abweichung je Messstelle
Anlage 6.2.10	GWGL im nördlichen Aussagegebiet bei Mittelwasser und Abweichung je Messstelle
Anlage 6.2.11	Übersichtskarte Wasserflüsse
Anlage 6.2.12	Übersichtskarte Speichernutzbarer Hohlraumanteil
Anlage 6.2.13	GWGL im südlichen Aussagegebiet während dem Pflingsthochwasser 1999 und NSME'-Koeffizient je Messstelle
Anlage 6.2.14	GWGL im nördlichen Aussagegebiet während dem Pflingsthochwasser 1999 und NSME'-Koeffizient je Messstelle
Anlage 6.2.15	GWGL im südlichen Aussagegebiet während dem Hochwasserereignis 2005 und NSME'-Koeffizient je Messstelle
Anlage 6.2.16	GWGL im nördlichen Aussagegebiet während dem Hochwasserereignis 2005 und NSME'-Koeffizient je Messstelle
Anlage 6.2.17	Grundwassergleichen für den quartären Grundwasserleiter im

- Anlage 6.2.18 südlichen Aussagegebiet bei MW (2010) und MNW
Grundwassergleichen für den quartären Grundwasserleiter im
nördlichen Aussagegebiet bei MW (2010) und MNW
- Anlage 6.3 Aufbau Bezugszustand
- Anlage 6.3.1 Grundwasserstände des Bezugszustands bei niedrigen
Grundwasserständen im Planungsbereich I
- Anlage 6.3.2 Grundwasserstände des Bezugszustands bei niedrigen
Grundwasserständen im Planungsbereich II
- Anlage 6.3.3 Grundwasserstände des Bezugszustands MW und des MW2010 im
Planungsbereich I
- Anlage 6.3.4 Grundwasserstände des Bezugszustands und des MW2010 im
Planungsbereich II
- Anlage 6.3.5 Grundwasserstände des Bezugszustands und des Modelltests für
das HW2005 im Planungsbereich I
- Anlage 6.3.6 Grundwasserstände des Bezugszustands und des Modelltests für
das HW2005 im Planungsbereich II
- Anlage 6.3.7 Grundwasserflurabstände des Bezugszustands HW im
Planungsbereich I
- Anlage 6.3.8 Grundwasserflurabstände des Bezugszustands HW im
Planungsbereich II
- Anlage 6.4 Modelleinsatz
- Anlage 7 Kostenschätzung
- Anlage 7.1 Einheitspreise
- Anlage 7.2.1 Kostenschätzung Variante I-A1
- Anlage 7.2.2 Kostenschätzung Variante I-A2
- Anlage 7.2.3 Kostenschätzung Variante I-B
- Anlage 7.2.4 Kostenschätzung Variante I-C
- Anlage 7.3.1 Kostenschätzung Variante II-B1
- Anlage 7.3.2 Kostenschätzung Variante II-B3

1 Zusammenfassung

Licca liber umfasst den Lech von der Staustufe 23 (Mandichosee) bis zu seiner Mündung in die Donau, die Flusslänge beträgt knapp 60 km. Die hier vorgestellten weiterführenden Untersuchungen betrachten den Lech auf einer Teilstrecke mit einer Länge von etwa 20 km beginnend an der Stufe 23 bis zum Wehr Gersthofen. Auf Grund der sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen wird dieser Abschnitt in zwei Planungsbereiche unterteilt:

Planungsbereich I – Stadtwald: Stufe 23 (Fkm 59,3) bis Hochablass (Fkm 47,0)

Planungsbereich II – Innenstadt: Hochablass (Fkm 47,0) bis Wehr Gersthofen (Fkm 37,3)

Der Lech war ursprünglich ein durch hohen Geschiebetransport gekennzeichnetes furkierendes Flusssystem. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde mit der Regulierung des Lech begonnen. Die Ursprünge des Hochablasses reichen bis ins 14. Jahrhundert zurück. Die Reduzierung der Sohlbreite des Lech bewirkte zunächst eine gewünschte Eintiefung der Flusssohle. Später wurde der Eintiefungstrend durch die Errichtung von Querbauwerken reduziert. Zudem wurden oberstrom des Projektgebiets der Forggensee als Kopfspeicher sowie weitere Lechstaustufen errichtet.

Durch die Eintiefung des Lech sind die quartären Flusskiese in ihrer Mächtigkeit deutlich reduziert, bereichsweise sind diese sogar ausgeräumt, so dass die tertiären Flusssande (diese werden hier auch als Flinz bezeichnet) offen liegen. Bei einem weiteren Hochwasserereignis ist zu befürchten, dass sich die Lechsohle bei ausgeräumten Kiesen schlagartig in den Flinz eintieft. Die relativ feinkörnigen Sande können den angreifenden Schubspannungen nur wenig Widerstand bieten und sind sehr erosionsempfindlich. In der Folge können Ufersicherungen unterspült werden, Brückenfundamente können freigelegt werden und Brücken in ihrer Standsicherheit gefährdet sein, ebenso können Hochwasserschutzanlagen versagen. Dies ist verbunden mit einem immensen materiellen Schaden, Gefahr für Leib und Leben kann ebenfalls nicht ausgeschlossen werden.

In Folge der Flussregulierung wurde aber auch das Ökosystem des Lech stark verändert. Mit der Eintiefung der Flusssohle geht ein Absinken der Wasserspiegel im Lech sowie des Grundwasserspiegels einher. Ausbleibende Überflutungen der Vorländer sowie große Flurabstände stellen unzureichende Rahmenbedingungen für das Überleben intakter Auwäldern dar. Die aquatische Ökologie leidet an fehlender Dynamik durch den unterbundenen Geschiebetransport und fehlenden morphologischen Strukturen an der Flusssohle. Die Uferbereiche sind durchgehend

verbaut, Nebenarme existieren nicht. Bei Hochwasser können sich Fische nicht in strömungsberuhigte Bereiche zurückziehen und werden unweigerlich nach unterstrom verdriftet. Querbauwerke sind zum Teil nicht mit Aufstiegshilfen ausgestattet, so dass die Durchgängigkeit des Lech nicht gewährleistet ist. Kieslaichern fehlen geeignete Laichhabitats. Die Bewertung des ökologischen Zustands des Lech gemäß der EG-WRRL bestätigt dies.

Ziele des Projekts sind einerseits eine Trendumkehr hin zu einem stabilen Sohlgleichgewicht mit einer ausreichenden Überdeckung des erosionsempfindlichen Flnzes, andererseits eine ökologische Verbesserung von Fluss und Aue.

In Anlehnung an das Leitbild eines furkierenden Flusses werden Bausteine entwickelt, die jeweils einen Beitrag zum Erreichen der genannten Ziele leisten. Diese werden anschließend zu Varianten verknüpft.

Parallel zur Entwicklung der Varianten wird ein Bewertungssystem erarbeitet. Alle Varianten werden einer entsprechenden Bewertung unterzogen. Als Ergebnis daraus geht eine Bestvariante hervor.

Wesentliche Werkzeuge zur Variantenbewertung aber auch zur Entwicklung der Varianten sind numerische Modellierungen. Dazu wurden ein hydraulisches, ein morphologisches sowie ein Grundwassermodell entwickelt. Zunächst wurde jeweils der Istzustand modelliert, kalibriert und validiert. Anschließend wurden Modelle für die Varianten erstellt. Dies ermöglicht eine aussagekräftige Prognose der Wirkungen der Maßnahmen auch im Vergleich zum Istzustand. Dies ist einerseits wichtig für die Bewertung der Varianten, andererseits essentiell für die Beschreibung der Maßnahmenwirkungen bei späteren Rechtsverfahren.

Auf Grund der sehr unterschiedlichen Randbedingungen in den beiden Planungsbereichen Stadtwald und Innenstadt werden die Ergebnisse der weiterführenden Untersuchungen nachfolgend getrennt zusammengefasst.

Licca liber wird durch eine intensive Öffentlichkeitsarbeit begleitet. Bereits vor den weiterführenden Untersuchungen wurde der sogenannte Flussdialog durchgeführt. Bürger der Stadt Augsburg und den Gemeinden Kissing, Königsbrunn und Mering sowie zahlreiche Interessensvertreter waren im Flussdialog eingebunden. Das primäre Ziel des Flussdialogs Licca liber waren abgestimmte Entwicklungsziele, die als Basis für die Planungen des Projekts Licca liber dienen sollen. Dazu wurde die betroffene Bevölkerung im Projektgebiet befragt und die Meinungen verschiedener Stakeholder eingeholt. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Flussdialogs Informationen vermittelt, wodurch auch ein Bewusstsein für Hochwasserschutz,

Wasserbaumaßnahmen, Wassernutzung und Gewässerökologie geschaffen werden konnte.

Im Anschluss an den Flussdialog wurden die darin definierten und abgestimmten Entwicklungsziele für den Lech in einem Umsetzungskonzept niedergeschrieben. Darin werden die Ergebnisse aus dem Dialogprozess zusammengefasst und bilden die Basis für die weiterführenden Untersuchungen.

Planungsbereich I - Stadtwald

Randbedingungen

Nachfolgend werden die wesentlichen Randbedingungen kurz erläutert:

Grundwasser: Linksseitig des Lech gewinnen die Stadtwerke Augsburg das gesamte Trinkwasser für die Stadt Augsburg im Bereich des Stadtwalds. Auf der rechten Lechseite betreibt die Gemeinde Kissing einen Trinkwasserbrunnen. Die Trinkwasserversorgung soll nicht beeinträchtigt werden.

In den Ortsteilen bzw. Gemeinden Königsbrunn und Kissing bestehen bereits im Istzustand Probleme mit Kellervernässungen bei hohen Grundwasserständen. Durch die vorgesehenen Maßnahmen soll sich die Situation nicht verschlechtern.

Hochwasserschutz: Derzeit besteht entlang des Lech ein Schutz vor einem 100-jährlichen Hochwasserereignis mit einem minimalen Freibord von etwa einem Meter. Durch die geplanten Maßnahmen darf sich die Hochwassersituation nicht verschlechtern.

Bannwald: Der links- und rechtsseitig des Lech vorhandene Wald ist im Sinne des Forstrechts größtenteils als Bannwald ausgewiesen. Entsprechende Regelungen zum etwaigen Bannwaldausgleich sind zu berücksichtigen.

FFH-Lebensräume, Arten: Große Teile des Projektgebiets sind als FFH-Gebiet "Lechauen zwischen Königsbrunn und Augsburg" und als Naturschutzgebiet „Stadtwald Augsburg“ ausgewiesen. Eingriffe in FFH-Lebensräume bzw. negative Auswirkungen auf Arten sind zu vermeiden.

- Privatgrundstücke: Rechtsseitig des Lech grenzen an den vorhandenen Hochwasserschutzdeich bereichsweise Privatgrundstücke an. Diese sind in der Planung zu berücksichtigen.
- Freizeit / Erholung: Als Ergebnis des Flussdialogs sollen die drei rechtsseitigen Seen (Weitmannsee, Auensee und Kuhsee) nicht unmittelbar in das flussbauliche Konzept integriert werden.
- Wasserkraft: Ergebnis des Flussdialogs ist, dass in den weiterführenden Untersuchungen zunächst rein flussbauliche Möglichkeiten untersucht werden. Eine mögliche Verknüpfung der Maßnahmen mit einer Wasserkraftnutzung ist nicht in Betracht zu ziehen.
- Forggensee bis Lechstaustufe 23: Die vorhandenen Staustufen am Lech mit ihren Auswirkungen auf den Geschiebehalt sowie die Abflussdynamik im Lech sind fixe Randbedingungen für die weiterführenden Untersuchungen.

Bausteine der Varianten

Folgende Bausteine wurden für die Varianten im Stadtwaldbereich entwickelt:

- Aufweitung: Aufweitung des Lech auf bis zu 130 m. Die Aufweitung erfolgt maschinell oder eigendynamisch. Bei einer eigendynamischen Aufweitung wird lediglich die vorhandene Ufersicherung entfernt. Eine eigendynamische Aufweitung ist nur in Pralluferbereichen oder in geraden Lechstrecken möglich, nicht aber im Gleitufer.
- Nebengewässer: In Anlehnung an das Leitbild eines furkierenden Flusssystemes werden Nebengewässer konzipiert. Die Initialbreite beträgt 10 m, eine eigendynamische Entwicklung der Ufer ist möglich.
- Sekundäraue: Zur Erhöhung der Überflutungshäufigkeit sowie zur Reduzierung der Grundwasserflurabstände wird das Vorland bereichsweise tiefer gelegt. Insbesondere erfolgt dies auf den Inseln zwischen Lech und den zukünftigen Nebenarmen.
- Geschiebezugabe: Als Baustein zum Erreichen der Sohlstabilität, insbesondere aber auch um eine gewisse Dynamik an der Lechsohle zu

ermöglichen, ist eine Geschiebezugabe vorgesehen. Diese beträgt durchschnittlich etwa 3.000 bis 5.000 m³ pro Jahr. Entsprechendes Material steht in ausreichender Menge im Vorland (z. B. durch Abtrag Sekundärauen, Nebengewässer) zur Verfügung.

Rückbau Abstürze: Das erhöhte Ausgleichsgefälle von etwa 1,8 ‰ ermöglicht den Rückbau von vier der vorhandenen sechs Abstürze.

Umbau Abstürze in aufgelöste Sohlrampen: Die beiden verbleibenden Abstürze werden in biologisch durchgängige, aufgelöste Sohlrampen umgebaut.

Deichrückverlegungen: Die vorhandenen Deiche werden bereichsweise zurückverlegt.

Weiche Ufer – Sicherungsmaßnahmen: Über weite Strecken können die neuen Ufer des Lech sowie der Nebengewässer als sogenannte Weiche Ufer (ohne Ufersicherung) belassen werden. Bereichsweise sind Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Diese können häufig auf lokale Lauffixierungen beschränkt bleiben. Linienförmige Maßnahmen sind lediglich im Nahbereich von Sohlrampen und zum Schutz von Deichen erforderlich, wenn die Lechaufweitung bis an diese heranreicht.

Wege: Durch die Aufweitung des Lech werden die beidseits des Lech verlaufenden Unterhaltungswege entfernt. Diese werden durch zurückversetzte Wege ersetzt.

Offenes Deckwerk: Zur Vermeidung einer rückschreitenden Erosion vom aufgeweiteten Bereich in Richtung Lechstaustufe 23 ist ein Bauwerk zur Sohlsicherung erforderlich, z. B. in Form eines Offenen Deckwerks.

Varianten

Aus den beschriebenen Bausteinen werden folgende Varianten entwickelt. Um auf Grund der vorhandenen Randbedingungen (Grundwasser – Trinkwasserversorgung) genehmigungsfähige Varianten zu erhalten, sind die Varianten relativ ähnlich. Nachfolgend werden die wesentlichen Grundzüge der Varianten beschrieben:

Variante I-A1 (Anlage 2.9): Die Variante beinhaltet alle genannten Bausteine. Die Aufweitung des Lech erfolgt auf etwa 40 % der Uferlänge maschinell.

Variante I-A2 (Anlage 2.10): Die Variante entspricht weitgehend der Variante I-A1. In einem Teilabschnitt wird zusätzlich der Deich zurückverlegt, ein Nebengewässer sowie eine Sekundäraue angelegt. Dafür müssen drei Trinkwasserbrunnen der Stadtwerke Augsburg aufgelassen werden.

Variante I-B (Anlage 2.11): Die Variante entspricht in den Grundzügen der Variante I-A2. Allerdings sind beinahe alle Aufweitungen am Lech so konzipiert, dass sie eigendynamisch erfolgen können.

Variante I-C (Anlage 2.12): Die Variante entspricht weitgehend der Variante I-B. Um allerdings Privatgrundstücke nicht zu beanspruchen, wird in zwei Teilabschnitten auf Deichrückverlegungen, die Anlage von Nebengewässern und Sekundärauen verzichtet.

Variantenbewertung und Ableitung der Bestvariante

Zur Bewertung der Varianten wurde ein System aus einer nutzwertanalytischen Betrachtung in Verbindung mit einer verbalen Wirkungsanalyse erarbeitet. Bewertet wurde der Grad der Zielerreichung für folgende Ziele:

- Ziel 1: Dynamische Sohlstabilisierung
- Ziel 2: Ökologische Verbesserung von Fluss und Aue
- Ziel 3: Minimierung nachteiliger Auswirkungen auf Nutzungen – Grundwasser
- Ziel 4: Verbesserung des natürlichen Hochwasserrückhalts
- Ziel 5: Minimierung der Risiken

Aus der Bewertung geht die Variante I-B eindeutig als Bestvariante hervor. Bei allen Zielen bzw. Kriterien schneidet die Variante I-B am besten ab.

Planungsbereich II - Innenstadt

Randbedingungen

Der innerstädtische Bereich ist im Wesentlichen durch folgende Randbedingungen geprägt:

Eintiefung Flusssohle: Im Stadtbereich hat sich der Lech seit der Korrektur extrem tief eingegraben. Die Sohle liegt teilweise mehr als 10 m unter dem Niveau des Vorlands.

Tertiäroberkante: Die quartären Kiese in der Flusssohle sind bereichsweise beinahe oder gar komplett ausgeräumt. Das Tertiär (Flinz) steht an der Flusssohle an. Es besteht die akute Gefahr eines Sohldurchschlags.

Ausstattung der Vorländer: Die Vorländer im Stadtgebiet sind parkartig ausgestattet und dienen überwiegend der Freizeitnutzung.

Lechregulierung: Infolge der Lechregulierung beträgt die Flussbreite des Lech zwischen 70 und 80 m. Der Abschnitt ist durch das Eisenbahnerwehr, das Wolfzahnauwehr sowie das Wehr Gersthofen geprägt.

Bausteine der Varianten:

Die Varianten im Innenstadtbereich bestehen aus folgenden Bausteinen:

Geschiebezugabe: Als Baustein zum Erreichen der Sohlstabilität ist eine Geschiebezugabe vorgesehen. Im Vergleich zum Stadtwaldbereich, in dem der Lech deutlich aufgeweitet wird, ist gröberes Zugabematerial erforderlich.

Zudem wird Geschiebe in der Körnung des im Vorland vorhandenen Materials zugegeben, um eine morphologische Dynamik im Sinne der Gewässerökologie zu erreichen.

Sohlrampe Fkm 42,6: Eine aufgelöste Sohlrampe bei Fkm 42,6 stabilisiert die Lechsohle nach oberstrom bis zum Eisenbahnerwehr.

Sohlanhebung Eisenbahnerwehr (Fkm 45,6) bis zur Sohlrampe (Fkm 42,6): Die Errichtung einer Sohlrampe ermöglicht die Anhebung der

Flusssohle nach oberstrom bis hin zum Eisenbahnerwehr. Damit kann eine Überdeckung des erosionsempfindlichen Flnizes mit einer ausreichend mächtigen Kiesschicht erreicht werden.

„Aufweitung an der Flussmeisterstelle“: Da sich die Flächen im Bereich der Flussmeisterstelle im Eigentum des Freistaats Bayern befinden, bietet sich hier eine lokale Aufweitung des Lech auf einer Länge von etwa 500 m an. Die Aufweitung dient zum einen der Sohlstabilität. Zum anderen geht mit der Aufweitung eine erhebliche Verbesserung der Gewässerökologie einher.

Sonstige Maßnahmen zur Erhöhung der Strukturvielfalt im Uferbereich und der Lechsohle: Unabhängig von der gewählten Variante sollten Störsteine und Totholz in geeigneter Weise in den Lech eingebracht werden.

Varianten

Aus den beschriebenen Bausteinen werden folgende Varianten entwickelt.

- Variante II-A: Die Variante besteht lediglich aus einer Geschiebezugabe mit geeignetem Material in Verbindung mit einem entsprechenden Monitoring.
- Variante II-B1: Die Variante beinhaltet die Sohlrampe bei Fkm 42,6 sowie die Anhebung der Flusssohle oberstrom bis zum Eisenbahnerwehr.
- Variante II-B2: Die Variante entspricht der Variante II-B1 zuzüglich einer Geschiebezugabe mit geeignetem Material.
- Variante II-B3: Die Variante entspricht der Variante II-B2 ergänzt um die „Aufweitung an der Flussmeisterstelle“.

Variantenbewertung und Ableitung der Bestvariante

Im Sinne der Variantenbewertung wurden die Wirkungen der Varianten bzw. deren Zielerreichung hinsichtlich folgender Ziele verbal beschrieben:

Ziel 1: Sohlstabilität

Ziel 1.1: Schaffung einer ausreichenden Kiesüberdeckung über dem hoch anstehenden Tertiär zwischen dem Eisenbahnerwehr und Fkm 42,8

Ziel 1.2: Stabilisierung der Flusssohle in den sonstigen Bereichen des
Planungsbereichs II

Ziel 2: Verbesserung des ökologischen Zustands des Lech

Die Bestvariante ist eindeutig Variante II-B3. Mit dieser Variante können die Ziele der Sohlstabilität sowie der Verbesserung der Gewässerökologie am besten erreicht werden.

2 Vorhabensträger

Vorhabensträger ist der Freistaat Bayern, vertreten durch das Wasserwirtschaftsamt Donauwörth.

3 Projektgebiet

Das gesamte Vorhaben Licca liber umfasst den Lech von der Staustufe 23 (Fkm 56,7) bis zur Mündung des Lech in die Donau. Das Vorhaben ist in 4 Planungsbereiche unterteilt. Die vorliegenden weiterführenden Untersuchungen beziehen sich auf die Planungsbereiche I und II und reichen von der Staustufe 23 bis zum Wehr Gersthofen (Fkm 37,3). Siehe auch den Übersichtslageplan in Anlage 2.1.

Aufgrund der örtlichen Situation wird das Projektgebiet in 2 Bereiche aufgeteilt:

Planungsbereich I: Lechstaustufe 23 bis Hochablass (Fkm 56,7 – Fkm 47,0),
Stadtwald

Planungsbereich II: Hochablass bis Wehr Gersthofen (Fkm 47,0 – Fkm 37,3),
Innenstadt

Beide Planungsbereiche weisen eine Flusslänge von ca. 10 km auf.

Der Planungsbereich I wird auf Basis der örtlichen Gegebenheiten in 8 Abschnitte unterteilt. Die Einteilung orientiert sich insbesondere an der Bogenfolge des Lech im Istzustand. Die Nummerierung der Abschnitte erfolgt fortlaufend in Fließrichtung des Lech. Der Abschnitt 8 beinhaltet den aufgeweiteten Rückstaubereich des Hochablasses. Hier sind keine Maßnahmen vorgesehen. In Tabelle 1 sind die Abschnitte mit ihren jeweiligen Grenzen zusammengefasst. Zudem sind hier im Vorgriff auf die Ausführungen zur Variantenbeschreibung und zu deren Umsetzung in Kapitel 9 die definierten Bauabschnitte eingetragen.

Tabelle 1: Einteilung des Planungsbereichs I in Abschnitte

Abschnitt	von	Bis	Bauabschnitt
1	Fkm 56,7	Fkm 55,0	B3
2	Fkm 55,0	Fkm 53,8	
3	Fkm 53,8	Fkm 52,6	B2
4	Fkm 52,6	Fkm 51,4	
5	Fkm 51,4	Fkm 50,4	
6	Fkm 50,4	Fkm 49,2	B1
7	Fkm 49,2	Fkm 47,4	
8	Fkm 47,4	Fkm 47,0	

4 Veranlassung / Leitbild und Ziele

Der Lech war ursprünglich ein durch hohen Geschiebeeintrag geprägtes furkierendes Flusssystem mit einer Breite von mehreren hundert Metern. Gemäß [1] begannen die maßgeblichen Korrekturen in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Die dann in mehreren Etappen durchgeführten Maßnahmen prägen den Lech im Projektgebiet:

- Geschieberückhalt und verändertes Abflussverhalten durch die oberstrom vorhandenen Lechstaufen, beginnend mit dem Forggensee (Lechstaufe 1, Fkm 154,0) bis zum Mandichosee (Lechstaufe 23, Fkm 56,7).
- Reduzierte Flussbreite von etwa 65 m bis 72 m.
- Querbauwerke im Projektgebiet: 6 Abstürze zwischen Fkm 55,4 und 50,4, Hochablass bei Fkm 47,0, Eisenbahnerwehr bei Fkm 45,6, Wolfzahnauwehr bei Fkm 40,6, Wehr Gersthofen bei Fkm 37,3.
- Durchgehende beidseitige Ufersicherungen und Hochwasserschutzdeiche.

Der Geschieberückhalt in Verbindung mit der reduzierten Flussbreite bewirkte eine Eintiefung des Lech, die immer noch fortschreitet. Das quartäre Kiesbett über den tertiären Sanden (Flinz) wird dabei immer weiter ausgeräumt, bereichsweise befindet sich die Lechsohle bereits im Flinz. Eine unkontrollierte Sohleintiefung (Sohldurchschlag) ist zu befürchten.

Mit der Lechkorrektur und den damit einhergehenden Veränderungen der Grundwasserverhältnisse wurde der Lebensraum für Tiere und Pflanzen erheblich verschlechtert. Dies gilt sowohl für die aquatischen Lebensräume als auch die lechbegleitenden Auen. Der Lech entspricht nicht den Anforderungen an die EG-Wasserrahmenrichtlinie. Ebenso wird das Natura2000-Gebiet der Lechauen zwischen

Königsbrunn und Augsburg erheblich beeinträchtigt [2]. Ohne entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, würde die Verschlechterung der ökologischen Situation (aquatisch und terrestrisch) weiter voranschreiten.

Ziel des Projekts Licca liber ist die Stabilisierung der Flusssohle des Lech bei gleichzeitiger Renaturierung des Flusses und seiner Auen sowie die Einhaltung des vorhandenen Hochwasserschutzes für Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen [2]. Bei der Planung sind die Interessen infolge der Vielzahl der Nutzungsansprüche zu berücksichtigen. Insbesondere spielen die Grundwasserverhältnisse eine wesentliche Rolle. Einerseits hinsichtlich der Gewährleistung der Trinkwasserversorgung für Augsburg und Kissing. Andererseits im Zusammenhang mit der vorhandenen Bebauung entlang des Lech.

Als Leitbild für die Entwicklung der Maßnahmen dient ein furkierendes Flusssystem, dass im Projektgebiet vor der Lechregulierung vorherrschte. Das Flussbett war in mehrere Rinnen aufgeteilt und durch eine hohe Dynamik geprägt. Dies zeigte sich z. B. darin, dass insbesondere bei höheren Wasserführungen das Flussbett seine Gestalt regelmäßig veränderte. Bestehende Arme wurden mit Kies verfüllt, andere Rinnen wurden durch Erosionsvorgänge neu geschaffen. Die Substrate waren auf Grund der sehr verschiedenen Fließgeschwindigkeiten in dem System kleinräumig sortiert und reichten von großen Steinen und Blöcken über Kiese bis zum Sand. Ausgedehnte Randbereiche des Lech, z. B. ehemalige Flussarme, wurden periodisch überflutet und bildeten typische Auenstandorte. Die hohe Dynamik mit ihren häufigen Umbildungsvorgängen brachte es mit sich, dass weite Bereiche der Schotter- und Kiesbänke unbewachsen waren. Die ankeimende Vegetation konnte den Erosions- und Umbildungserscheinungen nicht standhalten, so dass die Sukzession dieser Standorte zumeist schon im Pionierstadium beendet wurde. Nur in Bereichen, die seltener von Erosions- oder Sedimentationsvorgängen erfasst wurden, konnten Gehölze entstehen.

Charakteristisch für den Lech vor Durchführung der Regulierungsmaßnahmen war ein Nebeneinander unterschiedlicher Gewässertypen und Landlebensräume

Landlebensräume:

- Kies- und Sandbänke
- Trockenstandorte
- Verlandungsbereiche
- Weiche und harte Au

Aquatische Lebensräume

- Hauptarme
- Nebenarm- und Seitenarme
- Seitzubringer mit unterschiedlichem Geschiebetransport
- Lauenbäche
- unregelmäßig dotierte Seiten- und Nebengewässer

Die einzelnen Gewässertypen unterschieden sich hinsichtlich der Fließgeschwindigkeiten und folglich der Korngrößen der Sohlsedimente und bildeten ein reich verzweigtes System unterschiedlicher Biotope. Der Vegetation haben sich entsprechend der jeweiligen Standorte die unterschiedlichsten charakteristischen Aufwuchsbedingungen für eine Pioniervegetation über die weiche bis zur harten Au mit ihren zahlreichen hochspezialisierten Pflanzen- und Tierarten angeboten.

Da sich der Lech vermutlich in einem dynamischen Sohlgleichgewicht befunden hat, konnte er Hochwasserabflüsse ohne wesentliche Sohleintiefungen bewältigen. Somit war ein hoher Grundwasserstand gegeben, der einerseits ein Austrocknen der Nebengewässer in Niedrigwasserzeiten verhinderte und andererseits eine wesentliche Voraussetzung für die Auenvegetation in ihren vielfältigen Ausprägungen darstellte.

Wohlwissend, dass der Lech im Sinne des Leitbilds auf Grund der vorherrschenden Randbedingungen so nicht wiederhergestellt werden kann, so kann es aber in jedem Fall zur Orientierung und als Vorbild für die Erarbeitung der Maßnahmen dienen. Es gilt zu prüfen, inwieweit auf Basis der vorhandenen Situation Bausteine eines furkierenden Flusssystems übernommen werden können und in welchem Ausmaß die definierten Ziele damit erreicht werden können.

Nachfolgend sind die Ziele noch einmal übersichtlich dargestellt:

- Ziel A1: Dynamische Sohlstabilisierung
- Ziel A2: Ökologische Verbesserung von Fluss und Aue
- Ziel A3: Minimierung nachteiliger Auswirkungen auf Nutzungen
- Ziel A4: Verbesserung des natürlichen Hochwasserrückhalts
- Ziel B5: Minimierung der Risiken (hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit bzw. der Umsetzbarkeit)

Weitere Erläuterungen zu den Zielen und den zur Bewertung der Planungsvarianten abgeleiteten Kriterien können dem Bericht zum Bewertungssystem und zur Variantenbewertung in Anlage 3 entnommen werden.

5 Vorgehensweise

In einem ersten Schritt werden die vorhandenen Daten analysiert und bewertet. Eventuelle Datenlücken werden aufgezeigt.

Basierend auf den bereits vorhandenen Überlegungen und auch Öffentlichkeitsbeteiligungen werden die Ziele definiert. Darauf aufbauend werden zunächst Bausteine zum Erreichen der Projektziele entwickelt. Diese werden zu Varianten zusammengefasst.

Parallel zur Variantenfindung werden numerische Modelle zur Berechnung der Hydraulik, des Geschiebetransports und des Grundwassers entwickelt. Diese dienen einerseits als Hilfsmittel bei der Optimierung der vorhandenen Varianten. Andererseits stellen die Ergebnisse der Berechnungen eine wesentliche Grundlage für die Bewertung der Varianten dar.

Um die Varianten bewerten zu können, wird ein Bewertungssystem konzipiert. Die Bewertung der Varianten zeigt die Stärken und Schwächen der jeweiligen Varianten bezogen auf die Projektziele auf und ergibt als Endergebnis eine Reihenfolge der Varianten hinsichtlich der Zielerfüllung.

Da die beiden betrachteten Planungsbereiche (Bereich Stadtwald – Bereich Innenstadt) sehr unterschiedlich sind, erfolgt die Variantenentwicklung ebenso wie deren Bewertung jeweils getrennt für die beiden Bereiche.

Die weiterführenden Untersuchungen sind eingebettet in ein Konzept zur Öffentlichkeitsarbeit. Die *Licca liber Arbeitsgruppe* und das *Licca liber Forum* werden regelmäßig über den Arbeitsfortschritt, Zwischenergebnisse und schließlich auch das Ergebnis der Untersuchungen informiert und beteiligt.

6 Verwendete Daten

Die verwendeten Daten sowie deren Auswertung sind im Datenerfassungskonzept in Anlage 1 zusammengefasst. Ebenso erfolgt im Datenerfassungskonzept eine Bewertung der vorhandenen Daten. Vorhandene Datenlücken werden aufgezeigt.

7 Voruntersuchungen

7.1 Flussmorphologische Studie – TU München

Im Auftrag des WWA Donauwörth hat der Lehrstuhl für Wasserbau der TU München eine morphologische Grundlagenstudie durchgeführt [14]. Dabei wurden auch Maßnahmen zur Sanierung des Lech entwickelt. Der Schlussbericht ist mit Januar 2012 datiert. Die Untersuchungen der TU München wurden vor Beginn des Flussdialogs erbracht.

7.2 Flussdialog

Die nachfolgenden Informationen zum Flussdialog entstammen dem Internetangebot des Wasserwirtschaftsamts Donauwörth (https://www.wwa-don.bayern.de/fluesse_seen/massnahmen/liccaliber/flussdialog/index.htm, abgerufen am 10.04.2019).

Beim Flussdialog Licca liber handelte es sich um ein Beteiligungsprojekt. Bürger der Stadt Augsburg und den Gemeinden Kissing, Königsbrunn und Mering sowie zahlreiche Interessensvertreter waren im Flussdialog eingebunden. Der Flussdialog wurde vom Wasserwirtschaftsamt Donauwörth initiiert und bot der Bevölkerung in der Region Augsburg die Möglichkeit, sich in die Gestaltung der Zukunft des Lech einzubringen.

Von Juni 2013 bis Oktober 2014 wurden daher sowohl die Bevölkerung als auch lokale Interessensgruppen wie etwa aus dem Naturschutz, der Fischerei, der Forst- und Landwirtschaft, der Bildung, des Tourismus, der Industrie oder der Politik bzw. Verwaltung in mehreren Schritten zum Dialog eingeladen. Eine Online-Befragung hat zwischen 28. Januar und 16. Februar 2014 stattgefunden. An der Befragung konnte die betroffene Bevölkerung ab 16 Jahren in den Städten bzw. Gemeinden Augsburg, Kissing, Königsbrunn und Mering teilnehmen.

Der Flussdialog bot die Chance, in einer intensiven Art und Weise Informationen und Erfahrungen auszutauschen und Wünsche sowie Anliegen zu äußern. Am Ende des Flussdialogs Licca liber stehen nun Entwicklungsziele für den Lech fest, die als Basis für die Planungen dienen. Im Rahmen des Flussdialoges trugen Grundstückseigentümer, Vereine, Verbände, Anlieger, Behördenvertreter und Träger öffentlicher Belange gemeinsam zur Maßnahmenfindung bei.

Das primäre Ziel des Flussdialogs Licca liber waren abgestimmte Entwicklungsziele, die als Basis für die Planungen des Projekts Licca liber dienen sollen. Dazu wurde die betroffene Bevölkerung im Projektgebiet eingebunden und die Meinungen verschiedener Stakeholder eingeholt. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Flussdialogs Informationen vermittelt, wodurch auch Bewusstsein für Hochwasserschutz, Wasserbaumaßnahmen, Wassernutzung und Gewässerökologie geschaffen werden konnte.

7.3 Umsetzungskonzept

Das vorliegende Umsetzungskonzept [2] fasst die Ergebnisse aus dem Dialogprozess zusammen und stellt den Bezug zur Wasserrahmenrichtlinie her. Außerdem ist es die Basis für die nachfolgend dargestellten weiterführenden Untersuchungen.

8 Bestehende Verhältnisse / Randbedingungen

Nachfolgend werden die bestehenden Verhältnisse im Planungsgebiet bzw. die maßgebenden Grundlagen und Randbedingungen für die weiterführenden Untersuchungen erläutert.

8.1 Boden- und Untergrundverhältnisse

8.1.1 Geologische Situation

Zur Darstellung der geologischen Situation sei auf die ausführlichen Beschreibungen in [5] und [8] verwiesen.

Wesentlich für die vorliegende Fragestellung ist, dass das Flussbett des Lech im Projektgebiet in eiszeitlich geformten Moränen- und Schotterfeldern liegt. Die tertiären Sande der Lech-Wertach-Ebene wurden während urzeitlicher Gletscherbewegungen mit Kies (nachfolgend auch als *Quartär* oder *quartäre Kiese* bezeichnet) überdeckt.

Infolge des Lechbaus hat sich der Lech im Projektgebiet kontinuierlich in die quartären Kiese eingetieft. Stellenweise wurden diese bereits ausgeräumt, so dass das Tertiär an der Flusssohle offen liegt. Weitere Ausführungen zum Ausbau des Lech und die dadurch initiierte sohlmorphologische Entwicklung des Lech folgen in den nächsten Kapiteln.

Das Tertiär wird im süddeutschen Raum häufig als *Flinz* bezeichnet. Der im Projektgebiet angetroffene Flinz ist meist feinsandig, stark schluffig und glimmerführend in den Farben hellbraun-oliv, grau-oliv und grau-blau.

8.1.2 Altlasten

Im Projektgebiet gibt es vereinzelte Altlastenverdachtsflächen.

8.1.3 Grundwassersituation

Die Grundwasserstände im Projektgebiet sind eng mit dem Lech verbunden. Durch die vorhandenen Querbauwerke und den damit verbundenen Sprüngen des Lechwasserspiegels, gibt es im Betrachtungsraum sowohl Bereiche in denen der Lech Wasser an das Grundwasser abgibt (Infiltration) als auch Bereiche in denen der Lech Grundwasser aufnimmt (Exfiltration). Insbesondere in diesen Bereichen wirken sich die Maßnahmen am Lech auf die Grundwasserverhältnisse aus. Dabei ist besonders zu beachten, dass in angrenzenden Kommunen bereits Grundwasserhochstände im Bereich von bebauten Gebieten vorherrschen. Weiterhin befinden sich beiderseits des Lech Trinkwasserentnahmen, die von der Planung nicht beeinträchtigt werden dürfen. Details zur Grundwassersituation sind den Anlagen 6.1 bis 6.4 zu entnehmen.

Die Grundwassersituation wird ausführlich im Bericht zum Hydrogeologischen Modell (Anlage 6.1), Bericht zu Aufbau und Kalibrierung des Grundwassermodells (Anlage 6.2) sowie im Bericht zum Bezugszustand (Anlage 6.3) erläutert. Eine Übersicht über die Grundwasserverhältnisse zeigt Anlage 2.8.

8.2 Regulierung des Lech und Staustufenausbau

Die nachfolgenden Erläuterungen stützen sich vornehmlich auf die detaillierten Ausführungen zur Regulierung und zum nachfolgenden Staustufenausbau des Lech in [5]. Diese werden nachfolgend zusammenfassend wiedergegeben.

8.2.1 Zustand vor der Regulierung

Bis Augsburg bildete der Lech ein furkierendes Flusssystem, das durch einen großen Geschiebeeintrag, ein hoch dynamisches Flussbett mit ständig sich verlagernden Rinnen und einer großen Flussbreite gekennzeichnet war. Das Luftbild von 1926 in Abbildung 1 zeigt dies eindrucksvoll. Dabei handelt es sich um einen Abschnitt im

Projektgebiet bei Mering. Obwohl hier bereits Längsbauwerke zu erkennen sind, ist das furkierende System mit seinen zahlreichen Rinnen in dem breiten Kiesbett sehr gut zu erkennen.



Abbildung 1: Lech bei Mering (Bereich Fkm 58), Zustand etwa 1926 [5]

8.2.2 Lechregulierung durch Längsbauten, 1863 bis 1937

Um den Lech auf eine geringere Breite einzuschränken, wurden zwischen 1863 und 1937 schrittweise Leitwerke und Ufersicherungen eingebaut. Die „Zielbreite“ betrug bereichsweise lediglich 65 m.

Dies führte zwangsweise zu einer deutlichen Erhöhung der Transportkapazität und damit zu einer raschen und deutlichen Eintiefung der Flusssohle des Lech. Bereichsweise hat sich der Lech bereits in den Flinz eingetieft (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Eintiefungsstrecke des Lech in den Flinz bei Scheuring, Fkm 70, im Jahr 1924 [5]

8.2.3 Sohlstützung durch Querbauwerke, 1919 bis 1940

Die zunehmende Eintiefung der Flusssohle gefährdete unter anderem die Standsicherheit der Längsbauwerke sowie Brücken und bewirkte ein Abfallen des Grundwasserspiegels. Um dem entgegenzuwirken, wurden in den Jahren 1919 bis 1940 Wehre und Abstürze errichtet. Unter anderem auch die sechs Abstürze im Projektgebiet zwischen Fkm 55,4 und 50,4.

Die sechs Abstürze werden in Fließrichtung durchnummeriert:

Tabelle 2: Bezeichnung der Abstürze zwischen Fkm 55,4 und 50,4

Bezeichnung	Fkm
Absturz 1	55,4
Absturz 2	54,4
Absturz 3	53,4
Absturz 4	52,4
Absturz 5	51,4
Absturz 6	50,4

Insbesondere auf Grund einer mangelhaften Konstruktion und massiven Eintiefungen im Unterwasser wurden einzelne Bauwerke bei Hochwasserereignissen beschädigt oder teilweise zerstört und mussten anschließend repariert bzw. wiedererrichtet werden.

8.2.4 Staustufenausbau, 1940 bis 1984

In den Jahren 1940 bis 1971 wurden zwischen Füssen und Landsberg durch die Bayerische Wasserkraft AG (BAWAG) 14 Staustufen errichtet. Als Kopfspeicher (Staufufe 1) wurde in den Jahren 1950 bis 1954 die Talsperre Rosshaupten bei Füssen errichtet. Der Forggensee funktioniert als Jahresspeicher. Neben der Maximierung der Energieerzeugung dient der Speicher auch dem Hochwasserschutz.

In den Jahren 1973 bis 1984 wurden wiederum durch die BAWAG 6 weitere Staustufen zwischen Kaufering und Merching gebaut.

Die Staustufenkette ist mit den Nummern 1 (Talsperre Rosshaupten - Forggensee) bis 23 (Staufufe bei Merching – Mandichosee) durchnummeriert. Nicht gebaut wurden die Staustufen 5, 16 und 17. Bis auf wenige Abschnitte handelt es sich um eine durchgehende Staukette ohne freie Fließstrecken.

8.2.5 Bauwerke im Stadtbereich von Augsburg

Unmittelbar im Stadtbereich von Augsburg befinden sich vier Wehranlagen:

- der Hochablass bei Fkm 47,0
- das Eisenbahnerwehr bei Fkm 45,6
- das Wolfzahnauwehr bei Fkm 40,6
- das Wehr Gersthofen bei Fkm 37,3

Die Wehre wurden weitgehend unabhängig vom Ausbau des Lech oberstrom von Augsburg errichtet.

Hochablass, Fkm 47,0

Die Wurzeln des Hochablasses gehen in das 14. Jahrhundert zurück. Bereits damals wurde zum Zweck der geregelten Ausleitung von Wasser ein Wehr errichtet. Die Konstruktion in der jetzigen Form stammt aus den Jahren 1911/12.

Auf der Westseite des Hochablasses werden bis zu 46 m³/s in die Stadtbäche sowie die Kanustrecke ausgeleitet. 2012 wurde an der Westseite des Hochablasses in einer Bucht ein Wasserkraftwerk ergänzt. Die Errichtung einer Fischtreppe ist vorgesehen.

Eisenbahnerwehr, Fkm 45,6

Das Eisenbahnerwehr wurde 1940 errichtet, um die Fundamente der oberstrom über den Lech verlaufenden Eisenbahnbrücke vor einer weiteren Sohleintiefung des Lech zu schützen. Das Wehr ist ca. 6 m hoch. Im Jahr 2006 wurde an der Ostseite ein Buchtenkraftwerk sowie eine Fischtreppe errichtet.

Wolfzahnuwehr, Fkm 40,7

Das Wolfzahnuwehr wurde in den Jahren 1882 und 1883 errichtet, um die Eintiefung der Flusssohle nach oberstrom zu stoppen. Bei einem Hochwasser 1966 stürzte das Wehr ein und wurde 1967 wiederaufgebaut. Die Wehrhöhe beträgt ca. 5,7 m. 2010 wurde auf der Ostseite ein Buchtenkraftwerk mit Fischtreppe ergänzt.

Wehr Gersthofen, Fkm 37,3

Das Wehr Gersthofen wurde in den Jahren 1898 bis 1901 zusammen mit dem ersten Teil des Lechkanals errichtet. Zweck ist die Ausleitung von Wasser in den Lechkanal zur Energieerzeugung. Derzeit werden bis zu 125 m³/s in den Lechkanal ausgeleitet.

8.2.6 Sohlbreiten im Projektgebiet

Abbildung 3 zeigt die Breite des Lech im Istzustand zwischen der Staustufe 23 und dem Wehr Gersthofen als Folge der Lechkorrektur. Als Flussbreite wird hier die Breite der Flusssohle zwischen den sogenannten Lotrechten definiert. Zur Definition der Lotrechten sei auf Kapitel 8.4 verwiesen. Die gestrichelte Linie stellt die mittlere Breite in dem jeweiligen Abschnitt dar. Die dazugehörigen Zahlenwerte können der Tabelle 3 entnommen werden.

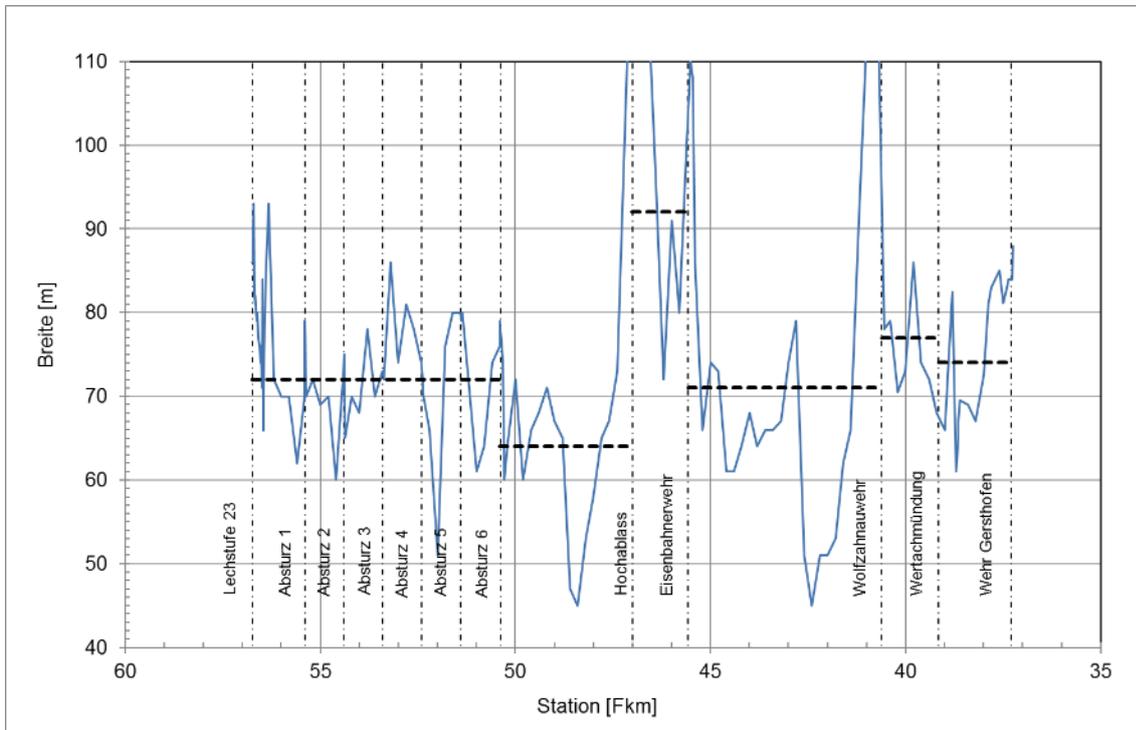


Abbildung 3: Flussbreite des Lech im Istzustand

Tabelle 3: Mittlere Sohlbreiten im Projektgebiet

Abschnitt	Fkm	Mittlere Sohlbreite
Staustufe 23 bis Absturz 50,4	56,7 – 50,4	72 m
Absturz 50,4 bis Hochablass	50,4 – 47,0	64 m
Hochablass bis Eisenbahnerwehr	47,0 – 45,6	92 m
Eisenbahnerwehr bis Wolfzahnauwehr	45,6 – 40,6	71 m
Wolfzahnauwehr bis Wertachmündung	40,6 – 39,2	77 m
Wertachmündung bis Wehr Gersthofen	39,4 – 37,3	74 m

8.3 Gewässernetz und Hydrographie

8.3.1 Gewässersystem und Ausleitungen

In Abbildung 4 ist das Gewässersystem im Bereich der Stadt Augsburg schematisch dargestellt. Für das vorliegende Projekt ist der Strang des Lech maßgebend. Im Abschnitt 1 zwischen der Lechstaustufe 23 und dem Hochablass befindet sich bis auf den an der Stufe 22 ausgeleiteten Lochbach mit $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ der komplette Abfluss im Lech. Am Hochablass werden bis zu $46 \text{ m}^3/\text{s}$ ausgeleitet. Davon werden $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in die Kanustrecke abgeleitet und münden etwa bei Fkm 46,3 wieder in den Lech.

Gemäß Änderungsbescheid vom 08.04.2013 für den Betrieb des Hochablasses [15] beträgt die Mindestwasserführung im Lech zwischen dem Hochablass (Fkm 47) und der Einleitung der Kanustrecke (Fkm 46,35) 4 m³/s. Darin ist der für die Fischaufstiegsanlage erforderliche Abfluss von 1,5 m³/s enthalten. Im weiteren Verlauf bis zur Einmündung der Stadtbäche in der Wolfzahnau wird in [15] die Mindestwasserführung wie folgt vorgeschrieben:

November bis Februar	6 m ³ /s
März und Oktober	7 m ³ /s
April und September	8 m ³ /s
Mai und August	9 m ³ /s
Juni und Juli	10 m ³ /s

8.3.2 Pegeldaten

8.3.2.1 Pegel Haunstetten

Der Pegel Haunstetten liegt bei Fkm 50,4 mitten im Projektgebiet zwischen der Lechstaustufe 23 und dem Hochablass. Bis auf den an der Stufe 22 ausgeleiteten Lochbach mit 4,5 m³/s befindet sich hier der gesamte Abfluss im Lech. Das Einzugsgebiet hat eine Fläche von 2.347 km². Der Pegel Haunstetten wurde 1976 in Betrieb genommen.

Gemäß den Informationen des Gewässerkundlichen Dienstes Bayern sind in den nachfolgenden Tabellen die Hauptwerte, die höchsten Abflüsse sowie die Hochwasser mit verschiedenen Jährlichkeiten zusammengefasst.

Tabelle 4: Hauptwerte am Pegel Haunstetten, ohne Lochbach

	Winter	Sommer	Jahr
NQ	17,1 m ³ /s	23,8 m ³ /s	17,1 m ³ /s
MNQ	33,8 m ³ /s	37,4 m ³ /s	32,1 m ³ /s
MQ	61,2 m ³ /s	101 m ³ /s	81,2 m ³ /s
MHQ	137 m ³ /s	421 m ³ /s	421 m ³ /s
HQ	347 m ³ /s	1.150 m ³ /s	1.150 m ³ /s

Tabelle 5: Höchste Abflüsse am Pegel Haunstetten im Beobachtungszeitraum

	Abfluss	Datum
1	1.150 m ³ /s	22.05.1999
2	1.130 m ³ /s	24.08.2005
3	796 m ³ /s	14.05.1999
4	634 m ³ /s	22.08.2002
5	633 m ³ /s	07.08.2000

Tabelle 6: Hochwasser – Jährlichkeit (HQ_T)

	Abfluss
HQ₁	370 m ³ /s
HQ₂	450 m ³ /s
HQ₁₀	520 m ³ /s
HQ₁₀₀	1.050 m ³ /s
HQ_{1.000}	1.450 m ³ /s

Hinweis: Die Ermittlung der Abflüsse HQ10, HQ100, HQ1000 erfolgte durch eine deterministische Untersuchung auf Grundlage der KOSTRA Niederschläge unter Berücksichtigung der Steuerung des Forggensees.

8.3.2.2 Pegel Augsburg u. d. Wertachmündung / Lech

Der Pegel Augsburg u. d. Wertachmündung / Lech liegt bei Fkm 38,65 zwischen der Mündung der Wertach in den Lech und dem Wehr Gersthofen. Im Bereich des Pegels befindet sich der gesamte Abfluss im Lech. Das Einzugsgebiet hat eine Fläche von 3.791 km². Pegeldata liegen ab dem 1.11.1959 vor.

