Licca Liber - Weiterführende Untersuchungen

Anlage 4.2 Hydraulik - Modelleinsatz

1	Vera	anlassur	ng	4		
2	Aufg	gabenste	ellung	4		
3	Bez	ugszust	and	4		
	3.1	Model	llerstellung Bezugszustand	5		
	3.2	Durch	geführte Rechenläufe	6		
		3.2.1	Bezugszustand - Rechenläufe	6		
		3.2.2	Grundwassermodellierung - Rechenläufe			
4	Plan	nungszu	stände	9		
	4.1	Planungsbereich I: Fkm 56,7 – Fkm 47,0				
		4.1.1	Modellerstellung	9		
		4.1.2	Randbedingungen	11		
		4.1.3	Durchgeführte Rechenläufe	11		
	4.2	Ergeb	nisse	11		
		4.2.1	Rechenläufe zur Variantenentwicklung	11		
		4.2.2	Endgültige Varianten	11		
	4.3	Planu	ngsbereich II – Fkm 47,0 – Fkm 37,3	16		
		4.3.1	Modellerstellung	16		
		4.3.2	Randbedingungen	17		
		4.3.3	Durchgeführte Rechenläufe	18		
		4.3.4	Ergebnisse	18		
5	Weit	tere Ber	echnungen als Grundlage für die Grundwassermodellierung	19		
	5.1	2d-Mc	odell unterstrom Augsburg (ID 1078)	19		
	5.2	5.2 1d-Modell oberstrom Augsburg (ID 1080)				
6	Zusa	ammenf	assung	22		

Anlagen:

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 Va	riante I-C
Anlage 4.2.4.1	Längsschnitt MNQ

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

1 Veranlassung

Für die weiterführenden Untersuchungen im Projekt Licca Liber kommt ein bereits vorhandenes numerisches 2d-Modell zum Einsatz. Der vorliegende Bericht behandelt den Modelleinsatz und damit die Anwendung des zuvor kalibrierten 2d-Modells.

Als Eingangsdaten für die Grundwassermodellierung wurden zusätzlich zum eigentlichen Projektgebiet Wasserspiegellagen des Lech ober- und unterstrom des Projektgebiets benötigt. In diesen Bereichen liegen ebenfalls hydraulische Modelle vor. Im vorliegenden Bericht werden die durchgeführten Rechenläufe und die Berechnungsergebnisse beschrieben.

Die Erläuterungen zu den bereits vorhandenen Modellen sowie zur Kalibrierung des Modells im Projektgebiet sind im Bericht Hydraulik – *Modellaufbau und –anpassung* (Anlage 4.1) zu finden.

2 Aufgabenstellung

Mit dem 2d-Modell wurden Wasserspiegellagenberechnungen für verschiedene Abflusssituationen für den Bezugszustand sowie für Planungszustände durchgeführt. Diese dienen der Erfassung der hydraulischen Situation bei verschiedenen Abflusszuständen, insbesondere bei Hochwasserabflüssen. Zudem erfolgt mit Hilfe der hydraulischen Untersuchungen eine Optimierung von Varianten im Zusammenspiel mit der Grundwassermodellierung sowie den Geschiebetransportberechnungen.

Darüber hinaus dienen die Berechnungsergebnisse für den Bezugszustand sowie die Planungszustände als Eingangsdaten für die Grundwassermodellierung. Die hydraulischen Modelle stellen die Grundlage für die Erstellung der Modelle für die Geschiebetransportberechnungen dar. Zur Beschreibung der Kopplung der Hydraulik mit der Grundwassermodellierung sowie der Modellierung des Geschiebetransports sei auf den Bericht in Anlage 4.1 verwiesen.

3 Bezugszustand

Nachfolgend werden die Modellerstellung sowie die durchgeführten Rechenläufe für den Bezugszustand erläutert.

3.1 Modellerstellung Bezugszustand

Der Bezugszustand wurde auf Grundlage des Modells zur Kalibrierung aufgebaut. Folgende Anpassungen am Modell wurden vorgenommen:

- Verwendung der Querprofile aus der Vermessung von 2010.
- Die bereits genehmigten Planungen (Fischaufstieg Stufe 23, Flößerpark) wurden nicht ins Modell integriert, da diese keine Auswirkungen auf die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen haben.
- An den gesteuerten Querbauwerken (Hochablass, Eisenbahnerwehr, Wolfzahnauwehr und Wehr Gersthofen) wurden gegenüber dem Modell zur Kalibrierung die Randbedingungen angepasst. Erforderlich war dies, da für die Kalibrierung lediglich Hochwasserabflüsse berechnet wurden. Der Modelleinsatz ist neben Hochwasserabflüssen auch für kleinere Abflüsse bis zu MNQ erforderlich. Die Grundlagen für die angesetzten W-Q-Beziehungen werden nachfolgend erläutert.
- Die nachfolgend aufgelisteten Querbauwerke wurden durch W-Q-Beziehungen modelliert:
 - Hochablass
 - Eisenbahnerwehr
 - Wolfzahnauwehr
 - Wehr Gersthofen