Gemäß den Informationen des Gewässerkundlichen Dienstes Bayern sind in den nachfolgenden Tabellen die Hauptwerte, die höchsten Abflüsse sowie die Hochwasser mit verschiedenen Jährlichkeiten zusammengefasst.

Tabelle 7: Hauptwerte am Pegel Augsburg u. d. Wertachmündung / Lech

	Winter	Sommer	Jahr
NQ	33,0 m ³ /s	35,4 m ³ /s	33,0 m ³ /s
MNQ	51,8 m ³ /s	57,1 m ³ /s	48,9 m ³ /s
MQ	93,3 m ³ /s	133 m ³ /s	113 m ³ /s
MHQ	247 m ³ /s	586 m ³ /s	589 m ³ /s
HQ	516 m ³ /s	1.540 m ³ /s	1.540 m ³ /s

Tabelle 8: Höchste Abflüsse am Pegel Augsburg u. d. Wertachmündung / Lech im Beobachtungszeitraum

	Abfluss	Datum
1	1.540 m ³ /s	24.08.2005
2	1.500 m ³ /s	22.05.1999
3	1.350 m ³ /s	11.08.1970
4	1.020 m ³ /s	07.08.2000
5	961 m ³ /s	18.06.1979

Tabelle 9: Hochwasser – Jährlichkeit (HQ_T)

	Abfluss
HQ₁	500 m ³ /s
HQ₂	600 m ³ /s
HQ₁₀	700 m ³ /s
HQ₁₀₀	1350 m ³ /s
HQ_{1.000}	1800 m ³ /s

8.3.3 Steuerung des Forggensees

Der Forggensee darf seit Juni 2000 bei drohender Hochwassergefahr vorabgesenkt werden. Im Jahr 2005 wurde seitens der E.ON (jetzt UNIPER) die Talsperre Roßhaupten umgebaut, so dass die Leistungsfähigkeit zur Vorabsenkung erhöht wurde. Nach Auskunft der Hochwassernachrichtenzentrale Iller/Lech am Wasserwirtschaftsamt Kempten gibt es aber keine eindeutige Steuervorschrift für die Vorabsenkung. Vielmehr sind jeweils die aktuellen Randbedingungen wie die Jahreszeit, die Speicherfüllung etc. zu betrachten.

Als Konsequenz aus der Möglichkeit zur Vorabsenkung in Verbindung mit der erhöhten Leistungsfähigkeit zur Vorabsenkung wurden die statistischen Werte für ein 100-jährliches Hochwasserereignis an den Pegeln Haunstetten und Pegel Augsburg u. d. Wertachmündung angepasst.

8.3.4 Schwellbetrieb

Gemäß Bescheid vom 21.12.2012 [4] erteilt das Landratsamt Landsberg am Lech die Bewilligung eines Schwellbetriebs zwischen den Lechstaustufen 18 und 23. Zur Erläuterung des möglichen Schwellbetriebs wird nachfolgend aus [4] zitiert:

Ein Spitzenbetrieb in der Lechstaustufe 18 – Kaufering ist jedoch nur zulässig, wenn die durch den Schwellbetrieb bedingten Abflussschwankungen im Lech bei der Abgabe an der Staustufe 23 in das Unterwasser jederzeit so ausgeglichen werden, dass im Unterwasser der Staustufe 23 keine abrupten Abflussänderungen und damit keine schädlichen Schwall- und Sunkerscheinungen auftreten (24-stündig vergleichmäßigte Wasserführung).

Analoge Ausführungen sind in [4] für den Spitzenbetrieb an den Lechstaustufen 19 bis 22 enthalten.

Die Wirkung der Steuerung wird in Abbildung 5 beispielhaft an der Abflussganglinie am Pegel Haunstetten vom 1.7.2016 bis 31.7.2016 gezeigt.

Bemerkenswert ist zudem, dass bei Abflüssen im Lech kleiner als $80 \text{ m}^3/\text{s}$ eine Absenkung des Abflusses nicht abrupt stattfinden darf. Die Änderung des Abflusses darf mit nicht mehr als $3 \text{ m}^3/\text{s}$ pro Stunde erfolgen. In der Abflussganglinie in Abbildung 5 ist diese langsamere Abflussreduzierung am 23.7.2016 zu erkennen.

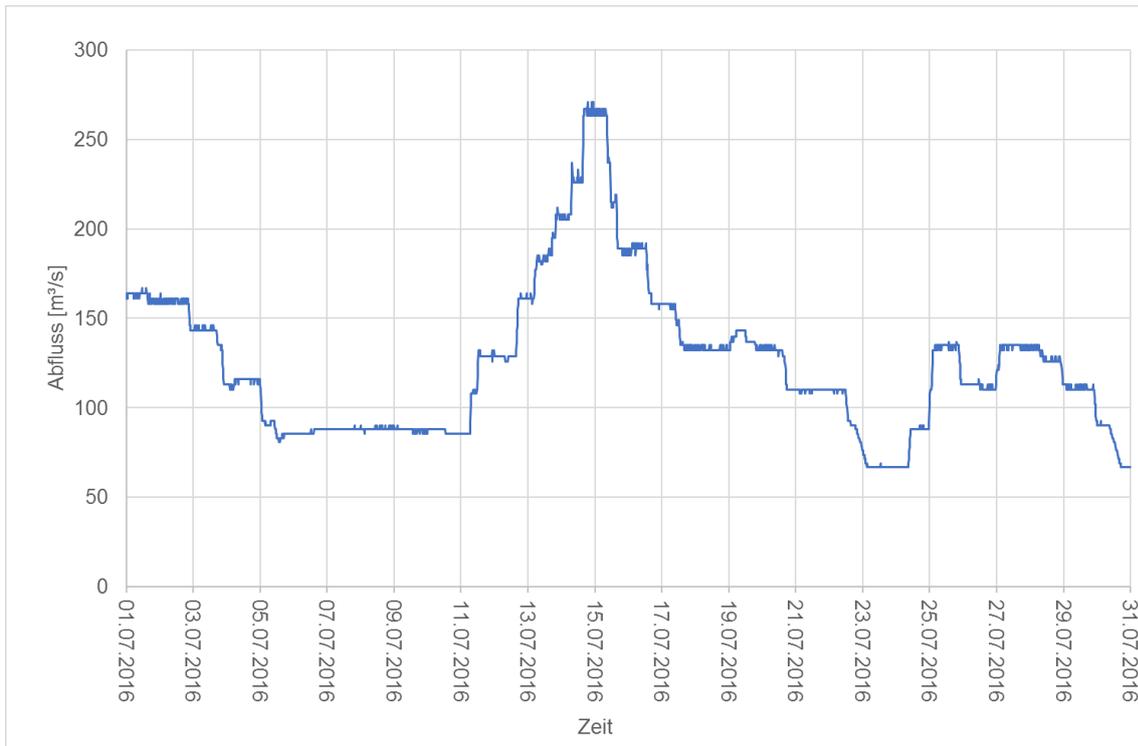


Abbildung 5: Abflussganglinie am Pegel Haunstetten vom 1.7.2016 bis 31.7.2016

Eine etwas ungewöhnliche Situation zeigt die Ganglinie am Pegel Haunstetten in Abbildung 6. Zwischen dem 28.4.2014 und dem 04.05.2014 wurde ein schwankender Abfluss zwischen etwa 30 und 50 m³/s eingestellt. Grundlage hierfür ist die beschränkte Erlaubnis des Landratsamtes Aichach-Friedberg vom 8.10.2009 [3] zu einer entsprechenden Steuerung, um den ordnungsgemäßen Betrieb der Olympiakanustrecke bei Kanuslalomveranstaltungen mit überregionaler Bedeutung zu ermöglichen.

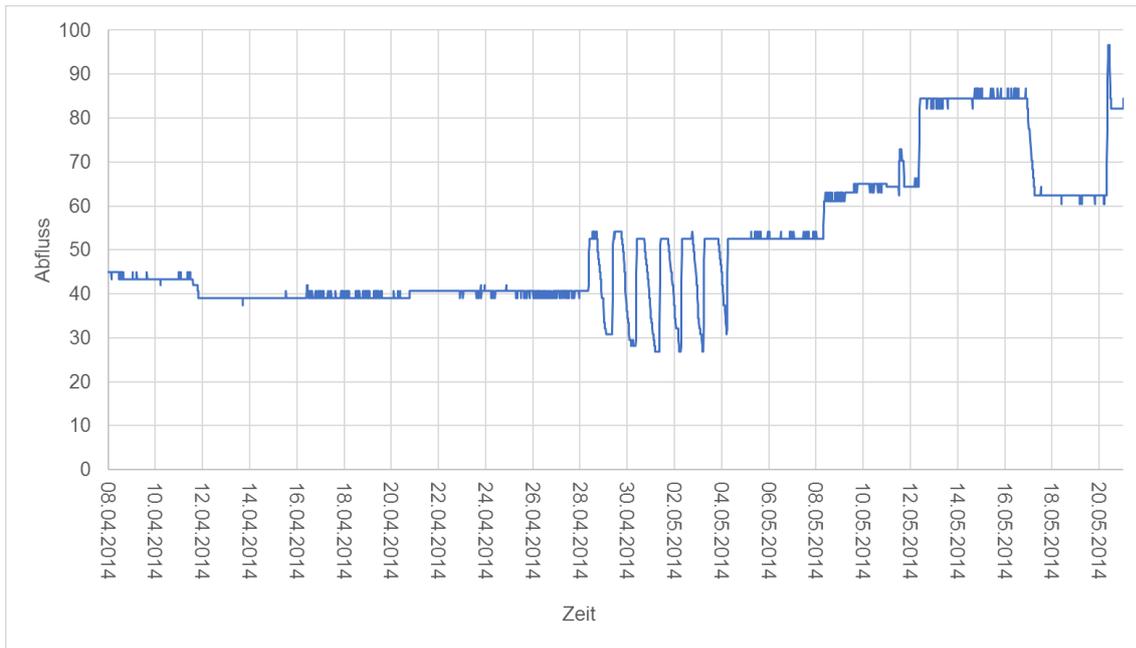


Abbildung 6: Abflussganglinie am Pegel Haunstetten vom 8.4.2014 bis 20.5.2014

8.4 Sohlmorphologie des Lech

8.4.1 Auswertung Querprofilaufnahmen

Für den Projektbereich liegen Querprofilaufnahmen aus den Jahren 1975 bis 2013 vor. Nachfolgend werden die Querprofilaufnahmen analysiert. Eine abschließende Interpretation und Bewertung der Sohlentwicklung erfolgt in Kapitel 8.4.1.4.

8.4.1.1 Querprofil und Lotrechtendefinition

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen ausgewählte Querprofile im Projektgebiet. Abbildung 8 zeigt beispielsweise die Entwicklung der Querprofile bei Fkm 49,8. Dieses Querprofil liegt in der relativ langen freien Fließstrecke zwischen dem letzten Absturz bei Fkm 50,4 und dem Hochablass. Gut zu erkennen ist hier die Eintiefungstendenz im Querschnitt. Zu den Querschnitten in Abbildung 9 und Abbildung 10 sei angemerkt, dass an diesen Flusskilometern 1975 keine Querprofile aufgenommen wurden.

Neben den Querprofilen sind die linke und rechte Lotrechte eingetragen. Die Lotrechten begrenzen den sohlmorphologisch aktiven Teil der Flusssohle und trennen diesen vom befestigten Ufer ab. Die Lotrechten werden für jedes Profil einzeln festgelegt. Dadurch kann die Breite der beweglichen Sohle berechnet werden.

Zwischen den Lotrechten wird die mittlere Sohle (siehe Kapitel 8.4.1.2) bestimmt.
Zudem dienen sie als Grundlage für die Erstellung der Massensummenlinien (siehe Kapitel 8.4.1.3).

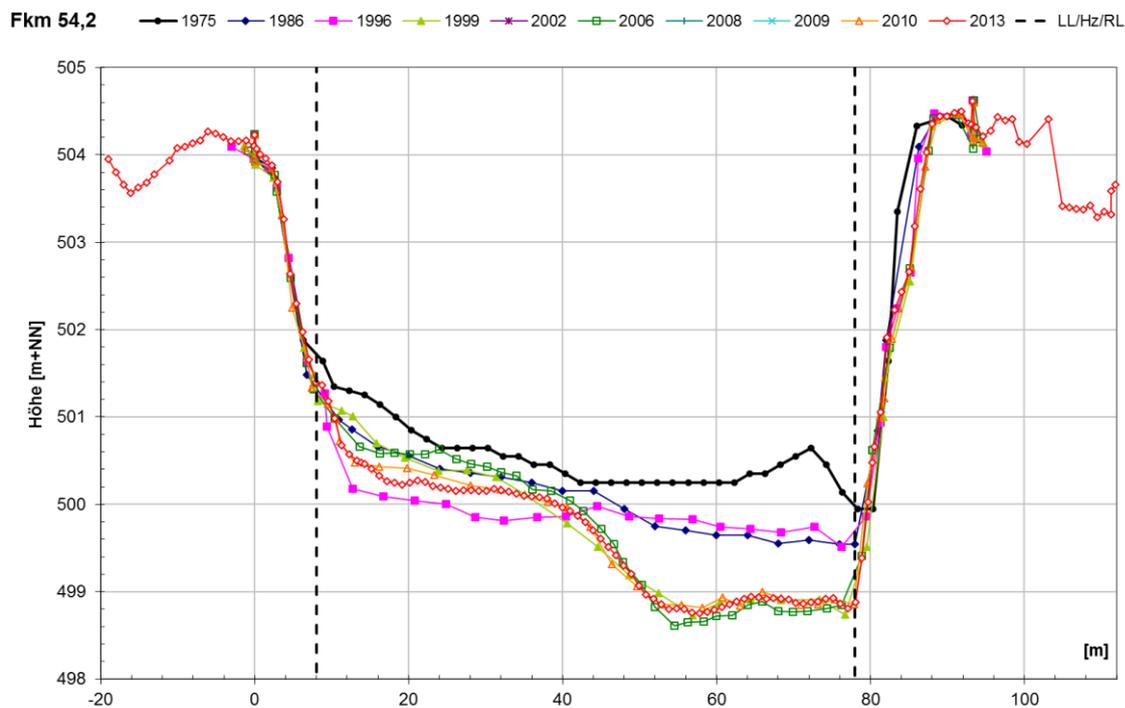


Abbildung 7: Entwicklung der Querprofile am Beispiel von Fkm 54,2

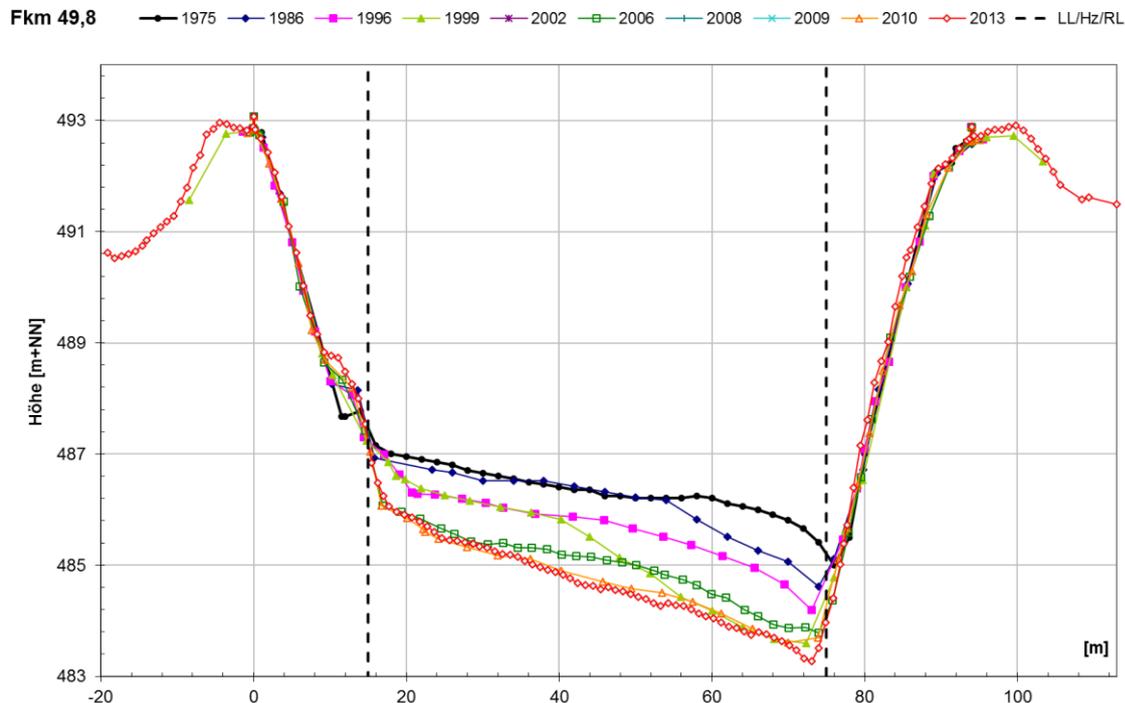


Abbildung 8: Entwicklung der Querprofile am Beispiel von Fkm 49,8

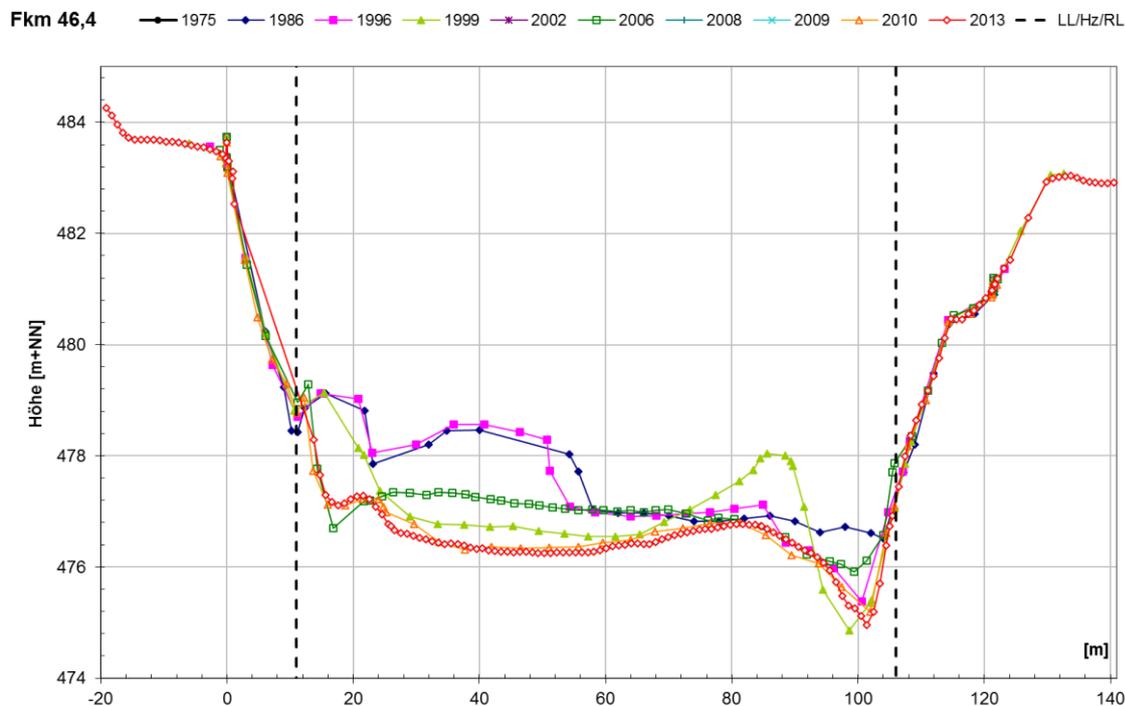


Abbildung 9: Entwicklung der Querprofile am Beispiel von Fkm 46,4

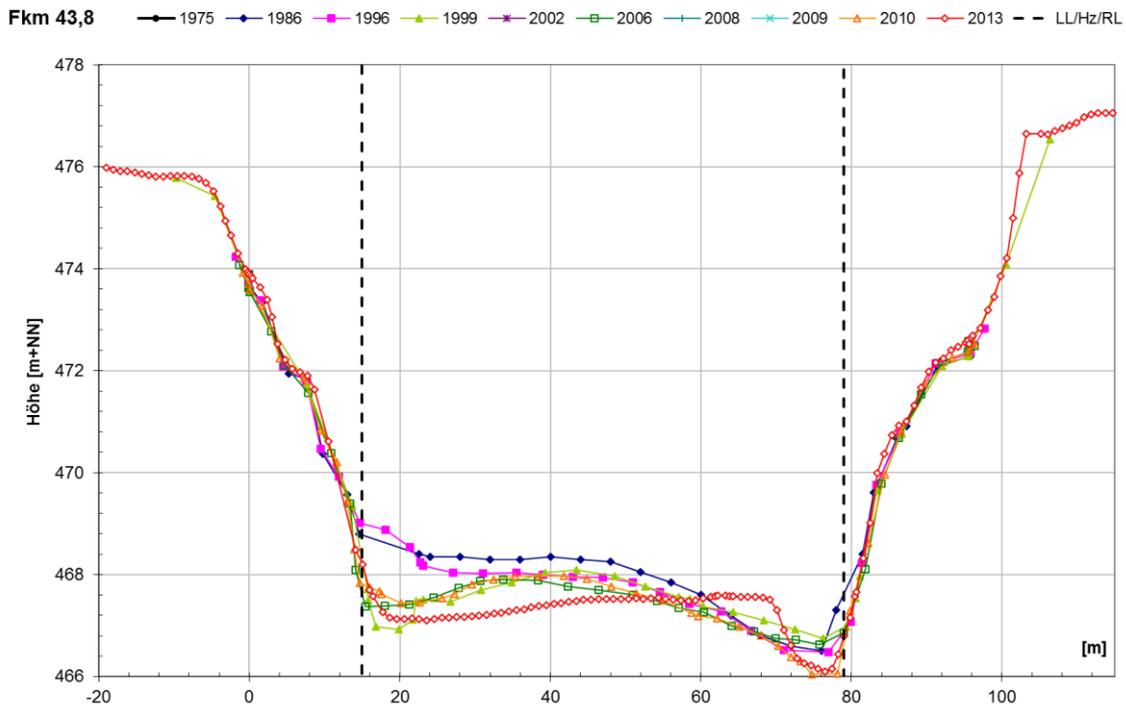


Abbildung 10: Entwicklung der Querprofile am Beispiel von Fkm 43,8

8.4.1.2 Mittlere Sohle

Die Längsschnitte in den nachfolgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der mittleren Sohle von 1996 bis 2010. Zudem ist in den Längsschnitten die Oberkante des Tertiärs eingetragen (siehe Kapitel 8.4.2). Die Längsschnitte sind auch in den Anlagen 2.14, 2.15 und 2.16 dargestellt.

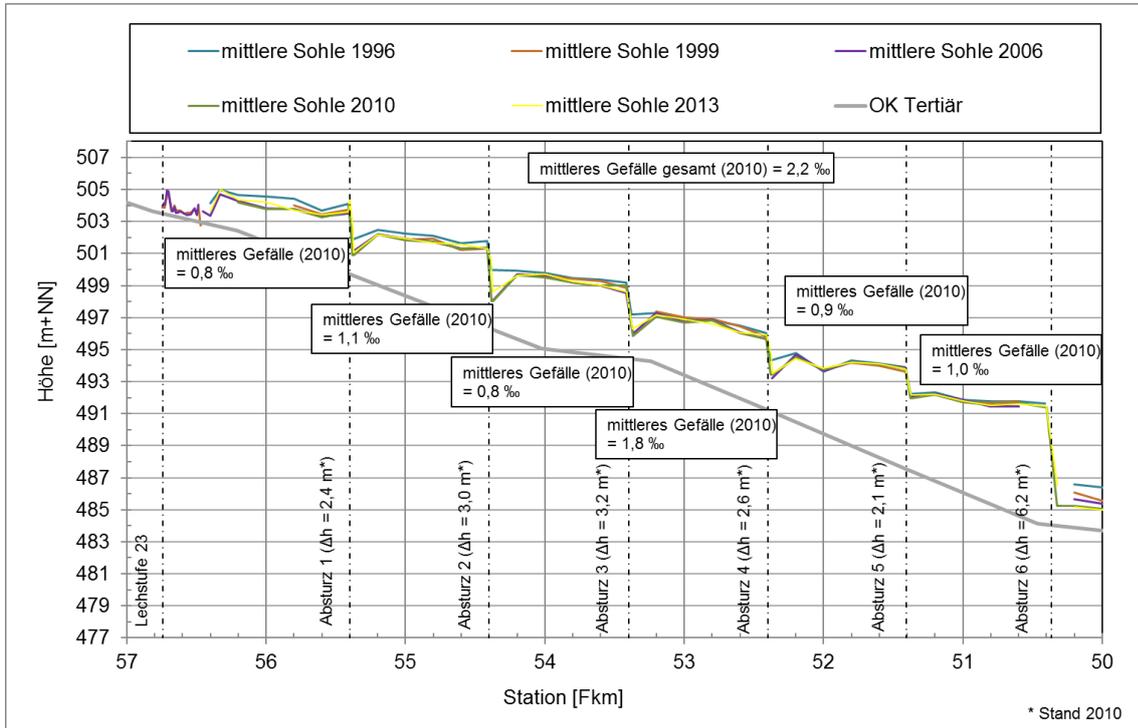


Abbildung 11: Mittlere Sohle, Staustufe 23 bis Absturz Fkm 50,4

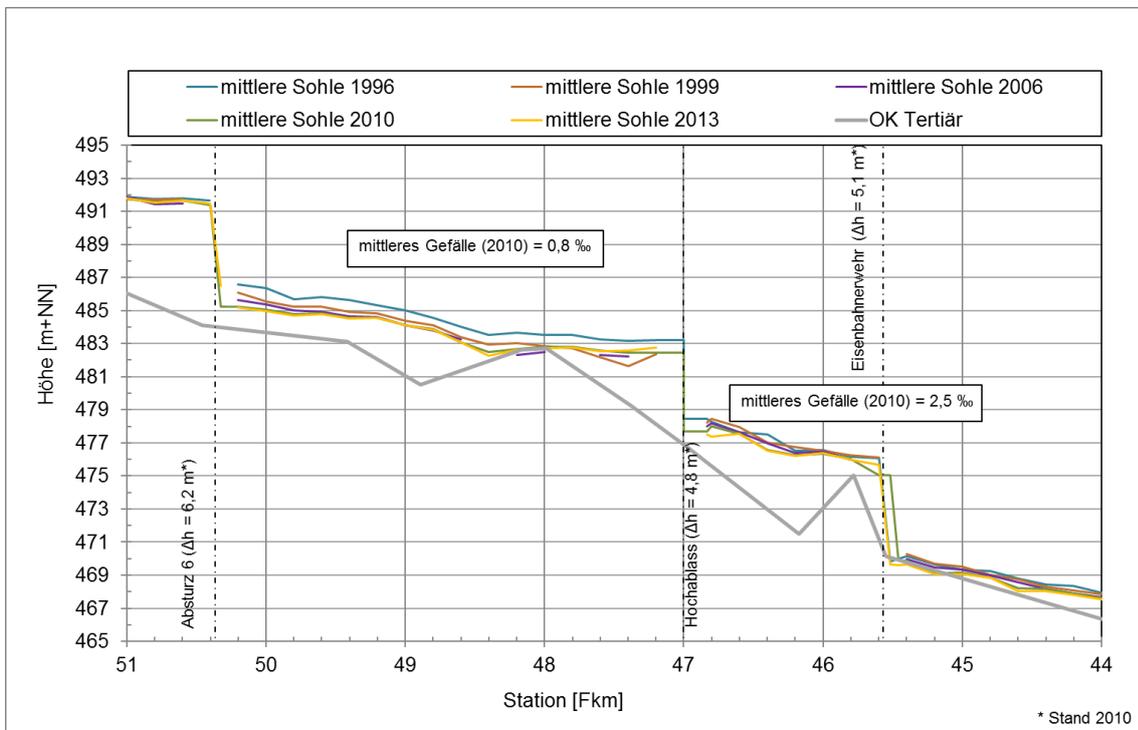


Abbildung 12: Mittlere Sohle, Absturz Fkm 50,4 bis Fkm 44

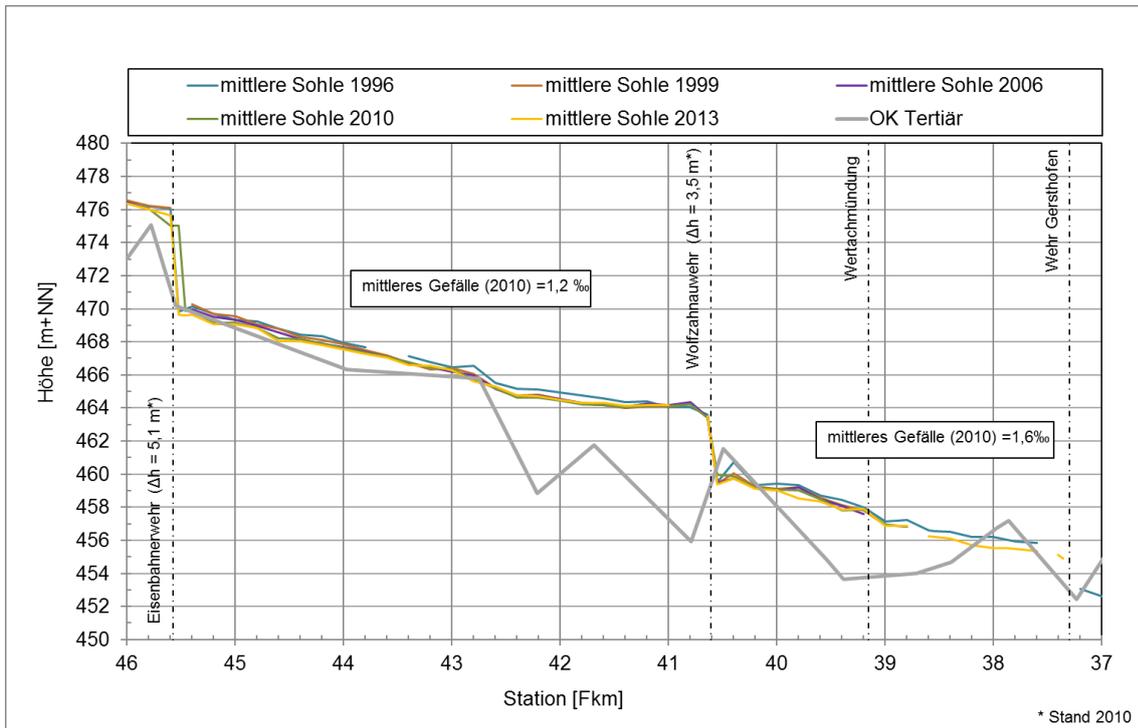


Abbildung 13: Mittlere Sohle, Eisenbahnerwehr bis Wehr Gersthofen

8.4.1.3 Massensummenlinien

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die aus den Querprofilaten abgeleiteten Massensummenlinien im Projektgebiet. Zum besseren Verständnis sind folgende Informationen hilfreich:

- Die Massensummenlinien wurden jeweils für Teilabschnitte erstellt. Die Teilabschnitte werden durch die vorhandenen Querbauwerke begrenzt.
- Zur besseren Lesbarkeit und Vergleichbarkeit der jeweiligen Massensummenlinien für einzelne Zeitabschnitte in einem Diagramm, wurden die Massensummenlinien normiert. Dadurch wird die durchschnittliche Volumenänderung pro Jahr angegeben.
- Eine fallende Massensummenlinie ist gleichbedeutend mit einer Eintiefung der Sohle. Steigt die Massensummenlinie an, so landet die Sohle in diesem Abschnitt an. Eine horizontale Massensummenlinie kennzeichnet einen Flussabschnitt ohne Eintiefung oder Anlandung in der jeweiligen Zeitspanne.

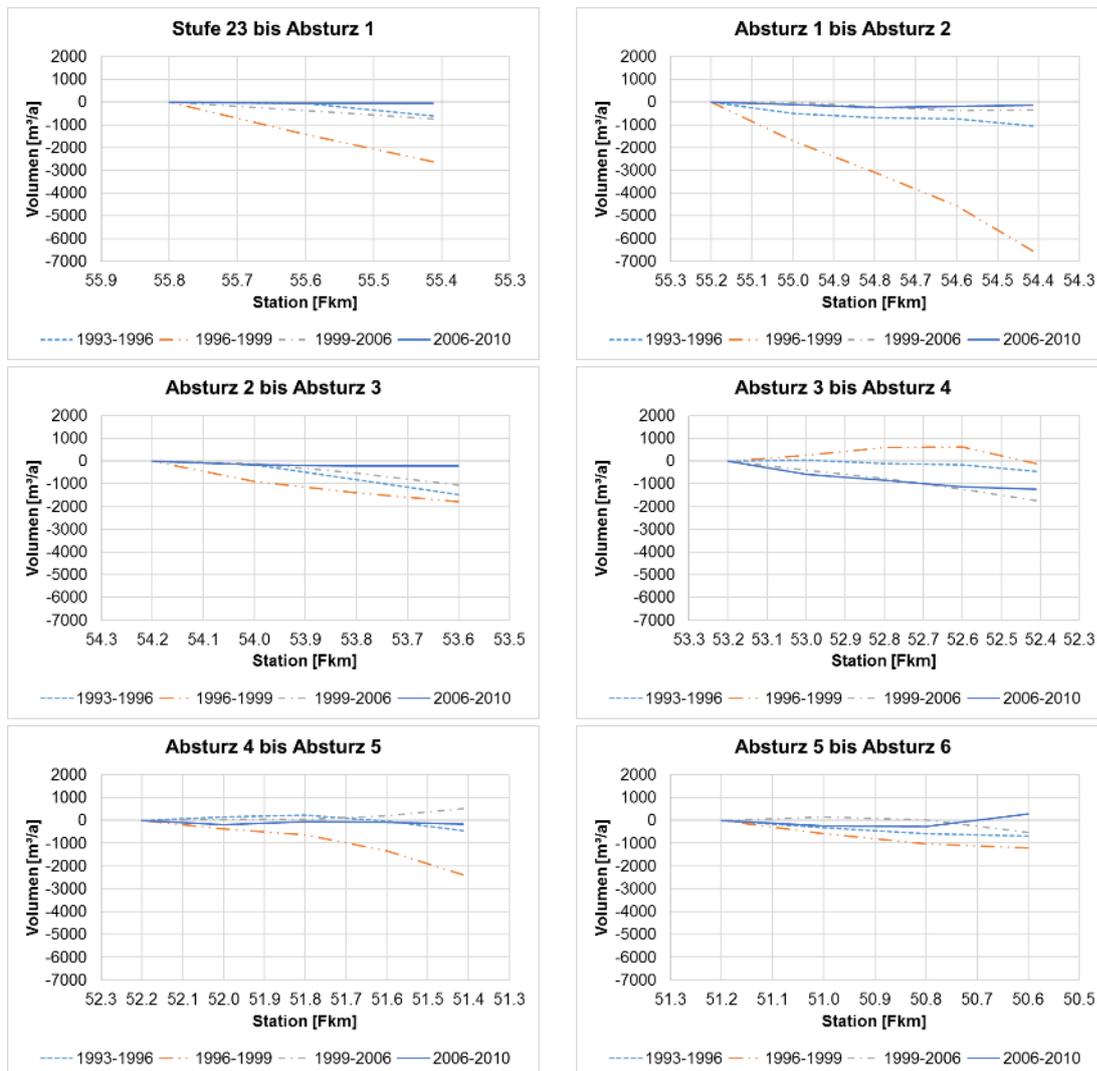


Abbildung 14: Normierte Massensummenlinien Lechstaustufe 23 bis Absturz 6

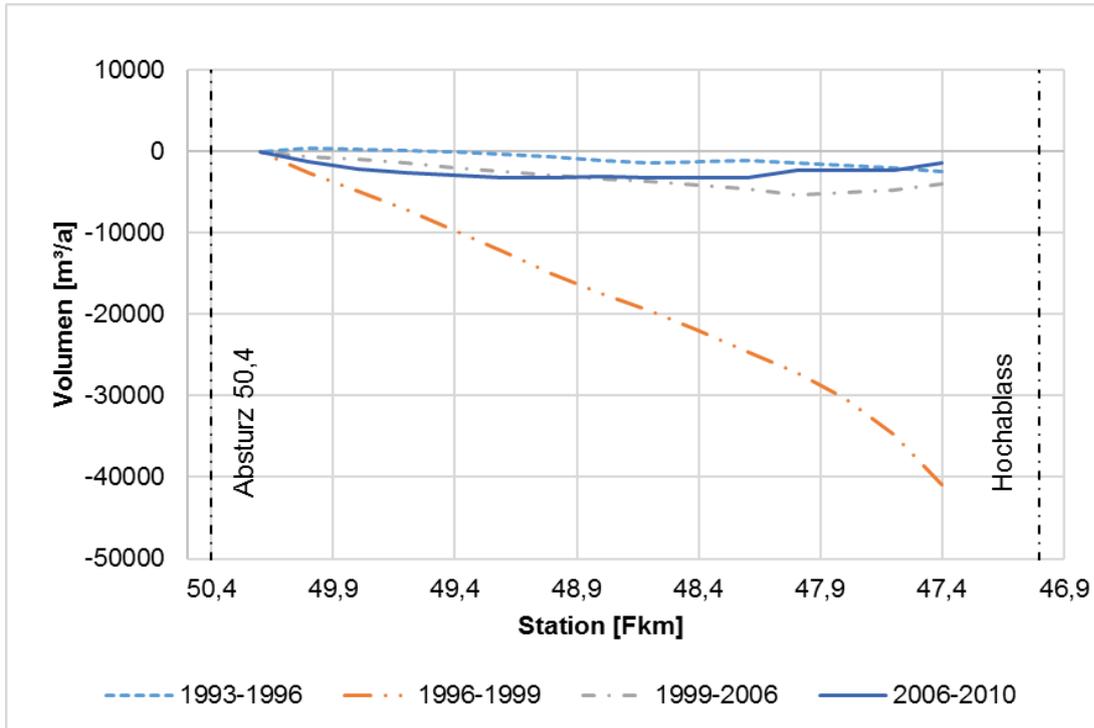


Abbildung 15: Normierte Massensummenlinien Absturz 6 bis Hochablass

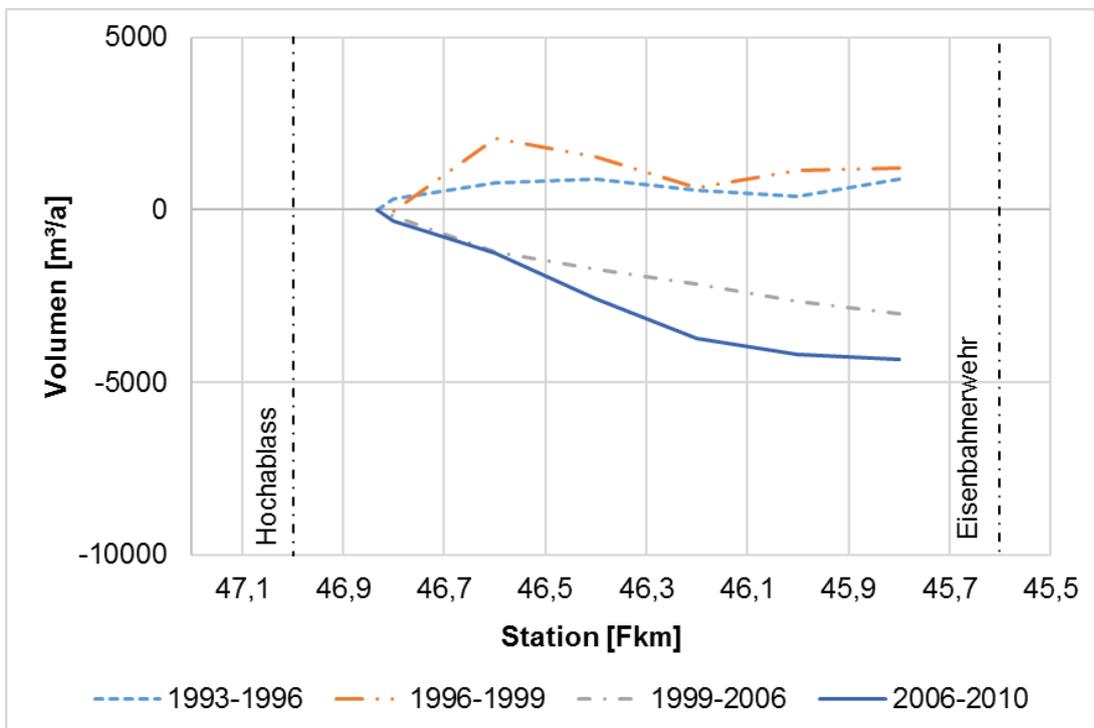


Abbildung 16: Normierte Massensummenlinien Hochablass bis Eisenbahnerwehr

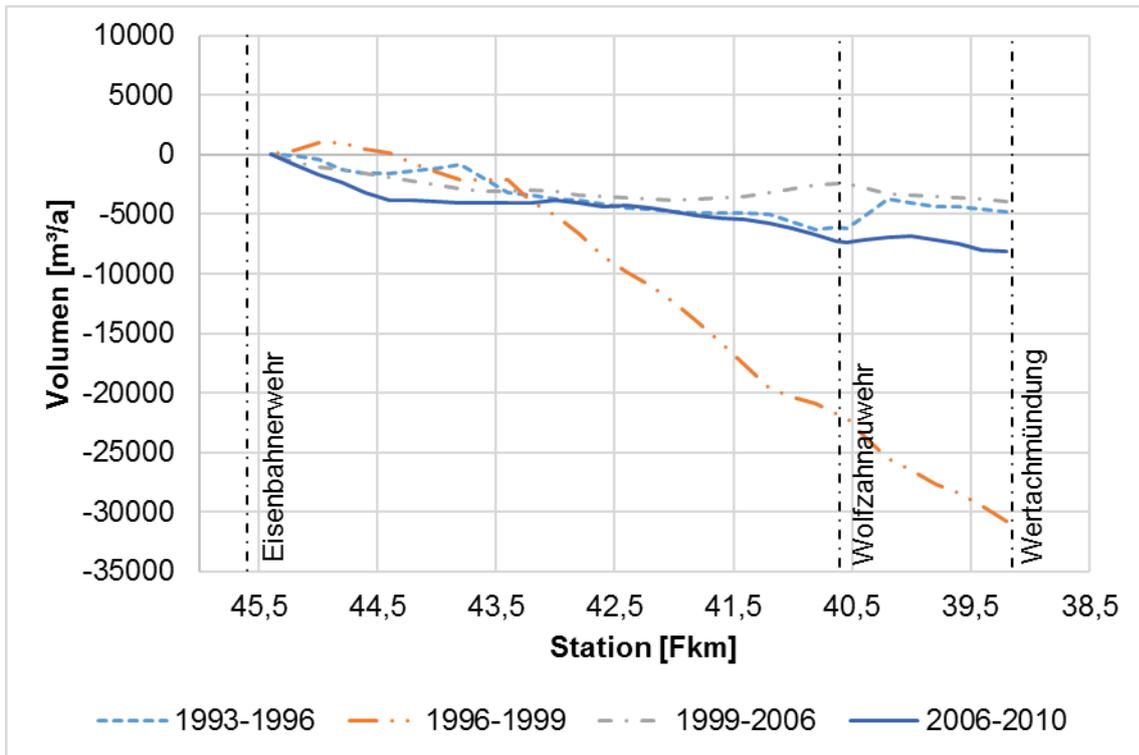


Abbildung 17: normierte Massensummenlinien Eisenbahnerwehr bis Wertachmündung

Ergänzend ist in Abbildung 18 die Massensummenlinie mit den Absolutwerten für den gesamten Projektbereich dargestellt. Daraus ist abzulesen, dass im Zeitraum von 1993 bis 2019 der Gesamtaustrag aus der Strecke etwa 450.000 m³ betrug. Mit 250.000 m³ Massenauswurf trug der Zeitraum von 1996 bis 1999 mit dem Hochwasser von 1999 mehr als die Hälfte davon bei. Die Massensummenlinien in Abbildung 18 sind im Bereich der Querbauwerke unterbrochen, weil hier keine Querprofile vorliegen.

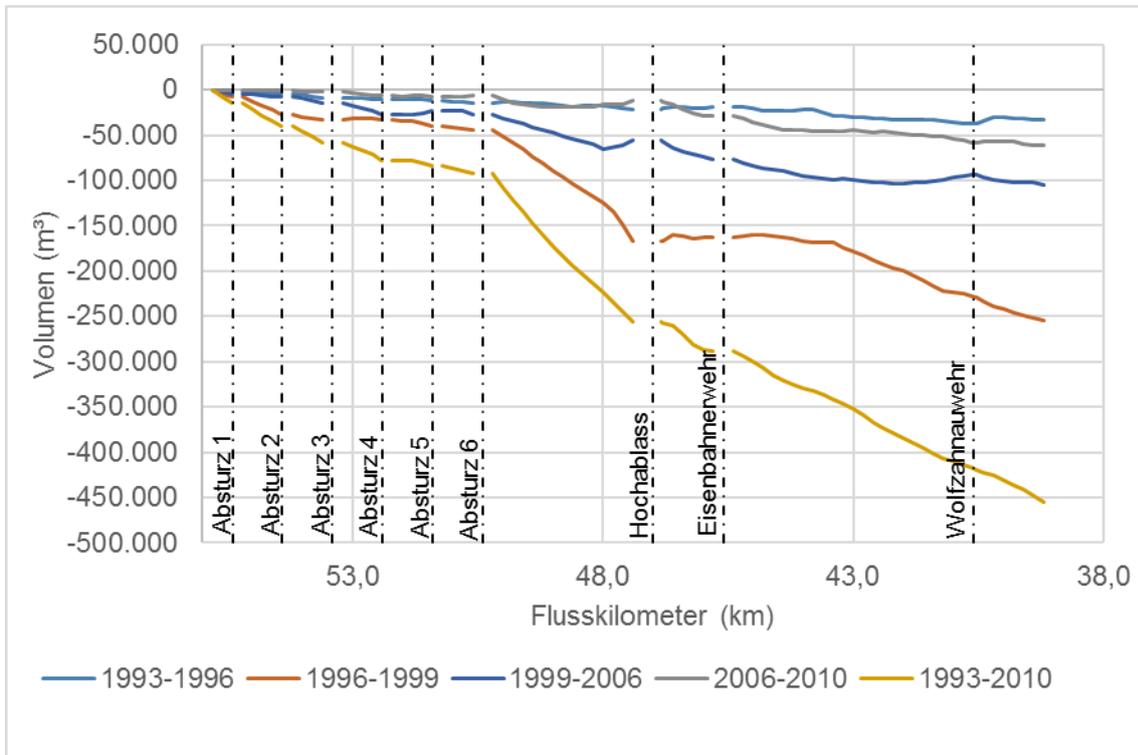


Abbildung 18: Massensummenlinien im gesamten Projektbereich

8.4.1.4 Interpretation und Bewertung der Sohlentwicklung

Zur Bewertung der Sohlentwicklung wird das Projektgebiet in folgende Abschnitte unterteilt (siehe dazu auch die Einteilung des Projektgebiets in Kapitel 3):

Projektbereich I	Staustufe 23 bis Hochablass
Teilabschnitt 1.1	Staustufe 23 bis Absturz 6
Teilabschnitt 1.2	Absturz 6 bis Hochablass
Projektbereich II	Hochablass bis Wehr Gersthofen
Teilabschnitt 2.1	Hochablass bis Eisenbahnerwehr
Teilabschnitt 2.2	Eisenbahnerwehr bis Wolfzahnauwehr
Teilabschnitt 2.3	Wolfzahnauwehr bis Wehr Gersthofen

Teilabschnitt 1.1: Staustufe 23 bis Absturz 6

Im Bereich der Abstürze ist die Sohle weitgehend stabil. Die im Abstand von 1 km angeordneten Abstürze erfüllen ihren Zweck. Lediglich zwischen den Abstürzen 1 und 2 zeigt die Massensummenlinie 1996-1999 mit knapp 7.000 m³/a einen deutlichen Volumenaustrag aus der Sohle. Auch im Vorgriff zu den weiteren Abschnitten sei darauf hingewiesen, dass die Massensummenlinien 1996-1999 insbesondere vom

Hochwasser 1999 geprägt sind. Die Sohlaufnahme 1999 fand im Herbst statt und damit nach dem Hochwasser, das sich im Frühjahr ereignet hat.

Teilabschnitt 1.2: Absturz 6 bis Hochablass

In diesem Bereich hat sich die Sohle in den letzten Jahren am stärksten eingetieft. Dies zeigen sowohl der Längsschnitt mit der mittleren Sohle als auch die Massensummenlinien.

Bemerkenswert ist, dass die Sohle in den „normalen“ Jahren relativ stabil ist. Eine deutliche Ausräumung der Flusssohle erfolgte offensichtlich beim Hochwasser 1999. Die Massensummenlinie 1996-1999 zeigt einen Gesamtaustrag von über 120.000 m³ bzw. einen spezifischen Austrag von etwa 40.000 m³/a, der vermutlich zu einem großen Teil auf das Hochwasser 1999 zurückzuführen ist.

Die Auswertungen ergeben zudem, dass die Eintiefung der Lechsohle bis zum Hochablass heranreicht. Dies zeigt, dass die sohlstützende Wirkung des Hochablasses bei großen Abflüssen offensichtlich nicht mehr vorhanden ist.

Teilabschnitt 2.1: Hochablass bis Eisenbahnerwehr

Die normierten Massensummenlinien zeigen ein uneinheitliches Bild. Im Gegensatz zu den anderen Abschnitten kann im Zeitraum 1996 bis 1999 keine Eintiefung beobachtet werden. Offensichtlich wurde die Strecke durch den großen Geschiebeeintrag von oberstrom zusammen mit der Stützwirkung des Eisenbahnerwehrs stabilisiert. In den Zeiträumen 1999 bis 2006 sowie 2006 bis 2010 wurden Eintiefungstendenzen gemessen. Der spezifische Massenaustrag betrug etwa 3.000 bis 4.000 m³/a.

Teilabschnitt 2.2: Eisenbahnerwehr bis Wolfzahnauwehr

Auch hier zeigen die Massensummenlinien eine nur wenig aktive Sohle mit einer Tendenz zur Eintiefung. Der durchschnittliche jährliche Volumenaustrag beträgt etwa 5.000 m³. Verteilt auf die gesamte Strecke zwischen Eisenbahner- und Wolfzahnauwehr entspricht dies einer durchschnittlichen Eintiefung von etwa 1,5 cm pro Jahr.

Ein deutlicher Massenaustrag hat sich aber auch hier beim Hochwasser 1999 ergeben. Dieser beträgt etwa 65.000 m³. Verteilt auf die Flusssohle zwischen den beiden Wehren entspricht dies einer durchschnittlichen Eintiefung von 20 cm.

Teilabschnitt 2.3: Wolfzahnuwehr bis Wehr Gersthofen

Da die Querprofilaufnahmen unterstrom der Wertachmündung bis zum Wehr Gersthofen nur teilweise durchgeführt wurden, macht hier eine entsprechende Auswertung mit Massensummenlinien keinen Sinn.

Die Massensummenlinien für den Abschnitt vom Eisenbahnerwehr bis zur Wertachmündung zeigen im Prinzip eine Fortführung der Erkenntnisse aus dem oberstromigen Teilabschnitt 2.2. Eine sehr moderate Eintiefung in „normalen Jahren“, aber eine deutliche Eintiefung der Flusssohle beim Hochwasser 1999. Die in Abbildung 13 dargestellten mittleren Sohlagen zeigen auch im Bereich zwischen der Wertachmündung und dem Wehr Gersthofen eine Eintiefung der Sohle, die vermutlich auch hier auf das Hochwasser 1999 zurückzuführen ist.

8.4.2 Oberkante Tertiär

8.4.2.1 Allgemeines

Der Lech hat durch die Eintiefung in den letzten Jahrzehnten die quartäre Kiesschicht reduziert. Teilweise ist der Kies bereits ausgeräumt, so dass der sogenannte Flinz als oberste Schicht des Tertiärs sichtbar wird. Insbesondere ist dies unterstrom der Querbauwerke der Fall. Am deutlichsten ist das Tertiär bei geringen Abflüssen unterstrom des Eisenbahnerwehrs sichtbar.

Das Erreichen des Tertiärs bzw. das großflächige Einschneiden der Flusssohle in das Tertär ist sowohl aus Sicht der Sohlstabilität, als auch hinsichtlich der Gewässerökologie problematisch.

Infolge des geringen Erosionswiderstands des tertiären Feinsands muss bei einem entsprechenden Abfluss eine sehr rasch voranschreitende Eintiefung der Sohle befürchtet werden. Wenn der Abschnitt, in dem sich die Sohle in das Tertär eintieft, eine gewisse Mindestlänge übersteigt (mehrere 100 Meter), so geht die Eintiefung mit einer Absenkung des Wasserspiegels einher, da in Folge der längenhaften Ausdehnung die Stützwirkung für den Wasserspiegel von unterstrom nicht mehr vorhanden ist. Dies kann dann eine rückschreitende Erosion mit entsprechenden negativen Auswirkungen zur Folge haben. Diese Art der sehr schnellen, nicht quantitativ prognostizierbaren Sohleintiefung wird auch als Sohldurchschlag bezeichnet. Im Falle von relativ kurzen aufragenden Tertiärschichten, in die sich die Flusssohle eintieft, ist die Problematik durch die Stützung des Wasserspiegels von unterstrom begrenzt. Der nach der Eintiefung entstehende Kolk im Tertär wird

nachfolgend mit nachkommendem Geschiebe im Laufe der Zeit wieder verfüllt. Eine rückschreitende Erosion ist hier nicht zu erwarten.

Im Stadtbereich gibt es auch Flinzschichten, die verfestigt sind und einen gewissen Erosionswiderstand aufweisen. Es ist davon auszugehen, dass diese Schichten eine stabilisierende Wirkung auf die Lechsohle haben. Allerdings dürften diese verfestigten Flinzschichten nicht großflächig auftreten und auch einem langsamen Erosionsprozess ausgeliefert sein. Sobald diese Flächen dann abgetragen sind, muss auch hier mit einem Sohldurchschlag gerechnet werden.

Aus Sicht der Gewässerökologie ist festzustellen, dass freiliegende Flinzflächen auf der Flusssohle für den größten Teil der Wasserorganismen der Flüsse des Alpenvorlandes weitgehend ungeeignete bis besiedlungsfeindliche Bereiche darstellen. Sie bieten in der Regel weder für Makrozoobenthos noch für Fische geeignete Unterstände, Hohlräume oder Lückensysteme. Die Organismen sind der angreifenden Strömung schutzlos ausgeliefert. Aus fischökologischer Sicht wirkt sich neben dem Verlust nahrungs- und unterstandsreicher Bereiche insbesondere der entstandene Mangel geeigneter Kieslaichplätze negativ auf die Bestände entsprechender angepasster Fischarten aus.

8.4.2.2 Längsschnitt der Tertiäroberkante

Die Ableitung der Tertiäroberkante erfolgt auf der Grundlage eines Längsschnitts des WWA Donauwörth vom Dezember 1958 bzw. einer Überarbeitung vom Juni 1969. Auf Basis von Bohrungen im Uferbereich wurde die „Oberkante der Flinzschicht“ im Bereich der Flusssohle des Lech abgeleitet.

8.4.2.3 Weitere Sondierungen

Zusätzliche Erkundungen durch das *Geobüro Ulm* im Bereich zwischen Fkm 42 und 43 des Lech ebenso wie bereits vorhandene Bohlprofile zeigen, dass die Tertiäroberkante in diesem Bereich direkt im Lech signifikant tiefer liegt als links- und rechtsufrig des Lech. Der Lech verläuft somit bereichsweise in einer Art Rinne und die Tertiäroberkante steigt links- und rechtsufrig des Lech verhältnismäßig steil an. Diese Rinne ist zunächst durch eine Ausräumung der Kiesüberdeckung und nachfolgende sukzessive Eintiefung des Lech in das Tertiär entstanden.

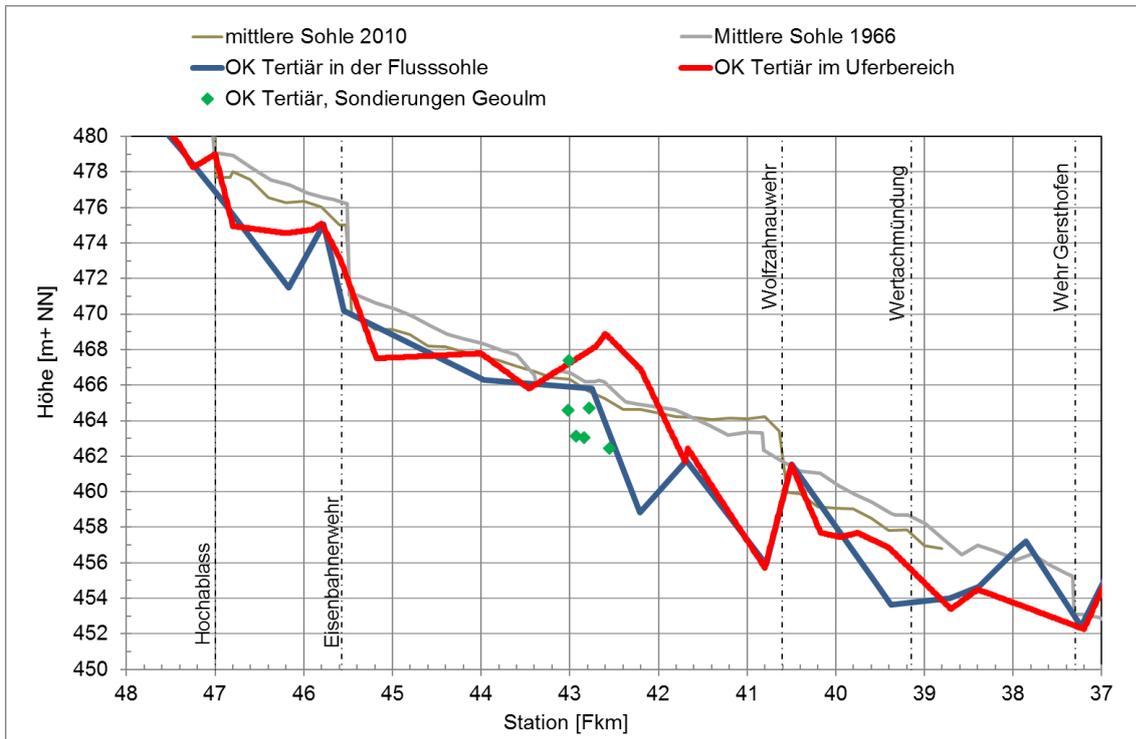


Abbildung 19: Ergebnis der Sondierung der Tertiäroberkante zwischen Fkm 42 und 43

8.4.3 Sohlzusammensetzung

Die Kornzusammensetzung des Sohlenmaterials ist für die Durchführung von morphologischen Untersuchungen eine unerlässliche Eingangsgröße. Neben Informationen über das Sohlenmaterial selbst (Unterschicht, Deckschicht) ist auch die Zusammensetzung des Bodens in den Vorländern z. B. als potenzielle Sedimentquelle für angedachte Geschiebezugaben ein wichtiger gewässerspezifischer Parameter. In der Vergangenheit wurden bereits verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Es stehen Siebanalysen aus den Jahren 1965, 1987 und 1999 zur Verfügung. Zusätzlich wurden 2011 im Rahmen der morphologischen Grundlagenstudie der TU München [14] Mischproben, Deckschichtproben, Vorlandproben und Proben in einer Kiesgrube südlich und nördlich von Augsburg entnommen und analysiert. Das dennoch bestehende Datendefizit im Stichprobenumfang bzw. im Stadtbereich von Augsburg konnte bei einem gemeinsamen Ortstermin (ARGE und WWA Donauwörth) zur Geschiebeprobenentnahme im Herbst 2016 erheblich verbessert werden. In der Anlage 5.1, Kapitel 3.5 werden diese Erhebungen im Detail beschrieben. Sämtliche für die weitere Bearbeitung verwendeten Kornkenngrößen aller Proben der Jahre 2011 bis 2016 sind in Tabelle 3.1, Anlage 5.1 zusammengestellt.

Für morphodynamische Simulationen mittels der Software HYDRO_FT-2D ist die Vorgabe eines flächigen Sohlenaufbaues notwendig. Eine Ableitung einer

vollständigen Korngrößenverteilung alleine aus den vorhandenen Punktaufnahmen ist jedoch grundsätzlich nicht möglich. Aus diesem Grund wird die morphologisch aktive Gewässersohle in sogenannte Homogenabschnitte eingeteilt. Gleichartigen Homogenabschnitten werden gleichartige Kornverteilungen zugewiesen. In weiterer Folge werden sogenannte „Einschwemmrechenläufe“ durchgeführt. Das fraktionierte Geschiebetransportmodell erlaubt u.a. die Simulation der Kornsortierungsprozesse. In hydraulisch beanspruchten Bereichen stellt sich somit eine gröbere Kornzusammensetzung ein, während sich in Auflandungsbereichen eher feines Sediment ablagert. Das morphologische Modell wird letztlich aktiv genutzt, um als Resultat eine wesentlich bessere Aussage über die tatsächliche Verteilung der Korngrößen im Flussbett treffen zu können. Die genaue Vorgangsweise wird in Anlage 5.2, Kapitel 3.1.2 näher erläutert. Dort sind auch die resultierenden Ausgangszustände der Kornzusammensetzung für die Austausch- und Unterschicht als Längenschnitte dargestellt.

8.5 Hochwassersituation

Im Planungsbereich I zwischen der Staustufe 23 (Fkm 56,7) und dem Hochablass (Fkm 47,0) befinden sich durchgehend beidseitige Hochwasserschutzdeiche, die das Hinterland gegen ein HQ100 schützen (siehe Abbildung 20). Der vorhandene Freibord beträgt bis auf einzelne lokale Abweichungen mindestens 1 m (siehe Abbildung 21).



Abbildung 20: Ausschnitt der Hochwassergefahrenkarte HQ100 für den Bereich Stadtwald (Quelle: IÜG: Informationsdienst überschwemmungsgefährdete Gebiete,

https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_ue_gebiete/informationsdienst/index.htm

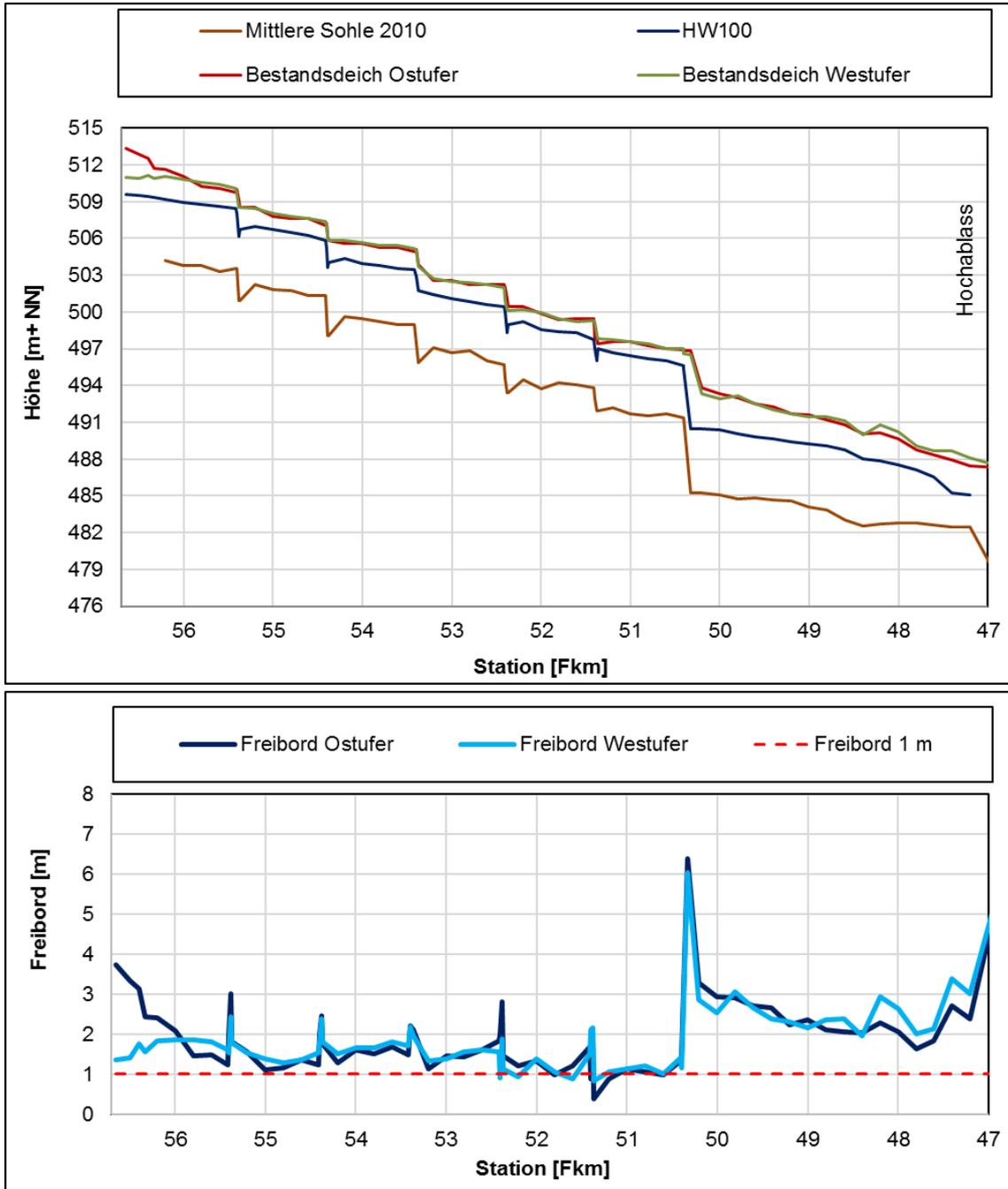


Abbildung 21: Längsschnitt bestehender Hochwasserschutzanlagen, Wasserspiegel bei HQ100 und Freibord im Bereich von Fkm 56,7 bis Fkm 47,0

Der Lech ist im Planungsbereich II durch seine massive Eintiefung der Flusssohle geprägt. Bezogen auf die berechneten Wasserspiegel bei HQ100 im Bezugszustand und den jeweiligen Geländehochpunkten beträgt der Freibord auch hier im Minimum 1 m.

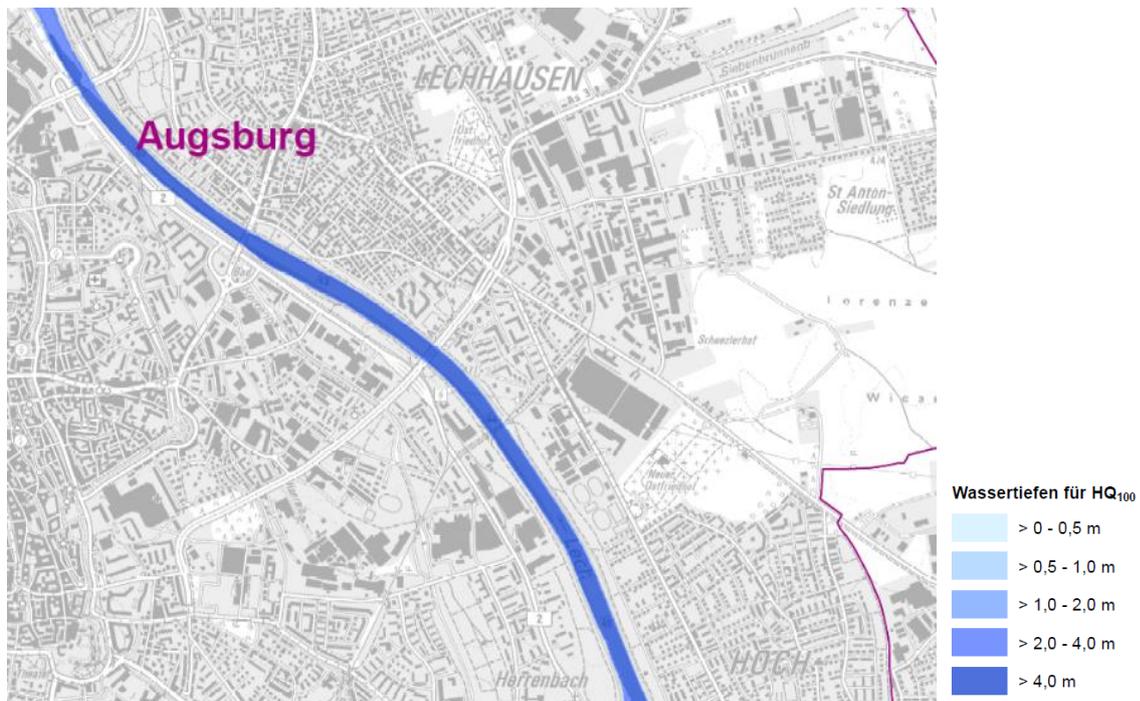


Abbildung 22: Ausschnitt der Hochwassergefahrenkarte HQ100 für den innerstädtischen Bereich (Quelle: IÜG: Informationsdienst überschwemmungsgefährdete Gebiete, https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_ue_gebiete/informationsdienst/index.htm)

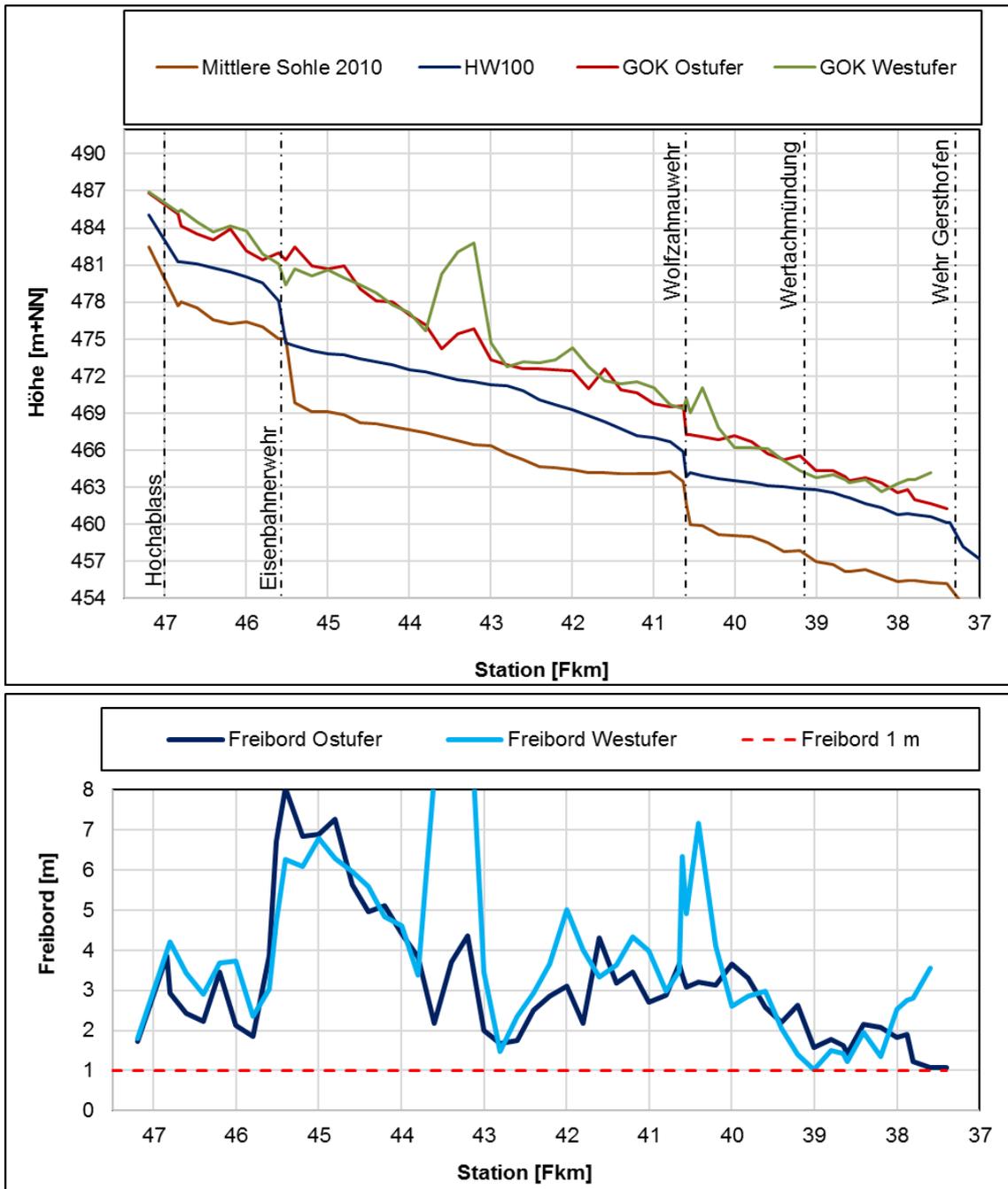


Abbildung 23: Längsschnitt bestehender Hochwasserschutzeinrichtungen, Wasserspiegel bei HQ100 und Freibord im Bereich von Fkm 47,0 bis Fkm 37,4.

In den Anlagen 2.5 bis 2.7 sind weitere Darstellungen enthalten, in denen die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen im Projektgebiet für den Istzustand dargestellt werden.

- Anlage 2.5: Überflutungsflächen bei HQ10 und HQ100
- Anlage 2.6: Wasserspiegellängsschnitte
- Anlage 2.7: Querschnitte mit eingetragenen Wasserspiegeln

8.6 Sparten und Brücken

Im Vorfeld der Variantenentwicklung wurde bei den potentiellen Spartenträgern eine Spartenanfrage durchgeführt. In der nachfolgenden Tabelle sind die im Untersuchungsgebiet ermittelten Spartenträger mit den dazugehörigen Sparten aufgelistet. Die Sparten sind in dem Bestandslageplan der Anlage 2.2 eingezeichnet.

Tabelle 10: Spartenträger und Sparten im Projektgebiet

Spartenträger	Sparte
Stadt Augsburg (Tiefbauamt)	Stromkabel Abwasser
Stadtwerke Augsburg	Stromkabel Wasserversorgung Erdgasleitungen Fernwärmeleitungen
Gemeinde Merching	Druckleitung
Gemeinde Kissing	Wasserversorgung
LEW	110kV Freileitung Telekommunikation
Telekom	Telekommunikation
Kabel Deutschland/Vodafone	Telekommunikation
Bayernets GmbH	Gasleitungen Telekommunikation
Bayernwerk AG	Stromkabel
DB Netz AG	Bahnstromleitung (Freileitung) Streckenfernmeldekabel (auf Brücke) Bahnhöfskabel (auf Brücke) Lwl-Kabel (auf Brücke)
DB Systel	
Uniper	Gewässer (Fischaufstieg Staustufe 23)
Augsburger Localbahn GmbH	Diverse <i>„alle Sparten der Augsburger Localbahn verlaufen in unserer Eisenbahnbrücke (ca. Fluss-km 44) und im Anschluss daran jeweils in unserem Bahndamm“</i>

Spartenträger	Sparte
Wolfzahnuwehr LUWA Energy (Eisenbahner Wehr)	„keine Sparten im Ober- und Unterwasser. Im Uferbereich sind Anker des Bohrpfahlverbaus sowie eine 10 kV Leitung des Anschlusses des Kraftwerks, Telefon und Abwasserleitung.“

In den Planungsbereichen I und II führen acht Brücken über den Lech, siehe Tabelle 11.

Tabelle 11: Brücken in im Projektgebiet

Flusskilometer	Brücke	Nutzung
56,70	St2380 zwischen Königsbrunn und Mering	Straßenverkehr
45,92	Bahnbrücke zwischen Herrenbach und Hochzoll	Schienenverkehr
45,72	Afrabrücke	Straßenverkehr, Fußgänger, Radfahrer, Straßenbahn
44,06	Osramsteg	Fußgänger, Radfahrer, Localbahn
43,60	Anton-Fugger-Brücke	Straßenverkehr, Radfahrer, Fußgänger
42,63	Ulrichsbrücke	Straßenverkehr, Fußgänger, Radfahrer, Straßenbahn
41,65	MAN-Brücke	Straßenverkehr, Radfahrer, Fußgänger
37,82	A8 südlich von Gersthofen	Straßenverkehr

8.7 Bannwald

Das Projektgebiet liegt im sogenannten „Stadtwald Augsburg“ und ist gleichzeitig als Bannwald nach Art. 11 BayWaldG ausgewiesen (Abbildung 24). Bannwälder sind von außergewöhnlicher Bedeutung und in Verdichtungsräumen unersetzlich. Sie müssen daher grundsätzlich in ihrer Fläche erhalten werden.

Um möglichen Handlungsspielraum für die Renaturierung des Lech, die unweigerlich auch Bannwaldflächen beanspruchen würde, auszuloten, fand am 23.01.2017 am AELF Augsburg eine Besprechung mit Vertretern des WWA Donauwörth statt, mit dem Ziel, einen rechtskonformen Umgang mit Bannwaldflächen im Rahmen des Projektes

Licca liber sicherzustellen. Die Ergebnisse sind in einem Protokoll vom 24.01.2017 wie folgt festgehalten:

- *Grundsätzlich gilt per Waldgesetz für Bayern (BayWaldG) ein generelles Rodungsverbot in Bannwäldern. Wegen des hohen öffentlichen Interesses an der Umsetzung des Projektes ist jedoch eine Ausnahme möglich, sofern ein Ausgleich angrenzend an den vorhandenen Bannwald geschaffen wird. Darüber hinaus ist entscheidend, dass die Funktionen des Waldes erhalten bleiben.*
- *Der gerodete Bannwald ist flächenmäßig 1:1 auszugleichen.*
- *Die Bannwaldverordnung beschreibt lediglich die Außengrenzen des bestehenden Bannwaldes. Allen Waldflächen i. S. d. Art. 2 BayWaldG im Verordnungsbereich kommt demzufolge die Bannwaldeigenschaft zu. Dies bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass innerhalb dieser Grenzen ausschließlich Wälder vorliegen.*
- *Deiche als technische Anlagen sowie zu deren Schutz angelegte Unterhaltungswege sind kein Wald, auch wenn diese innerhalb der Grenzen der Bannwaldverordnung liegen. Sie werden bei einem Eingriff nicht als Rodungsfläche bilanziert. Im Falle eines Rückbaus mit anschließender Aufforstung, können diese Flächen deshalb auch als Bannwaldersatz angerechnet werden. Überwiegend der Waldbewirtschaftung dienende Wege sind demgegenüber Wald. Dies gilt auch für aufgelassene Deiche, die sich natürlich mit Wald bestockt haben. Diese sind ebenfalls dem Bannwald zuzuordnen.*
- *Neu angelegte Deiche auf Waldflächen inkl. der dazugehörigen Unterhaltungswege sind im Umkehrschluss vollständig auszugleichen.*
- *Für die Planung von Licca liber ist allgemein zu beachten, dass dem Wald dienende oder gleichgestellte Flächen Wald i. S. d. Art.2 BayWaldG sind. Dazu gehören neben den Waldwegen, Waldeinteilungs- und Waldsicherungsstreifen beispielsweise auch Waldblößen, Waldlichtungen oder auch Brennenstandorte bis zu einer Größe von ca. 2000 m².*
- *Für die Ermittlung der Rodungsflächen zur Aufweitung des Lech ist die Breite der Abflussrinne maßgeblich, die für den Hochwasserabfluss zwingend freigehalten werden muss.*
- *Uferbereiche bis 10 m Breite, die der Eigenentwicklung bzw. Sukzession überlassen werden und nicht für den Abfluss freigehalten werden müssen, behalten zunächst ihre Waldeigenschaft.*
- *Waldflächen die durch eine eigendynamische Entwicklung des Hauptgewässers beansprucht werden, müssen nicht ausgeglichen werden. Dies gilt auch, wenn der Uferverbau vorher aktiv entnommen wurde. Falls aber die der Seitenerosion*

preisgegebenen Flächen z. B. durch eine Rodung vorbereitet werden, ist ein entsprechender Ausgleich erforderlich.

- *Auch aktiv angelegte Nebengewässer behalten als dem Wald gleichgestellte Flächen bis zu einer Breite von durchschnittlich 10 m ihre Waldeigenschaft. Wird diese Breite in Folge durch eigendynamische Gewässerentwicklung oder durch (weitere) aktive Gestaltung überschritten, ist die gesamte Fläche als Rodungsfläche auszugleichen.*
- *Gestaltungsmaßnahmen (wie z. B. die Entnahme des Uferverbaus) und Gehölzentnahmen im Uferbereich zwischen Gewässer und Unterhaltungsweg, entsprechen bis zu einer Breite von maximal 10 m nicht dem Tatbestand einer Rodung.*
- *Zum Zeitpunkt der Umsetzung der Maßnahmen sind nur die Waldflächen auszugleichen, die durch bauliche Maßnahmen (z. B. maschinelle Aufweitung des Lech) unmittelbar betroffen sind. Waldflächen, die im Anschluss an die Baumaßnahmen z. B. durch eigendynamische Prozesse im Nebengewässer betroffen sind, sind erst zu einem späteren Zeitpunkt auszugleichen. Eine Erhebung dieser Flächen erfolgt z. B. durch eine Luftbildauswertung im Abstand von ca. 10 Jahren. Mit Baubeginn bzw. als Grundlage für eine Genehmigung sind dafür erforderliche Ausgleichsflächen (noch) nicht nachzuweisen.*
- *Bei fehlenden bzw. objektiv nicht erbringbaren Ausgleichsflächen gibt es ggf. die Möglichkeit „zwingendes öffentliches Interesse“ für das Projekt Licca liber geltend zu machen. Dies sollte jedoch vorab auf ministerialer Ebene (StMUV und StMELF) entschieden werden.*
- *Ebenso wäre die Möglichkeit, den Waldverlust angrenzend an einen durch eine andere Bannwaldverordnung erklärten Bannwald auszugleichen, vorab mit dem StMELF abzuklären.*
- *Genauso wäre vorab mit dem StMELF die Möglichkeit abzuklären, ob bestehende, an den Bannwald angrenzende Waldflächen als Ersatzflächen anrechenbar sind, die vom WWA aufgekauft und in die Bannwaldverordnung durch eine Änderungsverordnung zusätzlich aufgenommen werden. Grundvoraussetzung dafür wäre natürlich die Bereitschaft und Zustimmung der betroffenen Kommunen und vor allem des Verordnungsgebers.*

Ein gemeinsames Ministerialschreiben des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und des Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz vom 28.09.2018 bekräftigt und unterstützt die mit dem AELF Augsburg getroffenen Vereinbarungen.

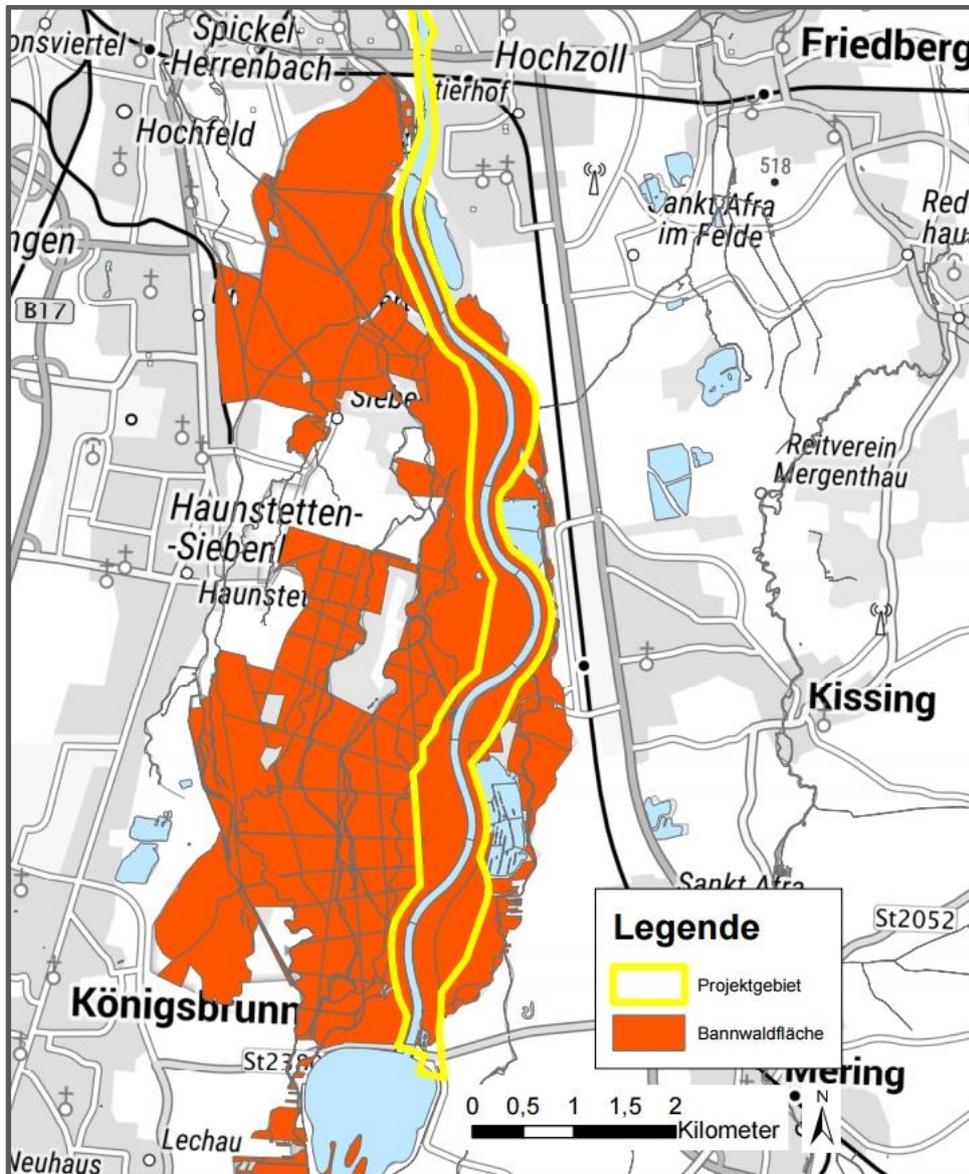


Abbildung 24: Bannwaldfläche

8.8 Natura2000

Das Projektgebiet liegt größtenteils innerhalb des FFH-Gebiets „Lechauen zwischen Königsbrunn und Augsburg“ (DE 7631-371). Es umfasst im Wesentlichen das bestehende Naturschutzgebiet „Stadtwald Augsburg“ (Nr. 700.03, Verordnung vom 25.4.1994), das Lechgerinne zwischen der Staustufe 23 und dem Hochablass sowie zusätzlich dazu einige weitere Grünlandflächen (Abbildung 25). Laut

Standarddatenbogen 2004 beträgt die Fläche des FFH-Gebietes insgesamt 2308 Hektar [16, S. 1ff].

Das FFH-Gebiet ist überwiegend bewaldet, wobei unter den naturnahen Bestockungsformen, den Auwäldern und den von der Wald-Kiefer geprägten Waldbildungen ein besonderes Schwergewicht für die Ausprägung des Gebietscharakters zufällt. Ausbleibende Überflutungen der Vorländer sowie große Flurabstände stellen unzureichende Rahmenbedingungen für das Überleben intakter Auwäldern dar.

Es enthält sowohl in seinen bewaldeten Gebietsteilen als auch an seinen vielfach offenen Rändern zahlreiche „Lechheiden“, die mit ihren Lebensraumtypen Kalkmagerrasen, in geringerem Umfang auch Pfeifengraswiesen, selten auch kalkreiche Niedermoore den Wert des gesamten FFH-Gebiets für den Arten- und Biotopschutz sowie für die Biodiversität ganz wesentlich bestimmen. Darüber hinaus prägen zahlreiche Fließgewässer den Charakter des gesamten Teilgebiets. An seinen westlichen und südlichen Randseiten befinden sich größere Wiesenflächen, die wenigstens teilweise wertvolle Vorkommen des Lebensraumtyps magere Flachland-Mähwiesen beherbergen (s. AELF 2014; S.2ff).

Im vorliegenden Managementplan für das FFH-Gebiet [16] werden in Teil 1 (Fachgrundlagen) sämtliche vorkommende FFH-Lebensraumtypen im Hinblick auf ihr Vorkommen, ihr Ausmaß und ihren Erhaltungszustand beschrieben. Eine Übersicht zu allen LRT-Vorkommen sowie zu deren Bewertung bietet Tabelle 12. Teil 2 des Managementplans enthält Erhaltungsziele sowie „notwendige und wünschenswerte Erhaltungsmaßnahmen“ zu den FFH-Lebensraumtypen.

Das erste Erhaltungsziel ist im Managementplan wie folgt definiert:

Erhaltung der großflächig zusammenhängenden Auenlandschaft mit Lechfließstrecke und hoher Strukturvielfalt als einer der bedeutendsten Auenabschnitte des bayerischen Lechs. Erhaltung großflächiger, unzerschnittener Lebensraumkomplexe in der Lechaue, insbesondere Auwald- und Magerrasenkomplexe. Gewährleistung ausgedehnter, wenig gestörter Lebensräume für charakteristische Arten des Auwalds und seiner Gewässer mit großen Raumansprüchen. Erhalt der Lebensbedingungen der charakteristischen Tier- und Pflanzenarten, insbesondere der artenreichen Magerrasen. Erhaltung des Verbunds zu weiteren Gebieten des kohärenten Netzes Natura 2000 [16, S. 46].

Aus dem Flussdialog zum Projekt Licca liber sind in Bezug auf das Natura 2000-Schutzgebiet folgende Aussagen zu entnehmen, die als Basis für die weiteren Schritte zur Optimierung und Bewertung der Varianten dienen:

- Leitbild für den Naturschutz: Ermöglichung einer möglichst großen Dynamik am Lech (siehe Protokoll Flussdialog Licca liber - Workshop Naturschutz vom 25. Juli 2013 [17])
- Dynamischer Naturschutz hat Vorrang vor konservativem Naturschutz (siehe Kapitel 7 Ergebnisprotokoll – Hintergrundgespräch Naturschutz / Flussdialog Licca liber vom 20.09.2013)
- FFH-Befreiung möglich, aber FFH-Erhaltungsziele sind einzuhalten (siehe Kapitel 5 Ergebnisprotokoll – Hintergrundgespräch Naturschutz II / Flussdialog Licca liber vom 21.10.2013 [17])

Abstimmungsgespräch mit Sachgebiet 51, Regierung von Schwaben (RvS):

Am 28.03.2017 fand an der RvS eine Besprechung mit Vertretern des WWA Donauwörth statt, deren Ziel es war, den Umgang mit naturschutzrechtlichen Vorgaben bei der Variantenfindung für das Projekt Licca liber abzustimmen. Die Ergebnisse sind in einem Protokoll vom 04.04.2017 wie folgt festgehalten:

Eingriffs- Ausgleichsbilanzierung

- *Sämtliche aktiv durchgeführten Maßnahmen zur Umsetzung von Licca liber sind als Eingriff entsprechend der BayKompV zu bilanzieren. Dazu gehören u.a. Deichrückbau, Deichneubau, Gewässeraufweitungen.*
- *Für die anschließende Ermittlung des Ausgleichsbedarfs, kann jedoch die ökologische Aufwertung des gesamten Projektraumes gegengerechnet werden.*
- *Eine Ausnahme sind naturnah gestaltete, neugebaute Deiche, für die die BayKompV gesonderte Regeln vorsieht.*
- *Für die Bilanzierung wird ein bestimmter Entwicklungszustand des Projektgebietes definiert, der mit dem Sachgebiet 51 abgestimmt wird. Spätere eigendynamische Entwicklungen des Projektgebietes (z. B. durch die aktive Entnahme des Uferverbau) werden als natürlich angesehen und müssen nicht nach BayKompV bilanziert werden.*
- *Kartierungen nach BayKompV werden erst zum Planfeststellungsverfahren durchgeführt.*

Natura 2000

- *Durch die geplanten Deichrückverlegungen wird sich die Fläche der als LRT kartierten Magerasen im FFH-Gebiet temporär verringern. Sofern die neugebauten Deiche so gestaltet werden, so dass sich zukünftig wieder ein gleichwertiger Magerrasen entwickeln kann, ist dies durch die Natura 2000 Rechtsprechung*

abgedeckt und führt nicht zu einer erheblichen Beeinträchtigung des Natura 2000-Gebietes.

- *Die Auwälder sind im Gegensatz zu den Magerrasen prioritäre Lebensraumtypen. Eine temporäre Verringerung der Flächen (z. B. durch Gewässeraufweitungen) wird kritisch gesehen. Die Planung erfolgt deshalb weiterhin so, dass möglichst wenig Auwaldfläche durch aktive Gestaltung entfernt werden muss. Ist ein unmittelbarer Ausgleich nicht möglich muss der Weg über das BfN bzw. die Kommission beschritten werden.*
- *Für den Ausgleich der betroffenen Auwaldflächen strebt das WWA Donauwörth an, Auwälder (trockene Ausprägung) im Anschluss an das FFH-Gebiet nordöstlich der Staustufe 23 zu erwerben. Lt. HNB könnte dies mit entsprechender Begründung auf den Verlust der Auwälder im FFH-Gebiet angerechnet werden. Eine Erweiterung des FFH-Gebietes um diese Flächen wäre aber erst mit einer Überarbeitung der Natura 2000 Verordnung möglich.*
- *Die Zuständigkeit für die FFH-Verträglichkeitsprüfung liegt bei der HNB. Die Forstverwaltung gibt dazu eine Stellungnahme ab. Die Entscheidung durch die HNB erfolgt im Benehmen mit der Forstverwaltung.*
- *Ob eine Einbeziehung des Kleinseggenriedes im Mondschein-Geräunt aus naturschutzrechtlicher Sicht möglich ist (Thema Ausgleich) und naturschutzfachlich gewünscht wird, prüft die HNB und teilt die Entscheidung dem WWA mit. Das Ergebnis wird in den Varianten zu Licca liber entsprechend berücksichtigt.*
- *Spätere eigendynamische Entwicklungen des Projektgebietes (z. B. durch die aktive Entnahme des Uferverbaus) werden als natürlich angesehen und müssen nicht bilanziert werden.*

Artenschutz

- *Das Thema Artenschutz mit dem dafür erforderlichen Ausgleichsbedarf kann zum jetzigen Stand der Planung noch nicht abgeschätzt werden.*
- *Durch die Maßnahmen gefährdete Reptilien (vor allem die Schlingnattern in den Uferversteinungen) müssen vor der Umsetzung des Vorhabens umgesiedelt werden.*

Zusammenfassend ergeben sich folgende Grundsätze zur Variantenoptimierung bzw. Minimierung der Eingriffe auf FFH-Lebensraumtypen (FFH-LRT):

- Neue Deiche in Bereiche verlegen, die keine FFH-LRT darstellen;
- Lebensräume mit langer Entwicklungsdauer (Niedermoore) nicht angreifen;

- Flächen mit LRT bei Vorlandabsenkungen möglichst aussparen (Inseln mit Auenwäldern);
- Linienführung der Nebenarme anpassen, sodass möglichst wenig LRT betroffen sind;
- Soweit möglich Positionierung der Aufweitungen auf der Uferseite mit dem geringeren FFH-LRT-Anteil.

Bei der Bewertung des Kriteriums „Natura 2000“ im Rahmen der Variantenanalyse steht der Aspekt der Flächenentwicklung und Ausgleichsflächenbilanzierung im Fokus. Bewertet wird einerseits die Beanspruchung von Lebensraumtypen durch die vorgesehenen Maßnahmen. Andererseits wird im Sinne einer Gesamtbilanz das Potential der Neuentwicklung von Lebensraumtypen in Folge der geplanten Maßnahmen dargestellt (siehe Bericht Variantenbewertung in Anlage 3 – Kapitel 3).

Resümee

Zumal für das FFH-Gebiet die Erhaltung bzw. Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustandes der im Standarddatenbogen genannten Anhang I-Lebensraumtypen bzw. der Habitats der Anhang II-Arten der FFH-Richtlinie rechtsverbindlich sind und im Managementplan weitere gebietsbezogene Konkretisierungen der Erhaltungsziele festgelegt wurden, sind Auswirkungen des Projektes Licca liber auf die FFH-LRT mit entscheidungsrelevant für die Wahl der besten Variante.

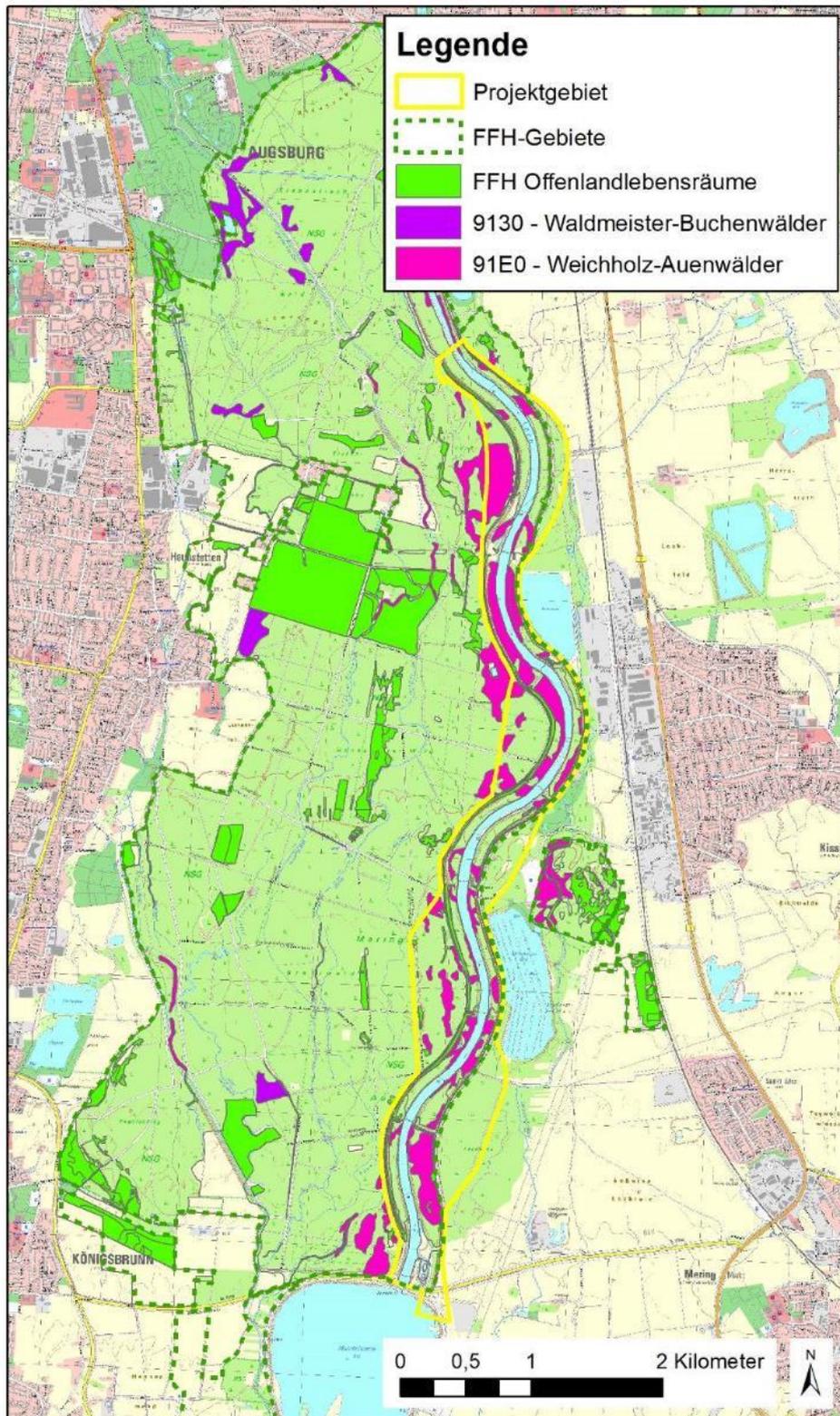


Abbildung 25: FFH-Lebensraumtypen im FFH-Gebiet „Lechauen zwischen Königsbrunn und Augsburg (DE 7631-371)

Tabelle 12: Fläche der Lebensraumtypen gemäß FFH-RL Anhang I und deren Erhaltungszustand im Natura 2000-Gebiet (Quelle: AELF 2018; S.135ff);
EHZ ... Erhaltungszustand, LRT ... Lebensraumtyp;

LRT	Bezeichnung	Fläche [ha] IST- Zustand	EHZ A (hervorra- gend) Fläche [ha]	EHZ B (gut) Fläche [ha]	EHZ C (mittel bis schlecht) Fläche [ha]	EHZ LRT gesamt
3140	Stillgewässer mit Armelechteralgen	0,12	0,00	0,10	0,02	B
3240	Alpine Flüsse mit Lavendelweide	fehlend	0,00	0,00	0,00	C-
3260	Fließgewässer mit flutender Wasservegetation	2,91	0,88	2,03	0,00	B
A	Bäche mit naturnahen und natürlichen Ufer- und Sohlstrukturen (FW3260)	1,59	0,88	2,03	0,00	B
B	Bäche mit verbauten oder baulich erheblich veränderten Ufer- u. Sohlstrukturen (LR3260)	1,32	0,00	1,32	0,00	B
5130	Wacholderheiden	fehlend	0,00	0,00	0,00	-
6210	Kalkmagerrasen	44,61	12,95	29,68	1,98	B
A	Mahd-geprägte Kalkmagerrasen auf Flussschotter-Standorten	16,92	4,22	11,70	1,00	B
B	Weide-geprägte Kalkmagerrasen auf Flussschotter-Standorten	3,30	2,13	1,00	0,17	A
C	Beweidete Kalkmagerrasen auf Dämmen entlang des Lechs	19,44	1,95	16,68	0,81	B
D	Pionier-Kalkmagerrasen auf Abschiebestellen	4,95	4,65	0,30	0,00	A
6210*	Kalkmagerrasen mit Orchideen	27,02	26,64	0,38	0,00	A
A	Mahd-geprägte Ausbildungen	24,00	23,62	0,38	0,00	A
B	Weide-geprägte Ausbildungen	3,02	3,02	0,00	0,00	A
6410	Pfeifengraswiesen	7,68	4,26	3,11	0,31	A-
A	Knollenkratzdistel-Pfeifengraswiese	5,88	4,19	1,69	0,00	A
B	Sonstige Ausbildungen des LRT Pfeifengraswiesen	1,80	0,07	1,42	0,31	B
6430	Feuchte Hochstaudenfluren	fehlend	0,00	0,00	0,00	-
6510	Magere Flachland-Mähwiesen	144,65	36,72	41,93	66,00	B-
A	Ausbau als Extensivwiese mit Magerzeigern (GE6510)	65,75	36,72	28,84	0,19	A
B	Ausb. mit wenig od. ohne Magerzeiger (LR6510)	78,90	0,00	13,09	65,81	C
7220*	Kalktuffquellen	fehlend	0,00	0,00	0,00	-
7230	Kalkreiche Niedermoore	1,17	0,48	0,69	0,00	B+
A	Bestände mit Gelb- und Hirse-Segge, Alpen-Binse, Armblütiger Sumpfbirse	1,13	0,44	0,69	0,00	B+
B	Bestand mit bestandsbildendem Schwarzem Kopfried	0,04	0,04	0,00	0,00	A

LRT	Bezeichnung	Fläche [ha] IST- Zustand	EHZ A (hervorra- gend) Fläche [ha]	EHZ B (gut) Fläche [ha]	EHZ C (mittel bis schlecht) Fläche [ha]	EHZ LRT gesamt
	Summe LRT des Offenlandes	228,16				
9130	Waldmeister-Buchenwald	27,71	nicht bewertet	nicht bewertet	nicht bewertet	nicht bewertet
91E0* BE 1	Weichholzauwald mit aktiver Auendynamik	46,62	0	46,62	0	B
91E0* BE 2	Grauerlenauwälder in der ehemaligen Furkationszone	70,25	0	70,25	0	B
	Summe LRT des Waldes	228,16				
	Sonstiger Lebensraum Wald	1657,33				
	Sonstiger Lebensraum Offenland	277,13				
	Summe Sonstiger Lebensraum	1934,46				
	Gesamtes FFH-Gebiet (Feinabgrenzung)	2307,2				

8.9 EG-Wasserrahmenrichtlinie

Allgemein

Die Europäische Union hat mit der seit Dezember 2000 gültigen Wasserrahmenrichtlinie in allen Mitgliedsstaaten der EU einheitlich geltende Umweltziele für den Schutz des Grundwassers und der Oberflächengewässer aufgestellt und eine rechtliche Basis dafür geschaffen, wie das Wasser auf hohem Niveau zu schützen ist. Die Wasserrahmenrichtlinie verfolgt einen umfassenden, integrativen und länderübergreifenden Ansatz der Bewirtschaftungsplanung in Flussgebieten, der den nachhaltigen Ressourcenschutz und den Erhalt der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer in den Mittelpunkt stellt. Als Hauptziel wird angestrebt, dass Flüsse, Seen, Küstengewässer und Grundwasser nach Möglichkeit bis 2015 - spätestens bis 2027 - den guten Zustand erreichen. Ein bereits erreichter (sehr) guter Zustand ist zu erhalten. Als Referenz gilt die natürliche Vielfalt an Pflanzen und Tieren in den Gewässern, ihre unverfälschte Gestalt und Wasserführung und die natürliche Qualität des Oberflächen- und Grundwassers. Für erheblich veränderte oder künstliche Gewässer gilt anstelle des guten ökologischen Zustands das Umweltziel des guten ökologischen Potentials. Grundsätzlich gelten hinsichtlich des Zustands eines Gewässers sowohl ein Verbesserungsgebot als auch ein Verschlechterungsverbot.