Für den Hochablass entstammt die W-Q-Beziehung der vorliegenden Betriebsvorschrift [1]; die entsprechende W-Q-Beziehung ist in Anlage 4.2.7.1 dargestellt.

Am Eisenbahner- und Wolfzahnauwehr liegen W-Q-Beziehungen aus den jeweiligen Antragsunterlagen für Abflüsse bis 200 m³/s vor [2,3,4,5]. Diese wurden für Hochwasserabflüsse mit Hilfe der Überfallformel von Poleni extrapoliert. Zur Anpassung der jeweiligen Kurven wurde der Überfallbeiwert entsprechend gewählt. Siehe dazu die W-Q-Beziehungen in den Anlagen 4.2.7.2 (Eisenbahnerwehr) und 4.2.7.3 (Wolfzahnauwehr). Im Bestandsmodell bzw. im Modell zur Kalibrierung wurden die beiden Bauwerke lediglich über die vermessenen Querprofile ober und unterstrom abgebildet. Für die Berechnung von Hochwasserabflüssen ist diese Vorgehensweise vernünftig, jedoch können hier die auch erforderlichen Abflussverhältnisse bei kleineren Abflüssen nicht realitätsnah abgebildet werden.

Als Ergebnis der Kalibrierung des Geschiebetransportmodells wurden die beiden W-Q-Beziehungen angepasst, um die Transportvorgänge sowie Erosions- und Anlandungsprozesse im unmittelbaren Nahbereich der beiden Wehre

nachvollziehen zu können. Bei der hydraulischen Modellierung wurde die ursprünglich ermittelte W-Q-Beziehungen verwendet. Zu berücksichtigen ist hier auch, dass unmittelbar oberstrom der beiden Wehre gegenüber den vorhandenen Uferhöhen ein Freibord von mindestens 1,5 m beim HQ100 vorhanden ist. Zudem haben die Varianten im Planungsbereich II keine Auswirkungen auf die Wasserspiegel an den beiden Wehren.

Die verwendete W-Q-beziehung am Wehr Gersthofen entstammt dem bereits bestehenden 2d-Modell und ist in Anlage 4.2.7.4 dargestellt.

Die beiden Ausläufe in den Stadtbach und den Lechkanal wurden wie folgt im Modell berücksichtigt:

Die Ausleitung in die städtischen Triebwerkskanäle bei Fkm 47,0 wurde mit einem negativen Zulauf modelliert. Die abzuleitende Wassermenge in die Stadtbäche beträgt 36 m³/s. Ab einem Abfluss von 50 m³/s im Lech werden gemäß Bescheid vom 03.11.2014 [1] zusätzlich 10 m³/s in die Kanustrecke ausgeleitet, die bei Fkm 46,35 wieder in den Lech münden. Für MNQ (32,1 m³/s) ist zwischen Hochablass und der Wiedereinleitungsstelle der Kanustrecke eine Mindestwassermenge von 4 m³/s, ab der Wiedereinleitung von 6 m³/s im Lech vorgeschrieben. Aufgrund der geringen Distanz zwischen Hochablass und Einleitungsstelle wurde vereinfachend eine konstante Mindestwasserführung von 6 m³/s im Modell eingebaut. Die negativen Zuläufe wurden folglich mit 26 m³/s für MNQ und 46 m³/s für alle weiteren Abflüsse modelliert. Die Erhöhung/Reduzierung der Ableitungsmenge erfolgt schrittweise mit maximal 3 m³/s pro Stunde.

 Die Ausleitung in den Lechkanal bei Fkm 37,3 wird in der verwendeten W-Q-Beziehung berücksichtigt.