Beim Management in Hinblick auf die Wasserrahmenrichtlinie werden Gewässerstrecken („Wasserkörper“) einerseits in natürliche Wasserkörper und andererseits in erheblich veränderte Wasserkörper unterteilt. Als erheblich verändert wurden Gewässer ausgewählt, wo aufgrund bestehender Nutzungen die Erreichung des Zielzustands „guter Zustand“ nicht möglich ist. Anstelle dessen wird als reduziertes Qualitätsziel das sogenannte „gute Potential“ vorgesehen.

Einstufung Projektgebiet

Bei den gegenständlichen Wasserkörpern 1_F126 (Lech Mutterbett vom Hochablass Augsburg bis Einmündung Wertach) und 1_F127 (Lech von Staustufe 23 bis zum Hochablass Augsburg) handelt es sich um erheblich veränderte Wasserkörper (siehe Tabelle 13)

Tabelle 13: Einstufung und Potentialbewertung der Qualitätselemente im Wasserkörper 1_F126 (Vorgänger IL332), und 1F_/127 (Vorgänger IL333) [11]

Beschreibung des Wasserkörpers		Gewässertyp (Kapitel 1.2)	Einstufung	Ökologischer Zustand/ Potential	Zuverlässigkeit der Bewertung	Makrozoobenthos						Zielerreichung
Code	Name					Saprobie	Degradation	Fischfauna	Makrohyelen & Phycoenthos	Phytoplankton	Spez. Schadstoffe (Anhang 5 OBERV)	
<i>Vergleich mit Vorgänger-FWK des BWP 2009 – sofern möglich</i>												
1_F126	Lech Mutterbett vom Hochablass Augsburg bis Einmündung Wertach	F4	HMWB	3	hoch	2	3	3	2	n.r.	e	2027
IL332	Lech Mutterbett vom Hochablass Augsburg bis Einmündung Wertach	F4	HMWB	3	hoch	2	3	3	2	n.r.	n.e.	2015
1_F127	Lech von Staustufe 23 bis zum Hochablass Augsburg	F4	HMWB	3	hoch	2	2	3	2	n.r.	e	2027
IL333	Lech von Staustufe 23 bis zum Hochablass Augsburg	F4	HMWB	3	hoch	2	3	3	2	n.r.	e	nach 2015

HMWB=erheblich veränderter Wasserkörper

- 1=sehr gut,
- 2=gut
- 3=mäßig
- 4=unbefriedigend
- 5=schlecht

Unter den für die Beurteilung heranzuziehenden Qualitätselementen weist die Fischfauna mit „mäßig“ die ungünstigste Einstufung auf. Aufgrund dieser Einstufung ergibt sich eine Gesamtbewertung mit „mäßigem Potential“. Im Bewirtschaftungsplan [11] sind Maßnahmen zur Zielerreichung in Form der Reduzierung der Belastung infolge von Abflussregulierung und morphologische Veränderungen aus den Bereichen Durchgängigkeit und Morphologie vorgesehen.

Fischökologischer Zustand bzw. Potential nach WRRL

Nachfolgend soll auf das pessimale Qualitätselement näher eingegangen werden. Der ökologische Zustand wird anhand der Fische mittels des FIBS (Fisch basiertes Bewertungssystem) nach [12] bewertet. Das Prinzip ist dabei, die aktuelle Fischfauna mit einer „Referenzzönose“ zu vergleichen, die die Verteilung der Fischarten im ursprünglichen, anthropogen weitgehend unbeeinflussten Zustand widerspiegeln soll. Diese werden in Leitarten (> 5 % Referenzanteil), weitere typspezifische Arten (Anteil ≥ 1 %) und Begleitarten (Anteil < 1 %) unterschieden.

Die Gesamtbewertung ergibt sich durch eine gewichtete Mittelwertbildung aus sechs verschiedenen Qualitätsmerkmalen der Fischfauna (Arten- und Gildeninventar, Artenabundanz- und Gildenverteilung, Altersstruktur, Migration, Fischregion und dominante Arten). Für die einzelnen Aspekte werden geringe Abweichungen mit der vollen Punktezahl (5) bewertet (repräsentiert einen sehr guten Zustand), mittlere Abweichungen mit 3 (repräsentiert einen guten Zustand), und starke Abweichungen mit

nur einem Punkt (repräsentiert mäßigen oder schlechteren Zustand). Ein guter fischökologischer Zustand bzw. ein gutes fischökologisches Potential werden bei FIBS-Noten über 2,50 erreicht (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Fischökologische Zustandsklassen und deren Grenzen nach FIBS

Fischökologische Zustandsklasse	Note FIBS
Sehr gut	3,76 - 5,00
Gut	2,51 - 3,75
Mäßig	2,01 - 2,50
Unbefriedigend	1,51 - 2,00
Schlecht	1,00 - 1,50

Bei erheblich veränderten Gewässern wird diese Referenz je nach dominanter Belastung angepasst. Im gegenständlichen Fall ist die Referenzzönose 57f gültig (siehe Abbildung 26). Das Kürzel f bedeutet, dass es sich um ein erheblich verändertes, aber frei fließendes Gewässer handelt. In dieser „Fallgruppe“ werden Mittel- und Langdistanzwanderer um 40 % (aber nicht unter 0,1 %-Grenze) abgestuft, der Ausgleich erfolgt bei den als Leitart eingestuften Kurzdistanzwanderern anteilmäßig entsprechend deren Anteile in der Referenzzönose.

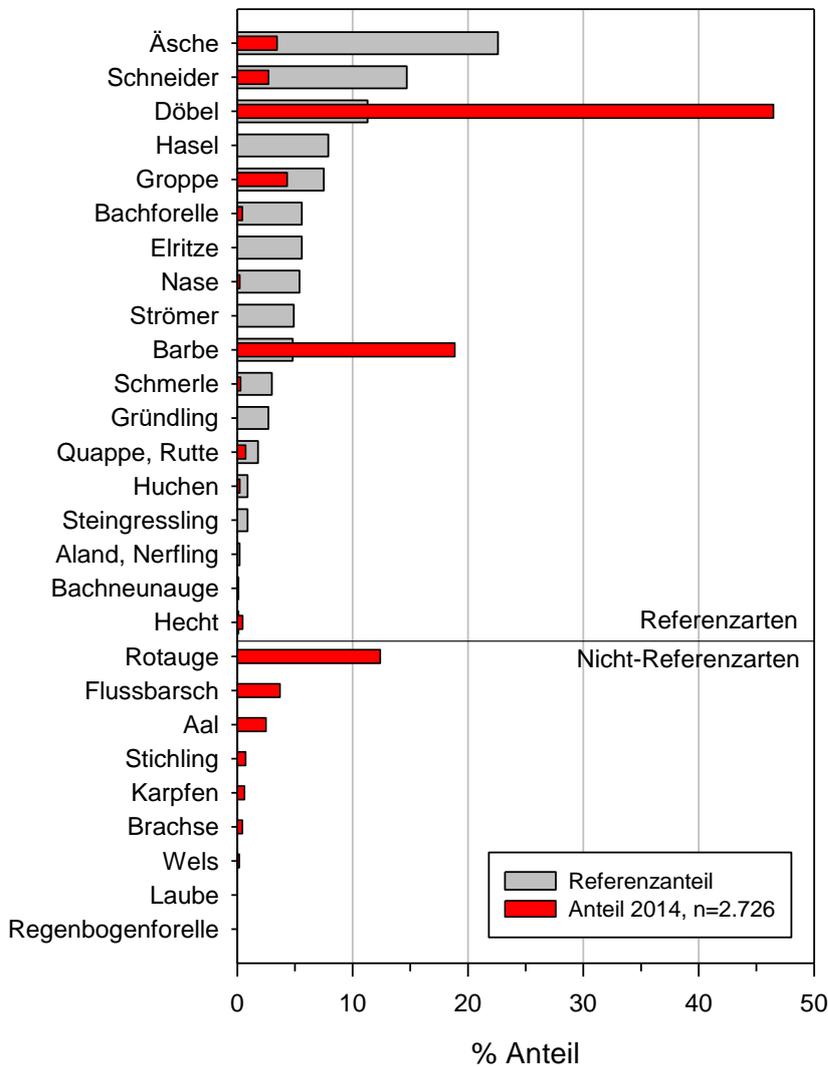


Abbildung 26: Referenz-Anteile (Referenzzönose 57f) und aktuelle Verteilung der Fischfauna (Realfang, alle Abschnitte gepoolt)

Nach „FIBS-Handbuch“ sind mehrere Befischungstermine (mindestens 3 werden empfohlen) durchzuführen und die zusammengefassten Ergebnisse aus mehreren Jahren werden für die Bewertung herangezogen. Als Erhebungsaufwand wird bei Bootsbefischungen eine Streckenlänge von mindestens der 100-fachen Gewässerbreite vorgesehen, das wären im gegenständlichen Fall etwa 6.500 m. Der Gesamtfang sollte zumindest das 30-fache der Artenzahl der Referenzfischzönose betragen, im gegenständlichen Fall also mindestens 540 Individuen.

Im Zuge der Erhebungen zur FFH-Managementplanerstellung konnten im Projektgebiet zwischen Staustufe 23 und Hochablass an einem Termin Befischungen

durchgeführt werden. Die Artverteilung stimmt dabei sehr gut mit den Erhebungen zum WRRL-Monitoring überein. Die befischte Streckenlänge pro Abschnitt unterschreitet die 100-fache Gewässerbreite, während die notwendige Individuenzahl mit Ausnahme des Abschnitts Staustufe 23 - Fkm 55,4 deutlich überschritten wurde. Daher ist davon auszugehen, dass auch mit einem Befischungsdurchgang gut abgesicherte Ergebnisse im Hinblick auf den fischökologischen Zustand abgeleitet werden können.

Die Bewertungsergebnisse zeigen einen stromab ansteigenden Trend (siehe Abbildung 27). Am ungünstigsten schneiden die obersten Abschnitte 1 und 2 ab, das Ziel eines „guten Potentials“ wird dort deutlich unterschritten („unbefriedigendes Potential“). Der dritte Abschnitt, die auch als WRRL-Messstelle dient, schneidet mit einem FIBS von 2,61 am besten ab, hier wäre bereits das „gute Potential“ zu bewerten. Im Abschnitt 4 ist das „mäßige Potential“ zu bewerten. Für diese differenzierten Bewertungen sind vor allem unterschiedliche Gildenzahlen, Gildenverteilungen sowie Altersstrukturen der Leitarten verantwortlich.

Der Vergleich mit den amtlichen Messergebnissen zeigt, dass die Bewertung im dritten Abschnitt (räumlich mit der WRRL-Messstelle identisch) 2014 günstiger ausfallen, obwohl ein geringerer Befischungsumfang zugrunde liegt. Das Ergebnis im Abschnitt 4 ist gut mit den WRRL-Bewertungen vergleichbar. Die deutliche Zielverfehlung in den stromauf gelegenen Abschnitten 1 und 2 ist aufgrund der dort besonders ausgeprägten fischökologischen Defizite jedenfalls als sehr plausibles Ergebnis zu sehen.

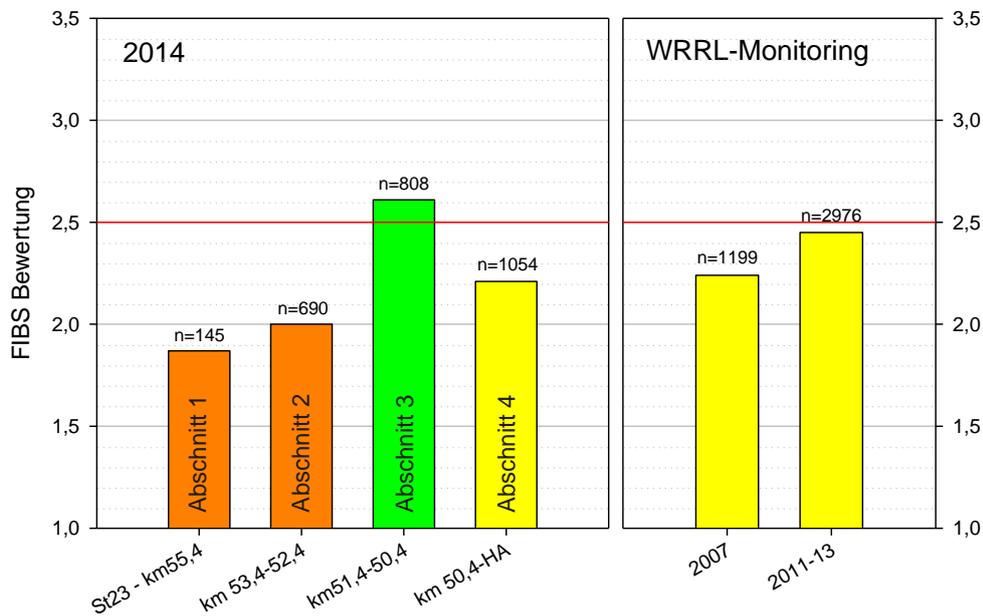


Abbildung 27: FIBS-Bewertung mit HMWB-Referenzzönose: links die 2014 befischten Abschnitte, rechts im Rahmen des WRRL-Monitorings. Die Farben entsprechen den Zustandsklassen. Rote Linie: Klassengrenze gutes-mäßiges Potential

Die gegenständlichen Bewertungen zeigen, dass die Ergebnisse von der amtlichen WRRL-Messstelle nur eingeschränkt für die gesamte Strecke repräsentativ sind. Stromauf der Rampe bei Fkm 51,4 liegen ungünstigere fischökologische Verhältnisse und um 1-2 Klassen schlechtere Bewertungen vor. In Hinblick auf die Umsetzung der WRRL liegt dort besonders großer Handlungsbedarf vor. Die zeitlichen und räumlichen Unterschiede zwischen den beiden Abschnitten stromab Fkm 51,4 sind als Effekt unterschiedlicher Jahre bzw. statistische Streuung zu interpretieren.

8.10 Trinkwasserversorgung

Im Planungsbereich I grenzen die Trinkwasserschutzgebiete der Trinkwasserentnahmen im Stadtwald (Betreiber Stadtwerke Augsburg) und des Brunnen Kissing (Betreiber Gemeinde Kissing) direkt an den Lech. Westlich des Lechs, etwa auf Höhe der Staustufe 23 liegen mehrere Tertiärbrunnen der Stadt Königsbrunn. Weiter südlich liegt die von den Stadtwerken Augsburg und der Stadt Königsbrunn gemeinsam betriebene Trinkwasserentnahme Fohlenau.

Die Stadtwerke Augsburg (SWA) versorgen etwa 320.000 Einwohner mit über 16 Mio. m³ Trinkwasser aus 60 Brunnen. Anfang der 80er Jahre lag die Wasserabgabe der SWA noch bei etwa 25 Mio. m³ [31]. Neben der Förderung von Trinkwasser aus Flachbrunnen im Quartär wird ein zunehmender Anteil des Trinkwassers aus dem oberen Tertiär gewonnen (insbesondere durch Horizontalfilterbrunnen). Die SWA versprechen sich von der langfristigen Verlagerung der Entnahmen in tiefere Gesteinsschichten hauptsächlich einen besseren Schutz vor Starkregenereignissen [32].

Die Gemeinde Kissing betreibt einen Flachbrunnen zur Trinkwassergewinnung nordöstlich des Weitmannsees. Die jährliche Gesamtentnahme im Zeitraum 2010 - 2015 lag bei etwas unter 0,5 Mio m³.

Die Stadtwerke Königsbrunn versorgen 28000 Einwohner mit etwa 1,5 Mio m³ Trinkwasser pro Jahr [33]. Das Wasser wird aus Flachbrunnen der Fohlenau sowie aus Tiefbrunnen am „Wasserhausweg“ gefördert.

Die Lage der Trinkwasserschutzgebiete im Planungsbereich I ist in Anlage 2.3 dargestellt. Im Planungsbereich II liegen keine Trinkwasserschutzgebiete in direkter Nachbarschaft zum Lech vor. Die nächsten Trinkwasserschutzgebiete östlich des Lechs (bei Stätzling und bei Affing – Bergen) werden durch die Maßnahmen im Planungsbereich II nicht beeinflusst.

8.11 Eigentumsverhältnisse der Grundstücke

Im Lageplan der Anlage 2.4 sind die Eigentumsverhältnisse der Grundstücke im Projektgebiet dargestellt. Von wesentlicher Bedeutung sind die Privatgrundstücke östlich des Lech im Planungsbereich I. Diese bilden auch eine wesentliche Randbedingung für die Variantenentwicklung.

8.12 Rechtsverhältnisse – Unterhaltspflicht

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Unterhaltslast nach BayWG im Projektgebiet.

Tabelle 15: Rechtsverhältnisse / Unterhaltslast im Projektraum

Fkm von	Fkm bis	Unterhalt	Beteiligung	Anteil	Bemerkung
60,700	61,800	Uniper		0	Staustufe 22
55,800	60,700	Uniper		0	Staustufe 23
49,000	55,800	Freistaat Bayern		0	
46,000	49,000	Stadt Augsburg		0	Hochablass
45,944	46,000	Freistaat Bayern_LUWA	LUWA	0,67	Eisenbahnerwehr
45,861	45,944	Deutsche Bundesbahn		0	Lechbrücke
45,582	45,861	Freistaat Bayern_LUWA	LUWA	0,67	Eisenbahnerwehr
45,382	45,582	Freistaat Bayern_LUWA	LUWA	0,5	Eisenbahnerwehr
44,100	45,382	Freistaat Bayern		0	
44,000	44,100	Augsburger Localbahn		0	Lokalbahnbrücke
42,682	44,000	Freistaat Bayern		0	
42,562	42,682	Stadt Augsburg		0	Straßenbrücke
41,720	42,562	Freistaat Bayern		0	
41,600	41,720	Stadt Augsburg		0	Brücke Nordtangente
40,800	41,600	Freistaat Bayern		0	
40,606	40,800	Freistaat Bayern_UWA	WKW	0,67	Wolfzahnauwehr
40,406	40,606	Freistaat Bayern_UWA	WKW	0,5	Wolfzahnauwehr
40,010	40,406	Freistaat Bayern		0	
38,725	39,980	Freistaat Bayern		0	
38,715	38,725	Stadt Augsburg		0	Düker-Abwasser
38,550	38,715	Freistaat Bayern		0	
37,000	38,550	BEW			Gersthofener Lechwehr

Abkürzungen

LUWA	LUWA Energie GmbH (Betreiber Kraftwerk Eisenbahnerwehr)
WKW	Wolfzahnau Kraftwerk GmbH & Co. KG (Betreiber Kraftwerk Wolfzahnauwehr)
BEW	Bayerische Elektrizitätswerke GmbH

Auf Grund vorhandener Bauwerke im Uferbereich gibt es Sonderunterhaltungslasten am rechten und linken Lechufer. Diese sind in Tabelle 16 (rechts Lechufer) und Tabelle 17 (linkes Lechufer) zusammengefasst.

Tabelle 16: Sonderunterhaltungslast rechtes Lechufer im Projektgebiet

Fkm von	Fkm bis	Unterhalt	Bemerkung
38,545	38,555	Siedlungsgenossenschaft Firnhaberau	Einleitung Schmutzwasserkanal
38,655	38,665	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf
40,090	40,105	Abwasserverband Augsburg - Ost	Einleitung Regenauslass XIII
40,415	40,425	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf
41,215	41,315	Stadtbachspinnerei Augsburg	
41,605	41,615	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf
41,970	41,980	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf
42,851	42,950	Stadt Augsburg	
42,950	42,960	Stadt Augsburg	Schmutzwasserkanal
42,960	44,000	Stadt Augsburg	
44,100	44,690	Stadt Augsburg	
44,490	44,505	Abwasserverband Augsburg - Ost	Einleitung Regenauslass V
45,290	45,305	Abwasserverband Augsburg - Ost	Einleitung Regenauslass IV
45,315	45,335	Stadt Augsburg	Einleitung Abwasserkanal
45,525	45,575	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf
45,944	46,020	Deutsche Bundesbahn	Lechbrücke
46,040	46,060	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf
46,310	46,330	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf

Tabelle 17: Sonderunterhaltungslast linkes Lechufer im Projektgebiet

Fkm von	Fkm bis	Unterhalt	Bemerkung
37,830	37,860	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf
37,900	37,930	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf
38,265	38,295	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf
38,420	38,450	Stadt Augsburg	Auslauf-Kläranlage
40,900	41,160	Augsburger Localbahn	
41,390	41,470	Stadtbachspinnerei	Schleuse Proviantbach
41,470	42,436	Stadt Augsburg	
42,851	44,690	Stadt Augsburg	
43,040	43,060	Stadt Augsburg	Einleitung Regenüberlauf

9 Variantenentwicklung

Nachfolgend wird die Entwicklung der Varianten beschrieben. Dies beginnt mit Erläuterungen zur Vorgehensweise, den verwendeten Werkzeugen, der Beschreibung der Bausteine der Varianten bis hin zum Zusammenfügen der Bausteine zu Varianten.

9.1 Vorgehensweise

In einem ersten Schritt werden Bausteine entwickelt. Diese orientieren sich insbesondere an den definierten Zielen Sohlstabilisierung und ökologische Verbesserung von Fluss und Aue.

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Randbedingungen werden die einzelnen Bausteine zu Varianten kombiniert. Das vorhandene Umsetzungskonzept wird dabei berücksichtigt (siehe Kapitel 7.3). Auf Grund der sehr unterschiedlichen Randbedingungen werden die Planungsbereiche I (Stadtwald) und II (Innenstadt) getrennt betrachtet.

9.2 Werkzeuge

Im Rahmen der Variantenentwicklung bzw. deren Optimierung werden verschiedene Werkzeuge eingesetzt:

- Hydraulische Modellierung
- Geschiebetransportmodellierung
- Grundwassermodellierung

Nachfolgend werden diese erläutert. Für eine detaillierte Beschreibung sei auf die entsprechenden Anlagen verwiesen.

9.2.1 Hydraulische Berechnung

Mit Hilfe des eingesetzten zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modells werden Fließgeschwindigkeiten und Fließtiefen für verschiedene Abflüsse berechnet. In Abstimmung mit den Modellierungen zur Morphologie und zum Grundwasser wird die Höhenlage der Flusssohle im Planzustand in einem Optimierungsprozess festgelegt. Ebenso werden auf Basis der Berechnungsergebnisse die Nebengewässer sowie Höhenlagen der Sekundärauen bestimmt. Hydraulische Berechnungen erfolgen für den Bezugszustand sowie für die Planzustände.

Detaillierte Angaben zum eingesetzten Modell, zur Kalibrierung, zum Modelleinsatz sowie den Berechnungsergebnissen können den Berichten in den Anlagen 4.1 (Modellaufbau und – anpassung) und 4.2 (Modelleinsatz) entnommen werden.

9.2.2 Grundwassermodellierung

Im Zusammenspiel mit den hydraulischen Berechnungen erfolgt mit Hilfe des Grundwassermodells eine Optimierung der Varianten. Ziel der Optimierung ist die Minimierung der Auswirkungen der Maßnahmen hinsichtlich der Veränderung der Grundwasserverhältnisse.

Die hydrogeologischen Grundlagen werden in Anlage 6.1 erläutert. In Anlage 6.2 wird der Modellaufbau beschrieben. Anlage 6.3 behandelt den Bezugszustand. Die Erläuterungen zum Modelleinsatz werden in Anlage 6.4 zusammengestellt.

9.2.3 Geschiebetransportmodellierung

Zunächst wird mit vereinfachten Ansätzen zur Geschiebetransportmodellierung das infolge einer Aufweitung und Geschiebezugabe erreichbare Ausgleichsgefälle abgeschätzt. Im Rahmen der Variantenentwicklung bzw. deren Optimierung wird eine Langzeitsimulation durchgeführt. Damit wird überprüft, ob das vorab abgeschätzte Ausgleichsgefälle der Lechsohle tatsächlich erreicht wird.

In Anlage 5.1 wird das Modellkonzept beschrieben. Erläuterungen zum Modelleinsatz können dem Bericht in Anlage 5.2 entnommen werden.

9.3 Planungsbereich I

9.3.1 Randbedingungen

In Kapitel 8 wurden die wesentlichen Randbedingungen im Projektgebiet beschrieben. Nachfolgend werden in Tabelle 18 diese für die durch die Bogenfolgen geprägten Abschnitte (siehe Tabelle 1) im Planungsbereich I stichpunktartig zusammengefasst. Dabei wird zwischen der orografisch linken und rechten Seite unterschieden. Die aufgeführten Vor- und Nachteile beziehen sich auf eine mögliche Seitenentwicklung des Lech auf die jeweilige linke oder rechte Seite bzw. auch auf mögliche Deichrückverlegungen. Die wichtigsten Kriterien und ihre Bedeutung werden nachfolgend erläutert.

Prallufer- bzw. Gleitufersituation

Eine eigendynamische Seitenerosion ist nur im Pralluferbereich möglich. Es ist davon auszugehen, dass Aufweitungen im Gleitufer maschinell hergestellt werden müssen.

Wasserschutzgebiet

Ein Eingriff in vorhandene Wasserschutzgebiete z. B. durch eine Gewässeraufweitung, Anlage von Nebengewässern, Anlegen einer Sekundäraue oder auch Deichverlegungen ist grundsätzlich problematisch. Daraus entstehende Auswirkungen auf die Trinkwassergewinnung sind im Rahmen der Bewertung der Varianten zu prüfen.

FFH-Lebensräume

Eingriffe in kartierte FFH-Lebensräume sind zu vermeiden bzw. zu minimieren.

Weitmannsee, Auensee und Kuhsee

Insbesondere auf Grund der vorhandenen Nutzungen der drei Seen für Freizeit und Erholung ist eine unmittelbare Einbindung der Seen nicht gewollt.

Bebauung

Die rechtsseitig des Lech vorhandene Bebauung in Kissing und Hochzoll beschränkt die Möglichkeit der Entwicklung des Lech in diesen Bereichen.

Tabelle 18: Randbedingungen im Projektbereich I

Abschnitt	Vorteile	Nachteile	Folgerung
1 - links	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vergleichsweise wenig FFH-LRT-Flächen ▪ Prallufersituation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ WSG Zone II ▪ Stadtbäche Aumühlbach und Bayerbach 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verlegung Deich problematisch (Stadtbäche)
1 - rechts		<ul style="list-style-type: none"> ▪ WSG, Zone III (Kissing) ▪ große FFH-LRT-Flächen ▪ Privatgrundstücke ▪ Gleitufersituation 	
2 - links		<ul style="list-style-type: none"> ▪ WSG Zone II ▪ FFH-LRT ▪ Gleitufersituation 	
2- rechts	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prallufersituation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weitmannsee ▪ FFH-LRT ▪ WSG Zone II (Kissing) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Entwicklung über die vorhandene Deichlinie möglich (Weitmannsee)
3 - links	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prallufersituation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ WSG, Zone II (50-Tage-Kriterium voraussichtlich betroffen) ▪ FFH-LRT 	
3 - rechts	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein WSG 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ FFH-LRT ▪ Privatgrundstücke 	
4 - links		<ul style="list-style-type: none"> ▪ WSG, Zone I und II ▪ Gleitufersituation 	
4 - rechts	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prallufersituation ▪ kein WSG 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ FFH-LRT ▪ Bebauung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Entwicklung über die vorhandene Deichlinie möglich (Bebauung)
5 - links	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prallufersituation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ WSG, Zone I und II ▪ FFH-LRT 	

Abschnitt	Vorteile	Nachteile	Folgerung
5 - rechts	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein WSG ▪ Gleitufer 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auensee 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Entwicklung über die vorhandene Deichlinie möglich (Auensee)
6 - links	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kaum FFH-LRT-Flächen innerhalb des Deichs 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ FFH-LRT ▪ WSG, Zone I und II ▪ Gleitufersituation 	
6 - rechts	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein WSG ▪ kaum FFH-LRT-Flächen ▪ Prallufer 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 	
7 - links	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prallufersituation im Krümmungsbereich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ WSG Zone I und II, leistungsstarker Horizontalfilterbrunnen innerhalb des Deichs ▪ FFH_LRT 	
7 rechts	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein WSG 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gleitufersituation im Krümmungsbereich ▪ FFH-LRT ▪ Kuhsee – beengte Platzverhältnisse 	

Im nur etwa 400 m langen Abschnitt 8 handelt es sich um den unmittelbaren Rückstaubereich des Hochablasses. Hier sind keine Maßnahmen vorgesehen.

Morphologische Entwicklung Bezugszustand

Mit Hilfe einer Langzeitsimulation mit dem Geschiebetransportmodell wurde für den Istzustand die zukünftige Entwicklung der Sohle prognostiziert. Das Ergebnis einer Langzeitsimulation ist im Längsschnitt der Abbildung 28 dargestellt. Zwischen dem letzten Absturz bei Fkm 50,4 und dem Hochablass ist einer weiteren Eintiefung zu rechnen. Detaillierte Informationen befinden sich im Bericht zur Geschiebetransportmodellierung in Anlage 5.3.

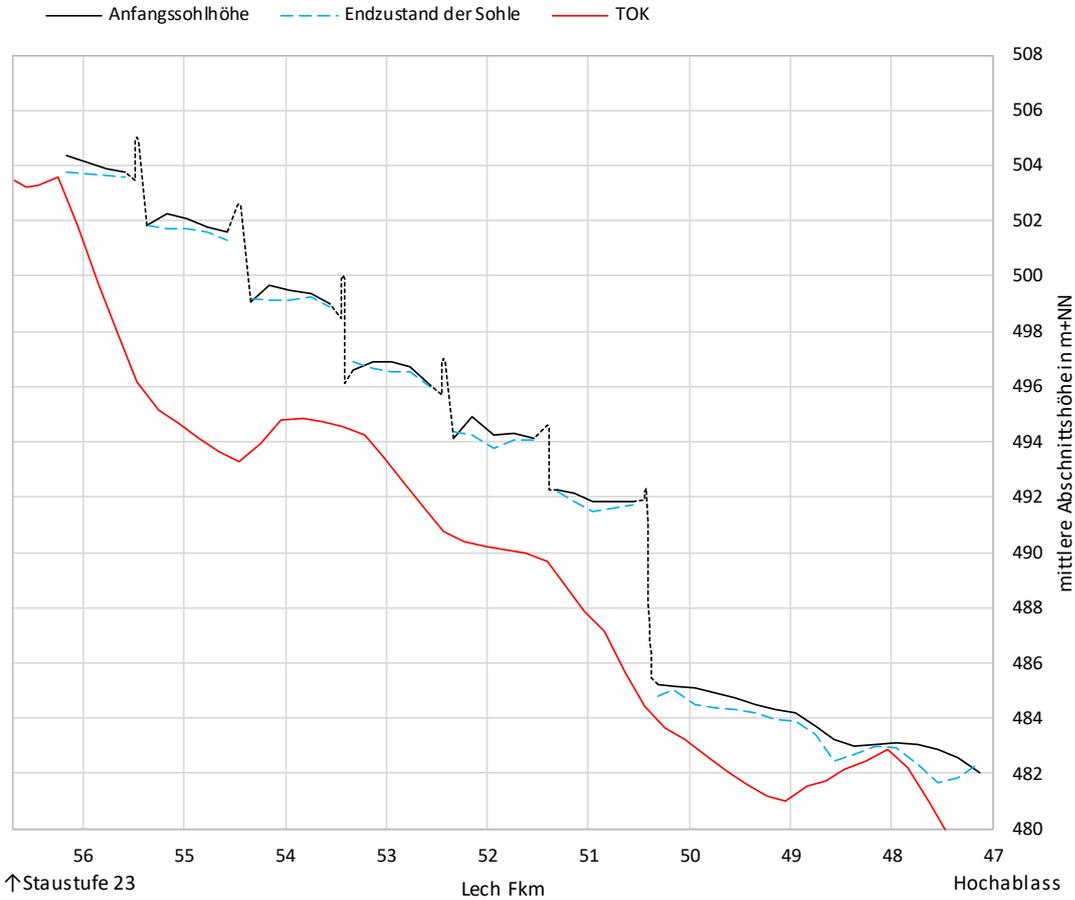


Abbildung 28: Sohlentwicklung im Planungsbereich I als Ergebnis einer Langzeitsimulation mit dem Geschiebetransportmodell

9.3.2 Bausteine der Varianten

Mit den nachfolgenden Ausführungen werden die Bausteine der Varianten beschrieben.

9.3.2.1 Aufweitungen – Weiche Ufer - Ufersicherungen – Deichsicherungen

Ein wesentlicher Baustein zur Sohlstabilisierung und zur ökologischen Aufwertung des Lech ist die Verbreiterung des Flussbetts. Der Abfluss erfolgt über eine größere Flussbreite. Die Sohlschubspannungen werden reduziert. Gegenüber dem Istzustand kann somit ein größeres Ausgleichsgefälle der Lechsohle erreicht werden.

Die Aufweitung des Lech kann maschinell oder eigendynamisch nach Umsetzung von Initialmaßnahmen erfolgen.

Maschinelle Aufweitung

Hier wird die Aufweitung im Rahmen der Baumaßnahmen maschinell erstellt. Die sohlmorphologische Wirkung der Maßnahme setzt sofort ein. Hinsichtlich des Natur- und des Artenschutzes ist eine sofortige Aufweitung allerdings problematisch. Zudem sind die betroffenen Bannwaldflächen vor Umsetzung der Maßnahmen auszugleichen.

Eigendynamische Aufweitung

Nach Entfernung der vorhandenen Ufersicherung erfolgt die Aufweitung eigendynamisch durch den Lech selbst. Erfahrungsgemäß erfolgt die Aufweitung nur bei entsprechend großen Abflüssen. Gegebenenfalls können Initialmaßnahmen zur Förderung der Eigendynamik gesetzt werden.

Initiale Gleitufer

Um eine eigendynamische Aufweitung zu fördern, werden in den gegenüberliegenden Uferbereichen Anschüttungen an den Uferböschungen vorgenommen. Insbesondere wird dadurch eine Kurvenströmung angeregt und damit die Seitenerosion in den Außenuferbereichen gefördert.

Die Erfordernis bzw. die Zweckmäßigkeit von Initialmaßnahmen ist das Ergebnis von Modellversuchen im Zusammenhang mit Planungen zur Sanierung der Unteren Salzach [18] sowie zweier aufeinander aufbauenden Studien der TU München, bei denen die eigendynamischen Prozesse an der Salzach numerisch modelliert wurden [19, 20]. Beispielhaft ist ein initiales Gleitufer in einem Querschnitt in Abbildung 29 dargestellt. Im Uferbereich erfolgt die Anschüttung auf eine Höhe von etwa 0,5 m über dem Wasserspiegel bei Mittelwasser. Zur Gewässermitteln hin wird die Anschüttung mit 1:10 geböscht. Die Herstellung erfolgt mit Material aus den Vorlandbereichen (z. B. Abtrag bei der Herstellung der Sekundärauen oder der Nebengewässer). Zur Verbesserung der Stabilität der Anschüttung sollte gröberes Material beigemischt oder die oberste Schicht aus gröberem Material geschüttet werden.

Als Alternative wäre auch die Anordnung von Leitbuhnen anstelle der initialen Gleitufer denkbar. Diese sind aber aus gewässerökologischer Sicht ungünstiger.

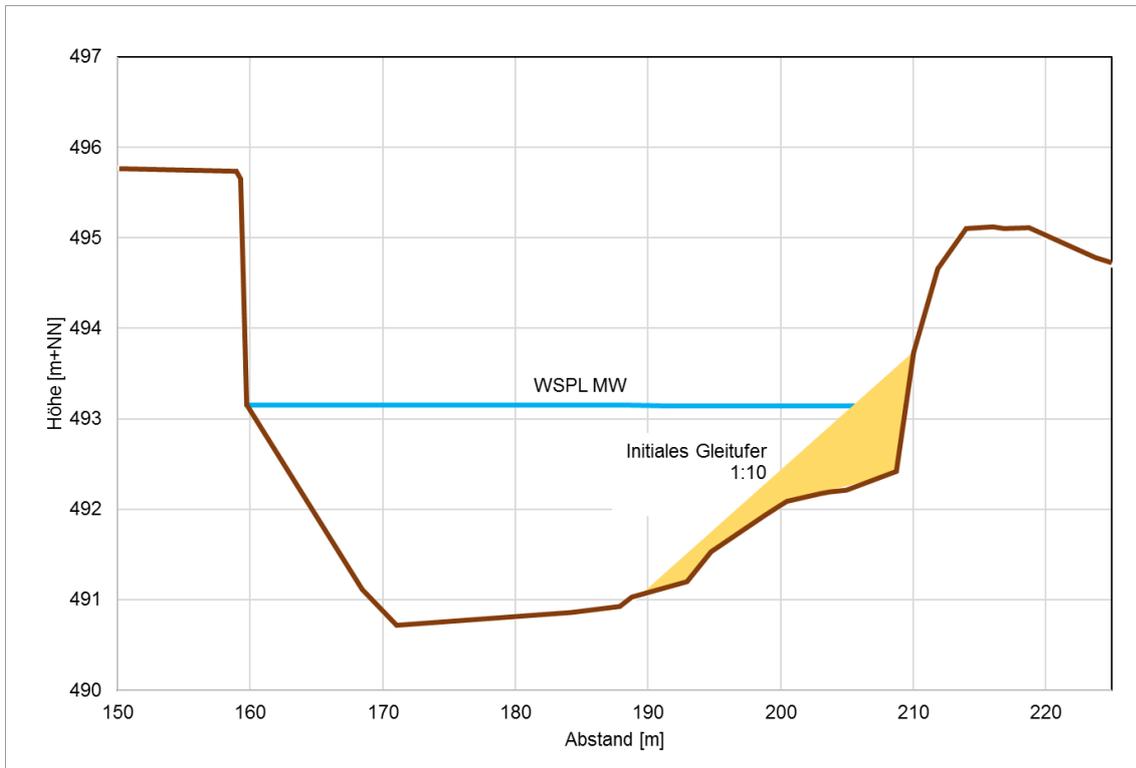


Abbildung 29: Querschnitt beispielhaft mit initialem Gleitufer

Ufersicherungen – Lauffixierungen

Im Zusammenhang mit der Entfernung von Ufersicherungen, maschinellen oder eigendynamischen Aufweitungen ist zu prüfen, ob nach erfolgter Aufweitung Ufersicherungen oder zumindest Lauffixierungen errichtet werden müssen. Bei ausreichendem Platzangebot reichen lokale Fixierungen, um eine ungewünschte Laufverlagerung des Lech zu verhindern. Dabei handelt es sich um Steindepots, die in noch festzulegenden Abständen angelegt werden und die dann bei entsprechender Aufweitung des Lech aktiviert werden.

Durchgehende Ufersicherungen aus Wasserbausteinen sind dann vorzusehen, wenn das Platzangebot begrenzt ist und z. B. Hochwasserschutzdeiche geschützt werden müssen.

Lauffixierungen bzw. durchgehende Ufersicherungen müssen nicht zwingend mit Projektbeginn errichtet werden. Nach Überschreiten einer zu definierenden Interventionslinie können diese zu einem späteren Zeitpunkt eingebaut werden.

Weiche Ufer

Falls keine Maßnahmen zur Ufersicherung erforderlich sind, wird das Ufer des Lech oder auch eines der Nebengewässer nach Entfernung der Ufersicherung und erfolgter

Aufweitung belassen. Diese Uferabschnitte werden als „Weiche Ufer“ bezeichnet. Im Rahmen des Monitorings ist zu prüfen, ob bei langen Strecken mit Weichen Ufern die Gefahr der Verlegung des Flusslaufs besteht. Gegebenenfalls sind dann Gegenmaßnahmen zu ergreifen, z. B. Lauffixierungen (siehe oben).

Deichsicherungen

Falls die Aufweitung des Lech unmittelbar bis an die vorhandenen Hochwasserschutzdeiche heranreicht, so sind Maßnahmen zur Sicherung des Deiches zu ergreifen. Dies können lokale Lauffixierungen sein, wenn noch ein gewisser Puffer zwischen dem Lech und dem Deich vorhanden ist. Falls kein Puffer vorhanden ist, dann sind durchgehende Ufersicherungen mit Wasserbausteinen möglich, die allerdings einen erheblichen Bauaufwand erfordern. Alternativ können am Deichfuß Spundwände eingebracht werden. Falls diese durch eine entsprechende Seitenerosion des Lech bereichsweise freigelegt werden, können diese mit Wasserbausteinen verdeckt werden.

9.3.2.2 Nebengewässer

In Anlehnung an das Leitbild eines furkierenden Flusssystemes werden Nebengewässer angelegt, die insbesondere einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der ökologischen Verhältnisse leisten. Dadurch werden zusätzliche funktionelle Uferzonen (Flachuferzonen) und damit Habitate für aquatische Organismen geschaffen. Ebenso dienen die Nebengewässer bei größeren Abflüssen als Rückzugsmöglichkeit und damit als Schutz für Fische. Zusätzlich nehmen die Nebengewässer auch einen Teil des Abflusses des Lech auf und unterstützen somit auch die Stabilisierung der Lechsohle.

Hinsichtlich der Herstellung der Nebengewässer sowie der eventuell erforderlichen Maßnahmen zur Ufersicherung bzw. Lauffixierung sei auf die Ausführungen zu den Aufweitungen verwiesen. Die Nebengewässer können entweder maschinell in der vorgesehenen Breite hergestellt werden. Alternativ können die Nebengewässer als Initialgerinne angelegt werden, die sich dann im Laufe der Zeit in Abhängigkeit der Abflussverhältnisse eigendynamisch aufweiten.

Im unmittelbaren Auslaufbereich der Nebengewässer sind durchgehende Ufersicherungen erforderlich. Weitere Ufersicherungen bzw. lokale Lauffixierungen sind entsprechend der vorhandenen Randbedingungen bzw. des Platzangebots vorzusehen. Auch hier kann der Einbau zu einem späteren Zeitpunkt bei Definition einer Interventionslinie in Verbindung mit einem entsprechenden Monitoring erfolgen.

Auf Grund von Erfahrungen bei anderen Projekten ist bei der Planung der Nebengewässer die Gefahr der Verlandung zu berücksichtigen. Insbesondere ist auf

eine ausreichende Dotation zu achten. Der Ausleitungsbereich ist dafür entsprechend großzügig und hydraulisch wirksam zu gestalten. Um eine Verlegung der Ausleitungsbereiche durch wandernde Kiesbänke im Hauptfluss zu vermeiden, sollten diese im Pralluferbereich angelegt werden.

Um eine unkontrollierte Entwicklung zu vermeiden, sind gegebenenfalls Drosselstrecken anzuordnen, um den Abfluss im Nebengewässer zu begrenzen.

Durch Totholz, das in Folge von Uferaufweitungen in das Nebengewässer fällt, werden ökologisch wertvolle Strukturen geschaffen. Die dadurch entstehenden Turbulenzen und Strömungsumlenkungen fördern die Entstehung lokaler Kolke, Uferanbrüche und eigendynamischer Aufweitungen (siehe Abbildung 30).



Abbildung 30: Beispiel zur Förderung von Uferanbrüchen und Uferaufweitungen durch Totholz (Foto EZB)

9.3.2.3 Flächige Vorlandabsenkung - Sekundäraue

Durch die Eintiefung des Lech in den letzten Jahrzehnten erfolgte eine sukzessive Entkopplung des Lech von seinen begleitenden Auen. Zum einen erfolgen keine regelmäßigen, großflächigen Überflutungen bei kleineren Hochwasserereignissen. Zum anderen ist der Grundwasseranschluss nicht mehr gegeben. Da ein Anheben des

Grundwasserspiegels auf Grund der vorhandenen Nutzungen nicht bzw. nur in einem begrenzten Ausmaß möglich ist, wird die Aue in Teilbereichen abgesenkt.

Dazu bieten sich die Flächen zwischen dem Lech und den vorgesehenen Nebenarmen an. Die Tieferlegung der Aue und damit die Schaffung einer sogenannten Sekundäraue erfolgt derart, dass eine Überflutung der Flächen im jährlichen Mittel an bis zu etwa 20 Tagen erfolgt. Um einen Eingriff in die kartierten FFH-Lebensräume 91E0 (Fließgewässerbegleitende Erlen- und Eschenauwälder) zu vermeiden, werden diese Flächen von der Tieferlegung vorerst ausgenommen. In weiteren Planungsschritten ist gemeinsam mit den Naturschutzbehörden und der Forstbehörde abzustimmen, ob diese Flächen in die Sekundärauen einbezogen werden sollen.

Neben dem ökologischen Nutzen, tragen die Sekundärauen durch die hydraulische Entlastung des Flussschlauchs bei Hochwasser auch zu einer Verbesserung der Stabilität der Lechsohle bei.

9.3.2.4 Geschiebezugabe

Infolge der Lechstaustufen gelangt in das Projektgebiet kein natürliches Geschiebe. Als Beitrag zur Sohlstabilisierung, insbesondere aber auch um eine Dynamik in dem Flusssystem zu ermöglichen, erfolgt eine Geschiebezugabe. Dieses zusätzliche Geschiebe als Teil des Systems zum Erreichen eines dynamischen Sohlgleichgewichts ermöglicht eine flussbauliche Konzeption mit einer beweglichen Sohle. Es können sich wandernde Kiesbänke in Kombination mit damit einhergehenden korrespondierenden Kolken bilden. Neben dem Beitrag zur Sohlstabilität ist dies ein wesentlicher Bestandteil zur Verbesserung der Gewässerökologie.

Die durchschnittliche jährliche Geschiebezugabe wird mit 3.000 bis 5.000 m³ angesetzt. Das erforderliche Material ist in den Lechauen vorhanden. Es fällt z. B. beim Aushub des Nebengewässersystems bzw. beim Vorlandabtrag an.

Die tatsächliche Menge des Geschiebeeintrags ist als Ergebnis des Monitorings festzulegen. Maßgebend ist dabei die Entwicklung der Sohlhöhe. Durch die Geschiebezugabe kann die Sohlhöhenentwicklung in einer gewissen Bandbreite gesteuert bzw. beeinflusst werden.

9.3.2.5 Rückbau von Abstürzen – Umbau in aufgelöste Sohlrampen

Gemäß den Überlegungen zum Längsgefälle in Kapitel 9.3.3 können von den sechs Abstürzen im Planungsbereich I vier Abstürze komplett zurückgebaut werden. Der

Zeitpunkt des Rückbaus ist variantenabhängig und wird mit den jeweiligen Varianten in Kapitel 9.3.4 beschrieben.

Zwei Abstürze (bei Fkm 53,4 und Fkm 50,4) werden zu biologisch durchgängigen aufgelösten Sohlrampen umgebaut. Die Dimensionierung erfolgt gemäß den a.a.R.d.T. [6]. Als Beispiel für ein entsprechendes Bauwerk an einem Fluss in einer ähnlichen Größenordnung ist die 2010 fertiggestellte Sohlrampe an der Salzach im Freilassinger Becken dargestellt (siehe Abbildung 31 und Abbildung 32). Die Rampe an der Salzach ist in Flussmitte mit einer Bootsgasse ausgestattet.



Abbildung 31: Aufgelöste Sohlrampe an der Salzach



Abbildung 32: Aufgelöste Sohlrampe an der Salzach (Quelle Herr Schaufler,
Gewässerbezirk Braunau)

Die Rampenbauwerke werden über die im Endzustand vorgesehene Flussbreite errichtet. Im Bereich der Rampe sowie in den Anschlussstrecken nach ober- und unterstrom müssen die Ufer durchgehend befestigt werden. Auf Basis von Erfahrungen aus ähnlichen Projekten wird von einer Rampenneigung von 1:50 m ausgegangen. Zur Vermeidung von Kolken auf Grund einer nicht vollständigen Energieumwandlung unterstrom des geneigten Teils der Sohlrampe ist eine Nachbettsicherung erforderlich.

9.3.2.6 Deichrückverlegung

In Bereichen mit ausreichender Raumverfügbarkeit wird der vorhandene Deich geschliffen und bei Bedarf durch einen rückverlegten Deich bzw. alternativ eine Geländemodellierung ersetzt.

Rückbau vorhandener Deich

Beim Rückbau vorhandener Deiche sind folgende Gesichtspunkte (Zielkonflikte) zu beachten:

- Auf den vorhandenen Deichböschungen befinden sich bereichsweise Kalkmagerrasenflächen (FFH-Lebensraumtyp 6210). Im Falle eines Deichrückbaus sind diese auszugleichen. Um die hydraulische Wirkung der Überflutung der luftseitigen Flächen vorhandener Deiche bei Hochwasser zu gewährleisten, reicht auch der Deichrückbau auf begrenzten Teilstücken. Wertvolle Magerrasenflächen können somit zumindest zum großen Teil erhalten werden. Zu berücksichtigen ist zum einen, dass die Deiche mit den Magerrasenflächen entsprechend unterhalten werden müssen, z. B. durch Schafbeweidung. Die Zugänglichkeit zu den Deichen ist sicherzustellen. Zum anderen liegen diese Deich zumeist im Bereich von Sekundärauen. Eine Vorlandabsenkung zur Schaffung der Sekundärauen bedeutet, dass die Deichhöhen ansteigen. Gegebenenfalls wäre dann auch die dadurch veränderte Standsicherheit zu überprüfen.
- Bei den vorhandenen Deichen einschließlich deren Unterhaltungswegen und Schutzstreifen handelt es sich um technische Bauwerke. Diese Flächen sind nicht als Wald im Sinne des BayWaldG einzustufen. Falls nicht mehr erforderliche Deiche geschliffen und wiederbewaldet werden, können diese Flächen somit als Ausgleichsflächen für Bannwald angesetzt werden.

Erfordernis zurückversetzter Deich / Geländemodellierung

Zur Entscheidung, ob im Planzustand ein zurückversetztes Hochwasserschutzelement benötigt wird, wird entlang der gedachten Schutztrasse die vorhandene Geländehöhe und der Wasserspiegel bei HQ100 betrachtet. Um die Hochwassersituation gegenüber dem Istzustand nicht zu verschlechtern, ist durchgehend ein Freibord von mindestens

1 m einzuhalten (siehe dazu die Erläuterungen zur Hochwassersituation im Bezugszustand in Kapitel 8.5). Daraus ergeben sich drei mögliche Szenarien:

- Der Wasserspiegel bei HQ100 liegt mindestens 1 m unter der Geländehöhe. Der vorhandene Freibord zum Gelände beträgt somit mehr als einen Meter. Die Hochwassersituation entspricht dem Bezugszustand. Es sind keine Maßnahmen erforderlich. Der Mindestfreibord nach DIN 19712 ist in jedem Fall eingehalten, dies gilt auch für Wasserspiegel bei einem 100-jährlichen Hochwasserabfluss zuzüglich 15% Klimazuschlag.
- Der Wasserspiegel bei HQ100 liegt unter dem Gelände, allerdings weniger als 1 m. Dann ist lediglich eine Freibordsicherung notwendig. Diese kann durch eine Geländemodellierung erfolgen. Die Geländemodellierung muss allgemeinen Anforderungen an die Standsicherheiten genügen. Allerdings sind nicht die engen Vorgaben für Deiche nach DIN 19712 einzuhalten (z. B. Deichkronenweg, Deichverteidigung, Bewuchs, Sicherheitsstreifen etc.). Die konkrete Ausgestaltung der Geländemodellierung erfolgt in den weiteren Planungsphasen.
- Das Überschwemmungsgebiet bei HQ100 reicht bis zur gedachten Schutztrasse. Somit ist die Anordnung eines Deichs erforderlich. Die Ausstattung des Deichs erfolgt gemäß DIN 19712 (Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern). Die Höhe des Deichs orientiert sich am vorhandenen Wasserspiegel bei HQ100 zuzüglich einem Freibord von 1 m. Grundsätzlich sind die Böschungen standsicher auszubilden. Neben einem Deichkronenweg ist ein Deichverteidigungsweg vorzusehen. Wasser- und landseitig sind Schutzstreifen erforderlich. Im Rahmen der Variantenuntersuchung wird von einer Gesamtbreite des Deichs von 30 m ausgegangen (Aufstandsbreite plus Schutzstreifen).

Deichtrasse

Bei der Trassenführung wird darauf geachtet, erforderliche Eingriffe auf FFH-Lebensräume zu vermeiden bzw. minimieren. Daneben wird die vorhandene Topografie berücksichtigt. Bereichsweise vorhandene Geländesprünge werden ausgenutzt, um Deichhöhen zu reduzieren bzw. um gegebenenfalls auf Deiche verzichten zu können.

Gewählte Vorgehensweise im Rahmen der weiterführenden Untersuchungen

Für den Umgang mit zurückzubauenden Deichen und der Konzeption von zurückverlegten Deichen bzw. Geländemodellierungen wird im Rahmen der vorliegenden weiterführenden Untersuchungen folgende Vorgehensweise gewählt (diese gilt für alle untersuchten Varianten):

- Nicht mehr benötigte Deiche werden komplett zurückgebaut und wiederbewaldet. Der dadurch bedingte Eingriff in den FFH-Lebensraumtyp 6210 (Magerrasen) ist

auszugleichen. Dafür können die wiederbewaldeten Flächen als Bannwaldausgleich herangezogen werden (Potentialflächen für die Herstellung von Bannwald).

- Die neuen Deiche werden so gestaltet und unterhalten, dass sich auf den Deichböschungen Magerrasen entwickeln kann. Diese Flächen können als entsprechende Ausgleichsflächen angesetzt werden.
- Auf den Flächen der Geländemodellierungen kann nach Herstellung wieder Wald entstehen. Somit ist für diese Flächen kein Waldausgleich erforderlich.
- In weiteren Planungsschritten kann von dieser Vorgehensweise abgewichen werden. Die oben genannten Aspekte beim teilweisen Belassen der vorhandenen Deiche sind aber zu berücksichtigen, insbesondere auch die Aspekte Unterhalt bzw. Pflege und Zugänglichkeit.

9.3.2.7 Übergangsbauwerk zur Staustufe 23

Infolge der Aufweitung des Lech sinkt der Wasserspiegel bei Hochwasser im Vergleich zum Istzustand ab. Dadurch entsteht unterstrom der Lechstaustufe 23 im Übergang vom nicht aufgeweiteten Lech zur Aufweitung ein starkes Wasserspiegelgefälle, das mit einer hohen Sohlschubspannung einhergeht. Um in diesem Bereich eine Eintiefung der Lechsohle in Verbindung mit einer rückschreitenden Erosion zu vermeiden, muss hier ein Übergangsbauwerk angeordnet werden. Denkbar ist hier eine flächige Sicherung der Flusssohle z. B. in Form eines Offenen Deckwerks. Alternativ kann auch eine biologisch durchgängige Sohlrampe eingesetzt werden. Auf Grund der offensichtlichen Vorteile hinsichtlich der Durchgängigkeit wird ein Offenes Deckwerk gewählt.

9.3.2.8 Rückverlegung vorhandener Wege

Derzeit verlaufen beidseitig des Lech begleitende Wege. Diese werden als Fuß- und Radwege sowie als Fahrwege zum Unterhalt des Lech verwendet. Durch die Aufweitung des Lech werden diese Wege bereichsweise entfernt und müssen ersetzt werden.

Bei der Trassierung der zurückversetzten Wege werden folgende Gesichtspunkte beachtet:

- Trassierung luftseitig der vorgesehenen Maßnahmen (Aufweitung Lech, Sekundärauen, Nebengewässer).
- Ausnutzung vorhandenes Wegesystem, der verbleibenden Deiche bzw. der zurückverlegten Deiche bzw. Geländemodellierungen.

- Vermeidung bzw. Minimierung der Eingriffe in FFH-Lebensräume.
- Vermeidung von dauerhaften Waldrodungen und damit Vermeidung von Waldausgleich.

9.3.3 Überlegungen zum Längsgefälle und zur erzielbaren Flussbreite

Die nachfolgenden Überlegungen beziehen sich auf den Planungsbereich I (Stadtwald), da nur hier Maßnahmen zur Gewässeraufweitung in einem für die morphologischen Prozesse wirksamen Ausmaß möglich sind.

Eine sehr wesentliche Frage im vorliegenden Projekt ist, welches Ausgleichsgefälle der Lechsohle durch die in Kapitel 9.3.2 genannten Bausteine der Varianten erreicht werden kann. Dahinter verbirgt sich natürlich auch die Frage, inwieweit infolgedessen auf die sechs Abstürze verzichtet werden kann.

Um Missverständnissen vorzubeugen, sei an dieser Stelle der im vorliegenden Bericht regelmäßig verwendete Begriff des *Ausgleichsgefälles* definiert. Darunter wird jenes Gefälle verstanden, das der Lech nach Umsetzung bzw. entsprechender Entwicklung der initiierten Maßnahmen im Laufe der Zeit im Sinne eines dynamischen Sohlgleichgewichts einnehmen wird. Grundsätzlich gilt, dass Maßnahmen zur Entlastung der Flusssohle – wie z. B. eine Aufweitung - zu einem steileren Ausgleichsgefälle führen.

Ausgangsbasis für die Überlegungen ist das mittlere Sohlgefälle des Lech im Istzustand. Die Längsschnitte der mittleren Sohlhöhen im Stadtwaldbereich in Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigen ein Längsgefälle von etwa 1 ‰. Zwischen dem Absturz Fkm 50,4 und dem Hochablass beträgt das Längsgefälle nur mehr 0,8 ‰. Um auf alle sechs Abstürze in Zukunft verzichten zu können, müsste ein Ausgleichsgefälle in einer Größenordnung von 2,5 ‰ erreicht werden. Dies dürfte etwa das Sohlgefälle des ursprünglichen Lech vor den Korrektionsmaßnahmen gewesen sein (siehe Abbildung 33).

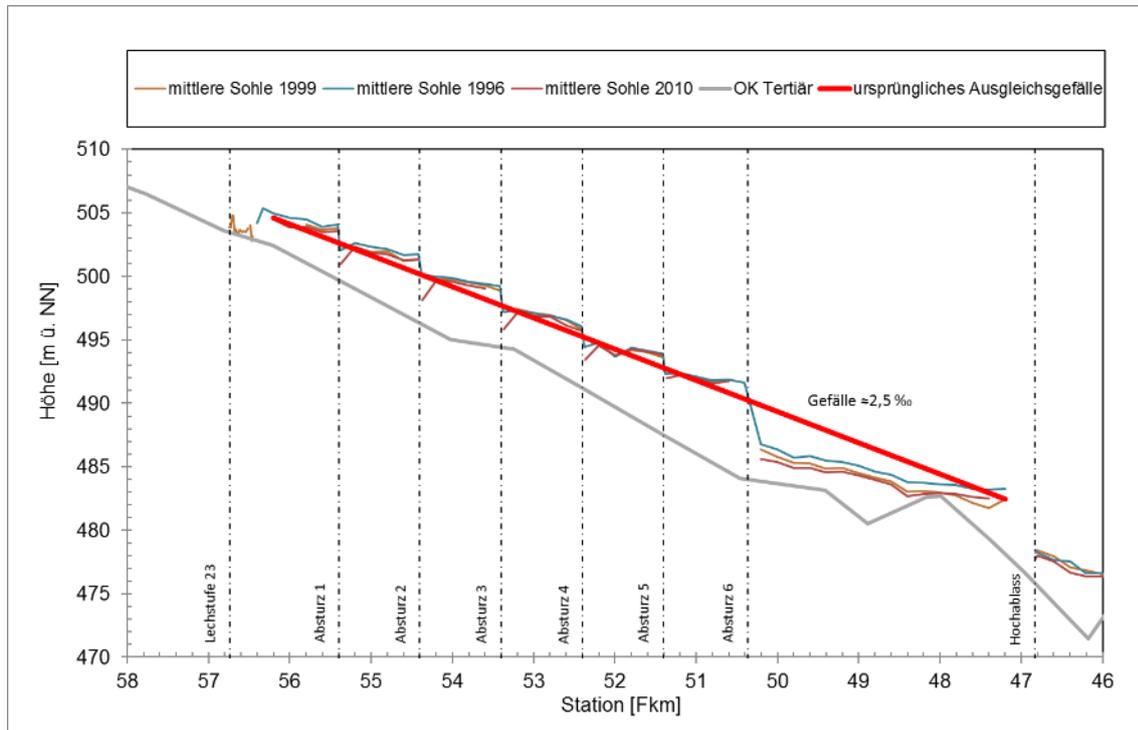


Abbildung 33: Längsschnitt mit mittleren Sohlhöhen und Abschätzung des ursprünglichen Sohlgefälles des Lech

Aus Erfahrungen mit Flussaufweitungen und wissenschaftlichen Untersuchungen [7] ist bekannt, dass Aufweitungen in Flüssen mit begrenztem Geschiebedargebot nur eingeschränkt wirksam sind. So zeigen die Ergebnisse eines Modellversuchs an der ETH¹ Zürich, dass sich aus einem verzweigten Gerinne nach einer Hochwasserwelle mit begrenzter Geschiebezufuhr ein dominantes Einzelgerinne mit einer gewissen Sohlbreite einstellt (siehe Abbildung 34).

¹ Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

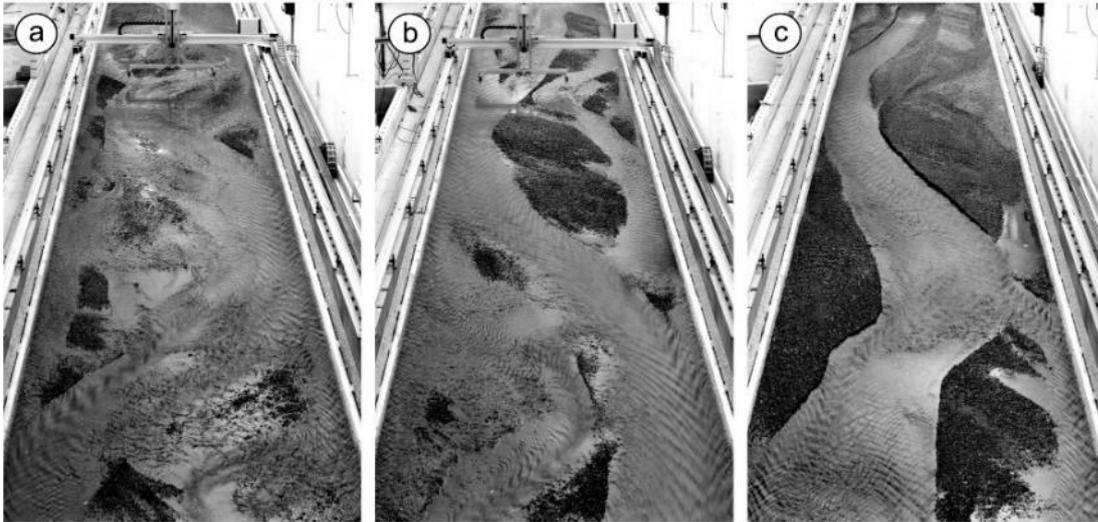


Abbildung 34: Entwicklung eines dominanten Einzelgerinnes nach einer Hochwasserwelle mit begrenzter Geschiebezufuhr [7]

Die nachfolgend geschilderten Überlegungen zielen auf eine Abschätzung des durch die vorgesehenen Maßnahmen unter den gegebenen Randbedingungen erreichbaren Ausgleichsgefälles ab.

Entsprechend der Zielsetzung wird zuerst mittels einer Literaturrecherche und einer Sensitivitätsanalyse untersucht, welche natürlichen Gerinneformen bei unterschiedlichen Randbedingungen für den Lech im Planungsbereich I zu erwarten wären. Die ausführliche Beschreibung der Literaturrecherche und der gewonnenen Erkenntnisse findet sich in der Anlage 5.5. An dieser Stelle wird eine Auswertung ausgewählter empirischer Gleichungen vorgestellt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Durchfluss und Sedimentaufkommen, sowie bei Betrachtung von „Ingenieurszeiträumen“ (im Gegensatz zu geologisch längeren Zeiträumen), auch das Talgefälle die wichtigen unabhängigen Variablen bei der Einstellung einer stabilen Regimebreite sind [21]. Da im Bereich des Lech keine der drei Variablen unbeeinflusst von menschlicher Aktivität ist, ist das Einstellen einer natürlichen Regimebreite nicht zu erwarten. Dennoch werden die im Folgenden angeführten empirische Gleichungen ausgewertet, um eine Planungsgrundlage für möglichst naturnahe Gerinnebreiten zu erhalten. Bezüglich der unabhängigen Variablen (Eingangsvariablen) bestehende Unsicherheiten werden durch eine Parameterstudie näherungsweise erfasst.

In der Literatur werden unterschiedliche Durchflüsse als die Relevanten bzw. Bettbildenden angeführt. Oft ist von einem bordvollen Durchfluss die Rede [22]. Dieser

wird zum Beispiel angenähert durch das Jahresabflussmittel [23], ein HQ2 [22], die Bandbreite der Abflüsse von HQ1 bis HQ5 ([14], [24]) oder ein MHQ [24]. Es ist zu erwarten, dass auch die zeitliche Abfolge von Abflüssen einen Einfluss hat.

Daten zum tatsächlichen Sedimentaufkommen sind oft schwer verfügbar. Außerdem kann dieses zeitlich variieren und steht erwartungsweise in seinem Effekt im Wechselspiel mit der zeitlichen Abfolge von Hochwässern. Im Falle des Lech unterhalb der Lechstufe 23 ist kein Sedimenteintrag aus dem Staubecken zu erwarten. Damit die nachfolgenden empirischen Ansätze ihre Gültigkeit erhalten, müsste somit eine künstliche Geschiebezugabe realisiert werden, über deren Menge und Zusammensetzung allerdings aus den Ansätzen keine Information hervorgeht.

Folgende Gleichungen wurden getestet:

Tabelle 19: Übersicht ausgewählte Ansätze zur Abschätzung stabiler Gerinnebreiten

<p>Thayer, 2016 [25]</p> $w_{bf} = 2.576 \cdot Q_{bf}^{0.443} \cdot D_{50}^{0.043} \cdot S^{-0.109}$ <p>mit</p> <p>w_{bf} stabile Breite in [m]</p> <p>Q_{bf} bordvoller Durchfluss in [m³/s]</p> <p>D_{50} Korndurchmesser bei 50 % Siebdurchgang in [m]</p> <p>S Talgefälle [-]</p>	<p>Empirischen Regimegleichung; ausgewählt, da aktuell (2016) und auf größter Datenbasis basierend; Gleichung gilt speziell für Kiesflüsse</p>
<p>Millar, 2005 [22]</p> $W^* = 16.5 \cdot Q^{0.7} \cdot S^{0.6} \cdot \mu'^{-1.10}$ $Q^* = Q / \left(d_{50}^2 \sqrt{g d_{50} (s - 1)} \right)$ $W^* = W / d_{50}$ $\mu' = \tau_{bankc} / \tau_{bedc}$ <p>$\mu' = 1$ bei Kiesufern ohne Vegetation</p> <p>$s = 2.65$ spezifisches Gewicht des Geschiebes in [kg/cm³]</p> <p>Q Durchfluss in [m³/s]</p> <p>W stabile Breite in [m]</p>	<p>Extremalansatz (Regimemodell); ausgewählt, da Millar sich speziell mit Kiesflüssen mit beweglicher Sohle und relativ stabilen Ufern auseinandersetzt; Anwendung einer Form mit bekanntem Gefälle S als unabhängige Eingangsvariable</p>

Schmautz, 2003 [24]

$$b_{eq}^* \approx \frac{1.04 \cdot Q \cdot I_0^{7/6}}{k_{Str} \cdot \rho'^{5/3} \cdot d_m^{5/3} \cdot \theta_{m,U}^{5/3}}$$

mit

k_{Str} Rauheitsbeiwert nach Strickler in [$m^{1/3}/s$]

ρ' spezifisches Gewicht des Geschiebes [-]

$\theta_{m,U}$ über die Sohlbreite gemittelter Shields
Parameter [-]

d_m mittlerer Korndurchmesser der Sohle in [m]

I_0 Sohlgefälle [-]

Q Durchfluss in [m^3/s]

b_{eq}^* stabile Breite in [m]

Handrechenverfahren zur
Abschätzung einer maximal zu
erwartenden Gewässerbreite;
basierend auf 2D und 3D
numerischen
Parameterstudien

Um die Sensitivität der ausgewählten empirischen Gleichungen auf unterschiedliche Eingangsparameter einschätzen zu können, werden ausgewählte Durchflüsse, Sohlgefälle und maßgebliche Korndurchmesser des Sohlmaterials getestet. In Anlage 5.1 „Morphologisches Modell – Modellkonzept“, Tabelle 3.1 finden sich eine Übersicht der Kornkenngrößen aller Proben der Jahre 2011 bis 2016. Die Bandbreite des Sohlmaterials der Gewässersohle bewegt sich näherungsweise zwischen Probe 82171_2016_US mit $d_{50} = 17,5$ mm bzw. $d_m = 25,1$ mm für feines Unterschichtmaterial und Probe 82172_2016_DS mit $d_{50} = 25,7$ mm bzw. $d_m = 33,9$ mm als typische Deckschicht. Als relevante bettbildende Durchflüsse werden HQ1=370 m^3/s und HQ5=560 m^3/s (Pegel Haunstetten) angesetzt. Das Sohlgefälle S bzw. I_0 wird zwischen 1,8, 2,0, 2,2 und 2,5 ‰ variiert. Letzteres ist jenes Sohlgefälle, welches vor den Korrektionsmaßnahmen am Lech vorgeherrscht haben dürfte (Abbildung 33). Der Rauheitsparameter in der Gleichung gemäß Schmautz [24] wird zu $k_{str} = 35 m^{1/3}/s$ und das spezifische Gewicht des Geschiebes zu $\rho' = 1,65$ angenommen.

Bei dem Ansatz nach Millar (2005) [22] ist μ' entweder gleich 1 oder, wenn die Ufer durch kohäsives Material oder Bewuchs stabilisiert sind, mit $\mu' > 1$ anzusetzen. Millar (2005) empfiehlt, den Parameter an in der Natur gemessenen Breiten bei natürlichen Stellen zu kalibrieren. Dies war nicht möglich. Da der Parameter μ' einen relativ großen Einfluss auf das Resultat zeigt, werden $\mu' = 1$ und $\mu' = 1,2$ getestet. Im Handrechenverfahren nach Schmautz (2003) [24] ist der über die Sohlbreite gemittelten Shields Parameters $\theta_{m,U}$ von erheblichen Einfluss. Durch die beiden Werte 0,0575 und 0,0675 wird eine möglichst große Bandbreite abgedeckt.

Folgende Tabellen zeigen die Ergebnisse für stabile Flussbreiten B bei unterschiedlichen Eingangsgrößen zufolge der ausgewählten Ansätze aus Tabelle 19.

Tabelle 20: Stabile Breiten B bei $HQ1=370 \text{ m}^3/\text{s}$ und $d_{50} = 25,7 / d_m = 33,9 \text{ mm}$ für unterschiedliche Sohlgefälle S

Sohlgefälle	S [‰]	1,8	2,0	2,2	2,5
Thayer (2016)	B [m]	60	59	59	58
Millar (2005) mit $\mu' = 1.0$	B [m]	137	146	155	167
Millar (2005) mit $\mu' = 1.2$	B [m]	112	120	127	137
Schmautz (2003) mit $\theta_{m,U} = 0.0575$	B [m]	98	111	124	144
Schmautz (2003) mit $\theta_{m,U} = 0.0675$	B [m]	75	85	95	111

Tabelle 21: Stabile Breiten B bei $HQ1 = 370 \text{ m}^3/\text{s}$ und $d_{50} = 17,5 / d_m = 25,1 \text{ mm}$ für unterschiedliche Sohlgefälle S

Sohlgefälle	S [‰]	1,8	2,0	2,2	2,5
Thayer (2016)	B [m]	59	59	58	57
Millar (2005) mit $\mu' = 1.0$	B [m]	183	195	207	223
Millar (2005) mit $\mu' = 1.2$	B [m]	192	205	217	234
Schmautz (2003) mit $\theta_{m,U} = 0.0575$	B [m]	163	184	205	238
Schmautz (2003) mit $\theta_{m,U} = 0.0675$	B [m]	124	141	157	183

Tabelle 22: Stabile Breiten B bei $HQ5=560 \text{ m}^3/\text{s}$ und $d_{50} = 25,7 / d_m = 33,9 \text{ mm}$ für unterschiedliche Sohlgefälle S

Sohlgefälle	S [‰]	1,8	2,0	2,2	2,5
Thayer (2016)	B [m]	72	71	71	70
Millar (2005) mit $\mu' = 1.0$	B [m]	184	196	207	224
Millar (2005) mit $\mu' = 1.2$	B [m]	150	160	169	183
Schmautz (2003) mit $\theta_{m,U} = 0.0575$	B [m]	149	169	188	219
Schmautz (2003) mit $\theta_{m,U} = 0.0675$	B [m]	114	129	144	167

Tabelle 23: Stabile Breiten B bei $HQ5=560 \text{ m}^3/\text{s}$ und $d_{50} = 17,5 / d_m = 25,1 \text{ mm}$ für unterschiedliche Sohlgefälle S

Sohlgefälle	S [‰]	1,8	2,0	2,2	2,5
Thayer (2016)	B [m]	71	70	70	69
Millar (2005) mit $\mu' = 1.0$	B [m]	245	261	276	298
Millar (2005) mit $\mu' = 1.2$	B [m]	257	274	290	313
Schmautz (2003) mit $\theta_{m,U} = 0.0575$	B [m]	246	278	311	361
Schmautz (2003) mit $\theta_{m,U} = 0.0675$	B [m]	188	213	238	276

Aus den Berechnungen wird deutlich, dass sich alleine aufgrund der Unschärfe der Eingangsgrößen eine große Spannweite an stabilen Breiten ergibt.

Die Ergebnisse bewegen sich zwischen 57 und 361 m. Während der Ansatz von Thayer (2016) deutlich von den anderen beiden Ansätzen abweicht, liegen die Breiten aus den Formeln von Millar (2005) und Schmutz (2003) für ein bestimmtes Sohlgefälle S und d_{50} bzw. d_m (Kornzusammensetzung der Sohle) stets innerhalb einer Bandbreite von etwa 70 m. Wählt man z. B. $HQ1 = 370 \text{ m}^3/\text{s}$ als bettbildenden Abfluss und ein Sohlgefälle $S = 1,8 \text{ ‰}$, so ergibt sich als Mittelwert aller Ansätze aus Tabelle 20 und Tabelle 21 außer Thayer (2016) die stabilen Regimebreite $B = 135,5 \text{ m}$. Grundsätzlich lässt sich festhalten (ohne Berücksichtigung des Ansatzes nach Thayer [25]):

- je steiler das Sohlgefälle $S \leftrightarrow$ desto größer wird die stabile Breite B
- je kleiner die charakteristischen Korngrößen d_{50} bzw. $d_m \leftrightarrow$ desto größer wird B
- je größer der bettbildende Durchfluss \leftrightarrow desto größer wird B

Als weitere Planungsgrundlage für die Ableitung von Lösungsansätzen und zur Maßnahmenkonzeption wird ein konzeptionelles Geschiebetransportmodell entworfen. Ziele und Aufgaben des konzeptionellen Modells:

- näherungsweise Abbildung der Morphodynamik und Geschiebetransportraten $QG(t)$ im zeitlichen Verlauf für einen Flussabschnitt
- Kalibrierbarkeit der Modelleingangsparameter mittels historischer Querprofilaufnahmen für charakteristische Kalibrierungszeiträume
- Abschätzung der Auswirkungen von Maßnahme (z. B. Änderung der Sohlneigung, Sohlbreite)

Das konzeptionelle Modell bildet das Transportmodell der Software HYDRO_FT-2D vereinfacht ab. Dies ist insbesondere sinnvoll, da die 2d-morphodynamischen Modelle zur Langzeitprognose des Bezugszustandes und der Planvarianten (Anlagen 5.1 bis 5.4) mit HYDRO_FT-2D berechnet werden. Somit ist zu erwarten, dass die Vorüberlegungen gut zu Modellergebnissen der nachfolgenden Langzeitprognosen passen (Anlagen 5.3 und 5.4). Die Vereinfachungen betreffen u.a. die Flussgeometrie. Anstelle eines zweidimensionalen Berechnungsnetzes wird ein einzelnes finites Volumen mit einem Gewässerprofil in Form eines Rechteckgerinnes mit Breite B und Längsgefälle I_0 zur Abbildung eines ganzen Flussabschnittes benutzt (Abbildung 35). Weitere Eingangsparameter sind die Rauheit und Kornzusammensetzung der Sohle. Es wird angenommen, dass sowohl die mittleren Korndurchmesser der Austauschschicht $d_{ms}(t)$ und der Unterschicht $d_{mo}(t)$ als auch die Gesamtrauheit $k_{St}(t)$ nach Strickler (1923) [26] und die Kornrauheit $k_{St,r}(t)$ zeitlich konstant sind.

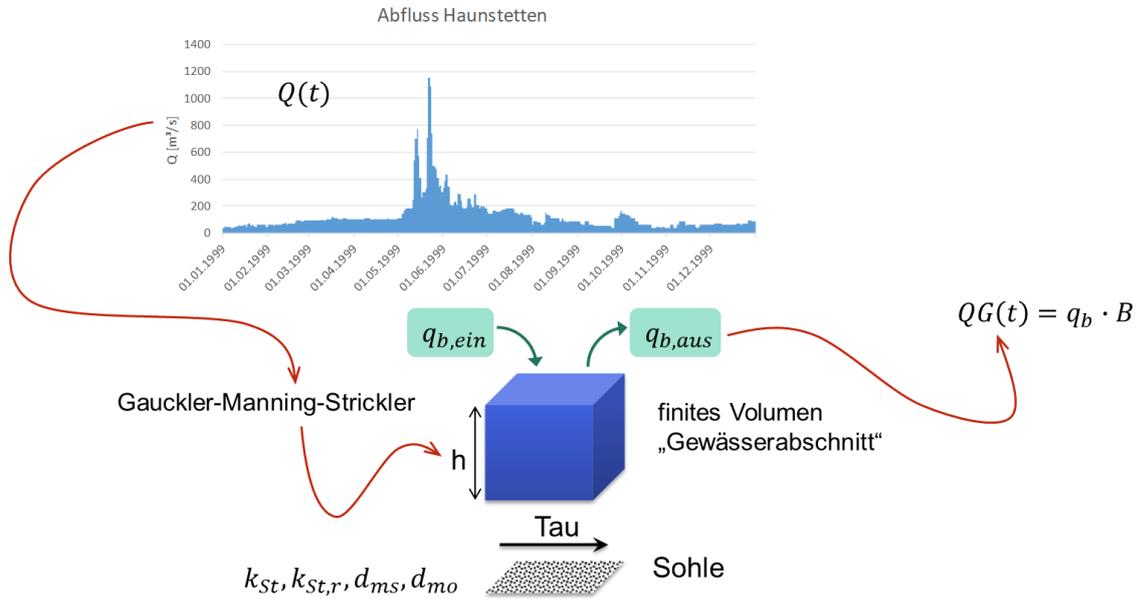


Abbildung 35: Vereinfachte Nachbildung des Transportmodells der Software HYDRO_FT-2D

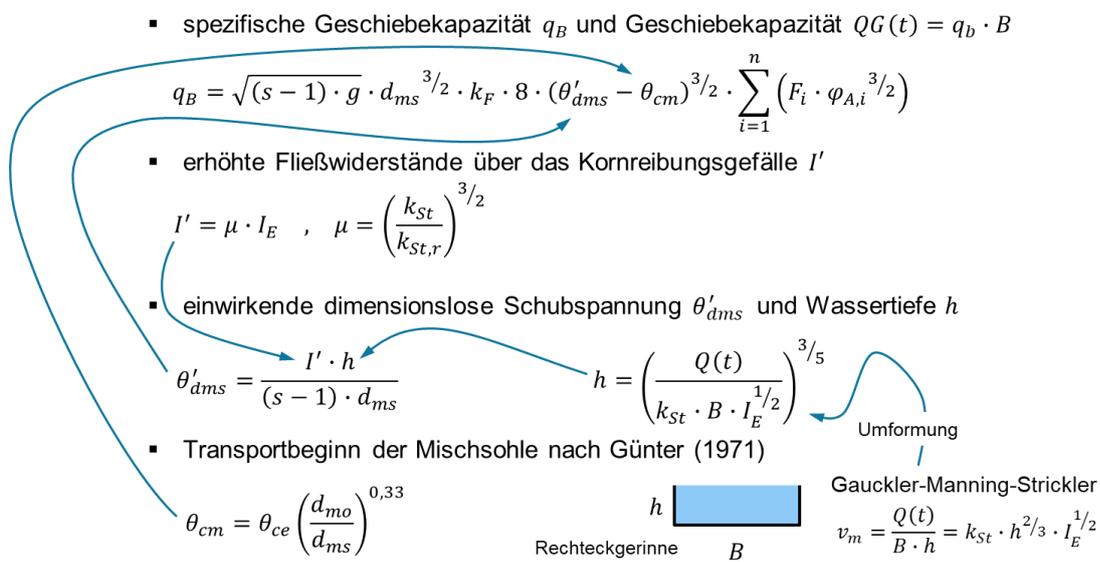


Abbildung 36: Erweiterte Feststofftransportformel nach Meyer-Peter und Müller (1948) für den fraktionierten Transport nach Hunziker (1995)

Abbildung 36 zeigt die Feststofftransportformel nach Meyer-Peter und Müller (1948) [27] mit einer Erweiterung nach Hunziker (1995) [28] für den fraktionierten Transport, die sowohl in HYDRO_FT-2D als auch im konzeptionellen Modell verwendet wird. Für

Details zur zugrundeliegenden Modellvorstellung bzw. für eine genaue Beschreibung aller Formelsymbole wird auf Klar (2016) [29] verwiesen. Das konzeptionelle Modell berechnet für jeden gegebenen Abfluss $Q(t)$ zum Zeitpunkt t die Wassertiefe h nach Gaukler-Manning-Strickler und – wie schematisch in Abbildung 36 dargestellt – schließlich die Geschiebetransportkapazitäten $QG(t)$ als Feststoffvolumen pro Zeiteinheit in m^3/s . Die Geschiebefracht QG_{sum} für eine Zeitperiode ergibt sich als Summe des Produkts $QG(t)$ und der diskreten Zeitschrittweite Δt der Abflussganglinie $Q(t)$ gemäß folgender Gleichung:

$$QG_{sum} = \sum_{t=Start}^{t=Ende} QG(t) \cdot \Delta t$$

Zur Kalibrierung des konzeptionellen Modells werden die historischen Querprofilaufnahmen verwendet (Anlage 5.1, Kapitel 3.3) und Erosions- bzw. Auflandungsvolumina für ausgewählte Zeitperioden abgeleitet. Für den gewählten Kalibrierabschnitt zwischen Fkm 50,2 nach dem Absturz 6 und Fkm 47,4 vor dem Hochablass (Abbildung 37) und der Zeitperiode der Jahre 1986 bis 1999 ergibt sich so ein Erosionsvolumen von ca. 377.000 m^3 (Feststoffvolumen, ohne Porenraum). Dies entspricht einem Geschiebedefizit von ca. 29.000 m^3 pro Jahr. Die mittlere Breite im Kalibrierabschnitt beträgt $B = 62,8$ m. Das mittlere Energieliniengefälle $I_E = 0,0019$ wird näherungsweise dem Wasserspiegelgefälle bei HQ100 gleichgesetzt. Die weiteren Eingangsparameter werden wie folgt gewählt:

- Abflussganglinie $Q(t)$ an der Messstelle Haunstetten mit $\Delta t = 1$ h im Zeitraum 01.01.1986 bis 31.12.1999
- Kornklassen gemäß Anlage 5.1, Tabelle 4.2 (konsistent zu den morphodynamischen Prognosemodellen mit HYDRO_FT-2D)
- mittlerer Korndurchmesser der Austauschschicht $d_{ms} = 40$ mm
- mittlerer Korndurchmesser der Unterschicht $d_{mo} = 19,6$ mm
- Gesamtrauheit $k_{St} = 38 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Kornrauheit $k_{St,r} = 39 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Die gewählten Rauheitsparameter und Korndurchmesser (bzw. Fraktionsanteile der Kornklassen) wurden derart kalibriert, dass die sich ergebenden Zahlenwerte einerseits für den Flussabschnitt plausibel erscheinen und andererseits die sich ergebende Geschiebefracht QG_{sum} mit 377.540 m^3 beinahe der Soll-Feststoff-Fracht von 377.000 m^3 entspricht. Der berechnete zeitliche Verlauf der Geschiebetransportkapazität ist in Abbildung 38 dargestellt.

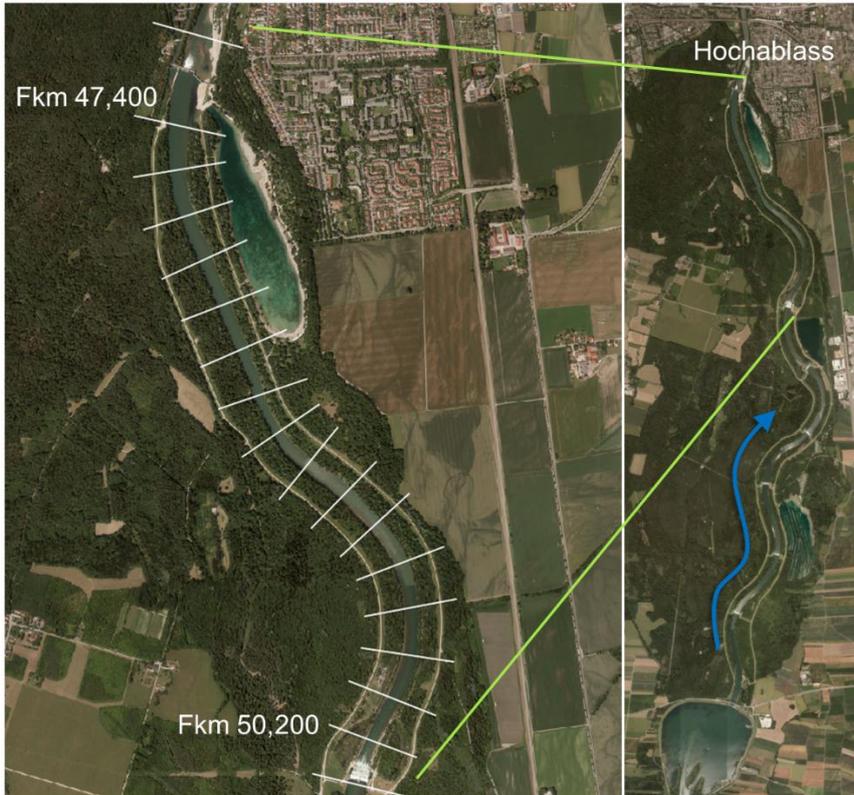


Abbildung 37: Lech von Lechstufe 23 bis Hochablass (rechts) und Ausschnitt des Kalibrierabschnitts zwischen Fkm 50,2 und 47,4 (links)

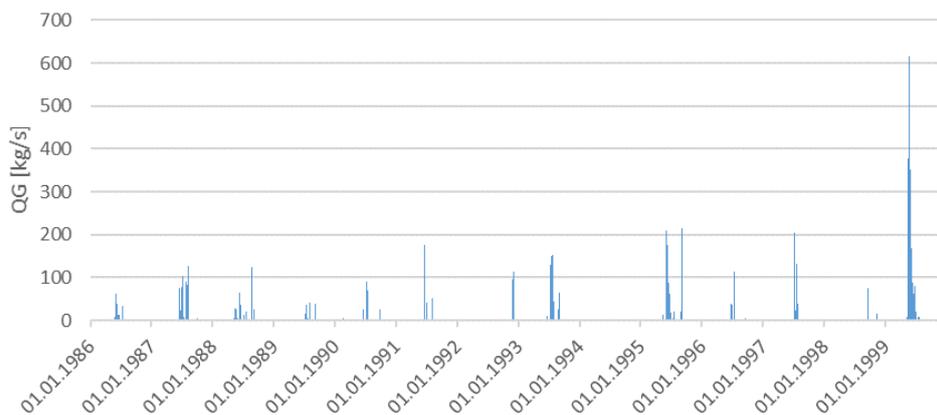


Abbildung 38: Transportkapazität $QG(t)$ in kg/s im Kalibrierabschnitt (siehe Abbildung 37) gemäß dem konzeptionellen Modell im Kalibrierungszeitraum

Ganglinien des Sedimentaustags aus den Prognoseberechnungen sind sowohl für den Bezugszustand als auch die Planzustände in den Berichten der Anlagen 5.3 (Bezugszustand) und 5.4 (Planzustand) enthalten.

Das nunmehr kalibrierte konzeptionelle Modell ermöglicht die Variation aller Eingangsparameter und die rasche Berechnung der Geschiebefracht für beliebige Zeitperioden.

Würde $q_{B,aus} = q_{B,ein}$ gelten (siehe Abbildung 35), d.h. die ausgetragene spezifische Geschiebetransportmenge entspräche stets exakt der Eingetragenen (auch in der Kornzusammensetzung), dann würde ein idealisiertes dynamisches Gleichgewicht vorherrschen. Es gäbe weder Auflandung noch Erosion und die Sohle bliebe stabil. In der Konsequenz würde dies auch bedeuten, dass keine Sortierprozesse an der Flusssohle stattfänden und die vorgegebene Kornzusammensetzung als Eingangsparameter unverändert über den gesamten Betrachtungszeitraum erhalten bliebe. Unter diesen Voraussetzungen kann abgeschätzt werden, wie groß eine theoretisch notwendige künstliche Geschiebezugabe zur Kompensation eines Geschiebedefizits sein müsste. Im betrachteten Kalibrierzeitraum wären dazu ca. 30.000 m³ Feststoffvolumen pro Jahr erforderlich. Als Planungsgrundlage für die Variantenkonzeption werden die Kalibrierparameter k_{St} , $k_{St,r}$, d_{ms} und d_{mo} übernommen und die Sohlbreite B sowie das Energieliniengefälle I_E variiert. Die resultierenden Diagramme sind in Abbildung 39 und Abbildung 40 dargestellt. Darin ist jeweils auch die derzeitige Geometrie als Schnittpunkt der gestrichelten Linien eingezeichnet.

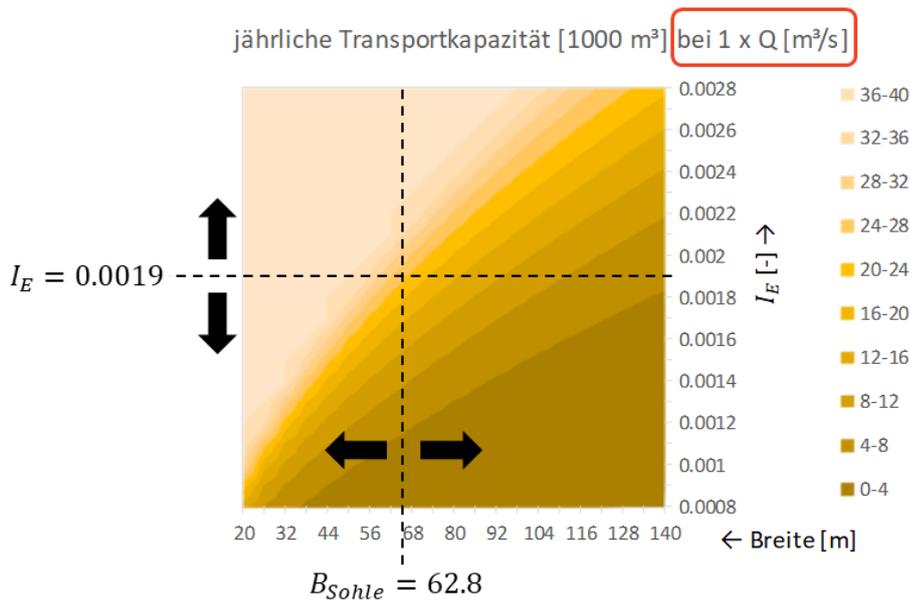


Abbildung 39: Jährliche Transportkapazität bzw. erforderliche Geschiebezugabe in m³ Feststoffvolumen für ein dynamisches Sohlgleichgewicht bei 100 % Abfluss im Lech

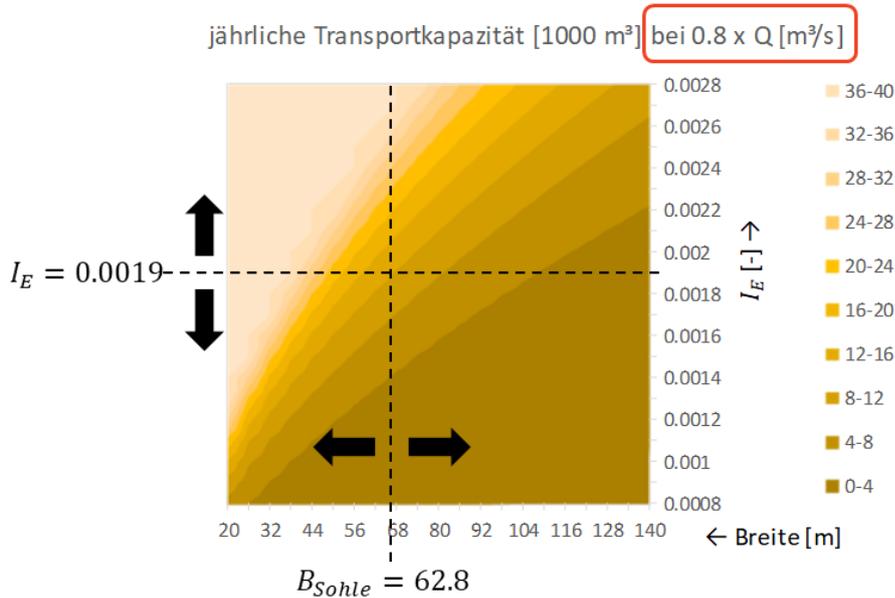


Abbildung 40: Jährliche Transportkapazität bzw. erforderliche Geschiebezugabe in m³ Feststoffvolumen für ein dynamisches Sohlgleichgewicht bei 80 % Abfluss im Lech (z. B. falls 20 % von Q in einem Nebengewässer fließen)

Abbildung 41 zeigt die jährlichen Transportkapazitäten speziell für drei ausgewählte Gefälle. Die gestrichelte Mittellinie illustriert die derzeitigen Verhältnisse mit $I_E = 1,9 ‰$.

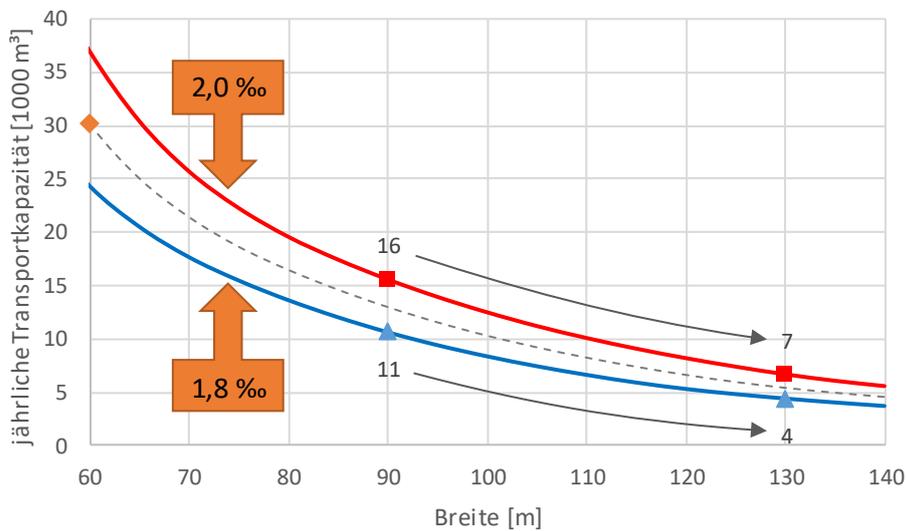


Abbildung 41: Jährliche Transportkapazität bzw. erforderliche Geschiebezugabe in m³ Feststoffvolumen für ein dynamisches Sohlgleichgewicht bei 100 % Abfluss für $I_E = 1,8, 1,9$ und $2,0 ‰$

Fazit: Bei z. B. einer neuen Flussbreite von 130 m und einem Gefälle $I_E = 1,8 ‰$ könnte gemäß dem konzeptionellen Modell die erforderliche jährliche Geschiebezugabe auf ca. 4.000 m³ Feststoffvolumen gesenkt werden.

Abbildung 42 stellt den kritischen Abfluss Q_c des Bewegungsbeginns nach Meyer-Peter und Müller [23] in Abhängigkeit der Flussbreite B und des Gefälles I_E dar:

$$Q_c = I_E^{1/2} \cdot k_{St} \cdot B \cdot \left(\theta_{cm} \cdot \frac{(s-1) \cdot d_{ms}}{\mu \cdot I_E} \right)^{5/3}$$

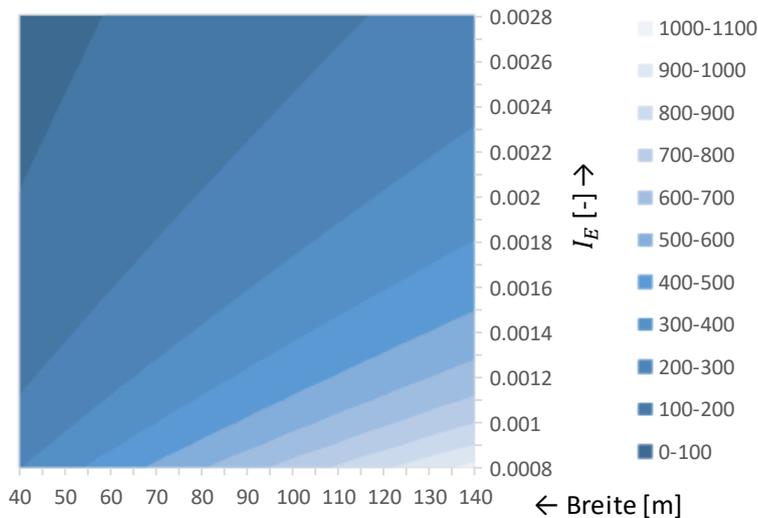


Abbildung 42: Kritischer Abfluss des Bewegungsbeginns Q_c in m³/s

Die folgende Abbildung 43 zeigt, dass die Fließtiefen $h_{Q_c} = (Q_c / (B \cdot k_{St} \cdot \sqrt{I_E}))^{3/5}$ bei kritischem Abfluss Q_c unabhängig von der Flussbreite mit steigendem Gefälle wächst.

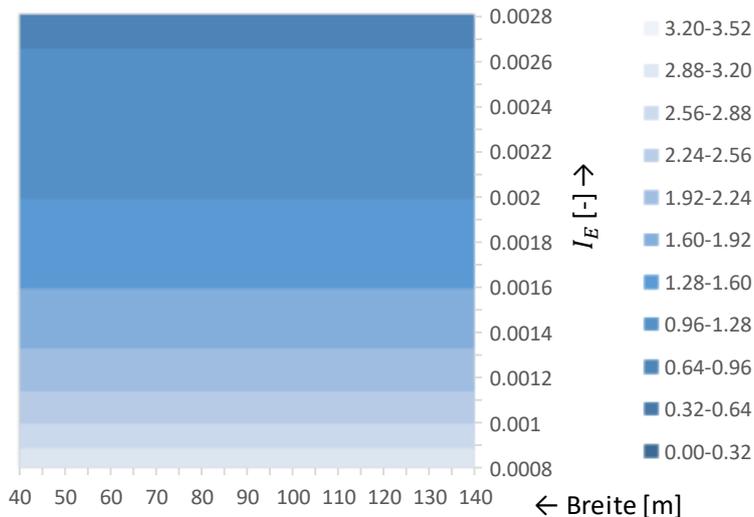


Abbildung 43: Fließtiefen h_{Q_c} in m bei kritischem Abfluss Q_c

Tabelle 24: ausgewählte Fließtiefen h_{Q_c} [m] und zugehörige kritische Abflüsse Q_c

Energieliniengefälle I_E [-]	0,0018	0,002	0,0022	0,0025
Fließtiefe h_{Q_c} [m]	1,41	1,27	1,16	1,02
kritischer Abfluss Q_c [m ³ /s] bei $B = 60$ m	172	152	136	117
kritischer Abfluss Q_c [m ³ /s] bei $B = 130$ m	373	329	295	254

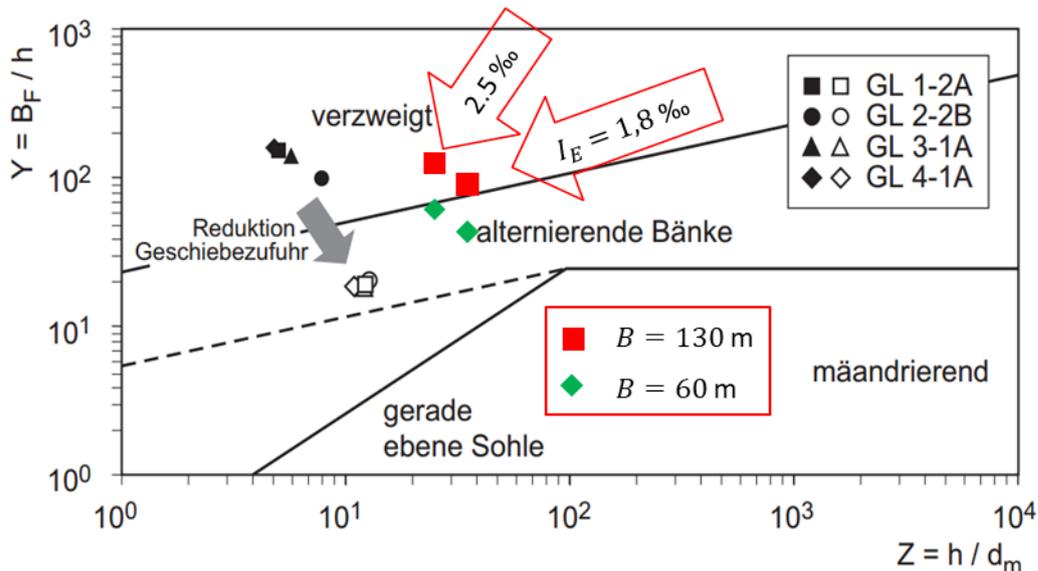


Abbildung 44: Gerinneform in Abhängigkeit von der relativen Flussbettbreite und der relativen Abflusstiefe – Anpassung des Ansatzes von DaSilva (1991) nach Zarn (1997) [9] (in Marti und Bezzola, 2003 [24])

In Abbildung 44 sind vier Wertepaare mit den Daten aus Tabelle 24 für $I_E = 1,8$ und $2,5$ ‰ sowie den Breiten $B = 60$ und 130 m mit jeweils $d_{ms} = 40$ mm (kalibrierter Wert des konzeptionellen Modells) eingezeichnet. Daraus wird ersichtlich, dass sich für beide Energieliniengefälle bei $B = 60$ m die Gerinneform „alternierende Bänke“ gemäß Zarn [9] ergibt. Für $B = 130$ m liegt nur der entsprechende rote Datenpunkt beim Energieliniengefälle $I_E = 1,8$ ‰ an der Grenze zu „alternierenden Bänken“. Wird das Gefälle steiler, so stellt sich hingegen ein verzweigtes Gerinne ein.