3.2 Durchgeführte Rechenläufe

3.2.1 Bezugszustand - Rechenläufe

Um für die Planungsvarianten Referenzzustände zu erhalten, wurden im Bezugszustand folgende Abflüsse gerechnet: MNQ, MQ, HQ1, HQ10 und HQ100. Zusätzlich wurde das Hochwasser 2005 nachgerechnet (instationäre Berechnung). Die Eingangsdaten sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Abflussganglinie für das Hochwasser im August 2005 am Pegel Haunstetten ist in Abbildung 1 eingetragen. Der Scheitelabfluss beim Hochwasser 2005 am Pegel Haunstetten betrug 1.130 m³/s und lag somit etwa 8% über dem 100-jährlichen Hochwasserabfluss (1.050 m³/s). Die Abflussdaten für das Hochwasser 2005 beim Durchgang des Scheitelabflusses sind ebenfalls in Tabelle 1 eingetragen.

Tabelle 1: Randbedingungen stationärer Rechenläufe in m³/s

Station	MNQ	MQ	HQ1	HQ10	HQ100	HW2005
Zufluss Lech (Fkm 56,6)	32,1	81,2	370,0	520,0	1050,0	1130,0
Abfluss Einlaufkanal	- 26,0	- 46,0	- 46,0	- 46,0	- 46,0	- 46,0
(Fkm 47,0)						
Zufluss Kanustrecke (Fkm	0,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
46,3)						
Zufluss über Auslaufkanal	26,0	40,5 ¹	40,5	40,5	40,5	40,5
(Fkm 39,2)						
Zufluss Wertach	7,21	26,0	125,5	175,5	295,5	559,0
(Fkm 39,0)						
Abfluss ab Wehr	5,0	5,0	375,0	575,0	1225,0	
Gersthofen (Fkm 37,3)						

¹ hier wird auch die Rückleitung des an der Staustufe 22 ausgeleiteten Lochbachs berücksichtigt. Der Abfluss des Lochbachs beträgt 4,5 m³/s

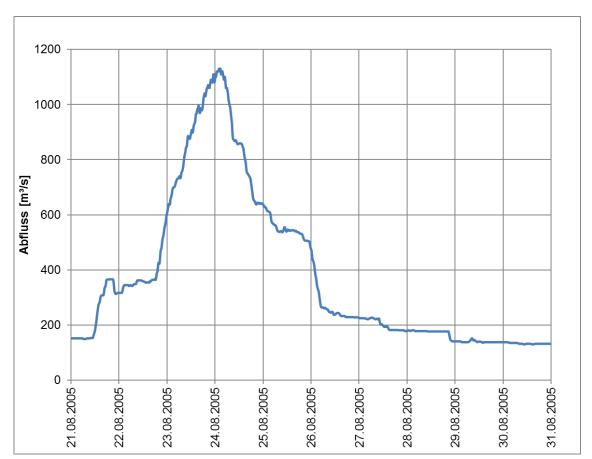


Abbildung 1: Abflussganglinie Hochwasserereignis August 2005 am Pegel Haunstetten

3.2.2 Grundwassermodellierung - Rechenläufe

Als Eingangsdaten für das Grundwassermodell wurden im oberstrom des Projektgebiets anschließenden 1d-Modell (ID 1080) folgende Abflüsse stationär bis zum HQ100 gerechnet: 21,1 m³/s, 81,2 m³/s, 370 m³/s, 450 m³/s, 560 m³/s, 682 m³/s, 805 m³/s, 928 m³/s, 1.050 m³/s, Das 1d- Modell weist nur einen Zuflussrand auf, da keine wesentlichen Zwischenzuflüsse vorhanden sind.

Im unterstrom des Projektgebiets liegenden 2d-Modell (ID 1078) wurden folgende in Tabelle 2 angegebenen Lastfälle untersucht und die entsprechenden Abflusswerte angesetzt. Außer an den Abflussrandbedingungen wurden an dem Modell keine Änderungen vorgenommen.

Tabelle 2: Randbedingungen stationärer Rechenläufe in m³/s

Station	Bemerkung	MQ	HQ1	HQ5	HQ100
Lech nach Wehr	Restwasser Q _{min} =				
Gersthofen	5 m³/s	5	375	605	1.225
(Modelzufluss)					
Einmündung	Fkm 19,6 bei				
Lechkanal	Thierhaupten	108	125	125	125
(Modellzufluss)					

4 Planungszustände

4.1 Planungsbereich I: Fkm 56,7 – Fkm 47,0

Im Planungsbereich I wurden vier Varianten entwickelt. Für eine genauere Ausführung der zugrundeliegenden Planungen wird auf den Erläuterungsbericht verwiesen. Der Planungsbereich I erstreckt sich von der Staustufe 23 bis zum Hochablass.