Fazit: Aus der Literatur- bzw. Parameterstudie sowie dem konzeptionellen Modell geht hervor, dass eine Kombination aus Sohlbreite $B \cong 130$ m und Sohlneigung $S \cong 1,8$ ‰ ($\cong I_E$) als realistisch erscheint. B dürfte in dieser Kombination der natürlichen Regimebreite entsprechen. Man kann also davon ausgehen, dass der Lech eine Breite von etwa 130 m annehmen wird. Die rechnerisch dazu erforderliche durchschnittliche jährliche Geschiebezufuhr beträgt ca. 4.000 m³. Außerdem würde sich so gerade noch die Gerinneform „alternierende Bänke“ einstellen. Einer möglichen Neigung zur Gerinneverzweigung mit Eintiefungstendenzen könnte ohne Aufwand z. B. mit einer

Reduktion der Geschiebezufuhr begegnet werden. Bei der Breite von 130 m und einer entsprechenden Geschiebezugabe sollte ein Ausgleichsgefälle von 1,8 ‰ erreicht werden können. Im Hinblick auf die vorhandenen Unsicherheiten in der Prognose der Gewässerbreite sowie des Sohlgefälles sei auf die Ausführungen in Kapitel 9.5 verwiesen.

9.3.4 Beschreibung der Varianten

Nachfolgend werden die Varianten beschrieben. Dabei erfolgt eine Unterteilung in die beiden Planungsbereiche I und II. Hinsichtlich der Kombination von Varianten aus den Planungsbereichen I und II bestehen keine Zwänge, die Varianten können beliebig kombiniert werden.

Neben den eigentlichen Varianten wird zudem die sogenannte Nullvariante betrachtet.

Zur leichteren Unterscheidung wurde für die Varianten eine Bezeichnung eingeführt, die nachfolgend am Beispiel der Variante A1 im Planungsbereich I erläutert wird:

Bezeichnung (Beispiel): *Variante I-A1*, darin bedeuten

- I Planungsbereich (I oder II)
- A Variantengruppe (es gibt Varianten, die mehrere ähnliche Untervarianten aufweisen)
- 1 laufende Nummerierung der Untervarianten

9.3.4.1 Nullvariante

Die Nullvariante ist dadurch gekennzeichnet, dass der Lech im Istzustand belassen wird und keine der Sanierungsvarianten umgesetzt wird. Eine weitere Eintiefung der Lechsohle sowie alle damit verbundenen Konsequenzen für wasserwirtschaftliche und ökologische Belange werden in Kauf genommen. Bestehende Einrichtungen, wie z. B. Ufersicherungen, Hochwasserschutzeinrichtungen und Brückenfundamente sind dadurch grundsätzlich gefährdet.

Mit Hilfe von Maßnahmen, die im Rahmen des Gewässerunterhalts ausgeführt werden, wird auf zukünftige Sohleintiefungen reagiert. Dabei werden folgende Ziele zugrunde gelegt:

- Der bestehende Hochwasserschutz wird soweit es geht erhalten.

- Bauwerke im Lech (z. B. Brückenpfeiler, Querbauwerke) werden so gut es geht gesichert.
- Eine Verschlechterung der ökologischen Verhältnisse infolge einer weiter voranschreitenden Sohleintiefungen wird in Kauf genommen.

Für die Nullvariante wird folgende Unterhaltsstrategie vorgesehen:

Der Unterhalt wird bautechnisch in der bisher vorgenommenen Art und Weise fortgeführt. Es wird versucht, die Uferlinie zu erhalten. Die Ufer werden in der gesamten Betrachtungsstrecke nach erfolgter Eintiefung "nachversteint", Pfeilerfundamente an Brücken werden durch Umfassungen vor Unterspülung geschützt, Querbauwerke werden vor rückschreitender Erosion im Unterwasser durch eine entsprechende Nachversteinung gesichert.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass der Lech auf Grund der Gefahr des Sohdurchschlags als nicht beherrschbar einzustufen ist. Da die quartären Schichten bereichsweise bereits ausgeräumt sind und die Eintiefung in die feinkörnigen tertiären Schichten erfolgt, können sich bei einem singulären Hochwasserereignis extreme Eintiefungen mit nur schwer absehbaren Folgen einstellen.

9.3.4.2 Voruntersuchung der Varianten - Grundwassersituation

Am Beispiel der Variante I-A1 wurde in einem iterativen Prozess die Sohlhöhe in den Abschnitten 1 bis 5 bzw. das zukünftige Ausgleichsgefälle in den Abschnitten 6 bis 8 derart angepasst, dass dadurch keine Verschlechterung der Grundwassersituation im Bereich der bebauten Bereiche (Mering, Kissing, Hochzoll und Haunstetten) erfolgt.

In den Abschnitten 1 bis 5, also von der Lechstaustufe 23 bis zur Sohlrampe bei Fkm 50,4 wurde bei einem Ausgleichsgefälle von 1,8 ‰ die Kronenhöhe der beiden Sohlrampen variiert. Von der Sohlrampe bei Fkm 50,4 bis zum Hochablass wurde das Ausgleichsgefälle variiert. Das im Sinne der Grundwassersituation noch verträgliche zukünftige Ausgleichsgefälle beträgt hier etwa 1,3 ‰. Die zulässige Aufweitungsbreite muss hier entsprechend eingeschränkt werden. Diese beträgt etwa 85 m.

Alle weiteren Varianten wurden aufbauend auf diesen Kenntnissen konzipiert. Die sohlmorphologische Entwicklung ist ähnlich wie bei Variante I-A1. Damit sind alle Varianten hinsichtlich der zukünftigen Grundwasserverhältnisse in Bezug auf die Bebauung sowie die Trinkwasserversorgung verträglich.

Hinsichtlich der Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen sei hier auf den Bericht zum Modelleinsatz in Anlage 4.2, Kapitel 4.2.2 verwiesen. Die Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen am Beispiel der Variante I-B (siehe Kapitel 9.3.4.4), wie sich der Wasserspiegel im Planzustand gegenüber dem Bezugszustand verändert.

- Zwischen Staustufe 23 und Fkm 50,4 entspricht der Wasserspiegel bei kleinen bis mittleren Abflüssen (MNQ und MQ) in den Planungszuständen im Mittel etwa dem Wasserspiegel im Bezugszustand. In Folge der Abtreppung des Wasserspiegels im Bezugszustand durch die sechs Abstürze liegt der Wasserspiegel in den Planungszuständen bereichsweise höher als im Bezugszustand, in anderen Bereichen taucht der Wasserspiegel unter den des Bezugszustands ab. Mit zunehmendem Abfluss (HQ1 bis HQ100) nimmt auf Grund der größeren Breite des Lech in den Planungszuständen die Fließtiefe weniger zu als im Bezugszustand. Die Wasserspiegel liegen tendenziell niedriger als im Bezugszustand.

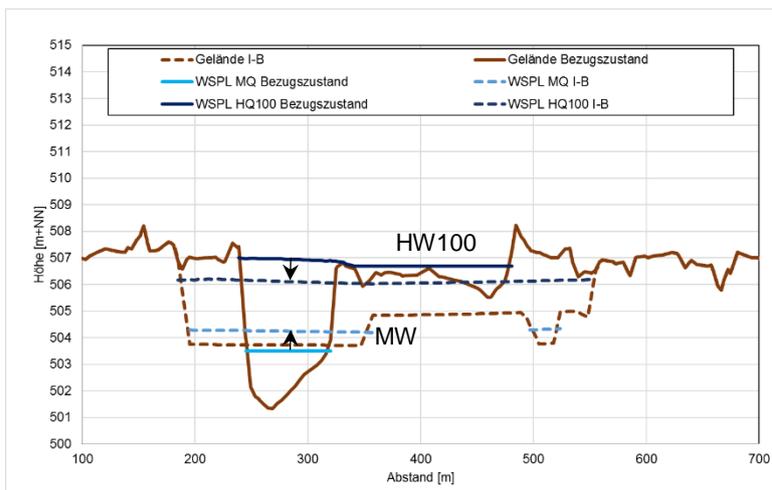
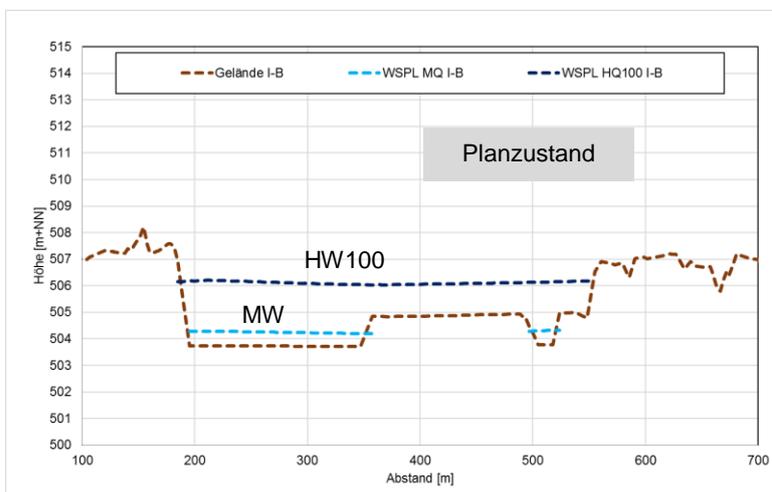
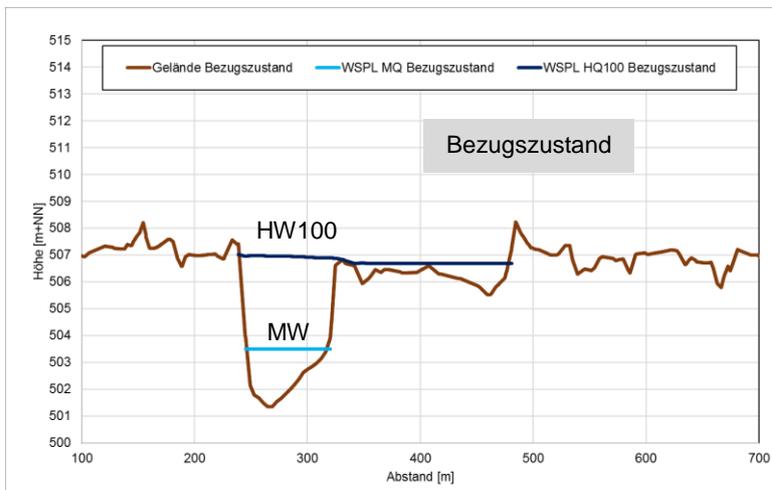


Abbildung 45: Wasserspiegel bei MQ und HQ100 beispielhaft am Querschnitt Fkm 55,4, oben: Bezugszustand, mitte: Planzustand Variante I-B, unten: Bezugs- und Planzustand überlagert.

- Im Längsschnitt der Abbildung 46 sind in einem Ausschnitt des Planungsbereichs I die Wasserspiegel für HQ100 und das Hochwasser 2005 (max. Wasserspiegel beim Durchgang der Hochwasserwelle) für den Bezugszustand sowie beispielhaft für die Variante I-B dargestellt. Hier ist gut zu erkennen, dass der um etwa 80 m³/s höhere Abfluss beim Hochwasser 2005 gegenüber dem HQ100 im Bezugszustand einen deutlich höheren Wasserspiegel bewirkt als im Planzustand der Variante I-B. Zu begründen ist dies wie oben durch die deutlich größere Flussbreite bei Variante I-B gegenüber dem Bezugszustand.

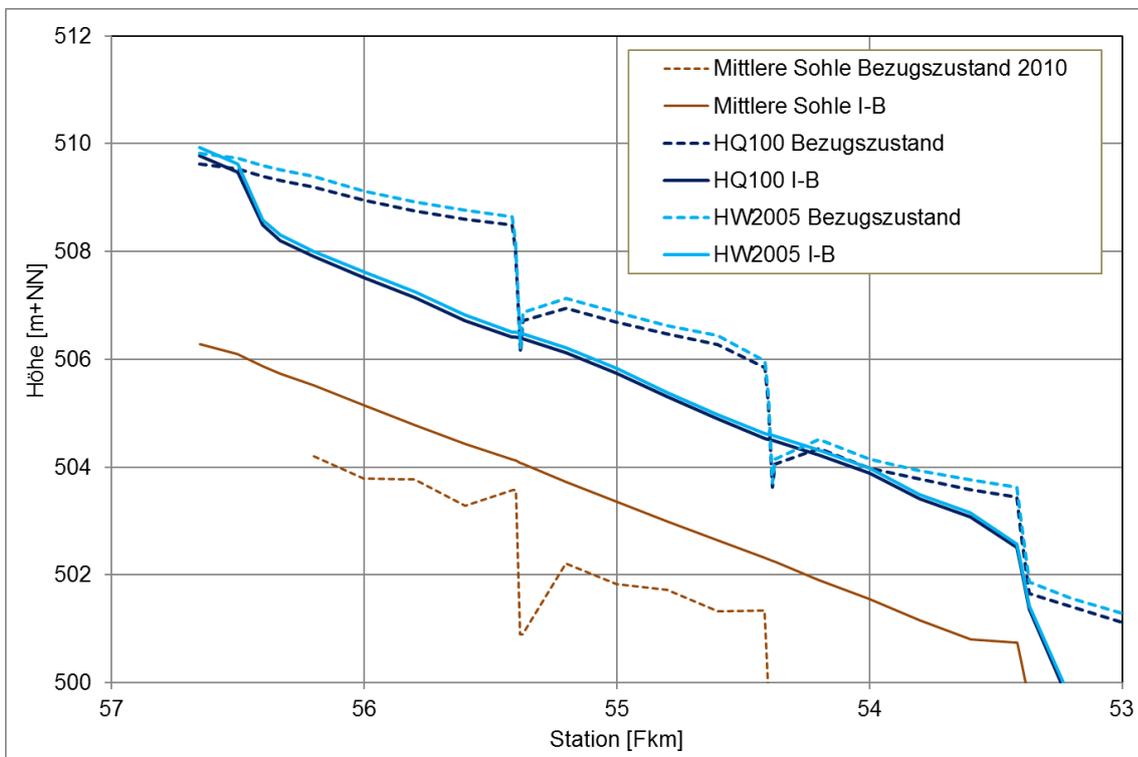


Abbildung 46: Längsschnitt im Bereich Fkm 57 bis 53 mit Wasserspiegeln bei HQ100 und HQ2005 im Bezugszustand und Variante I-B

9.3.4.3 Variantengruppe A

Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Erläuterungen der Varianten wird empfohlen, den entsprechenden Lageplan parallel zu betrachten.

Die Varianten der Gruppe A orientieren sich stark am vorhandenen Umsetzungskonzept (siehe Kapitel 7.3). Die Aufweitungen sind teilweise im Innenufer vorgesehen. Dort müssen diese maschinell erfolgen.

Zunächst wird aus der Variantengruppe A die Variante A1 vorgestellt. Die Variante A2 unterscheidet sich von Variante A1 nur geringfügig.

Variante I-A1

Lageplan	▪ Siehe Anlage 2.9
Längsschnitt	▪ Siehe Abbildung 47
	▪ Ausgleichsgefälle Abschnitte 1 bis 5: 1,8 ‰
	▪ Ausgleichsgefälle Abschnitte 6 und 7: 1,3 ‰
Querbauwerke	▪ Abstürze 1, 2, 4 und 5 werden zurückgebaut.
	▪ Abstürze 3 (Fkm 53,4) und 6 (Fkm 50,4) werden in biologisch durchgängige Sohlrampen umgebaut.
	▪ Die Kronenhöhen der Sohlrampen bei Fkm 53,4 und Fkm 50,4 werden entsprechend dem Längsschnitt (Abbildung 47) unter Berücksichtigung eines erforderlichen Versatzes der Rampenkronen gewählt.
Aufweitung	▪ In den Abschnitten 1 bis 5 wird eine Aufweitung des Lech auf etwa 130 m erwartet bzw. maschinell hergestellt.
	▪ In den Abschnitten 6 und 7 beträgt die maximal zulässige Aufweitung etwa 85 m.
	▪ In den Abschnitten 1 bis 3 erfolgt die Aufweitung im Gleitufer. Diese muss somit maschinell hergestellt werden.
	▪ In den Abschnitten 4 bis 7 erfolgt die Aufweitung im Prallufer bzw. in der geraden Strecke. Hier erfolgt die Aufweitung eigendynamisch.
Nebengewässer	▪ In den Abschnitten 1, 2 und 3 werden Nebengewässer mit einer Initialbreite von 10 m (entspricht der Breite des Wasserspiegels bei Mittelwasser) vorgesehen.
	▪ Ufersicherungen sind zunächst nicht erforderlich.
	▪ Auf Grund des hohen Wasserspiegelgefälles im Abschnitt 3 ist auch in dem entsprechenden Nebengewässer ein Querbauwerk erforderlich. Dieses wird biologisch durchgängig gestaltet. In weiteren Planungsschritten ist zu prüfen, welche Höhendifferenz über das Querbauwerk abgebaut werden soll. Gegebenenfalls kann ein gegenüber dem Lech erhöhtes Energieliniengefälle und damit auch eine erhöhte Dynamik zugelassen werden.

- Sekundärauen
 - Im unmittelbaren Auslaufbereich der Nebengewässer sind durchgehende Ufersicherungen erforderlich.
 - In den Abschnitten 1, 2 und 3 werden die Flächen zwischen dem Lech und den Nebengewässern durch Abgrabung auf ein tieferes Niveau gebracht (Sekundärauen). Die als FFH-Lebensraumtypen kartierten Flächen werden davon ausgenommen und nicht verändert.
 - Im Abschnitt 6 wird linksseitig und rechtsseitig zwischen Lech und dem vorhandenen Deich eine Sekundäraue angelegt.
- Weiche Ufer
 - Neben den maschinellen Aufweitungen in den Abschnitten 1 bis 3 werden auch in den Gleituferebereichen der Abschnitte 4 bis 7 die vorhandenen Ufersicherungen entfernt. Hier werden sich Weiche Ufer einstellen. Voraussichtlich sind nur lokal Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Lediglich im Bereich der beiden Sohlrampen müssen auf gewissen Streckenabschnitten ober- und unterstrom der Bauwerke die Ufersicherungen belassen werden.
 - Die Ufer der neuen Nebengewässer können weitgehend als Weiche Ufer belassen werden. Voraussichtlich sind nur lokal Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Im Bereich der Sohlrampe im Abschnitt 3 sind durchgehende Ufersicherungen erforderlich.
- Sicherungsmaßnahmen
 - Abschnitte 1 und 2
 - Im Lech ist eine Aufweitung am Gleitufer vorgesehen. Voraussichtlich sind keine Maßnahmen notwendig, gegebenenfalls als Ergebnis des Monitorings jeweils eine oder zwei Lauffixierungen, um eine Laufverlagerungen zu vermeiden.
 - Die Ufer im unmittelbaren Ausleitungsbereich der Nebengewässer müssen durchgehend gesichert werden. Darüber hinaus sind zunächst keine Maßnahmen erforderlich. Gegebenenfalls sind zu einem späteren Zeitpunkt einzelne Lauffixierungen nachzurüsten, falls sich eine unerwünschte Laufverlagerung abzeichnet.
 - Abschnitt 3
 - Im unmittelbaren Bereich der Sohlrampen ist eine durchgehende Ufersicherung aus Wasserbausteinen

vorzusehen. Dies gilt sowohl für den Lech als auch das Rampenbauwerk im Nebengewässer.

- Die Ufer im Bereich der Ausleitung des Nebengewässers sind durchgehend zu sichern.

Abschnitt 4

- Linksseitig ist im Bereich der Aufweitung des Lech eine Fortführung der durchgehenden Ufersicherung erforderlich. Die Länge beträgt etwa 200 m bis zum Übergang in die Weichen Ufer im Gleitufer.
- Linksseitig sind im Anschluss an die durchgehende Ufersicherung nach der Entfernung der Ufersicherung auf Grund der Gleitufersituation voraussichtlich keine Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Allenfalls einzelne lokale Lauffixierungen zu einem späteren Zeitpunkt.
- Rechtsseitig sind Sicherungsmaßnahmen entlang des Deichs vorzusehen.

Abschnitt 5

- Linksseitig ist eine Sicherung des vorhandenen Deichs erforderlich.
- Rechtsseitig sind nach der Entfernung der vorhandenen Ufersicherung voraussichtlich keine Sicherungsmaßnahmen notwendig (Gleitufersituation). Allenfalls einzelne lokale Lauffixierungen zu einem späteren Zeitpunkt.
- Im Nahbereich der Sohlrampe bei Fkm 50,4 sind die Uferbereiche durchgehend mit Wasserbausteinen zu sichern.

Abschnitt 6

- Im unmittelbaren Bereich der Sohlrampe ist eine durchgehende Ufersicherung aus Wasserbausteinen vorzusehen.
- Linksseitig sind voraussichtlich keine Sicherungsmaßnahmen erforderlich (Gleitufer).
- Rechtsseitig ist eine Begrenzung der Aufweitung durch Lauffixierungen notwendig.

Abschnitt 7

- Linksseitig ist eine Begrenzung der Aufweitung durch Lauffixierungen notwendig.
- Rechtsseitig wird eine durchgehende Ufersicherung eingebaut.

- | | |
|---------------------------------------|--|
| Deichrückverlegungen | <ul style="list-style-type: none">▪ Deichrückverlegungen sind in den Abschnitten 1, 2 und 3 vorgesehen.▪ Je nach Geländehöhen im Bereich der zurückverlegten Trasse sind entweder keine Maßnahmen notwendig, lediglich eine Geländemodellierung bzw. ein neuer Deich. |
| Übergangsbauwerk zur Lechstaustufe 23 | <ul style="list-style-type: none">▪ Etwa zwischen Fkm 56,3 und 56,7 wird die Sohle des Lech durch den Einbau eines Offenen Deckwerks vor einer rückschreitenden Erosion geschützt. |
| Geschiebezugabe | <ul style="list-style-type: none">▪ Die voraussichtliche Geschiebezugabemenge beträgt zwischen 3.000 und 5.000 m³ pro Jahr.▪ Die tatsächliche Geschiebezugabe ist als Ergebnis des Monitorings des Lech festzulegen. |
| Sparten | <ul style="list-style-type: none">▪ Im Abschnitt 6 führt eine 110 kV Freileitung über den Lech.▪ Orographisch rechts befindet sich ein Strommast im Bereich der Sekundäraue; dieser ist entsprechend zu sichern.▪ Auf der linken Lechseite befindet sich ein Strommast im unterstromigen Bereich der Sohlrampe. Dieser sollte um einige Meter versetzt werden. Sollte dies nicht möglich sein, kann auch die Sohlrampe um ca. 50 m nach oberstrom verschoben werden, so dass der Strommast nicht verlegt werden muss.▪ Die Notversorgungsleitung für Trinkwasser der Gemeinde Kissing verläuft durch den Lech ist anzupassen. |
| Regulierung
Weitmannsee, Auensee | <ul style="list-style-type: none">▪ Maßnahmen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit (Regulierung Grundwasserstände)▪ Ertüchtigung Ableitungsgerinne, Kreuzungsbauwerke Deiche / Geländeanpassung |

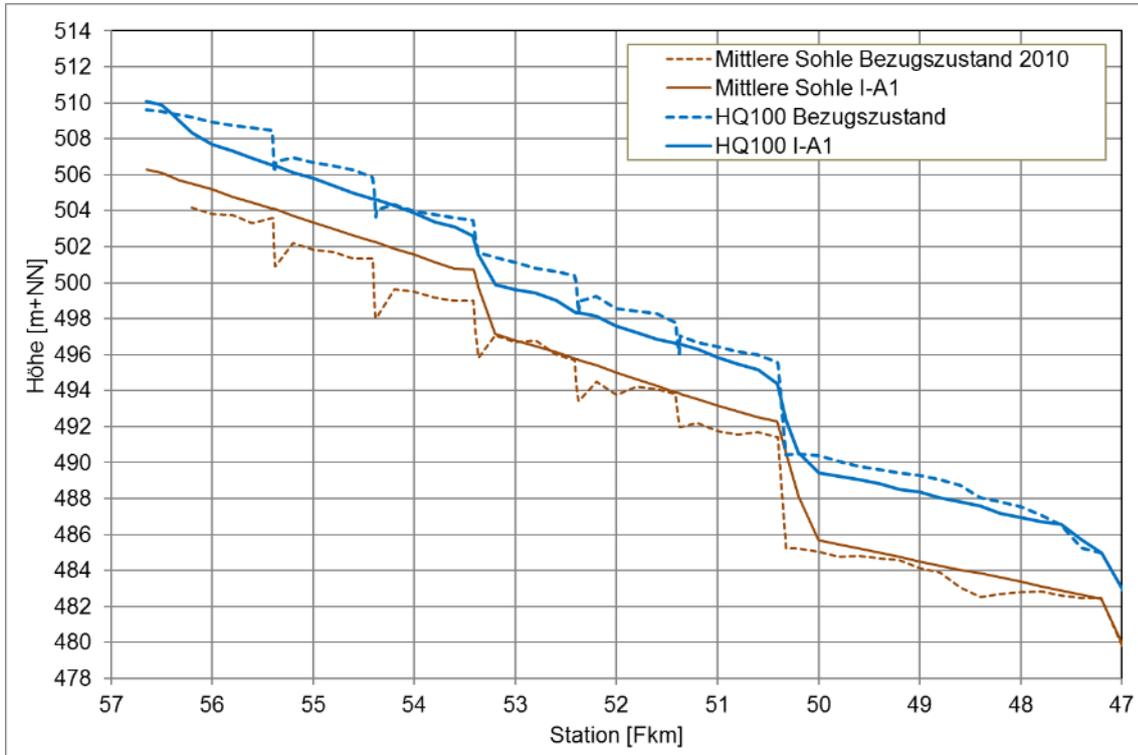


Abbildung 47: Variante I-A1: Längsschnitt prognostizierte mittlere Sohle und Wasserspiegel bei HQ100

Variante I-A2

Die Variante I-A2 ist bis auf die Abschnitte 4 und 6 identisch mit der Variante I-A1. Der Lageplan befindet sich in Anlage 2.10, der Längsschnitt mit der prognostizierten mittleren Sohlhöhe in Abbildung 48.

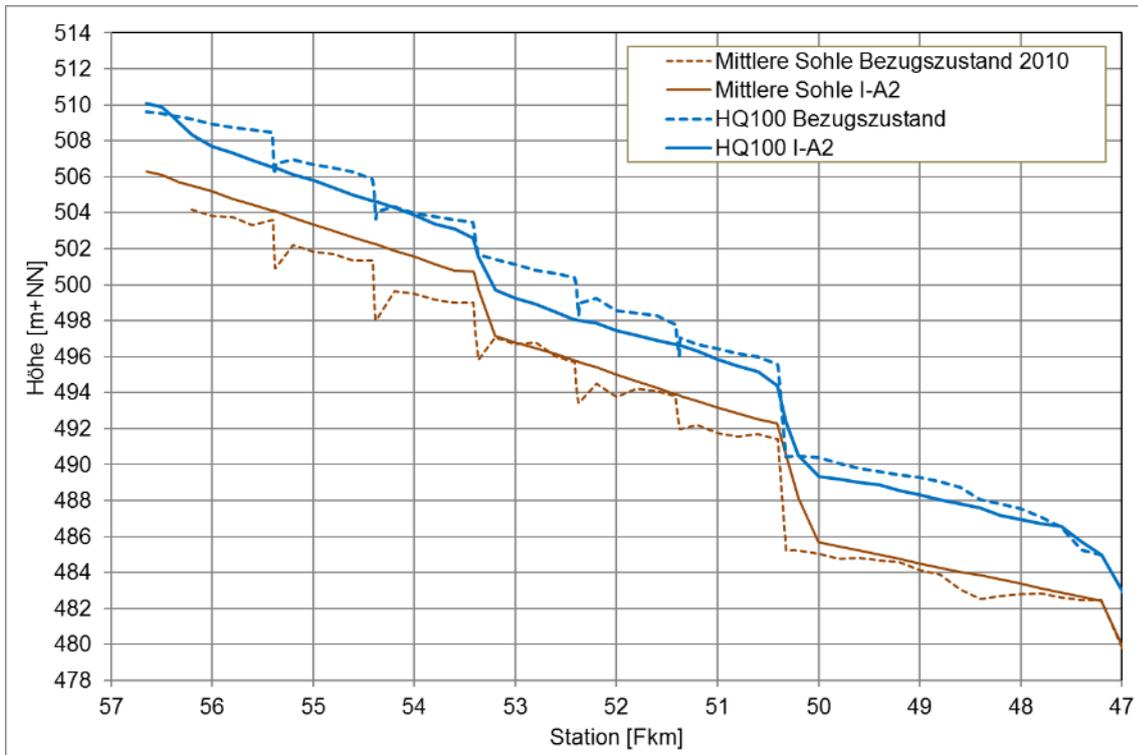


Abbildung 48: Variante I-A2: Längsschnitt prognostizierte mittlere Sohle und Wasserspiegel bei HQ100

Im Abschnitt 4 wird wie in Variante I-A1 rechtsseitig die Ufersicherung entfernt und damit eine eigendynamische Seitenerosion initiiert. Der vorhandene rechtsseitige Deich bleibt unverändert bestehen und wird gesichert. Zusätzlich zu Variante I-A1 wird linksseitig der vorhandene Deich zurückverlegt. Entlang der zurückverlegten Trasse ist großteils lediglich eine Geländemodellierung erforderlich. In dem damit geschaffenen Bereich wird ein Nebengewässer mit einer Initialbreite von 10 m angelegt. Die Fläche zwischen Lech und Nebengewässer wird abgesenkt (Sekundäraue). Von den Maßnahmen sind 3 Quartärbrunnen der Stadtwerke Augsburg betroffen, die dann voraussichtlich aufgelassen werden. Zudem wird linksseitig die vorhandene Ufersicherung entlang des Lech entfernt. Im Gleituferbereich ist keine ausgeprägte Seitenerosion zu erwarten. Gegebenenfalls sind zu einem späteren Zeitpunkt einzelne Lauffixierungen vorzusehen. Falls sich im Bereich des Nebengewässers im Laufe der Zeit unerwünschte Entwicklungen einstellen (z. B. Laufverlagerung), dann sind die Weichen Ufer gegebenenfalls durch einzelne Lauffixierungen zu ergänzen.

Im Abschnitt 6 wird wie in Variante I-A1 linksseitig im Gleitufer die Ufersicherung ausgebaut. Etwa bis zur vorhandenen Deichlinie wird das Vorland abgesenkt (Sekundäraue). Der vorhandene Deich wird aufgelassen, eine neue rückwärtige Deichlinie ist auf Grund der Wasserspiegelhöhen bei HQ100 bzw. in Verbindung mit

der vorhandenen Geländehöhe nicht erforderlich. Rechtsseitig wird die vorhandene Ufersicherung ebenfalls ausgebaut und eine eigendynamische Seitenerosion zugelassen. Diese muss durch den Einbau von lokalen Lauffixierungen begrenzt werden. Über die Maßnahmen der Variante I-A1 hinaus wird der vorhandene Deich geschliffen. Das Vorland wird zwischen der neuen Uferlinie über die bestehende Deichlinie hinaus tiefergelegt (Sekundäraue). Aufgrund der Wasserspiegelhöhe bei HQ100 sowie der vorhandenen Geländehöhe ist kein neuer Deich erforderlich. Zu berücksichtigen ist hier ein vorhandener und ein neu zu errichtender Mast einer 110 kV-Starkstromleitung. Im Bereich der Masten wird das Vorland nicht tiefergelegt. Sicherungsmaßnahmen sind hier vorzusehen.

Umsetzung der Varianten I-A1 und I-A2

Nachfolgend werden die zum Verständnis der beiden Varianten sowie zu deren Bewertung wesentlichen Gesichtspunkte zu deren Umsetzung aufgeführt. Die Ausführungen gelten sowohl für die Variante I-A1 als auch Variante I-A2.

- Trotz einer Anhebung der Lechsohle bewirken die Aufweitungen des Lech ein Absinken des Wasserspiegels bei geschleibewirksamen Abflüssen. Bei der abschnittswisen Umsetzung sind die Übergänge von aufgeweiteten zu noch im Istzustand belassenen Abschnitten besonders zu beachten. Nach oberstrom würde ein Absinken des Wasserspiegels im Bereich der Aufweitung einen starken Gradienten im Wasserspiegel im Übergangsbereich zu noch nicht aufgeweiteten Lechstrecken bewirken und damit sehr große Schubspannungen in Verbindung mit der Gefahr einer rückschreitenden Erosion.
- Aus diesem Grund werden übergeordnete Bauabschnitte definiert, die im Planzustand nach oberstrom durch ein Querbauwerk begrenzt sind. Da sich die beiden Sohlrampen jeweils in einem aufgeweiteten Bereich des Lech befinden, ist eine gewisse Anschlussstrecke nach oberstrom erforderlich.

Bauabschnitt 1: Sohlrampe Fkm 50,4 bis Hochablass (Abschnitte 6 und 7; Fkm 50,4 bis Fkm 47,0)

Bauabschnitt 2: Sohlrampe Fkm 53,4 bis Sohlrampe Fkm 50,4 (Abschnitte 3, 4 und 5; Fkm 53,8 bis Fkm 50,4)

Bauabschnitt 3: Offenes Deckwerk bis Sohlrampe Fkm 53,4 (Abschnitte 1 und 2; Fkm 56,7 bis Fkm 53,8)

- Da die Eintiefung des Lech insbesondere im Abschnitt zwischen dem Absturz bei Fkm 50,4 und dem Hochablass am schnellsten voranschreitet, ist hier die Priorität am größten. Mit dem Bauabschnitt 1 sollte begonnen werden.
- Aus flussmorphologischer Sicht gibt es keine Zwangspunkte für die Reihenfolge der Umsetzung der Bauabschnitte 2 und 3.

- Innerhalb der drei übergeordneten Bauabschnitte kann die Umsetzung schrittweise von oberstrom nach unterstrom erfolgen. Ansonsten könnte ein temporäres Übergangsbauwerk erforderlich sein, um eine rückschreitende Erosion in den noch nicht aufgeweiteten Abschnitt des Lech zu vermeiden. Grundsätzlich muss hier noch berücksichtigt werden, dass eine Aufweitung für eine gewisse Zeit wie eine Geschiebefalle wirkt. In dieser Zeit kann sich unterstrom ein Geschiebedefizit ergeben, dass zu einer verstärkten Eintiefung der Flusssohle führen kann. Da der Lech im Istzustand durch die Lechstaustrufen aber praktisch kein Geschiebe transportiert, ist dieser Aspekt hier unerheblich und braucht nicht berücksichtigt zu werden.
- Bauabschnitt 1: dieser Bauabschnitt ist durch den Umbau des Absturzes bei Fkm 50,4 in eine Sohlrampe sowie die drei wechselseitigen eigendynamischen Aufweitungen in den Abschnitten 6 und 7 geprägt. Die Umsetzung der Aufweitungen sollte von ober- nach unterstrom erfolgen. Eine gleichzeitige Entfernung der Ufersicherung in den drei Bereichen ist ebenfalls möglich.

Der Vorlandabtrag für die links- und rechtsseitigen Sekundärauen im Abschnitt 6 kann auch unabhängig von der Aufweitung des Lech erfolgen. Der rechtsseitige Deichrückbau zwischen Fkm 50,2 und 49,0 bei Variante I-A2 kann auch bereits vor erfolgter Aufweitung des Lech erfolgen. Der Freibord im Istzustand bei HQ100 nach Deichrückbau beträgt hier mindestens 1 m.

Mit Beginn der Umsetzung von Bauabschnitt 1 ist die Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen zur Regulierung des Auensees erforderlich. Beim Weitmannsee ist in jedem Fall zu prüfen, ob die vorhandene Ableitung funktionsfähig ist. Zudem müssen Maßnahmen zur Beweissicherung hinsichtlich der Grundwasserverhältnisse erfolgen.

- Bauabschnitt 2: dieser Bauabschnitt ist geprägt durch den Umbau des Absturzes bei Fkm 53,4 in eine Sohlrampe, die maschinelle Aufweitung im Abschnitt 3, die eigendynamischen Aufweitungen in den Außenbögen der Abschnitte 4 und 5 und den Rückbau der Abstürze bei Fkm 51,4 und 52,4. Auch hier sollte die Umsetzung von ober- nach unterstrom erfolgen. Der Umbau des Absturzes bei Fkm 53,4 erfolgt zusammen mit der Aufweitung im Abschnitt 3. Die Deichrückverlegung sowie die Herstellung des Nebengewässers und der Sekundäraue können parallel dazu realisiert werden. Bevor die beiden Abstürze bei Fkm 52,4 und 51,4 zurückgebaut werden können, muss die sohlmorphologische Wirkung der eigendynamischen Aufweitung des Lech greifen. In den Abschnitten 4 und 5 wird zunächst die Ufersicherung entlang der Prallufer entfernt und damit die Seitenerosion initiiert. Mit Hilfe eines Monitorings sind die Aufweitung sowie deren Wirkung auf die Sohle des Lech zu beobachten. Eine Beschleunigung der Seitenerosion kann bei Bedarf

durch strömungslenkende Maßnahmen erreicht werden. Erst wenn die Aufweitung soweit fortgeschritten ist, dass eine sohlmorphologische Wirkung als Ergebnis des Monitorings beobachtet werden kann, können die beiden Abstürze zurückgebaut werden. Gegebenenfalls ist ein Teilrückbau sinnvoll, also eine schrittweise Reduzierung der Absturzhöhe. Die technische Machbarkeit ist in den weiteren Planungsschritten zu prüfen.

Die linksseitige Deichrückverlegung im Abschnitt 4 (nur bei Variante I-A2) kann erst erfolgen, wenn die Wirkung der Aufweitung in Form eines Absinkens des Wasserspiegels bei HQ100 erreicht wird (es sei denn, die zurückverlegte Geländemodellierung bzw. der Deich wird auf den Wasserspiegel im Istzustand dimensioniert). Die Sekundäraue in Verbindung mit dem Nebengewässer kann nach Errichtung der zurückverlegten Geländemodellierung umgesetzt werden.

Mit Beginn der Umsetzung von Bauabschnitt 2 ist die Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen zur Regulierung des Weitmansees erforderlich.

- Bauabschnitt 3: dieser Bauabschnitt ist geprägt durch das Offene Deckwerk, die maschinelle Aufweitung des Lech in den Abschnitten 1 und 2, die Anlage von Nebengewässern und einer Sekundäraue sowie den Rückbau der Abstürze bei Fkm 54,4 und 55,4. Die Umsetzung sollte von ober- nach unterstrom jeweils für eine Bogenfolge entsprechend der Abschnittseinteilung erfolgen. Zunächst ist das Offene Deckwerk zu errichten. Im Anschluss daran die Maßnahmen im Abschnitt 1 gefolgt von Abschnitt 2. Damit der maschinellen Aufweitung des Lech auch eine entsprechende Wirkung auf den Wasserspiegel erreicht wird, können der Deichrückbau und der Bau der zurückverlegten Deiche bzw. Geländemodellierungen parallel bzw. im unmittelbaren Anschluss an die Aufweitung des Lech erfolgen. Der Rückbau der Abstürze bei Fkm 55,4 und 54,4 kann ebenfalls parallel zur maschinellen Aufweitung des Lech durchgeführt werden.

9.3.4.4 Variante I-B

Wie die Varianten der Gruppe A orientiert sich die Variante I-B am Umsetzungskonzept. Im Gegensatz zu den Varianten der Gruppe A erfolgen die Aufweitungen des Lech fast ausschließlich eigendynamisch. Dadurch ergeben sich gegenüber den Varianten I-A1 und I-A2 Änderungen in den Abschnitten 1, 2 und 3. Die Aufweitung des Lech erfolgt jeweils am Prallufer, so dass eine eigendynamische Entwicklung möglich ist. Als Initialmaßnahme wird die Ufersicherung entfernt, um eine eigendynamische Seitenerosion zu ermöglichen. Unterstützt wird dies durch die Schüttung von initialen Gleituffern am gegenüberliegenden Ufer. Da die jeweils dahinterliegenden Hochwasserschutzdeiche nicht rückverlegt werden können, müssen diese entsprechend gesichert werden. In den Abschnitten 1 und 3 ist eine Deichrückverlegung auf Grund des vorhandenen Wasserschutzgebiets nicht möglich.

Im Abschnitt 2 verhindert der Weitmannsee eine Deichverlegung. In den Abschnitten 4 bis 7 entspricht die Variante I-B der Variante I-A2.

Ohne der Variantenbewertung vorgreifen zu wollen, ist die Entwicklung der Variante I-B einerseits ein Ergebnis des Diskussionsprozesses hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit der Varianten. Andererseits ist der weitgehende Verzicht auf maschinelle Aufweitungen auch flussbaulichen Gesichtspunkten geschuldet. Während eine maschinelle Aufweitung mit dem Ausgleich der dadurch betroffenen Bannwaldflächen verbunden ist, ist im Falle einer eigendynamischen Aufweitung ein Bannwaldausgleich zumindest nicht mit Projektbeginn erforderlich. Waldflächen, die im Anschluss an die Baumaßnahmen z. B. durch eigendynamische Prozesse Haupt- und Nebengewässer betroffen sind, sind erst zu einem späteren Zeitpunkt auszugleichen. Eine Erhebung dieser Flächen erfolgt z. B. durch eine Luftbildauswertung im Abstand von ca. 10 Jahren (gemäß einer Abstimmung mit dem AELF Augsburg). Jedenfalls sind mit Projektbeginn noch keine Ersatzbannwaldflächen vorzuweisen. Bei der Größe der betroffenen Flächen entsteht dadurch für die Variante I-B ein erheblicher Vorteil hinsichtlich des Genehmigungsrisikos gegenüber den Varianten I-A1 und I-A2. Ähnliches gilt für den Ausgleich aus naturschutzfachlicher Sicht. Im Falle von selbsttätigen Aufweitungen werden wesentlich weniger Ausgleichsflächen erwartet als im Falle einer maschinellen Aufweitung.

Aus flussbaulicher Sicht bietet die eigendynamische Seitenerosion die Möglichkeit, die Entwicklung des Lech nach Umsetzung der Initialmaßnahmen zu beobachten. Einerseits kann dann bei Bedarf korrigierend eingegriffen werden, falls die Entwicklung entgegen der Prognose in eine unerwünschte Richtung geht. Da eine schrittweise Umsetzung der Maßnahmen vorgesehen ist, können die Erkenntnisse aus dem Monitoring der ersten umgesetzten Maßnahmen andererseits auch dazu dienen, dass nachfolgende Maßnahmen bei Bedarf angepasst werden.

Nachfolgend werden die wesentlichen Entwurfselemente der Variante I-B analog zur Variante I-A1 beschrieben. Einige Elemente wiederholen sich dabei.

- | | |
|--------------|---|
| Lageplan | ▪ Siehe Anlage 2.11 |
| Längsschnitt | ▪ Siehe Abbildung 49 |
| | ▪ Ausgleichsgefälle Abschnitte 1 bis 5: 1,8 ‰ |
| | ▪ Ausgleichsgefälle Abschnitte 6 und 7: 1,3 ‰ |
| Querbauwerke | ▪ Abstürze 1, 2, 4 und 5 werden zurückgebaut. |
| | ▪ Abstürze 3 (Fkm 53,4) und 6 (Fkm 50,4) werden in biologisch durchgängige Sohlrampen umgebaut. |
| | ▪ Die Kronenhöhen der Sohlrampen bei Fkm 53,4 und Fkm 50,4 werden entsprechend dem Längsschnitt |

- unter Berücksichtigung eines erforderlichen Versatzes der Rampenkronen gewählt.
- Aufweitung**
- In den Abschnitten 1 bis 5 wird eine Aufweitung des Lech auf etwa 130 m erwartet.
 - In den Abschnitten 6 und 7 beträgt die maximal zulässige Aufweitung etwa 85 m.
 - Die Aufweitungen am Lech erfolgen weitgehend eigendynamisch. Als Initialmaßnahme ist die Entfernung der vorhandenen Ufersicherungen erforderlich.
 - Im Bereich der beiden Sohlrampen bei Fkm 53,4 und 50,4 erfolgt die Aufweitung maschinell. Dies betrifft die unmittelbaren Bereiche der Sohlrampen sowie einen ausreichend langen Zuströmbereich oberstrom sowie einen Abströmbereich unterstrom der Sohlrampen.
- Nebengewässer**
- In den Abschnitten 1, 2, 3 und 4 werden Nebengewässer mit einer Initialbreite von 10 m (entspricht der Breite des Wasserspiegels bei Mittelwasser) vorgesehen.
 - Ufersicherungen sind zunächst nicht erforderlich.
 - Auf Grund des hohen Wasserspiegelgefälles im Abschnitt 3 ist auch in dem entsprechenden Nebengewässer ein Querbauwerk erforderlich. Dieses wird biologisch durchgängig gestaltet. In weiteren Planungsschritten ist zu prüfen, welche Höhendifferenz über das Querbauwerk abgebaut werden soll. Gegebenenfalls kann ein gegenüber dem Lech erhöhtes Energieliniengefälle und damit auch eine erhöhte Dynamik zugelassen werden.
 - Im unmittelbaren Auslaufbereich der Nebengewässer sind durchgehende Ufersicherungen erforderlich.
- Sekundärauen**
- In den Abschnitten 1, 2, 3 und 4 werden die Flächen zwischen dem Lech und den Nebengewässern durch Abgrabung auf ein tieferes Niveau gebracht (Sekundärauen). Die als FFH-Lebensraumtypen kartierten Flächen werden davon ausgenommen und nicht verändert.
 - Im Abschnitt 6 wird linksseitig zwischen Lech und dem vorhandenen Deich eine Sekundäraue angelegt.
 - Rechtsseitig wird der vorhandene Deich geschliffen. Das Vorland wird zwischen der neuen Uferlinie über

- die bestehende Deichlinie hinaus tiefergelegt (Sekundäraue).
- Weiche Ufer
- Die vorhandenen Ufersicherungen am Lech werden in den Gleituferbereichen aller Abschnitte entfernt. Hier werden sich Weiche Ufer einstellen. Voraussichtlich sind keine Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Lediglich im Bereich der beiden Sohlrampen müssen auf gewissen Streckenabschnitten ober- und unterstrom der Bauwerke die Ufersicherungen belassen werden.
 - Die Ufer der neuen Nebengewässer können weitgehend als weiche Ufer belassen werden. Voraussichtlich sind nur lokal Sicherungsmaßnahmen erforderlich.
- Sicherungsmaßnahmen
- In den Weichen Ufern der Gleituferbereiche (dies gilt für alle Abschnitte) sind voraussichtlich keine Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Gegebenenfalls sind einzelne Lauffixierungen erforderlich, falls sich unerwünschte Laufverlagerungen abzeichnen.
 - Die eigendynamischen Aufweitungen in den Pralluferbereichen der Abschnitte 1 bis 5 werden durch die vorhandenen Deiche begrenzt. Diese sind durch geeignete Maßnahmen zu sichern.
 - Die eigendynamischen Aufweitungen in den Abschnitten 6 und 7 (linksseitig) sind durch punktuelle Lauffixierungen zu begrenzen. Die rechtsseitige Aufweitung im Abschnitt 7 ist durch eine durchgehende Ufersicherung zu begrenzen (gegebenenfalls sind hier auch punktuelle Lauffixierungen ausreichend; dies ist in den anschließenden Planungsschritten zu prüfen).
 - An den Nebengewässern sind zunächst keine Maßnahmen erforderlich. Gegebenenfalls sind einzelne Lauffixierungen notwendig, falls sich eine unerwünschte Laufverlagerung abzeichnet.
 - Im unmittelbaren Bereich der beiden Sohlrampen ist eine durchgehende Ufersicherung aus Wasserbausteinen vorzusehen. Dies gilt auch für die Sohlrampe im Nebengewässer im Abschnitt 3.

- | | |
|---------------------------------------|--|
| Deichrückverlegungen | <ul style="list-style-type: none">▪ Deichrückverlegungen sind in den Abschnitten 1, 2, 3, 4 und 6 vorgesehen.▪ Je nach Geländehöhen im Bereich der zurückverlegten Trasse sind entweder keine Maßnahmen notwendig oder lediglich eine Geländemodellierung bzw. ein neuer Deich. |
| Übergangsbauwerk zur Lechstaustufe 23 | <ul style="list-style-type: none">▪ Etwa zwischen Fkm 56,3 und 56,7 wird die Sohle des Lech durch den Einbau eines Offenen Deckwerks vor einer Eintiefung geschützt. |
| Geschiebezugabe | <ul style="list-style-type: none">▪ Die voraussichtliche Geschiebezugabemenge beträgt zwischen 3.000 und 5.000 m³ pro Jahr.▪ Die tatsächliche Geschiebezugabe ist als Ergebnis des Monitorings des Lech festzulegen |
| Sparten | <ul style="list-style-type: none">▪ Im Abschnitt 6 führt eine 110 kV Freileitung über den Lech.▪ Orographisch rechts befindet sich ein Strommast im Bereich der Sekundäraue; dieser ist entsprechend zu sichern.▪ Auf der linken Lechseite befindet sich ein Strommast im unterstromigen Bereich der Sohlrampe. Dieser sollte um einige Meter versetzt werden. Sollte dies nicht möglich sein, kann auch die Sohlrampe um ca. 50 m nach oberstrom verschoben werden, so dass der Strommasten nicht verlegt werden muss.▪ Die Notversorgungsleitung für Trinkwasser der Gemeinde Kissing verläuft durch den Lech ist anzupassen. |
| Regulierung
Weitmannsee, Auensee | <ul style="list-style-type: none">▪ Maßnahmen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit (Regulierung Grundwasserstände)▪ Ertüchtigung Ableitungsgerinne, Kreuzungsbauwerke Deiche / Geländeanpassung |

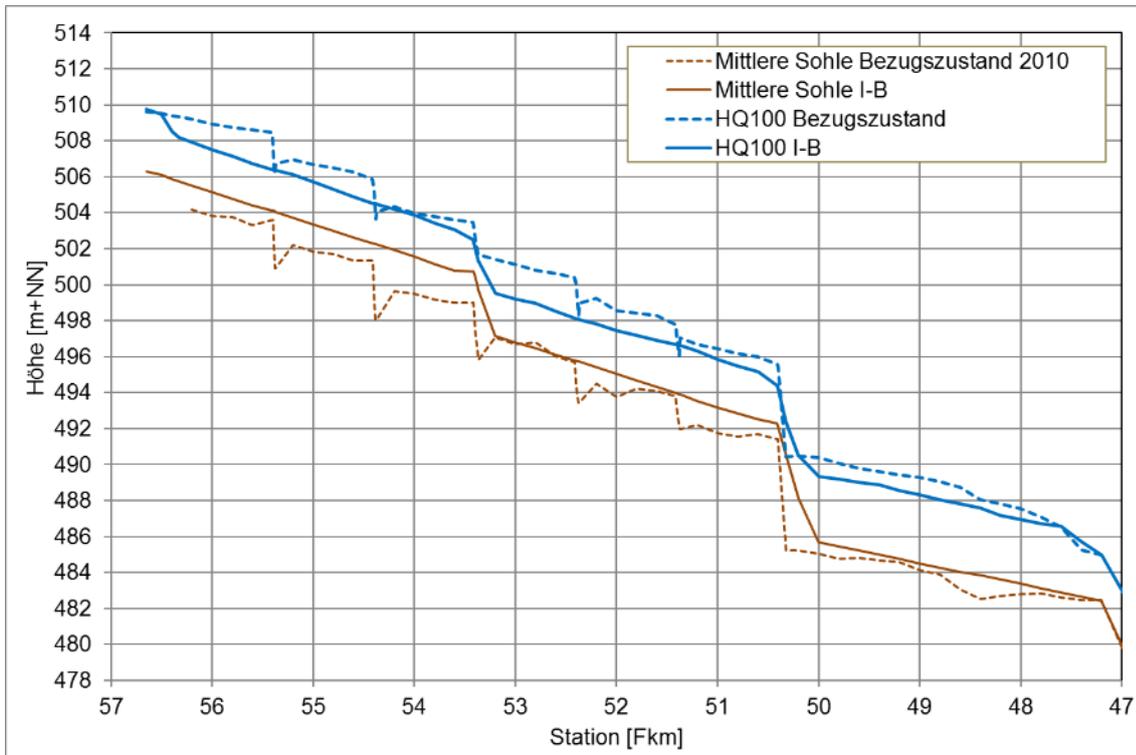


Abbildung 49: Variante I-B: Längsschnitt prognostizierte mittlere Sohle und Wasserspiegel bei HQ100

Umsetzung

Die Umsetzung der Variante I-B ist sehr ähnlich zur Umsetzung der Varianten I-A1 und I-A2.