4.1.1 Modellerstellung

Die Modelle für die Planungszustände (Varianten) bauen auf dem 2d-Modell des Bezugszustandes auf. Die in Kapitel 3.1 genannten Anpassungen sind dadurch auch in den Modellen der Planungsvarianten enthalten. Im Hauptbericht werden die Varianten I-A1, I-A2, I-B und I-C ausführlich erläutert. Nachfolgend wird die Vorgehensweise bei der Implementierung der einzelnen Bausteine der Varianten in die jeweiligen Modelle dargelegt. Da alle Varianten die gleichen Bausteine verwenden, wird nicht zwischen den einzelnen Varianten unterschieden. Die hydraulischen Untersuchungen erfolgen für die prognostizierten Endzustände der Varianten. Es wird also davon ausgegangen, dass sich eigendynamische Prozesse entsprechend der Prognose entwickelt haben.

- Das offene Deckwerk unterstrom der Staustufe 23 wurde mit einer flächigen Rauheitsbelegung von k_{St} = 20 m^{1/3}/s modelliert.
- Von der Staustufe 23 bis zur Sohlrampe bei Fkm 50,4 wird der Lech auf eine Sohlbreite von 130 m aufgeweitet. Unterstrom der Sohlrampe bei Fkm 50,4 wurde die Lechbreite mit 85 m festgelegt. Die Böschungen am Gleitufer wurden mit einem Verhältnis von 1:6, am Prallufer mit 1:3 modelliert.
- Die Höhenlage der Sohle wurde als Ergebnis der morphologischen Vorabschätzung (siehe Hauptbericht) in die 2d-Modelle der Planungszustände übernommen. Die Sohle wurde horizontal eben eingebaut. Von der Staustufe 23 bis zur geplanten

- Sohlrampe bei Fkm 50,4 wird ein einheitliches Ausgleichsgefälle von 1,8 ‰ angesetzt. Vom Ende der Sohlrampe bis zum Hochblass wurde wegen der Grundwasserproblematik das Gefälle auf 1,2 ‰ beschränkt.
- Entsprechend der Kalibrierung des 2d-Modells wurde auch im Planzustand die Sohlrauheit oberstrom des Hochablasses (Planungsbereich I) mit 35 m^{1/3}/s angesetzt, unterstrom des Hochablasses (Planungsbereich II) mit 37 m^{1/3}/s. Zwar ist zu vermuten, dass in den Planzuständen die Kornrauheit gegenüber dem Bezugszustand eher abnimmt. Die Sohle im Bezugszustand ist bereichsweise abgepflastert und demzufolge eher rau. Dafür werden im Planzustand vermehrte Strukturen an der Lechsohle entstehen, die dann wiederum eine erhöhte Formrauheit bedingen. In Summe ist somit das Belassen der kalibrierten Sohlrauheit begründet.
- Im Vergleich zu den kalibrierten Sohlrauheiten der Lechsohle sind in Abbildung 2 die Manning-Strickler-Werte als Ergebnis der Feinkalibrierung des Geschiebetransportmodells dargestellt (dünne schwarze Linie). Die hier ermittelten Rauheitsbeiwerte liegen zumeist in dem Bereich zwischen 35 und 37 m^{1/3}/s. Lediglich im Nahbereich der Abstürze waren im Geschiebetransportmodell deutliche Anpassungen der Rauheiten erforderlich, um die hier sehr komplexen Vorgänge des Geschiebetransports sowie die damit zusammenhängende bewegliche Sohle nachvollziehen zu können. Rückwirkungen auf die hydraulische Berechnung hat dies aber nicht.

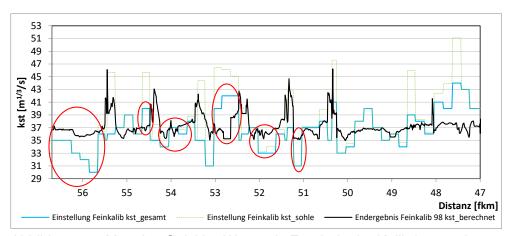


Abbildung 2: Manning Strickler-Werte als Ergebnis der Kalibrierung des Geschiebetransportmodells im Planungsbereich I, siehe Anlage 5.2

 Die beiden neuen Sohlrampen wurden als ebene Fläche mit einer Rauheit von k_{St} = 14 m^{1/3}/s berücksichtigt.

- Die Nebengewässer wurden mit folgenden Böschungsneigungen in das 2d-Modell eingebaut: zum Lech hin bzw. zur Seite der Sekundärauen wurde der erste Meter mit einer Böschungsneigung von 1:5 angesetzt, im weiteren Verlauf wurde das Ufer mit 1:8 geböscht. Das vom Lech abgewandte Ufer wurde mit 1:3 geböscht.
- Die Sekundärauen wurden auf eine Höhe gesetzt, so dass diese durchschnittlich mehrere Male pro Jahr überflutet werden. Die Sekundäraueflächen wurden im 2d-Modell als ebene Flächen angesetzt.
- Die Sohlrauheit der Flächen der Sekundärauen wurde mit 10 m^{1/3}/s belegt. Dies entspricht dem Rauheitsbeiwert von Waldflächen. Damit wird auf sicherer Seite liegend der Zustand simuliert, wenn sich auf der Sekundäraue wieder Wald entwickelt.
- Zurückverlegte Deiche wurden entlang der neuen Deichlinie über "disable"-Elemente abgebildet.

4.1.2 Randbedingungen

Um identische Randbedingungen wie bei den Berechnungen des Bezugszustandes zu erhalten, wurden die gleichen Eingangsdaten angesetzt, siehe Kapitel 3.1.

4.1.3 Durchgeführte Rechenläufe

Für die Planungsvarianten wurden dieselben Abflüsse berechnet wie im Bezugszustand, siehe Kapitel 3.2.1.

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Rechenläufe zur Variantenentwicklung

Für die Variante A1 wurden im Zuge der Variantenentwicklung mehrere Versionen hydraulisch untersucht. Dies diente vornehmlich dazu, die Grundwasserverhältnisse hinsichtlich der vorhandenen Bebauung sowie der Trinkwasserversorgung zu optimieren und damit genehmigungsfähige Varianten zu erhalten. Auf eine Darstellung der Zwischenergebnisse wird hier verzichtet.

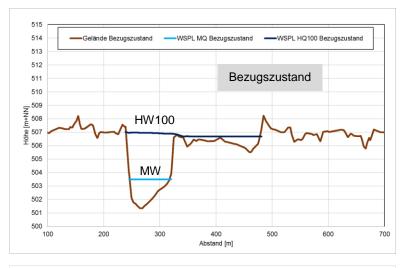
4.2.2 Endgültige Varianten

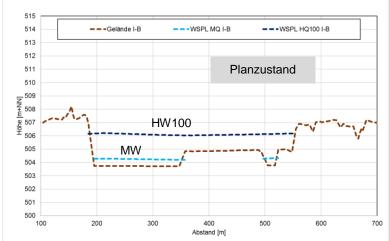
Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen sind in den Anlagen 4.2.1 bis 4.2.4 dargestellt. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die berechneten Wasserspiegel für die vier Varianten sehr ähnlich sind. Dies ist darin begründet, dass

die angesetzte Sohllage als Ergebnis des Optimierungsprozesses bei allen Varianten gleich ist. Ebenso ist die Aufweitung des Lech im prognostizierten Endzustand bei allen Varianten identisch. Folglich wird nachfolgend bei der Beschreibung der Ergebnisse nicht zwischen den Varianten unterschieden.

Die Längsschnitte wurden für die gerechneten Abflüsse MNQ, MQ, HQ1, HQ10 und HQ100 erstellt. Darin enthalten sind jeweils die mittlere Sohle und der entsprechende Wasserspiegel der Varianten sowie die des Bezugszustandes als Referenz. Für jeden Abfluss wurde ein separater Längsschnitt erstellt. Aus den Längsschnitten lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

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. Dies ist am Beispiel des Querschnitts bei Fkm 55,4 in Abbildung 3 gut erkennbar.





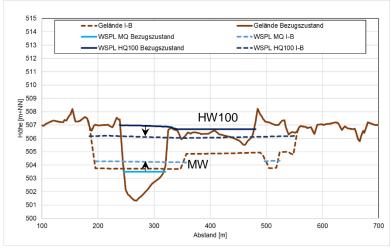


Abbildung 3: Wasserspiegel bei MQ und HQ100 beispielhaft am Querschnitt Fkm 55,4, oben: Bezugszustand, mitte: Planzustand Variante I-B, unten: Bezugs- und Planzustand überlagert.

Im Längsschnitt der Abbildung 4 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.