- Es werden drei Bauabschnitte 1, 2 und 3 definiert. Der räumliche Umgriff ist identisch wie bei den Varianten I-A1 und I-A2.

Bauabschnitt 1: Sohlrampe Fkm 50,4 bis Hochablass (Abschnitte 6 und 7; Fkm 50,4 bis Fkm 47,0)

Bauabschnitt 2: Sohlrampe Fkm 53,4 bis Sohlrampe Fkm 50,4 (Abschnitte 3, 4 und 5; Fkm 53,8 bis Fkm 50,4)

Bauabschnitt 3: Offenes Deckwerk bis Sohlrampe Fkm 53,4 (Abschnitte 1 und 2; Fkm 56,7 bis Fkm 53,8)

- Die Umsetzung von Bauabschnitt 1 ist identisch wie bei den Varianten I-A1 und I-A2. Der Bauabschnitt 1 weist auf Grund der fortgeschrittenen Eintiefung die größte Priorität auf.
- Der Bauabschnitt 2 ist ebenso weitgehend identisch. Lediglich im Abschnitt 3 erfolgt die Aufweitung des Lech bis auf den unmittelbaren Bereich der Sohlrampe eigendynamisch.

- Der Bauabschnitt 3 ist durch eine eigendynamische Aufweitung des Lech geprägt. Erst wenn nach Entfernung der Ufersicherung eine Aufweitung erfolgt und eine ausreichende morphologische Wirkung erreicht wird, können die beiden Abstürze bei Fkm 55,4 und Fkm 54,4 zurückgebaut werden. Im Rahmen eines Monitorings ist die Beobachtung der Seitenerosion sowie der Sohlhöhe erforderlich. Der Rückbau der vorhandenen Deiche bzw. die Deichrückverlegung kann ebenfalls erfolgen, sobald in Folge der eigendynamischen Aufweitung des Lech die entsprechende Wirkung auf die Wasserspiegelhöhen bei HQ100 erreicht wird. Daran anschließend können Arbeiten für die beiden Nebengewässer sowie die Sekundärauen beginnen.

9.3.4.5 Variante I-C

Die Variante I-C beinhaltet alle Elemente der Variante I-B. Lediglich in den Abschnitten 1 und 3 nimmt sie speziell Rücksicht auf rechtsseitig des Lech vorhandene Privatgrundstücke (siehe Anlage 2.4). Durch die vorgesehenen Maßnahmen der Variante I-C werden diese Flächen nicht tangiert. Der Lageplan ist in Anlage 2.12 dargestellt. Im Längsschnitt sind die Varianten I-C und I-B identisch (siehe Abbildung 50).

Im Abschnitt 1 befinden sich rechtsseitig Privatgrundstücke unmittelbar östlich des vorhandenen Hochwasserschutzdeichs. Auf eine Deichverlegung wird verzichtet, der vorhandene Deich bleibt bestehen. Das Vorland zwischen Lech und dem Deich ist hier zwar etwa 180 m breit. Dennoch wird auf die Anlage eines Nebengewässers verzichtet, da dies mit erheblichen Eingriffen in die als Lebensraumtyp kartierte Auwaldfläche (91E0-Fläche) einhergehen würde. Die Ufersicherung im Gleitufer wird entfernt, wodurch ein Weiches Ufer entsteht. Sicherungsmaßnahmen sind hier voraussichtlich nicht erforderlich. Die Restfläche im Vorland, die nicht als FFH-Lebensraumtyp kartiert ist, wird im Sinne einer Sekundäraue tiefer gelegt. Auf der linken Seite des Lech entsprechen die Maßnahmen der Variante I-B.

Analog wird im Abschnitt 3 rechtsseitig ebenso auf eine Deichrückverlegung verzichtet. der vorhandene Deich bleibt bestehen. Die unmittelbar luftseitig des Deichs befindlichen Privatgrundstücke sind somit durch die Maßnahmen nicht betroffen. Auf ein Nebengewässer zwischen Lech und dem Deich muss aus Platzgründen verzichtet werden. Das Vorland zwischen Lech und dem Deich wird bis auf die kartierten FFH-Lebensräume abgegraben (Sekundäraue). Auch im Abschnitt 3 sind die Maßnahmen im Lech bzw. linksseitig des Lech unverändert gegenüber Variante I-B.

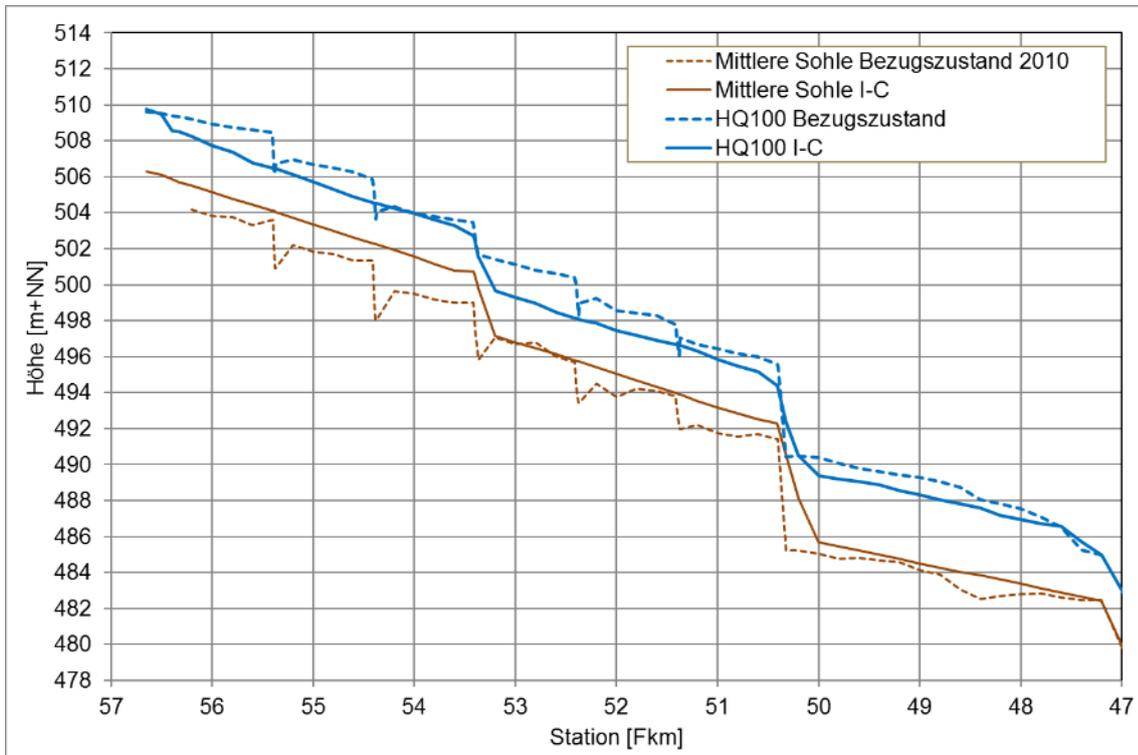


Abbildung 50: Variante I-C: Längsschnitt prognostizierte mittlere Sohle und Wasserspiegel bei HQ100

Umsetzung

Die Umsetzung der Variante I-C ist beinahe identisch mit Variante I-B. Lediglich in den Abschnitten 1 (Bauabschnitt 3) und Abschnitt 3 (Bauabschnitt 2) bleiben die vorhandenen Deiche bestehen. Die jeweiligen Nebengewässer entfallen. Die entsprechend reduzierten Sekundäräuen können unabhängig von allen anderen Maßnahmen in den Bauabschnitt 1 bis 3 jederzeit umgesetzt werden.

9.3.4.6 Kostenschätzung

Die Kostenschätzung basiert auf einer Mengen- und Massenermittlung für die einzelnen Bausteine der Varianten. Die Einheitspreise entsprechen Erfahrungswerten aus der Umsetzung vergleichbarer Projekte. Auf Grund des deutlichen Anstiegs der Baupreise in den letzten Jahren, wurden die Einheitspreise angepasst. Bei der Interpretation der Kostenschätzung sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

Preisbasis

Als Preisbasis wurde mit 2019 das Fertigstellungsjahr der weiterführenden Untersuchungen gewählt. Bei der Ermittlung von Einheitspreisen wurden umgesetzte

Maßnahmen herangezogen. Preissteigerungen seit Umsetzung der Maßnahmen wurden berücksichtigt.

Auf Grund der erheblichen Unsicherheiten bei der Entwicklung der zukünftigen Baupreise in den nächsten Jahren, wurde auf eine entsprechende Abschätzung verzichtet.

Unsicherheiten / Risiken in der Kostenschätzung

Nachfolgend werden die wesentlichen Unsicherheiten aufgeführt, mit denen die vorliegende Kostenschätzung behaftet ist:

- Ufersicherungen / Lauffixierungen: diese werden zumeist erst zu einem späteren Zeitpunkt nach erfolgter Aufweitung des Lech bzw. der Nebengewässer gebaut. Derzeit kann nur grob abgeschätzt werden, in welchem Umfang diese Maßnahmen erforderlich sein werden. Die tatsächliche Erfordernis wird auf Basis der Entwicklung der Ufer und einem begleitenden Monitoring festgelegt.
- Planungsänderungen: Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgt schrittweise. Mit Hilfe eines Monitorings werden die Wirkungen der bereits ausgeführten Maßnahmen erfasst und anschließend interpretiert und bewertet. Dies kann Auswirkungen auf die nachfolgenden Umsetzungsschritte haben. Gegebenenfalls müssen diese adaptiert werden, was zu einer Anpassung der Kosten führen kann.
- Planungsstadium: Das Projekt befindet sich in einem relativ frühen Planungsstadium mit einem entsprechend geringen Detaillierungsgrad. In den weiteren Planungsschritten wird dieser immer höher. Damit steigt auch die Kostensicherheit.

Grundsätzlich kann aber festgehalten werden, dass diese Unsicherheiten in der Kostenschätzung alle betrachteten Varianten im gleichen Ausmaß betreffen. Die geschätzten Gesamtkosten der Varianten sind in Tabelle 25 eingetragen. Die detaillierte Kostenschätzung ist getrennt für die Varianten in Anlage 7 abgelegt. In Anlage 7.1 sind zunächst die Einheitspreise für sämtliche Positionen der Kostenschätzung zusammengestellt. Die Kostenschätzungen für die einzelnen Varianten befinden sich in den Anlagen 7.2.1 bis 7.2.4. Dargestellt werden hier zunächst die gesamten Investitionskosten sowie die Kosten aufgeteilt in die einzelnen Abschnitte. Schließlich werden die laufenden Kosten aufgeführt.

Tabelle 25: Ergebnis der Kostenschätzung (Planungsbereich I, Gesamtkosten brutto, gerundet, siehe Anlagen 7.1 sowie 7.2.1 bis 7.2.4)

Variante	Gesamtkosten brutto
Variante I-A1	50,8 Mio €
Variante I-A2	57,4 Mio €
Variante I-B	59,0 Mio €
Variante I-C	51,1 Mio €

Die laufenden jährlichen Kosten nach Umsetzung der Maßnahmen werden für alle Varianten gleich mit jeweils etwa 80.000,- € abgeschätzt, siehe Tabelle 26.

Tabelle 26: Laufende Kosten pro Jahr

Pos.	Beschreibung	Kosten pro Jahr
1	Geschiebezugabe	20.000 €
2	Monitoring	
2.1	Sohlvermessung, flächig (Vermessung ca. alle 3 Jahre und nach größeren HW-Ereignissen, hier Kostenanteil pro Jahr)	10.000 €
2.2	Ingenieurmäßige Interpretation der Ergebnisse, Schlussfolgerungen	50.000 €

9.3.5 Bewertung der Varianten / Ableitung Bestvariante

Das Bewertungssystem sowie die Durchführung der Variantenbewertung wird ausführlich in Anlage 3 erläutert. Nachfolgend erfolgt eine kurze Zusammenfassung.

Das Bewertungssystem besteht aus der Kombination einer Nutzwertanalyse sowie einer verbalen Wirkungsanalyse.

In einem ersten Schritt werden fünf Projektziele definiert:

- Ziel A1: Dynamische Sohlstabilisierung
- Ziel A2: Ökologische Verbesserung von Fluss und Aue
- Ziel A3: Minimierung nachteiliger Auswirkungen auf Nutzungen – Grundwasser
- Ziel A4: Verbesserung des natürlichen Hochwasserrückhalts
- Ziel B5: Minimierung der Risiken

Zur Bewertung werden für jedes Ziel Kriterien eingeführt. Während die verbale Wirkungsanalyse für jedes Ziel durchgeführt wird, erfolgt die Nutzwertanalyse nur für die Ziele A1 bis A4.

Alle Kriterien werden ausführlich erläutert. Für die Kriterien der Nutzwertanalyse werden Zielfunktionen definiert. Auf Basis der verbalen Beschreibung der Wirkungen der Maßnahmen in den Varianten sowie in einzelnen Kriterien auch einer quantitativen Erfassung der Wirkungen auf Basis der Modellierungsergebnisse erfolgt die Bewertung der Kriterien bzw. die Vergabe der Nutzenpunkte. In der Nutzwertanalyse werden fünf verschiedene Gewichtungen der Ziele berücksichtigt (diese Gewichtungen sind unter anderem ein Ergebnis der Beteiligung der Mitglieder der Arbeitsgruppe).

Aus der Nutzwertanalyse geht eindeutig die Variante I-B als Bestvariante hervor, siehe Abbildung 51. Bei allen betrachteten Kriterien erzielt sie die beste Bewertung innerhalb der Varianten. Falls mehrere Varianten die beste Bewertung in einem Kriterium erhalten, so gehört sie jeweils dazu. Bei Betrachtung der Summe der Nutzenpunkte erhält die Variante I-B folglich auch bei Berücksichtigung der verschiedenen Gewichtungen der Ziele immer die meisten Punkte.

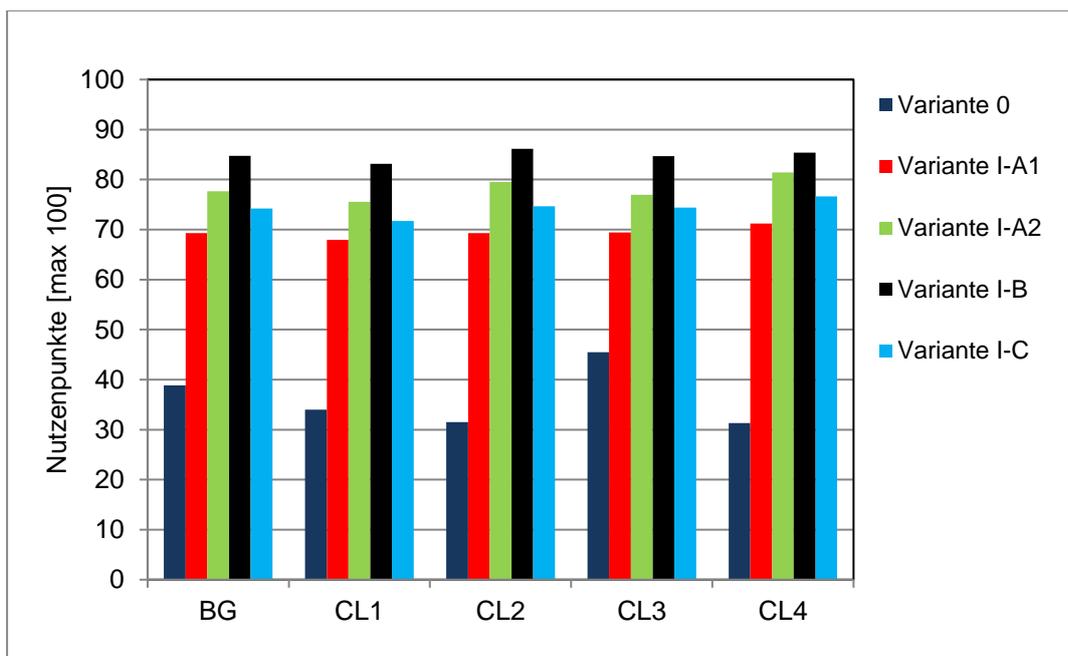


Abbildung 51: Ergebnis der Nutzwertanalyse

Für die Ziele A1 bis A4 spiegelt die Nutzwertanalyse auch das Ergebnis der verbalen Wirkungsanalyse wieder. Auch hier schneidet die Variante B durchgehend am besten ab. Lediglich hinsichtlich des Herstellungszustands haben die Varianten I-A1 und I-A2 gewisse Vorteile infolge der bereichsweisen maschinellen Aufweitung und der damit einhergehenden sofortigen Wirkung der Maßnahmen. Die maschinellen Aufweitungen der Varianten I-A1 und I-A2 erweisen sich aber bei Betrachtung der erforderlichen

Ausgleichsflächen für verloren gegangenen Bannwald im Ziel B5 als gravierender Nachteil. Die auszugleichenden Flächen bei Variante I-B (und auch bei Variante I-C) sind hier deutlich geringer. Dies wird zudem als sehr bedeutender Vorteil der Variante I-B erachtet.

Bis auf die Variante I-C ist bei allen Varianten der Erwerb von Privatgrundstücken in einer ähnlichen Größenordnung erforderlich. Falls dieser Grunderwerb nicht oder zumindest teilweise nicht möglich ist, kann auf die Variante I-C zurückgegriffen werden. Diese wurde so konzipiert, dass kein Erwerb privater Grundstücke erforderlich ist.

Insgesamt geht die Variante I-B eindeutig als Bestvariante aus der Bewertung hervor.

Abschließend seien noch ein paar beeindruckende Kennzahlen für die Variante B genannt. Diese sind auch Grundlage für die Bewertung der Varianten (siehe Anlage 3).

- Die Gesamtlänge der unverbauten, ungesicherten Ufer bei Variante B beträgt ca. 25 km. Bei der Nullvariante sind alle Uferbereiche mit harten Ufersicherungen versehen (siehe auch Abbildung 52 und Ablage 3.2).
- Bereits bei kleinen Hochwasserereignissen werden bei Variante B 177 ha Vorland überflutet. Bei der Nullvariante sind dies lediglich 21 ha (siehe Abbildung 53 und Anlage 3.3).

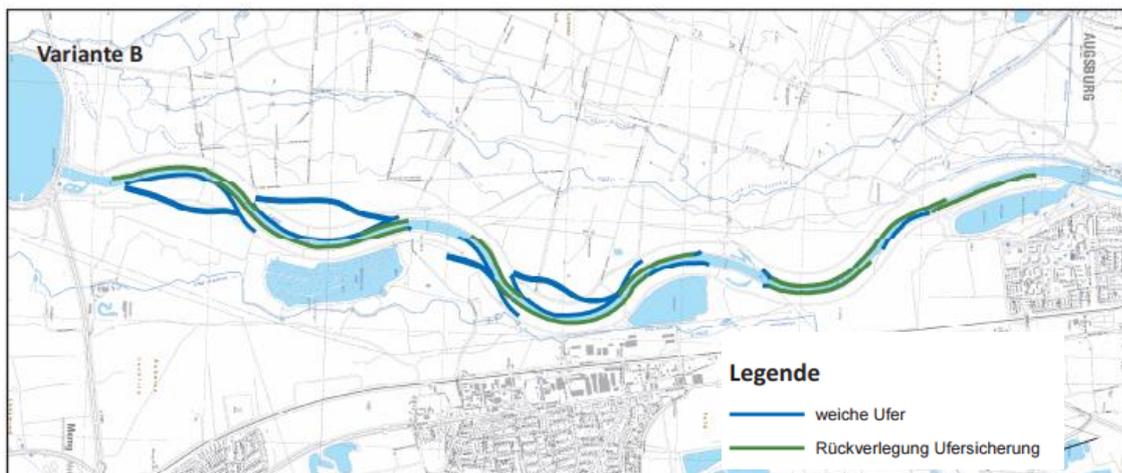


Abbildung 52: Variante B: Länge der unverbauten weichen Ufer

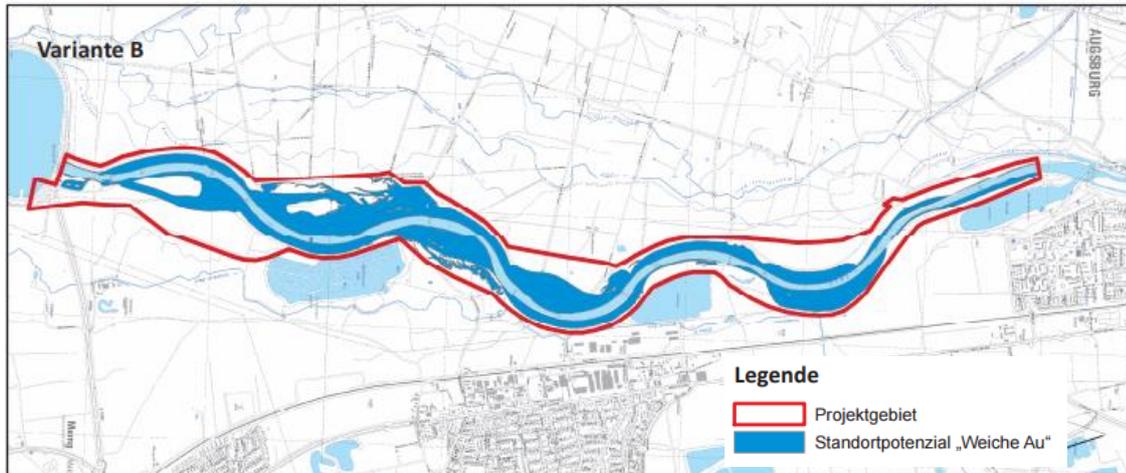


Abbildung 53: Variante B: Überflutungsflächen bei kleinen Hochwasserereignissen

Der schematische Querschnitt in Anlage 2.17 zeigt die Situation beispielhaft bei Fkm 54,25. Zu kennen ist der aufgeweitete Lech, die Sekundäraue, das Nebengewässer sowie die Geländeanpassung. zu beachten ist, dass der Querschnitt 10-fach überhöht ist.

9.4 Planungsbereich II

Der innerstädtische Abschnitt des Lech unterscheidet sich deutlich vom Lech im Bereich des Stadtwalds. Dementsprechend sind auch die flussbaulichen Möglichkeiten zur Sanierung bzw. Renaturierung des Lech im Vergleich zum Planungsbereich I sehr unterschiedlich.

9.4.1 Randbedingungen

Der Lech ist vom Hochablass (Fkm 47,0) bis zum Wehr Gersthofen (Fkm 37,3) durch folgende, für die Variantenplanung wesentliche Randbedingungen geprägt (ergänzend zu den Ausführungen in Kapitel 8):

Fortgeschrittene Eintiefung

Der Lech hat sich im Stadtbereich extrem tief eingegraben. Gegenüber dem Vorland liegt die Sohle des Lech bereichsweise um bis zu 10 m tiefer. Beispielhaft sind in den nachfolgenden Abbildungen Querprofile des Lech im Bereich der Wolfzahnau (Abbildung 54, Fkm 40) sowie zwischen dem Wolfzahnau- und dem Eisenbahnerwehr (Abbildung 55, Fkm 44) dargestellt.

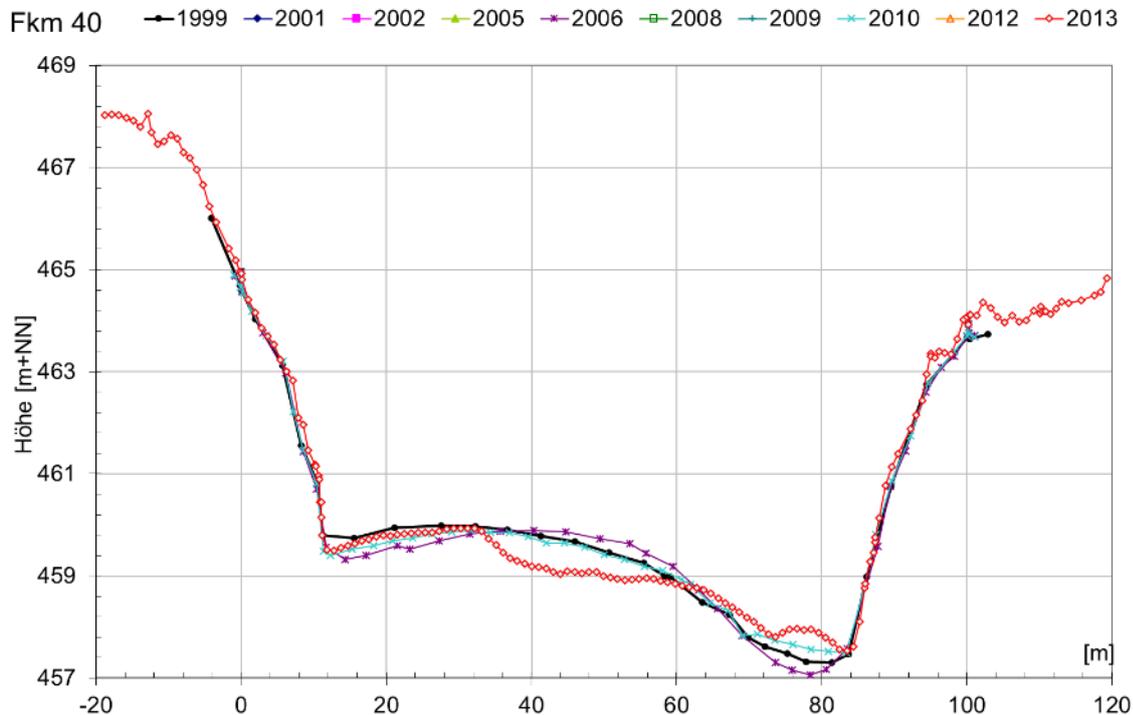


Abbildung 54: Querprofile Fkm 40 – Bereich Wolfzahnau

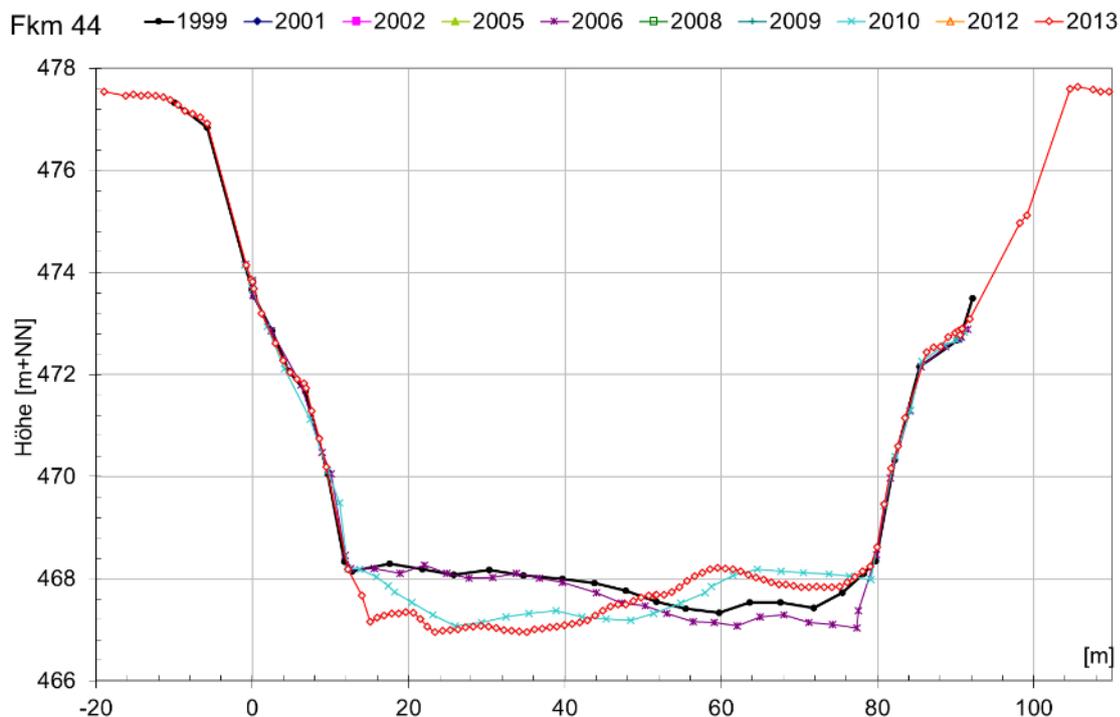


Abbildung 55: Querprofile Fkm 44 – Bereich zwischen Wolfzahnau- und Eisenbahnerwehr

Tertiäroberkante – Flinz

Die Eintiefung des Lech hat die quartären Kiese bereichsweise beinahe ausgeräumt. Der Längsschnitt in Abbildung 19 zeigt, dass unterstrom des Eisenbahnerwehrs (Fkm 45,6) etwa bis Fkm 42,6 der Flinz an der mittleren Flusssohle beinahe ansteht. Bei kleineren Abflüssen ist der Flinz an der Lechsohle sichtbar. Wie in Kapitel 8.4.2 bereits erläutert wurde, besteht hier die Gefahr eines Sohldurchschlags. Auch aus gewässerökologischer Sicht sind die Lebensräume in einer ausgeräumten Flusssohle wenig attraktiv.

Weitere Eintiefung

Mit Hilfe einer Langzeitsimulation mit dem Geschiebetransportmodell wurde für den Istzustand die zukünftige Entwicklung der Sohle prognostiziert. Das Ergebnis einer Langzeitsimulation ist im Längsschnitt der Abbildung 56 dargestellt. Sowohl zwischen Eisenbahner- und Wolfzahnauwehr als auch unterstrom des Wolfzahnauwehrs ist mit einer weiteren Eintiefung der Lechsohle zu rechnen. Detaillierte Informationen befinden sich im Bericht zur Geschiebetransportmodellierung in Anlage 5.3.

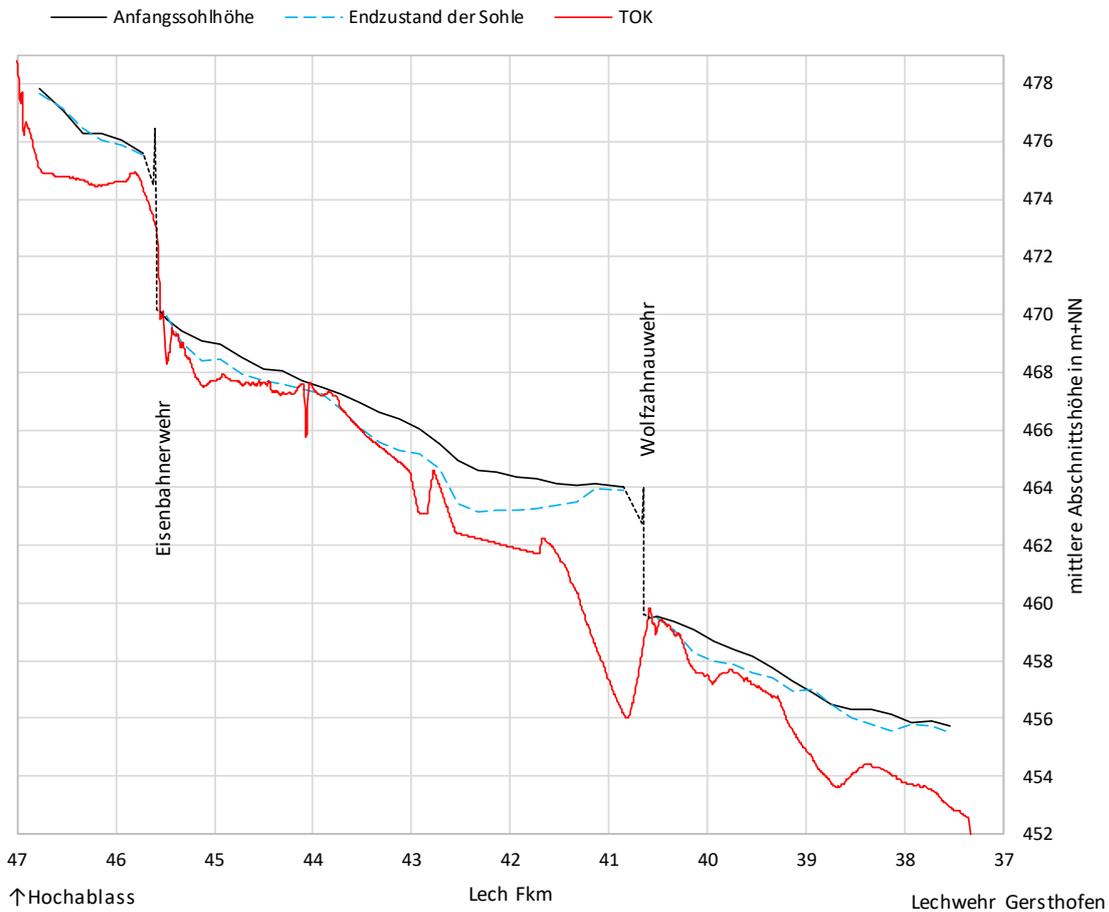


Abbildung 56: Sohlentwicklung im Planungsbereich II als Ergebnis einer Langzeitsimulation mit dem Geschiebetransportmodell

Ausstattung der Vorländer

Die Vorländer im Stadtgebiet sind parkartig ausgestattet und dienen überwiegend der Freizeitnutzung. Die Flächen sind gekennzeichnet durch weitläufige Rasenflächen, wertvollen Baumbestand sowie stark frequentierte Wegeverbindungen (Rad- und Fußwege). Das Foto in Abbildung 57 zeigt die Situation im Bereich des Flößerparks (oberstrom der Ulrichsbrücke - Lechhauser Straße, ca. Fkm 42,7).



Abbildung 57: Vorlandnutzung im Bereich des Flößerparks

Lechregulierung

Der Lech ist im Stadtbereich extrem reguliert. Er ist beidseitig mit durchgehenden Ufersicherungen fixiert. Die durchschnittliche Sohlbreite beträgt zwischen 70 und 80 m (siehe Abbildung 3). Der Verlauf ist weitgehend gradlinig. Das Foto in Abbildung 58 zeigt einen Blick auf den Lech vom Osramsteg in Richtung oberstrom.

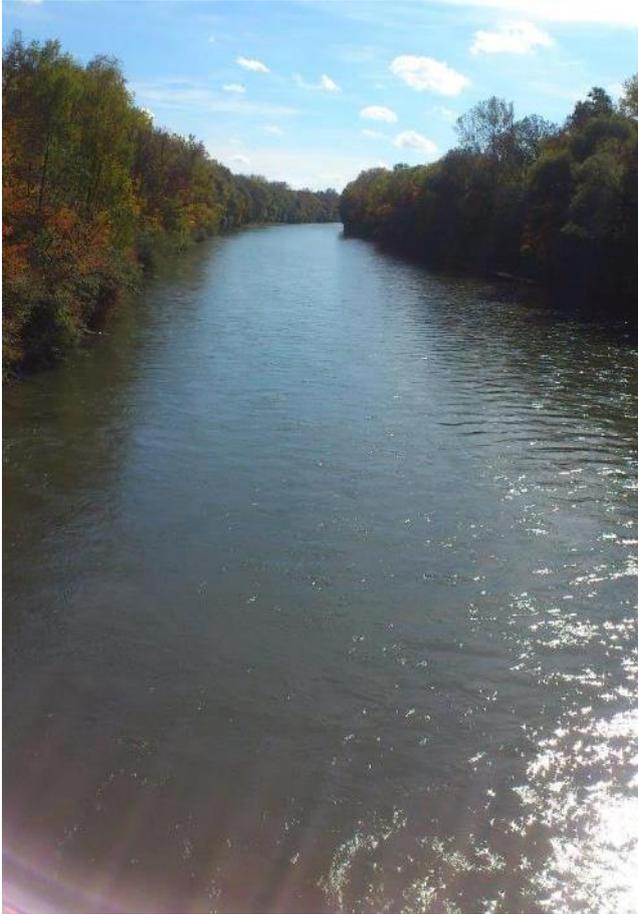


Abbildung 58: Blick auf den Lech vom Ostramsteg in Richtung oberstrom

Mit dem Eisenbahnerwehr, dem Wolfzahnauwehr sowie dem Gersthofer Wehr befinden sich drei Querbauwerke im Planungsbereich II. Alle drei Bauwerke sind mit Fischaufstiegsanlagen ausgestattet.

In Folge der Ausleitung von bis zu 46 m³/s am Hochablass und einem verbleibenden Restwasser von 6 bis 10 m³/s (je nach Jahreszeit) werden bereichsweise kleinere Kiesbänke sichtbar (siehe Abbildung 59). Bei etwas höheren Abflüssen werden diese aber überströmt.



Abbildung 59: Kiesbank auf Höhe des Flößerparks

Gewässerökologische Situation

Die gewässerökologische Situation wird im Planungsbereich II als sehr ungünstig eingestuft (siehe dazu auch Kapitel 8.9). Wesentliche Gründe dafür sind:

- Freiliegender Flinz auf großer Fläche;
- Die vorhandenen Kiesbänke sind teilweise verbacken und sehr grobkörnig auf Grund der Deckschichtbildung;
- Die Sohle ist vermutlich bereichsweise kolmatiert;
- Entlang der gesamten Strecke sind keine Rückzugsmöglichkeiten für Fische bei Hochwasser vorhanden. Vor allem schwimmschwächere Jungfische werden bei Hochwasser mit der Strömung abgedriftet.

9.4.2 Vorüberlegung zur Variantenentwicklung und Bausteine der Varianten

Das wesentliche Ziel der zu entwickelnden Bausteine ist die Sohlstabilisierung im Bereich des hoch anstehenden Tertiärs vom Eisenbahnerwehr bei Fkm 45,6 bis etwa Fkm 42,6 zusammen mit einer Vermeidung einer weiteren Sohleintiefung im gesamten

Planungsbereich II. Ein weiteres Ziel ist eine Verbesserung der gewässerökologischen Situation. Im Rahmen der Variantenfindung wurden folgende Vorüberlegungen durchgeführt.

9.4.2.1 Sohlstabilisierung durch Aufweitung des Lech

Um sohlstabilisierend zu wirken, müsste eine Aufweitung des Lech über eine längere Strecke von mindestens 750 m erfolgen. Auf Grund der im vorangegangenen Kapitel aufgeführten Randbedingungen erscheinen entsprechende Aufweitungen in den gewachsenen, parkartigen Vorlandstrukturen sehr problematisch. Zudem ist der Höhenunterschied vom Vorland zur Flusssohle mit bis zu 10 m sehr hoch. Aus diesen Gründen werden lange Aufweitungen des Lech zur Sohlstabilisierung nicht weiterverfolgt.

9.4.2.2 Sohlstabilisierung Fkm 45,6 bis 42,6 – Sohlrampe und Sohl-anhebung

Durch geeignete Maßnahmen sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Erreichen eines dynamischen Gleichgewichtszustands;
- Keine weitere Eintiefung in den Flnz, Vermeidung eines Sohldurchschlags;
- Schaffung einer ausreichenden Kiesüberdeckung über dem Flnz.

Diese Ziele können nur in Verbindung mit einem Querbauwerk erreicht werden. Dieses wird in Form einer ökologisch durchgängigen Sohlrampe geplant.

Alternativ wäre auch eine direkte Sicherung der Sohle durch Aufbringen von größerem Material möglich, z. B. in Form eines Offenen Deckwerks. Auf Grund der erforderlichen großen Länge des Bauwerks, den damit verbundenen Kosten und der zu erwartenden Probleme bei der Herstellung in einem begrenzten Zeitfenster im Winterhalbjahr wird zunächst darauf verzichtet. Eine abschließende Abwägung auch unter Berücksichtigung ökologischer und hydraulischer Aspekte sollte im Rahmen der weiteren Planungsstufen erfolgen.

Erforderliche Kiesauflage über dem Flnz

Ein wesentliches Kriterium für die Bewertung der Sohlstabilität ist eine ausreichende Kiesüberdeckung über den tertiären Schichten. Um dies quantitativ erfassen zu können, wird der Ansatz von Zarn [9] verwendet. Damit können die mittleren Kiesbankhöhen sowie die dazu korrespondierenden Kolk-tiefen abgeschätzt werden. Voraussetzung dafür ist, dass sich der Flussabschnitt entsprechend Abbildung 60 in einem Regime alternierender Bänke befindet.

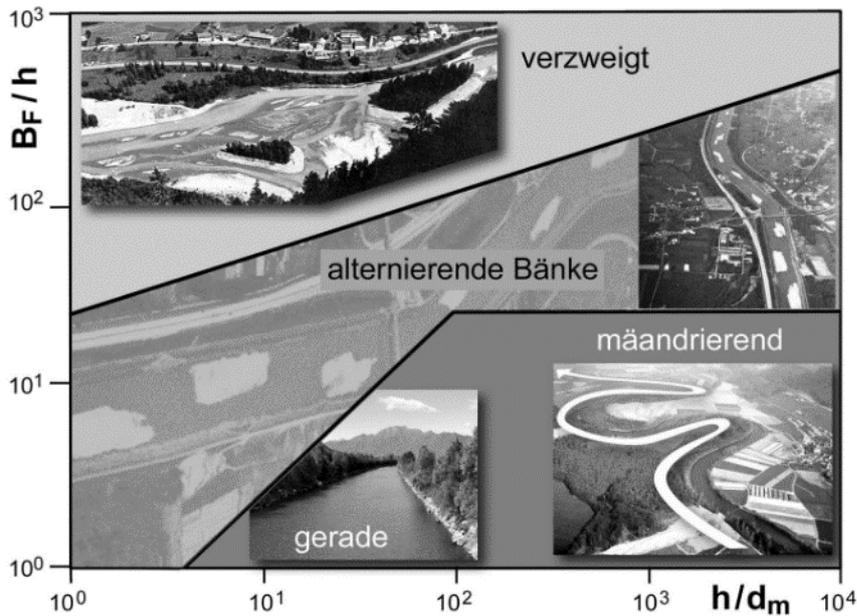


Abbildung 60: Gerinneform in Abhängigkeit von der relativen Flussbettbreite und der relativen Abflusstiefe nach DaSilva [10] (in Marti und Bezzola [7])

Die mittlere Kolktiefe wird nach folgender Beziehung berechnet

$$t_{\text{Kolk,mittel}} = -3,16e^{-\frac{7,26}{V}}$$

$$V = \left(\frac{B_F}{h}\right) \left(\frac{d_m}{B_F}\right)^{0,3}$$

- B_F Flussbettbreite
- h mittlere Fließtiefe
- d_m mittlerer Korndurchmesser

In Abbildung 61 sind die mittleren Kolkiefen nach Zarn in Abhängigkeit der Flussbreite eingetragen. Um der Unsicherheit hinsichtlich der Körngrößen des Sohlmaterials Rechnung zu tragen, wurden die Kolkiefen mit einem mittleren Korndurchmesser von 22,5 mm sowie mit 35 mm ermittelt. Bei gröberer Sohle ist mit etwa 0,25 m größeren mittleren Kolkiefen zu rechnen. Dies erstaunt zunächst, weil nach allgemeiner Erwartung die Kolkiefen mit zunehmendem Korndurchmesser eigentlich abnehmen sollten. Da in den Versuchen von Zarn die Korndurchmesser nicht variiert wurden, musste Zarn auf frühere, nicht ganz so gut dokumentierte Modellversuche an der ETH Zürich zurückgreifen. Jedenfalls ist der Korndurchmesser gegenüber den Flussbettbreite und der Fließtiefe von deutlich nachrangiger Bedeutung. Dies zeigt sich in der Formel zur Berechnung des Hilfswerts V durch den Exponenten von 0,3 bei der

Betrachtung des d_m . Auf Grund der offensichtlichen Unsicherheiten werden für die nachfolgenden Betrachtungen die Kolkiefen bei einem d_m von 22,5 mm betrachtet.

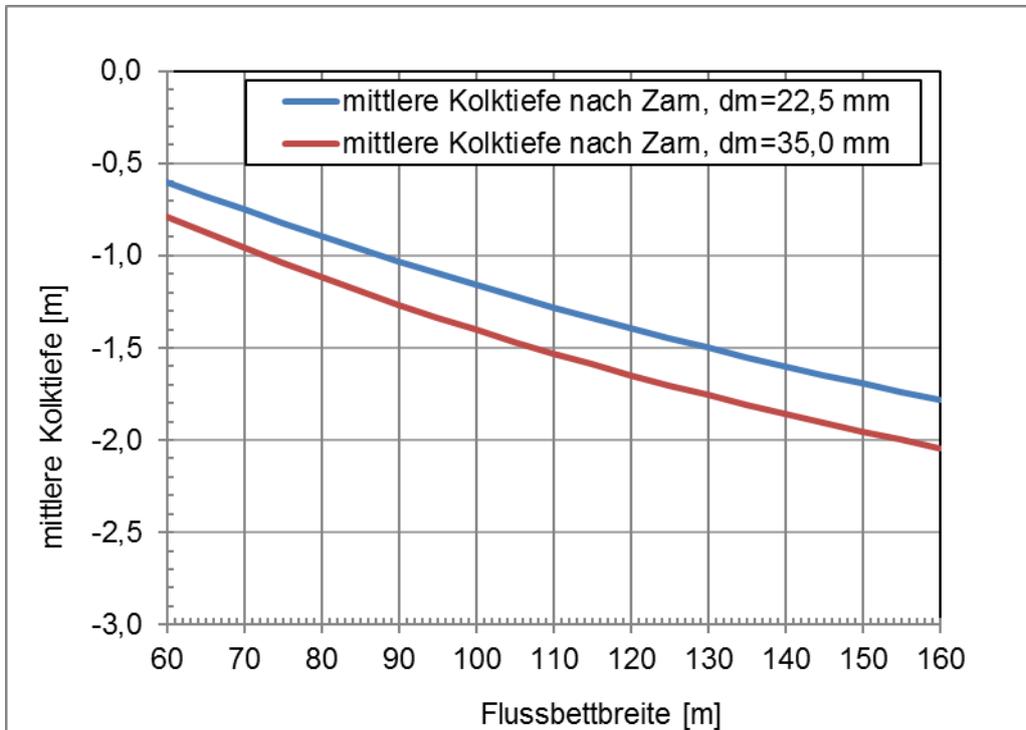


Abbildung 61: Mittlere Kolkiefen nach Zarn für $d_m = 22,5$ mm und 35 mm

In Abbildung 62 sind für den Istzustand die Flussbettbreite sowie die nach Zarn [9] abgeschätzten mittleren Kolkiefen im Längsschnitt eingetragen. Im Mittel beträgt die mittlere Kolkiefe etwa 1 m. Der mittlere Korndurchmesser wurde mit 22,5 mm angesetzt. Die erforderliche Kiesüberdeckung über dem Flinz beträgt somit etwa 1 m.

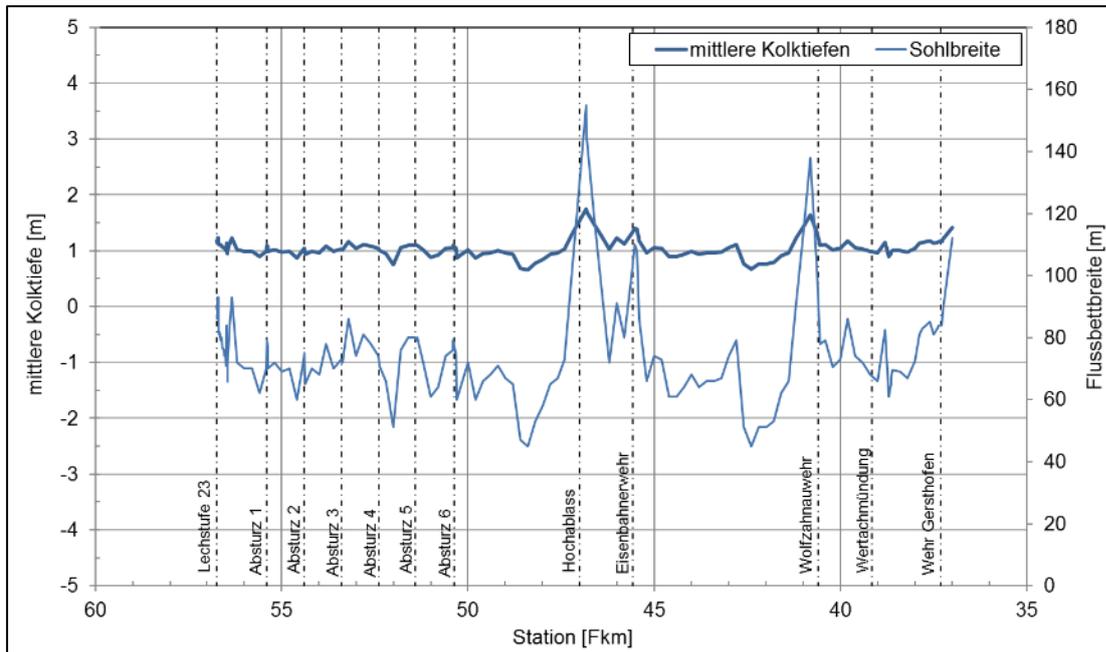


Abbildung 62: Flussbettbreite und mittlere Kolktaiefe nach Zarn [9] für den Istzustand

Erforderliche Rampenhöhe

Um eine wie eben erläuterte Kiesüberdeckung von 1 m zu erreichen, wurden zwei verschiedene Rampenhöhen untersucht. Der Längsschnitt in Abbildung 63 zeigt Rampen mit Höhen von 1 m bzw. 1,5 m bezogen auf die mittlere Sohlhöhe bei Fkm 42,8. Zudem ist die zu erwartende mittlere Sohle oberstrom der Sohlrampe bis zum Eisenbahnerwehr sowie die jeweilige Höhenlage bei mittlerer Kolktaiefe eingezeichnet. Das Ausgleichsgefälle wurde hier mit etwa 1,2 ‰ angenommen.

Der Längsschnitt zeigt, dass bereits bei einer Rampenhöhe von 1 m ein Einschneiden in den tertiären Untergrund von Fkm 42,6 bis etwa Fkm 44,6 vermieden werden kann. Ein Einschneiden in das Tertiär oberstrom von Fkm 44,6 bis zum Eisenbahnerwehr kann allerdings nicht unterbunden werden, auch nicht mit einer 1,5 m hohen Sohlrampe. Da diese Strecke aber in seiner Ausdehnung begrenzt ist, von unterstrom durch die Sohlrampe und den dadurch definierten Wasserspiegel gestützt wird und insbesondere nach oberstrom durch das Eisenbahnerwehr begrenzt ist, kann sich hier kein Sohldurchschlag in Verbindung mit einer gefährlichen rückschreitenden Erosion einstellen.

Die Höhe der Sohlrampe wird somit mit 1 m gewählt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Bereich der Rampenkronen zusätzlich noch ein sogenannter Versatz (oder auch als *Wehrhöhe* bezeichnet, siehe Abbildung 64) von etwa 40 bis 50 cm erforderlich ist. Dieser ist notwendig, damit sich die gewünschte Sohlage oberstrom der Rampe

einstellen kann. Die Anhebung der Sohle erfolgt durch Sedimentation mit von oberstrom ankommendem Geschiebe. Um das dadurch entstehende temporäre Geschiebedefizit und infolgedessen eine Sohleintiefung unterstrom der Rampe zu vermeiden, muss voraussichtlich hier Geschiebe zugegeben werden. Die Sohlentwicklung ist zu beobachten und daraus die Dosierung der Geschiebezugabe abzuleiten.