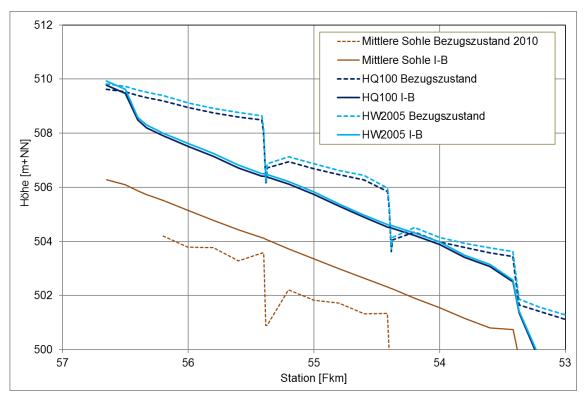


Abbildung 4: Längsschnitt im Bereich Fkm 57 bis 53 mit Wasserspiegeln bei HQ100 und HQ2005 im Bezugszustand und Variante I-B

Zwischen Fkm 50,4 und dem Hochablass sind die Wasserspiegel bei MNQ und MQ in den Planungszuständen ein wenig höher als im Bezugszustand. Bei HQ1 sind die Wasserspiegel weitgehend identisch. bei größeren Hochwasserabflüssen (HQ10 und HQ100) liegen die Wasserspiegel in den Planungszuständen unter denen im Bezugszustand (siehe dazu Abbildung 5).

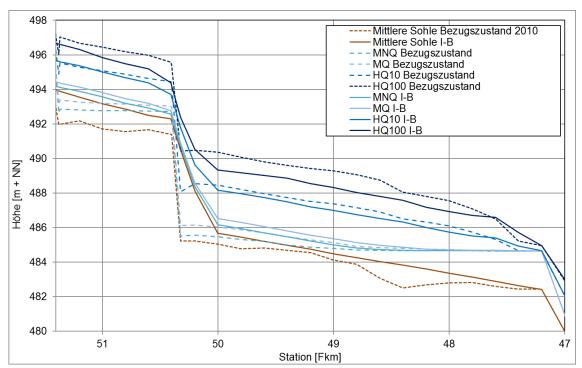


Abbildung 5: Längsschnitt im Bereich Fkm 50,4 bis 47 mit Wasserspiegeln bei MNQ, MQ, HQ10 und HQ100 im Bezugszustand und Variante I-B

In den flächigen Auswertungen werden die Fließtiefen im Bezugszustand, die Fließtiefen in den Planungszuständen sowie die Wasserspiegeldifferenzen der beiden sich überdeckenden Überflutungsgebiete dargestellt. Zusätzlich werden in den Differenzenkarten die wegfallenden sowie zusätzlichen Überschwemmungsflächen markiert. Die flächigen Auswertungen wurden für die Abflüsse HQ1, HQ10 und HQ100 erstellt und lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Im Bezugszustand sind bei HQ1 und HQ10 nur lokale Ausuferungen im Bereich der Querbauwerke zu erkennen. Die Vorländer zwischen Lech und den begleitenden Deichen sind beidseitig des Lech weitgehend trocken. Bei HQ100 ist das Vorland zwischen Staustufe 23 und Fkm 50,4 großflächig überflutet. Im weiteren Verlauf bis zum Hochablass tritt der Lech nicht über die Ufer, die Vorländer bleiben beidseitig trocken.
- In den Planungszuständen stellen sich bereits bei HQ1 großflächige Überflutungen im Bereich der Sekundärauen ein. Die Überflutungsflächen bei HQ10 sind weitgehend identisch mit denen bei HQ1, allerdings mit entsprechend höheren Fließtiefen. Bei HQ100 wird das Vorland bereichsweise bis zu den rückversetzten Deichen überströmt.

Die Anlage 4.2.3.9 zeigt beispielhaft für Variante I-B die berechneten Überschwemmungsflächen bei HQ1, HQ10 und HQ100.

4.3 Planungsbereich II – Fkm 47,0 – Fkm 37,3

Im Planungsbereich II wurden vier Planungsvarianten entwickelt. Für eine genauere Ausführung der zugrundeliegenden Planungen wird auf den Erläuterungsbericht verwiesen.

Mit hydraulischen Modellen werden allerdings nur die beiden Varianten II-B1 (Sohlrampe Fkm 42,6 + Sohlanhebung oberstrom) sowie die Variante II-B3 (Sohlrampe Fkm 42,6 + Sohlanhebung oberstrom + Geschiebezugabe + "Aufweitung an der Flussmeisterstelle") untersucht. Die Variante I-A sieht ausschließlich eine Geschiebezugabe vor mit Ziel, eine weitere Eintiefung der Flusssohle zu vermeiden bzw. die Flusssohle auf dem besehenden Niveau zu halten. Eine Modellierung dieser Variante im hydraulischen Modell ist somit nicht erforderlich. Die Variante II-B2 ergänzt die Variante II-B1 um eine Geschiebezugabe. Eine hydraulische Modellierung ist ebenso nicht erforderlich.