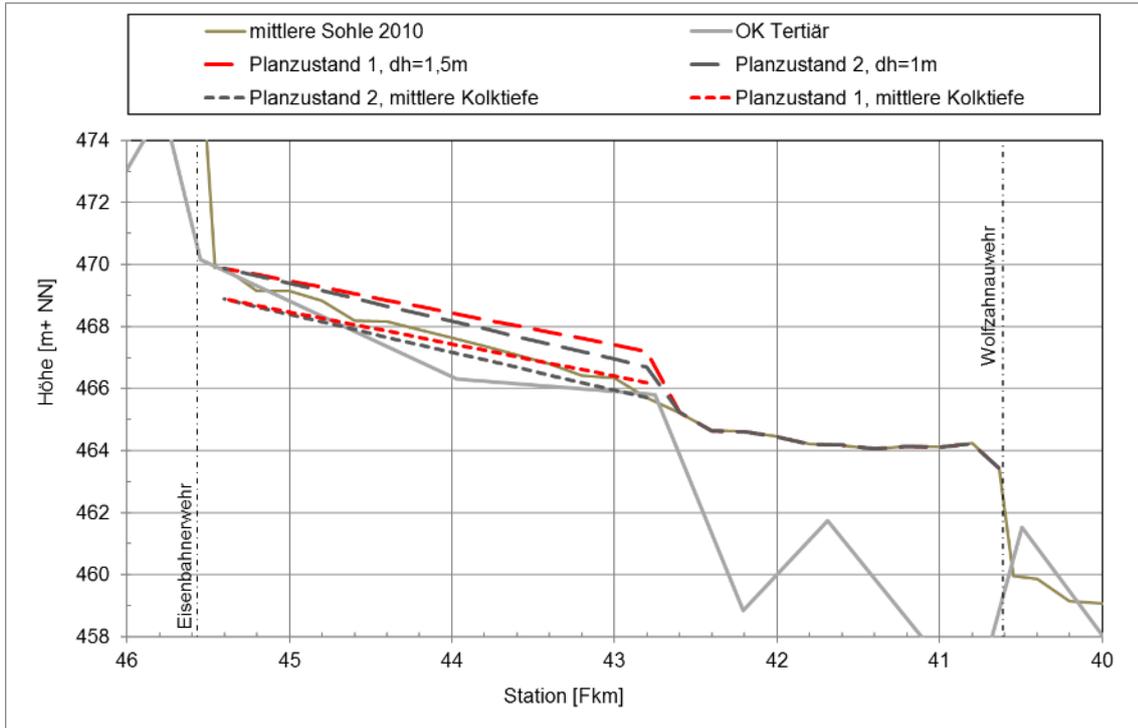


Abbildung 63: Varianten mit Rampenhöhen 1 und 1,5 m; mittlere Kolkiefen

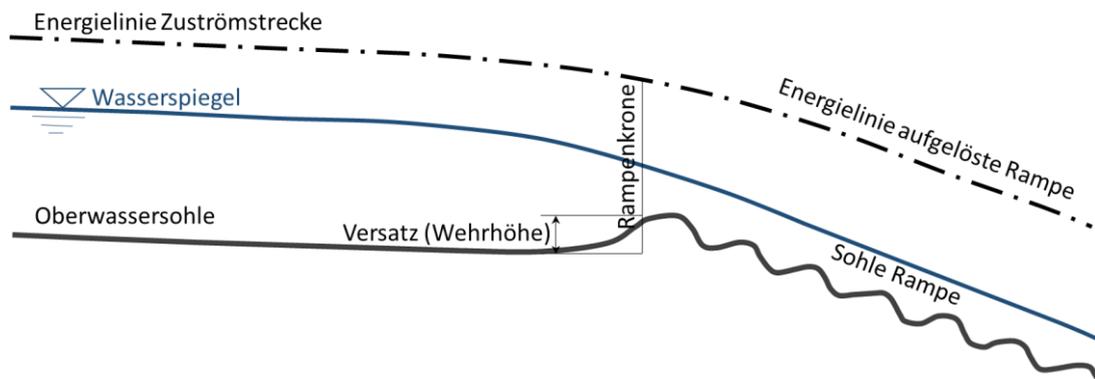


Abbildung 64: Schematische Darstellung des Versatze (Wehrhöhe) bei Sohlrampen (nach [13])

Da die Sohle des Lech im innerstädtischen Bereich bereits soweit eingetieft ist, ist der infolge der Sohlrampe sowie der Sohlanhebung Anstieg des Wasserspiegels unproblematisch hinsichtlich der Hochwassersicherheit und der Grundwasserverhältnisse. Siehe hierzu auch die entsprechenden Passagen in den Berichten der Anlagen 4.2 (Hydraulik) und 6.4 (Grundwasser).

Lage der Sohlrampe

Die Sohlrampe liegt im Bereich der Ulrichsbrücke (Fkm 42,63). In weiteren Planungsschritten ist die genaue Lage der Sohlrampe festzulegen. Möglichweise ist es sinnvoll, die Rampenkronen im Unterwasser der Brücke anzuordnen.

9.4.2.3 Geschiebezugabe

Wie im Planungsbereich I ist auch hier eine Geschiebezugabe ein wichtiger Baustein der Planung. Einerseits ist die Geschiebezugabe wesentlich zur Vermeidung zukünftiger Sohleintiefungen und damit zur Sohlstabilität. Andererseits ermöglicht eine Geschiebezugabe für die Gewässerökologie wichtige dynamische Prozesse an der Flusssohle.

Die Überprüfung der Geschiebezugabe mit dem Geschiebetransportmodell hat gezeigt, dass eine tatsächliche Stabilisierung der Sohle oder zumindest ein spürbarer Beitrag dazu nur mit ausreichend grobkörnigem Kiesmaterial als Geschiebezugabe erzielt werden kann. Eine Geschiebezugabe mit Material, das der Unterschicht in der Lechsohle entspricht (mittlerer Korndurchmesser ca. 20 mm) wird ohne sohlstabilisierende Wirkung durch den Planungsbereich II durchtransportiert. Mit größerem Material und einem mittleren Korndurchmesser von etwa 30 bis 40 mm wird aber eine Vergrößerung der Sohle und demzufolge eine Stabilisierung der Lechsohle erreicht. Zu berücksichtigen ist hier auch, dass aus dem Planungsbereich I Material ausgetragen wird und dem hier betrachteten Lechabschnitt im Planungsbereich II zugutekommt.

Detaillierte Ausführungen sind in den Berichten zum Geschiebetransportmodell in Anlage 5 enthalten.

9.4.2.4 „Aufweitung an der Flussmeisterstelle“

Der Freistaat Bayern ist Eigentümer eines größeren Grundstücks linksseitig des Lech beginnend an der Afrabrücke (Fkm 45,72) bis zur Flussmeisterstelle an der Berliner Allee. Hier befindet sich neben der Flussmeisterstelle die ehemalige Straßenmeisterei. Die Flächen zum Lech hin werden für Freizeitaktivitäten genutzt: Schlittenhügel,

Bolzplatz etc. Siehe dazu auch das Luftbild in Abbildung 65 sowie ausgewählte Fotos in Abbildung 66.

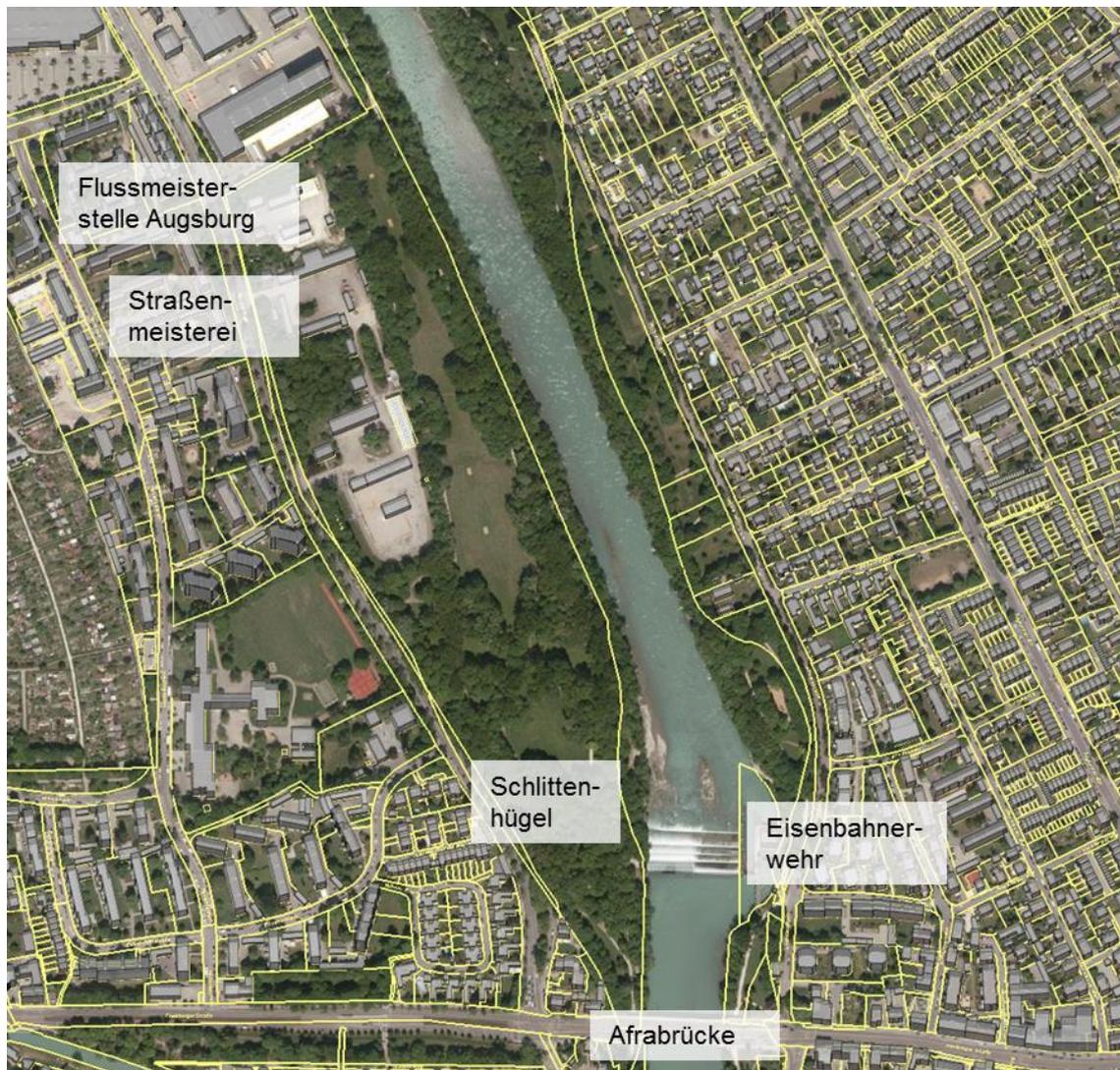


Abbildung 65: Luftbild Bereich Aufweitung an der Flussmeisterstelle (Quelle: <http://www.geoportal.bayern.de>)



Abbildung 66: Fotos im Bereich der „Aufweitung an der Flussmeisterstelle“

Als möglicher Baustein für die innerstädtischen Varianten wird eine großzügige Aufweitung des Lech etwa von Fkm 45,25 bis Fkm 44,7 vorgesehen. In Abbildung 67 ist eine mögliche Konzeption der Aufweitung im Lageplan dargestellt. Die entsprechenden Querprofile dazu befinden sich in Abbildung 68.



Abbildung 67: Konzeption der „Aufweitung an der Flussmeisterstelle“

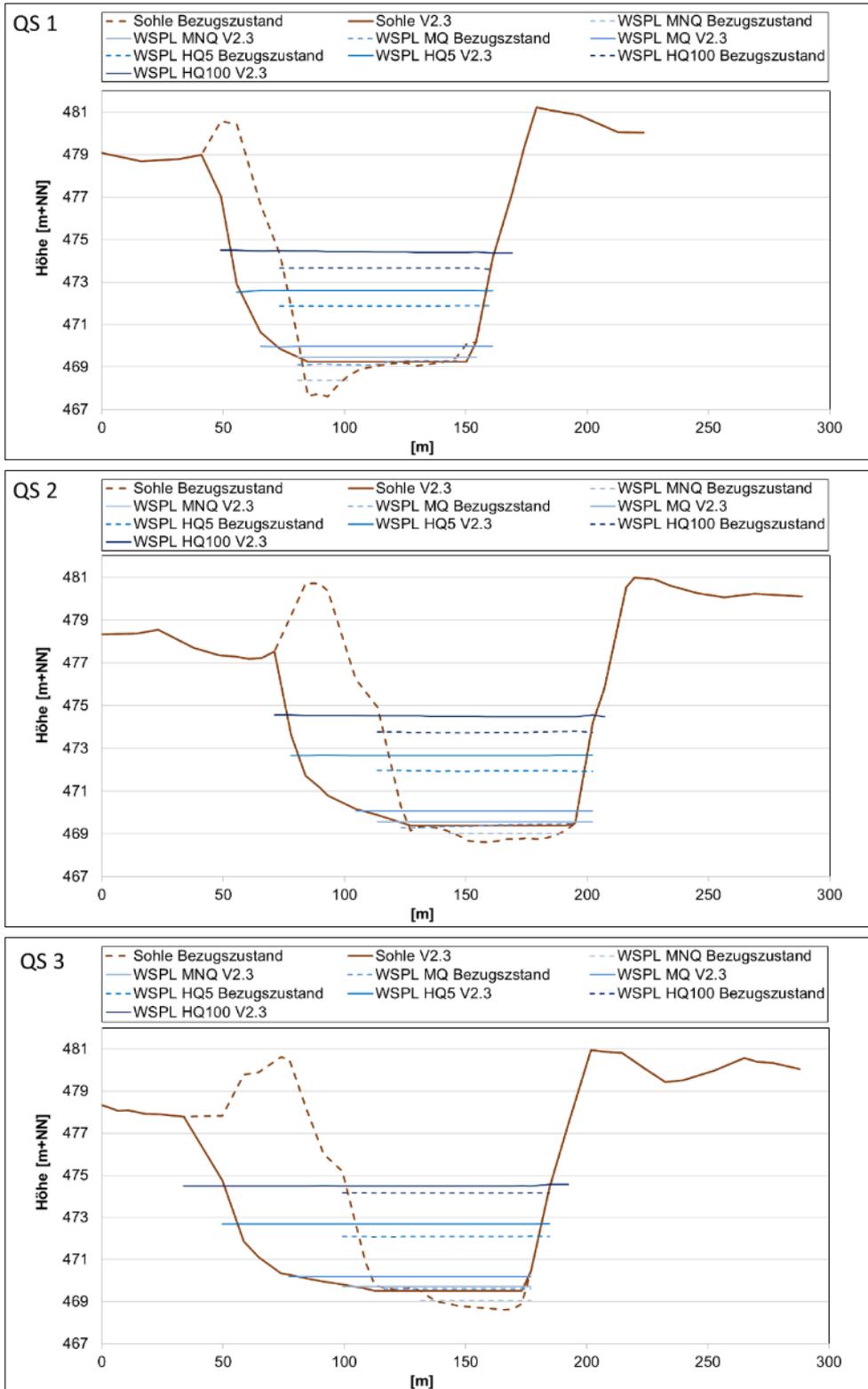


Abbildung 68: „Aufweitung an der Flussmeisterstelle“: Querprofile mit berechneten Wasserspiegeln

Die wesentlichen Gesichtspunkte bei der Planung der Aufweitung werden nachfolgend erläutert:

- Die Länge der aufgeweiteten Flussstrecke beträgt ca. 550 m (Fkm 45,25 bis Fkm 44,7). Nach oberstrom ist die Aufweitung begrenzt durch den „Schlittenhügel“ (Osram-Berg). Dabei handelt es sich um eine ehemalige Mülldeponie, die als Altlastenverdachtsfläche ausgewiesen ist. Nach unterstrom wird die Aufweitung durch den Auslauf eines Überlastbauwerks der Mischwasserkanalisation in den Lech begrenzt.
- Die Aufweitung des Lech, ebenso wie der Übergang zur ursprünglichen Breite im Istzustand erfolgt über eine längere Flussstrecke, um Querströmungen und einen sogenannten Zusammenführungskolk in der Lechsohle zu vermeiden.
- Die maximale Aufweitung beträgt etwa 50 m.
- Die Aufweitung bewirkt kein Absenken des Wasserspiegels nach oberstrom. Dafür ist diese zu kurz. Im unmittelbaren Bereich der Aufweitung steigt der Wasserspiegel sogar an. Dies ist eine Folge der Energieerhaltung. Bei unveränderter Energielinie wird die kinetische Energie infolge des größeren Abflussquerschnitts und der damit einhergehenden geringeren Fließgeschwindigkeit reduziert. Folgerichtig muss der Wasserspiegel in der Aufweitung ansteigen.
- Die Aufweitung wird so gestaltet, dass bereits bei kleinen Abflüssen eine Vergrößerung des Abflussquerschnitts erfolgt. Fische können in den aufgeweiteten Bereich wandern. Die flachen Kiesufer stellen wertvolle Habitate auch als potentielle Laichplätze dar.

Im unmittelbaren Bereich der Aufweitung wird die Sohle stabilisiert. Zudem geht mit der Aufweitung eine erhebliche Verbesserung der Gewässerökologie einher. Insbesondere sind hier folgende Gesichtspunkte zu nennen:

- Entwicklung von kiesigen angeströmten Flachwasserzonen, welche als Reproduktionsareale für lithophile Arten dienen können.
- Diversifizierung der Uferlinie; in Abhängigkeit von der Intensität der Aufweitung kommt es zu einer Heterogenisierung der Uferlinie. Ausprägte Buchten und Ruhigwasserzonen bieten wertvolle Juvenilhabitate für eine Vielzahl von standorttypischen Fischarten.
- Der charakteristische Gradient in Bezug auf Fließgeschwindigkeit und Tiefenverhältnisse in Aufweitungsbereichen bietet verschiedenste aquatische Mesohabitate für die unterschiedlichen Altersstadien.

- Aufweitungsbereiche bieten wertvolle Refugialhabitate für Fische bei Hochwasser: Fische können sich bei großen Abflüssen und hohen Fließgeschwindigkeiten im Lech in strömungsberuhigte Bereiche der Aufweitung zurückziehen. Diese bieten Schutz vor Abdrift.
- Darüber hinaus bieten Flachwasserzonen und seichte Buchtbereiche Schutz vor Prädation; dies trifft im Besonderen für Kleinfischarten und Jungfische zu.

Neben der gewässerökologischen Funktion ist mit der Aufweitung an der Flussmeisterstelle auch eine Verbesserung der Erholungsfunktion für die Anwohner verbunden. Es entstehen strömungsberuhigte Bereiche, über flache Ufer können Zugänge zum Lech geschaffen werden. Es sind umfangreiche Möglichkeiten zur Aufwertung des Raums vorhanden. Allerdings ist auch zu berücksichtigen, dass mit der Aufweitung ein erheblicher Eingriff in den Bestand einhergeht. Z. B. muss der vorhandene Baumbestand entlang des Lech gerodet werden. In weiteren Planungsschritten sollte dies mit Vertretern der Stadt Augsburg diskutiert werden.

Die Aufweitung muss maschinell hergestellt werden. Eine eigendynamische Aufweitung erscheint hier nicht möglich. Die neue Uferlinie muss durchgängig gesichert werden. Das erforderliche Aufweitungsvolumen beträgt rund 120.000 m³. Da Altlasten in diesem Bereich nicht ausgeschlossen werden können, besteht ein gewisses Risiko hinsichtlich den anfallenden Kosten. Im Zuge der weiteren Planungsschritte sollten hier Sondierungen erfolgen, um das Altlastenrisiko eingrenzen zu können.

In Anlage 2.18 befindet sich ein schematischer Querschnitt des Lech im Bereich der maximalen Aufweitung etwa bei Fkm 45,1. Zu beachten ist, dass der Querschnitt 10-fach überhöht ist.

9.4.2.5 Erhöhung der Strukturvielfalt im Uferbereich und an der Lechsohle

Um die Strukturvielfalt zu erhöhen, können Störsteine bzw. Gruppen von Störsteinen und Wildholz gezielt in den Lech eingebaut werden. Dadurch entstehen insbesondere attraktive Aufenthaltsorte für Fische. Zudem wird auch das Erscheinungsbild des sonst so monotonen Lech im Stadtgebiet aufgewertet. Nachfolgend werden die Wirkungen und die Einsatzmöglichkeiten von Störsteinen und Wildholz beschrieben. Ein Einsatz ist unabhängig von den konzipierten Varianten möglich und in jeglicher Hinsicht als positiv zu bewerten. Deshalb wird dieser Baustein bei den in Kapitel 9.4.3 beschriebenen Varianten nicht mehr eigens aufgeführt.

Störsteine

Störsteine unterbrechen das monotone Fließmuster. Wie bei einem Brückenpfeiler entsteht unmittelbar oberstrom eines Störsteins lokal ein Aufstau. Dieser bewirkt

seitlich des Störsteins eine Beschleunigung des Abflusses und dadurch eine Kolkbildung. Im Strömungsschatten wird die Fließgeschwindigkeit reduziert, wodurch kleinräumige Anlandungen entstehen. Es werden Bereiche unterschiedlicher Fließgeschwindigkeiten und Fließtiefen geschaffen. An der Flusssohle werden lokale Umlagerungen und Sortierprozesse angeregt. Die Störsteine wirken je nach ihrer Größe bei kleinen bis mittleren Abflüssen. Grundsätzlich sollten sie in Flachwasserbereichen, also Gleitufer und Furtstrecken angeordnet werden. Um die Wirkung zu verstärken, werden die Störsteine in Gruppen von 4 bis 5 Steinen verlegt. Die Steinmasse sollte mindestens 2 to pro Exemplar betragen. Durch Umlagerungen im Kiesbett werden sich die Steine im Laufe der Zeit leicht in das Gewässerbett eingraben. Grundsätzlich sollten sie aber auf Grund Ihrer Masse eine stabile Lage einnehmen. Ein geringes Verdriften bei großen Hochwasserereignissen ist aber in der Regel unproblematisch. Das nachfolgende Bild zeigt als Beispiel Störsteine in der Isar im nördlichen Stadtgebiet von München.



Abbildung 69: Beispiel von Störsteinen an der Isar im Stadtgebiet von München

Totholz

Je nach Art der Einbringung hat Totholz eine ähnliche flussmorphologische Wirkung wie Störsteine. Gut denkbar ist auch eine Kombination mit Störsteinen. Beim Einsatz von Totholz ist eine relativ große Bandbreite vorhanden. Diese reicht vom Einbringen kleiner Wurzelstöcke bis hin zu ganzen Bäumen samt Wurzelteller. Wichtig ist eine solide Befestigung z. B. durch Stahlseile in Verbindung mit einer ausreichenden Verankerung im Untergrund oder durch eine Befestigung an ausreichend schweren Wasserbausteinen.

Die nachfolgenden Bilder zeigen Beispiele für natürlich eingetragenes Totholz in der Isar bzw. künstlich eingebrachtes und befestigtes Totholz in der Pielach / Österreich.



Abbildung 70: Totholz in der Isar im Stadtgebiet von München (links) und am Lech (rechts, Blick von oben)



Abbildung 71: Totholz in der Pielach (Quelle: ezv TB Zauner)

9.4.2.6 Sonstige Maßnahmen zur Verbesserung der Erlebbarkeit des Lech

Um die Erlebbarkeit des Lech im Stadtbereich zu verbessern, sind zahlreiche Maßnahmen denkbar. Diese sind nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchung und müssten von der Stadt Augsburg durchgeführt werden. Die nachfolgende Aufzählung von möglichen Maßnahmen soll als Anregung zu weiteren Überlegungen und gegebenenfalls Untersuchungen dienen:

- Abflachung von Ufern zur besseren Zugänglichkeit des Lech;
- Absenken der Uferhöhen zur besseren Erlebbarkeit des Lech;
- Lokales Auslichten des vorhandenen Bewuchses am Ufer, um die Sichtbarkeit des Lech zu erhöhen.;
- Lokale Aufweitungen.

Es sei darauf verwiesen, dass die Landeshauptstadt München seit mehreren Jahren ähnliche Überlegungen zur Verbesserung der Ökologie und Erholungsnutzung an der Isar im nördlichen Stadtgebiet anstellt. Gegebenenfalls sind hier gegenseitige Anregungen möglich.

9.4.3 Varianten

Aus den in Kapitel 9.4.2 aufgeführten Bausteinen – Sohlrampe mit Sohlanhebung, Geschiebezugabe sowie die „Aufweitung an der Flussmeisterstele“ - wurden folgende Varianten entwickelt:

Tabelle 27: Varianten im Planungsbereich II

Variante	Bausteine
II-A	Geschiebezugabe + Monitoring
II-B1	Sohlrampe Fkm 42,6 + Sohlanhebung oberstrom
II-B2	Sohlrampe Fkm 42,6 + Sohlanhebung oberstrom Geschiebezugabe + Monitoring
II-B3	Sohlrampe Fkm 42,6 + Sohlanhebung oberstrom Geschiebezugabe + Monitoring „Aufweitung an der Flussmeisterstele“

Die Variante II-A hat als einzigen Baustein eine Geschiebezugabe. Alle Varianten der Gruppe II-B haben als zentralen Baustein die Sohlrampe bei Fkm 42,6 in Verbindung mit der Anhebung der Flusssohle oberstrom der Rampe. Bei Variante II-B2 wird die Sohlrampe durch eine Geschiebezugabe ergänzt. Variante II-B3 sieht zusätzlich die „Aufweitung an der Flussmeisterstele“ vor.

Die Geschiebezugabe erfolgt mit entsprechend grobem Material, so dass auch wie in Kapitel 9.3.2.4 beschrieben wurde, dadurch eine entsprechende sohlstabilisierende Wirkung erzielt wird. Zudem wird feineres Material zugegeben, um auch für die aquatischen Lebewesen attraktive Habitate zu erhalten.

9.4.4 Kostenschätzung

Für die Kostenschätzung im Planungsbereich II gelten dieselben grundsätzlichen Aussagen wie für den Planungsbereich I, siehe Kapitel 9.3.4.6. Die geschätzten Gesamtkosten der Varianten sind in Tabelle 28 eingetragen. Die detaillierte Kostenschätzung ist getrennt für die Varianten in Anlage 7 abgelegt. In Anlage 7.1 sind zunächst die Einheitspreise für sämtliche Positionen der Kostenschätzung zusammengestellt. Die Kostenschätzungen für die einzelnen Varianten befinden sich in den Anlagen 7.3.1 bis 7.3.2. Schließlich werden die laufenden Kosten aufgeführt.

Tabelle 28: Ergebnis der Kostenschätzung (Gesamtkosten brutto, gerundet)

Variante	Gesamtkosten brutto
Variante II-A	-
Variante II-B1	2,1 Mio €
Variante II-B2	2,1 Mio €
Variante II-B3	3,1 Mio €

Die laufenden jährlichen Kosten nach Umsetzung der Maßnahmen werden für alle Varianten gleich mit jeweils etwa 45.000,- € abgeschätzt.

Tabelle 29: Laufende Kosten pro Jahr

Pos.	Beschreibung	Kosten pro Jahr
1	Geschiebezugabe	20.000 €
2	Monitoring	
2.1	Sohlvermessung, (Vermessung ca. alle 3 Jahre und nach größeren HW-Ereignissen, hier Kostenanteil pro Jahr)	0 € ²
2.2	Ingenieurmäßige Interpretation der Ergebnisse, Schlussfolgerungen	25.000

9.4.5 Bewertung der Varianten / Ableitung Bestvariante

Die Varianten im Planungsbereich II sind weit weniger komplex als im Planungsbereich I. Das Bewertungssystem des Planungsbereich I ist hier nicht anwendbar. Nachfolgend werden die Wirkungen der Varianten im Hinblick auf die gesteckten Ziele beschrieben.

Ziel 1: Sohlstabilität

Ziel 1.1: Schaffung einer ausreichenden Kiesüberdeckung über dem hoch anstehenden Tertiär zwischen dem Eisenbahnerwehr und Fkm 42,8;

Ziel 1.2: Stabilisierung der Flusssohle in den sonstigen Bereichen des Planungsbereichs II;

Ziel 2: Verbesserung des ökologischen Zustands des Lech.

² Hier werden keine Kosten angesetzt, da die unabhängig vom Projekt durchzuführende regelmäßige Vermessung ausreicht

Variante II-A (Geschiebezugabe + Monitoring)

Ziel	Wirkung / Bewertung
Ziel 1.1	Mit der Geschiebezugabe kann eine gewisse Überdeckung des Tertiärs erreicht werden. Allerdings wird die Überdeckung voraussichtlich nicht ausreichen, um ein Einschneiden in den Flinz im Bereich von Kolken (korrespondierende Kolke von Kiesbänken) zu vermeiden. Die Kolke sind zunächst noch getrennt durch Furtstrecken, die für die Sohle stabilisierend wirken. Bei sehr großen Hochwasserereignissen und einer entsprechenden Belastung der Sohle kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Kolke miteinander verbinden und damit eine großräumige, unkontrollierte Eintiefung in das Tertiär erfolgt (Sohldurchschlag).
Ziel 1.2	In allen weiteren Abschnitten wird eine Überdeckung der Lechsohle mit entsprechend gröberen Fraktionen aus der Geschiebezugabe erreicht. Bei größeren Hochwasserereignissen kann dieses Material auch wieder mobilisiert werden. Allerdings ist hier noch eine ausreichende Kiesüberdeckung über dem Tertiär vorhanden bzw. ist ein Einschneiden in das Tertiär nur auf einer relativ kurzen Strecke möglich. Insgesamt wird mit der Geschiebezugabe eine ausreichende Sohlstabilität erreicht.
Ziel 2	Mit der Geschiebezugabe wird „frisches“ Geschiebe zur Verfügung gestellt. Bei entsprechender Fraktionierung werden Reproduktionsareale geschaffen, welche dazu beitragen können, den gewässerökologischen Zustand des Lech zu verbessern. Mit der Zugabe entstehen auch dynamische Mesohabitate, welche ebenso einen positiven Beitrag zu Zielerreichung liefern können. Die Zugabe bewirkt zudem auch die Überdeckung von freiliegenden Arealen des Flinzes, wodurch der Anteil gewässerökologisch wertvoller Zonen erhöht wird. Im Fall der unkontrollierten Eintiefung würden ansonsten vor allem die gewässerökologisch wertvollen kiesigen Furtbereiche verloren gehen.

Variante II-B1 (Sohlrampe Fkm 42,6 + Sohlanhebung oberstrom)

Ziel	Wirkung / Bewertung
Ziel 1.1	Mit Hilfe der Sohlrampe bei Fkm 42,6 in Verbindung mit der Sohlanhebung oberstrom bis zum Eisenbahnerwehr kann eine deutliche Erhöhung der Kiesüberdeckung über dem Tertiär erreicht werden. Die Geschiebetransportberechnungen zeigen allerdings, dass langfristig mit einem etwas geringeren Ausgleichsgefälle als den zunächst prognostizierten 1,2 ‰ zu rechnen ist. Die Kiesüberdeckung wird somit bereichsweise geringer ausfallen als prognostiziert. Ein Einschneiden von entstehenden Kolken in den Flnz kann nicht ausgeschlossen werden. Gegenüber dem Istzustand, aber auch gegenüber Variante II-A, kann die Sohlstabilität aber als deutlich besser eingestuft werden.
Ziel 1.2	In allen weiteren Abschnitten erfolgt keine Stabilisierung der Lechsohle. Diese wird sich bereichsweise weiter eintiefen. Ein Einschneiden in das Tertiär ist unterstrom des Wolfzahnauwehrs langfristig nicht auszuschließen.
Ziel 2	Der Einbau der Sohlrampe reduziert die Fließgeschwindigkeit und damit die möglichen dynamischen Prozesse in dem System. Der Einbau einer Sohlrampe ist auch bei sehr guter Konzeption und Ausführung immer mit einer gewissen Einschränkung der Durchgängigkeit verbunden. Die Sohlanhebung oberstrom der Rampe bewirkt eine Anlandung von Geschiebe auf sonst nackten Flnzflächen. Unterstrom der Sohlrampe ist durch die weiterhin zu erwartende Eintiefung der Lechsohle eine Fortsetzung des negativen gewässerökologischen Trends zu erwarten.

Variante II-B2 (Sohlrampe Fkm 42,6 + Sohlanhebung oberstrom; Geschiebezugabe + Monitoring)

Ziel Wirkung / Bewertung

Ziel 1.1 Die Wirkung entspricht Variante II-B1: über dem Tertiär wird eine deutliche Kiesüberdeckung erreicht. Zusätzlich kann durch die Geschiebezugabe das prognostizierte Ausgleichsgefälle von 1,2 ‰ langfristig gehalten werden. Ein Einschneiden in den Flnz über größere Flächen kann somit vermieden werden. Die gewünschte Sohlstabilität wird in diesem Abschnitt erreicht werden.

Ziel 1.2 Wie in Variante II-A wird in allen weiteren Abschnitten eine Überdeckung der Lechsohle mit entsprechend gröberen Fraktionen aus der Geschiebezugabe erreicht. Bei größeren Hochwasserereignissen kann dieses Material auch wieder mobilisiert werden. Allerdings ist hier noch eine ausreichende Kiesüberdeckung über dem Tertiär vorhanden bzw. ist ein Einschneiden in das Tertiär nur auf einer relativ kurzen Strecke möglich. Insgesamt wird mit der Geschiebezugabe eine ausreichende Sohlstabilität erreicht.

Ziel 2 Der Einbau der Sohlrampe reduziert die Fließgeschwindigkeit und damit die möglichen dynamischen Prozesse in dem System. Der Einbau einer Sohlrampe ist auch bei sehr guter Konzeption und Ausführung immer mit einer gewissen Einschränkung der Durchgängigkeit verbunden.

Die Geschiebezugabe bewirkt die Überdeckung von freiliegenden Arealen des Flnzes; dies erhöht den Anteil gewässerökologisch wertvoller Zonen. Mit der Geschiebezugabe wird „frisches“ Geschiebe zur Verfügung gestellt. Bei entsprechender Fraktionierung werden Reproduktionsareale geschaffen, welche dazu beitragen können, den gewässerökologischen Zustand des Lech zu verbessern. Mit der Zugabe entstehen auch dynamische Mesohabitate, welche ebenso einen positiven Beitrag zu Zielerreichung liefern können.

Variante II-B3 (Sohlrampe Fkm 42,6 + Sohlanhebung oberstrom; Geschiebezugabe + Monitoring; „Aufweitung an der Flussmeisterstelle“)

Ziel	Wirkung / Bewertung
Ziel 1.1	Die Wirkung entspricht der Variante II-B2: über dem Tertiär wird eine deutliche Kiesüberdeckung erreicht. Durch die Geschiebezugabe kann das prognostizierte Ausgleichsgefälle von 1,2 ‰ langfristig gehalten werden. Ein Einschneiden in das Tertiär über größere Flächen kann somit vermieden werden. Zudem bewirkt die Aufweitung an der Flussmeisterstelle lokal eine Anhebung und damit eine zusätzliche Stabilisierung der Lechsohle. Die gewünschte Sohlstabilität wird in diesem Abschnitt erreicht werden.
Ziel 1.2	Wie in Variante II-A wird in allen weiteren Abschnitten eine Überdeckung der Lechsohle mit entsprechend gröberen Fraktionen aus der Geschiebezugabe erreicht. Bei größeren Hochwasserereignissen kann dieses Material auch wieder mobilisiert werden. Allerdings ist hier noch eine ausreichende Kiesüberdeckung über dem Tertiär vorhanden bzw. ist ein Einschneiden in das Tertiär nur auf einer relativ kurzen Strecke möglich. Insgesamt wird mit der Geschiebezugabe eine ausreichende Sohlstabilität erreicht.
Ziel 2	Die Wirkung entspricht der Variante II-B2. Mit der zusätzlichen Aufweitung kann eine Vielzahl von Mesohabitaten geschaffen werden, welche aus gewässerökologischer Sicht einen wertvollen Beitrag zur ökologischen Rehabilitation dieses Lechabschnittes liefern können. Aus gewässerökologischer Sicht ist dabei die Präsenz von kiesigen angeströmten Flachwasserzonen von besonderer Bedeutung. Diese sollen einen ausgeprägten Gradienten in Bezug auf Tiefen- und Fließgeschwindigkeitsverhältnisse aufweisen. Höher liegende Schotterflächen, welche eine Weidensukzession ermöglichen, bieten im Hochwasserfall wertvolle Refugialzonen.
Sonstiges	Je nach Gestaltung der „Aufweitung an der Flussmeisterstelle“ ist eine deutliche Aufwertung der Zugänglichkeit zum Lech möglich. Hier können Bereiche zum Verweilen, Liegeflächen, Badebereiche etc. geschaffen werden. Die Möglichkeiten sind vielfältig und sollten gemeinsam mit der Stadt Augsburg in weiteren Planungsschritten erarbeitet werden.

Ebenso können Bereiche geschaffen werden, die eine erhöhte Qualität im Sinne der aquatischen aber auch der terrestrischen Ökologie aufweisen: Kiesbänke, Flachuferzonen etc.

Aus der Variantenbewertung können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Um ein dynamisches Sohlgleichgewicht zu erreichen, ist eine Kombination aus dem Bau einer Sohlrampe bei Fkm 42,6, einer Anhebung der Sohle des Lech oberstrom sowie einer Zugabe von Kies mit einer entsprechenden Körnung erforderlich.
- Aus gewässerökologischer Sicht ist die Zugabe von Kies mit passender Körnung essentiell. Die Aufweitung an der Flussmeisterstelle bietet wertvolle Lebensräume und trägt zu einer deutlichen Verbesserung der gewässerökologischen Situation bei.

Die Ziele der Sohlstabilität sowie der Verbesserung der gewässerökologischen Funktion des Lech können eindeutig mit der Variante II-B3 am besten erreicht werden.

9.5 Unsicherheit in den Prognosen - Folgerungen

Es wäre vermessen und auch nicht korrekt zu behaupten, dass die Wirkungen von umgesetzten Maßnahmen mit Hilfe der Fachexpertise gemeinsam mit den eingesetzten Werkzeugen exakt vorhergesagt werden können. Dies gilt insbesondere bei flussbaulichen Projekten, bei denen wie hier insbesondere im Planungsbereich I, ein möglichst großer Freiheitsgrad für den Lech angestrebt wird. Wichtig ist, dass man sich dieser Unsicherheiten bewusst ist und damit verantwortungsvoll umgeht. Letztendlich müssen diese Unsicherheiten in der Maßnahmenplanung bzw. der Art und Weise der Umsetzung der Maßnahmen berücksichtigt werden.

Nachfolgend werden die Unsicherheiten für einzelne Teilbereiche der Planung erläutert. Daraus werden abschließend Schlussfolgerungen für die Planung bzw. die Umsetzung der Maßnahmen abgeleitet.

9.5.1 Hydrologie

Im Projektgebiet sind zwei Pegel am Lech vorhanden. Regelmäßige Aufzeichnungen des Wasserstands existieren seit 1975 (Pegel Haunstetten) bzw. 1959 (Pegel

Augsburg u. d. Wertachmündung). Die Datenlage kann somit als sehr gut bezeichnet werden.

Eine gewisse Einschränkung im Hinblick auf die Prognose stellt die Anpassung der Bewirtschaftung des Forggensees bei Hochwasser dar. Seit der wasserrechtlichen Bewilligung vom Juni 2000 (Bescheide vom 05.06.2000 und 29.05.2006) kann das Wasserwirtschaftsamt Kempten bei einem prognostizierten Hochwasserereignis eine Vorabsenkung des Forggensee veranlassen. Durch einen Umbau der Hochwasserentlastungsanlage wurde die Leistungsfähigkeit der Vorentlastung erhöht. Nach Auskunft der Hochwasservorhersagezentrale Iller Lech besteht allerdings keine eindeutige Betriebsvorschrift für die Vorabsenkung des Stauraums bei Hochwasser. Die Vorabsenkung erfolgt bei jedem Hochwasser individuell in Abhängigkeit der jeweiligen Randbedingungen. Somit ist es nicht möglich, die Abflussganglinie anzupassen und dabei die zukünftige Steuerung an der Talsperre Rosshaupten zu berücksichtigen.

Einschätzung der daraus entstehenden Unsicherheit:

Die Vorabsenkung erfolgt nur bei zu erwartenden großen Hochwasserereignissen und damit relativ selten. Hochwasser werden durch die Vorabsenkung und dem damit verbundenen Ziel der Absenkung des Scheitelabflusses gedämpft. Die geschiebewirksamen Abflüsse bleiben ansonsten unverändert.

Es wird erwartet, dass die Anpassung der Hochwasserwelle für das Einzelereignis betrachtet, Auswirkungen auf die soilmorphologischen Prozesse haben wird. Im Sinne einer Langzeitbetrachtung und der Abschätzung des dynamischen Gleichgewichtsgefälles werden aber keine Auswirkungen erwartet. Die Unsicherheit wird als gering eingestuft.

9.5.2 Hydraulische Berechnungen

Bei den hydraulischen Berechnungen sind die vorhandenen Unsicherheiten in der Prognose von Wasserspiegeln und Fließgeschwindigkeiten gering.

9.5.3 Geschiebetransportberechnungen

Die Berechnungen mit dem Geschiebetransportmodell werden verwendet, um zunächst ein erwartetes Ausgleichsgefälle als Grundlage für die Maßnahmenplanung abzuschätzen. Mit Hilfe der Langzeitsimulationen wird im Nachgang geprüft, wie sich die Lechsohle im dynamischen Gleichgewichtszustand einstellt.

Aus Erfahrungen im Umgang mit der Modellierung morphologischer Prozesse ist bekannt, dass die Unsicherheiten in den Ergebnissen relativ groß sind. Nachfolgend werden ein paar wesentliche Aspekte aufgeführt:

- Durch die Entwicklungen in den letzten Jahren hat sich die Qualität von Geschiebetransportberechnungen deutlich verbessert (2d-Modell, fraktionierter Transport, Deckschichtbildung, Hiding-Effekte etc.). Während die hydraulische Modellierung als Grundlage für die nachfolgende Geschiebetransportberechnung auf gut gesicherten physikalischen Grundlagen beruht (tiefengemittelte Navier-Stokes-Gleichungen), basiert die Geschiebetransportberechnung auf weitgehend empirischen Ansätzen (z. B. Formel von Meyer-Peter und Müller).
- Neben den Modellansätzen sind mit den erforderlichen Eingangsdaten gewisse Unsicherheiten verbunden: Geschiebeeintrag, Korngrößen- und Kornzusammensetzung. Sieblinien des Geschiebes bzw. des Sohlmaterials können nur stichpunktartig erfasst werden und unterliegen einer natürlichen Schwankung.
- Das Modell wird im Sinne einer Langzeitbetrachtung kalibriert und validiert.
- Aussagen über lokale Sohlveränderungen und soilmorphologische Prozesse bei einzelnen Hochwasserereignissen auf Basis von Berechnungsergebnissen sind mit großen Unsicherheiten behaftet.
- Aussagen auf Basis von Langzeitsimulationen über längere Gewässerabschnitte sind wesentlich belastbarer. Trends zur Erosion oder Auflandung lassen sich mit guter Prognosesicherheit vorhersagen.

Einschätzung der daraus entstehenden Unsicherheit:

Das Geschiebetransportmodell ist ein gutes Werkzeug, um z. B. das im Sinne einer Langzeitbetrachtung sich ergebende Ausgleichsgefälle der Flusssohle im dynamischen Gleichgewichtszustand abzuschätzen. Eine quantitative Erfassung der Unsicherheit in der Prognose des Ausgleichsgefälles ist schwierig. Für den Lech erscheint eine mögliche Abweichung von 0,1 bis 0,2 ‰ als realistisch.

9.5.4 Grundwassermodellierung

Das Thema Unsicherheit bei der Grundwassermodellierung wird im Rahmen der Sensitivitäts- und Kovarianzanalyse vertiefend behandelt (siehe Anlage 6.2). Eine verbleibende Unsicherheit wird beim Modelleinsatz z. B. in Form von Parameterbandbreiten berücksichtigt. Bereiche mit Wasserspiegeländerungen müssen durch regelbare Maßnahmen kompensiert werden können. Dies kann durch eine entsprechende Steuerung der Abläufe an Kuhsee, Weitmannsee und Auensee erfolgen.

9.5.5 Schlussfolgerungen

Als Ergebnis dieser Überlegungen zu den Unsicherheiten werden für die Planung der Maßnahmen bzw. Varianten sowie deren Umsetzung folgende Schlussfolgerungen abgeleitet.

Flexibilität der Bausteine / Varianten

Um auf von der Prognose abweichende Entwicklungen im Sinne einer Korrektur eingreifen zu können, ist es wichtig, dass die Bausteine der Varianten möglichst flexibel sind. Dies ist bei den vorgesehenen Maßnahmen in einem hohen Maß gegeben. Beispielhaft wird nachfolgend erläutert, welche Maßnahmen ergriffen werden können, wenn sich nach Umsetzung einer Variante herausstellen sollte, dass sich ein zu steiles Sohlgefälle einstellt. Der dafür erforderliche Aufwand wird auf einer Skala von 1 (sehr gering) bis 5 (sehr hoch) und entsprechenden Zwischenabstufungen bewertet.

Baustein	Maßnahme	Aufwand
Geschiebezugabe	▪ reduzieren	1
Aufweitung	▪ reduzieren ▪ z. B. durch den Einbau von Buhnen bzw. Lauffixierungen	3
Sohlrampen	▪ Kronenhöhe reduzieren ▪ z. B. durch Rückbau eines Querriegels	5

Im Bedarfsfall ist abzuwägen, welche Maßnahmen durchgeführt werden. Denkbar ist natürlich auch eine Kombination. Neben dem Aufwand bzw. den anfallenden Kosten sind auch die Wirkungen der Maßnahmen insbesondere hinsichtlich der Ökologie zu betrachten.

Umsetzung der Bausteine / Varianten – Monitoring

Bei der Umsetzung der Bausteine bzw. der Varianten sollten folgende Vorgaben beachtet werden:

- Umsetzung in relativ kleinen und überschaubaren Paketen. Die Abschnitte z. B. für Aufweitungen müssen aber zumindest so lange gewählt werden, dass davon eine hydraulische Wirkung ausgehen kann.
- Die Wirkungen der Maßnahmen werden durch ein intensives Monitoring beobachtet, insbesondere die Auswirkungen auf die Sohle (Anlandung, Erosion, Kiesbänke, Kolke etc.) sowie das Ausmaß der Seitenerosion.
- Gegebenenfalls sind als Ergebnis des Monitorings entsprechende Adaptierungen der Bausteine in den weiteren Umsetzungsschritten durchzuführen.

Abschließend sei ergänzend erwähnt, dass Hochwasserereignisse und bettbildende Abflüsse natürlich nicht vorgesagt werden können. Daraus bedingt eine gewisse Unsicherheit. Diese wird durch sehr wahrscheinliche hydrologische Veränderungen auf Grund des Klimawandels verschärft.

10 Literaturverzeichnis

- [1] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Untersuchung zur Festsetzung eines Mindestwasserabflusses im Lech unterhalb des Wehres Gersthofen, München, 1988.
- [2] Wasserwirtschaftsamt Donauwörth: Licca liber – Umsetzungskonzept, 2016.
- [3] Landratsamt Aichach-Friedberg: Bescheid zum Absenken des Wasserspiegels in der Lechstaustufe 23 zum Betrieb der Kanustrecke am Eiskanal und Wiederaufstauen des Wasserspiegels in der Staustufe 23 außerhalb der Wettkampfzeiten. 08.10.2009.
- [4] Bewilligung der Zulassung des Schwellbetriebes zwischen den Lechstaustufen 18 und 23. Landratsamt Landsberg am Lech, 21.12.2012.
- [5] Bayerisches Landesamt für Umwelt: 100 Jahre Wasserbau am Lech zwischen Landsberg und Augsburg, Schriftenreihe des bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 19 München, 1984.
- [6] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Praxishandbuch – Fischaufstiegsanlagen in Bayern – Hinweise und Empfehlungen zu Planung, Bau und Betrieb, Augsburg, 2016.
- [7] Marti C., Bezzola G. R.: Sohlenmorphologie in Flussaufweitungen. Mitteilung Nr. 184 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Zürich, 2004.
- [8] Bauer, F.: Das flussmorphologische Verhalten des bayerischen Lechs. Schriftenreihe des bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 9, München, 1979.
- [9] Zarn, B.: Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 1997.
- [10] Da Silva, A.M.A.F.: Alternate bars and related alluvial processes. Thesis of Master of Science, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 1991.
- [11] BSMUG: Bewirtschaftungsplan für den bayerischen Anteil der Flussgebietseinheit Donau, Bewirtschaftungszeitraum 2016-2021, München, 2015.
- [12] Dußling, U.: Handbuch zu fiBS. Verband deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V., 2009.

- [13] Ullmann Melanie, Haunschmid Reinhard, Stephan Ursula, Petz-Glechner Regina und Petz Wolfgang: Modellversuch Aufgelöste Rampen, Ökologie und Hydraulik – Endbericht. Amt der Oö. Landesregierung, 2009.
- [14] Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München: Untersuchung der flussbaulichen Möglichkeiten zur Sanierung des Lech – morphologische Grundlagenstudie. München, 2012.
- [15] Stadt Augsburg: Antrag der Stadt Augsburg, Tiefbauamt auf Erhöhung des Stauzieles am Hochablass im Lech (im Bereich Fluss-km 47,000) um + 16 cm von 484,54 m ü. NN auf die Höhe von 484,70 m ü. NN jeweils im neuen System; Änderung des wasserrechtlichen Bescheids vom 20.10.1976; 08.04.2013.
- [16] Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Augsburg: Managementplan FFH-Gebiet 7631-371 »Lechauen zwischen Königsbrunn und Augsburg«, 2018.
- [17] Wasserwirtschaftsamt Donauwörth: Protokolle zum Flussdialog Licca liber I. https://www.wwa-don.bayern.de/fluesse_seen/massnahmen/liccaliber/flussdialog/index.htm.
- [18] Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach, Physikalisches Modell Sohlrampe mit Mäanderstrecke, Amt der Salzburger Landesregierung, 2002.
- [19] Sanierung Untere Salzach – Sichtung und Optimierung der Planungen zum Uferschutz, Technische Universität München, 2004.
- [20] Sanierung Untere Salzach – Anpassung des Programmpaketes UFERLOS an die Krümmungssituation der Unteren Salzach, Technische Universität München, 2006.
- [21] Knighton, D.: Fluvial Forms and Processes, A New Perspective. Hodder Arnold, London, 1998.
- [22] Millar, R.G.: Theoretical regime equations for mobile gravel-bed rivers with stable banks. *Geomorphology*, 64 (3-4), 2005, pp 207-220.
- [23] Church, M., Ferguson, R.I.: Morphodynamics: Rivers beyond steady state. *Water Resources Research*, 51(4), 2015.
- [24] Schmautz, M.: Eigendynamische Aufweitung in einer geraden Gewässerstrecke – Entwicklung und Untersuchungen an einem numerischen Modell. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität München. 2003
- [25] Thayer, J.B.: Downstream Relations for Single-Thread Channels. *River Research and Applications*. 2016.

- [26] Strickler, A.: Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. Bern: Eidg. Amt für Wasserwirtschaft Bern, 1923
- [27] Meyer-Peter, E., & Müller, R.: Formulas for bed-load transport. In: Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research, 1948. International Association of Hydraulic Research Delft, pp. 39-64, 1948.
- [28] Hunziker, R. P.: Fraktionsweiser Geschiebetransport. (Dissertation, VAW Mitteilung Nr. 138), Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Zürich, 1995.
- [29] Klar, R.: Langzeitsimulation des Geschiebetransports in alpinen Tälern: Weiterentwicklung von Methoden zur Modellierung der langfristigen Sohlagenentwicklung und zur Ermittlung von Hochwassergefahren in inneralpinen Tälern. (Dissertation, Forum Umwelttechnik und Wasserbau, Band 24), Universität Innsbruck, Innsbruck, 2016.
- [30] Jäger, P.; Fuchs, M.; Jürging, P.: Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach – Grundlagen, Methoden und Anwendung der ökologischen und naturschutzfachlichen Bewertung, München-Wien, 2001.
- [31] Stadtwerke Augsburg: swa Wasserbroschüre. <https://www.sw-augsburg.de/wasser/swa-trinkwasser/>.
- [32] Stadtwerke Augsburg: Online Magazin zum Thema Horizontalfilterbrunnen. <https://www.sw-augsburg.de/magazin/detail/horizontalfilterbrunnen-wieso-weshalb-warum/>
- [33] Stadtwerke Königsbrunn: Webseite. <https://www.koenigsbrunn-stadtwerke.de/wasserversorgung/>.