4.3.1 Modellerstellung

Die Planungszustände bauen auf dem 2d-Modell des Bezugszustandes auf. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf die mit hydraulischen Modellen untersuchten Varianten II-B1 und II-B3. Nachfolgend wird die Vorgehensweise bei der Implementierung der einzelnen Bausteine der Varianten in die jeweiligen Modelle erläutert.

4.3.1.1 Variante II - B1

Für die Variante II-B1 wurden folgende Änderungen am Modell des Bezugszustandes vorgenommen:

- Einbau einer Sohlrampe bei Fkm 42,6 mit einer Kronenhöhe von ca. 1,5 m gegenüber der mittleren Sohlhöhe von 2010, die Länge beträgt 75 m, das Gefälle 2 % (h:b = 1:50). Die Rampe wurde als ebene Fläche mit einer Rauheit von k_{St} = 14 m^{1/3}/s in das 2d-Modell implementiert.
- Die Höhenlage der Sohle zwischen dem Eisenbahnerwehr und der Sohlrampe wurde als Ergebnis der morphologischen Vorabschätzung (siehe Hauptbericht) in die 2d-Modelle der Planungszustände übernommen. Die Sohle wurde als ebene Fläche eingebaut. Vom Hochablass bis zum Beginn der Sohlrampe bei Fkm 42,8 wird ein einheitliches Ausgleichsgefälle von 1,2 ‰ angesetzt.

 Die Sohlrauheit wurde analog zum Bezugszustand mit einem Rauheitsbeiwert von 37 m^{1/3}/s angesetzt.

4.3.1.2 Variante II - B3

Die Variante II-B3 baut auf dem Modell der Variante II-B1 auf (Sohlrampe bei Fkm 42,6 + Sohlanhebung). In das Modell wurde zusätzlich am orographisch linken Westufer bei Fkm 44,7 bis 45,3 eine etwa 530 m Aufweitung in das Modell eingebaut. An der maximalen Stelle beträgt die Aufweitung etwa 50 m. Das neue Ufer wurde in drei Böschungsbereiche unterteilt, siehe dazu auch Abbildung 6:

- Bis etwa zum Wasserspiegel bei Mittelwasser wird die neue Lechsohle mit einer sehr flachen Neigung von 1:50 angelegt.
- Die Uferböschung wird auf den ersten etwa 15 m mit einer Böschungsneigung von 1:8 gestaltet.
- Der weitere Höhenunterschied zum anstehenden Gelände wird mit 1:3 geböscht.

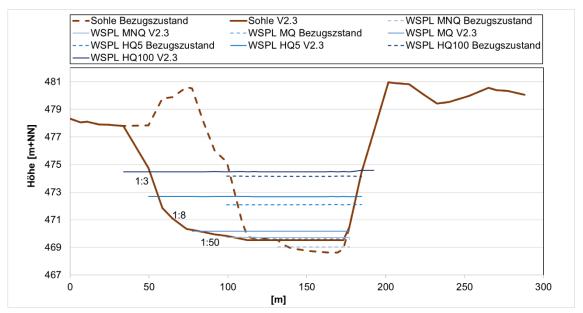


Abbildung 6: Querschnitt im Bereich der "Aufweitung an der Flussmeisterstelle"

Die Rauheit wird im Sohlbereich analog zur Sohle im Bezugszustand als Ergebnis der Kalibrierung mit $k_{St}=37~m^{1/3}/s$ belegt. Die Rauheit der Böschung wird mit $k_{St}=25~m^{1/3}/s$ angesetzt.

4.3.2 Randbedingungen

Eisenbahnerwehr, Wolfzahnauwehr und das Wehr Gersthofen wurden analog zum Bezugszustand modelliert (siehe Kapitel 3.1).

4.3.3 Durchgeführte Rechenläufe

Für die Varianten II-B1 und II-B3 wurden dieselben Abflüsse berechnet wie im Bezugszustand (siehe Kapitel 3.2.1) und im Planungsbereich I (siehe Kapitel 4.1.3).

4.3.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen sind in den Anlagen 4.2.5.1 bis 4.2.5.8 (Variante II-B1) und 4.2.6.1 bis 4.2.6.8 (Variante II-B3) dargestellt.

4.3.1.3 Variante II-B1

Die Maßnahmen der Variante II-B1 haben Auswirkungen auf die Wasserspiegel zwischen dem Eisenbahnerwehr (Fkm 45,6) und der neuen Sohlrampe (Fkm 42,6). In allen anderen Abschnitten des Planungsbereichs I hat die Variante keine Auswirkungen auf den Wasserspiegel gegenüber dem Bezugszustand.

Die Längsschnitte in den Anlagen 4.2.5.1 bis 4.2.5.5 zeigen im ganzen Abflussspektrum von MNQ bis HQ100 einen Anstieg des Wasserspiegels in dem betreffenden Abschnitt. In Tabelle 3 ist der Anstieg des Wasserspiegels als Mittelwert sowie bei Fkm 45,5 (unmittelbar unterstrom des Eisenbahnerwehrs) und bei Fkm 42,8 (Maximalwert unmittelbar oberstrom der Sohlrampe) eingetragen. Der maximale Wasserspiegelanstieg stellt sich unmittelbar oberstrom der Sohlrampe ein. Nach oberstrom nimmt der Wasserspiegelanstieg gegenüber dem Bezugszustand ab. Unterstrom des Eisenbahnerwehrs beträgt dieser bei Mittelwasser 0,46 m. Mit steigenden Abflüssen nimmt der Wasserspiegelanstieg ab, da die Sohlrampe bei größeren Abflüssen von unterstrom her zumindest teilweise eingestaut ist.

Tabelle 3: Änderungen des Wasserspiegels zwischen Fkm 45,6 bis Fkm 42,6

	MNQ	MQ	HQ1	HQ10	HQ100
Mittelwert	0,70 m	0,69 m	0,58 m	0,51 m	0,31 m
Fkm 45,5	0,48 m	0,46 m	0,45 m	0,38 m	0,29 m
Fkm 42,8	1,38 m	1,35 m	0,75 m	0,56 m	0,37 m

Im Längsschnitt der Anlage 4.2.5.5 sind zusätzlich zu den Wasserspiegeln bei HQ100 auch die links- und rechtsseitigen Geländeoberkanten eingezeichnet. Trotz Anstieg des Wasserspiegels in der Variante kann der Abfluss bei HQ100 problemlos unter Einhaltung eines deutlich ausreichenden Freibords von größer 1 m abgeführt werden.

Aus den flächigen Darstellungen für die Hochwasserabflüsse bei HQ1 (Anlage 4.2.5.6), HQ10 (Anlage 4.2.5.7) und HQ100 (Anlage 4.2.5.8) ist einerseits der bereits aus den

Längsschnitt bekannte Anstieg der Wasserspiegel im Bereich der Sohlrampe sowie der Sohlanhebung zu erkennen. Zudem ist ersichtlich, dass der Lech auch bei HQ100 an keiner Stelle in die Vorländer ausufert. Der komplette Abfluss verbleibt im Flussschlauch des Lech.

4.3.1.4 Variante II-B3

Die "Aufweitung an der Flussmeisterstelle" hat nur geringe Auswirkungen auf die Wasserspiegel im Vergleich zu Variante II-B1. Die Aussagen zu Variante II-B1 können auf die Variante II-B3 direkt übertragen werden.

Im unmittelbaren Bereich der Aufweitung sind gegenüber Variante I-B1 (trotz Aufweitung des Lech) sogar geringfügige Wasserspiegelanstiege zu beobachten. Dies kann mit Hilfe des Satzes zur Energieerhaltung in Verbindung mit der relativ kurzen Gesamtstrecke der Aufweitung erklärt werden.

5 Weitere Berechnungen als Grundlage für die Grundwassermodellierung

Die in den Kapiteln 3 (Bezugszustand) und 4 (Planungszustände) beschriebenen Berechnungsergebnisse wurden zusätzlich zur Auswertung der Varianten aus hydraulischer Sicht als Eingangsdaten für die Grundwassermodellierung verwendet.

Zudem wurden weitere Rechenläufe mit hydraulischen Modellen unter- und oberstrom des Projektgebiets durchgeführt. Diese werden nachfolgend kurz beschrieben.

5.1 2d-Modell unterstrom Augsburg (ID 1078)

Für die in Kapitel 3.2.2 genannten Lastfälle wurden stationäre Rechenläufe durchgeführt. Die berechneten Wasserspiegel wurden für jeden Knoten des Berechnungsgitters zusammen mit den Lagekoordinaten des Gitterknotens gespeichert. Die Datensätze konnten anschließend als Eingangsdaten für die Grundwassermodellierung verwendet werden.

5.2 1d-Modell oberstrom Augsburg (ID 1080)

Die mit dem 1d-Modell berechneten Wasserspiegel zu den in Kapitel 3.2.2 genannten Abflüssen wurden im Längsschnitt ausgewertet. Abbildung 7 zeigt die für verschiedene Abflüsse berechneten Wasserspiegel in einem Längsschnitt durch den Lech. An den Staustufen 18 bis 23 kann der bescheidsgemäße Stauwasserspiegel bis zu einem 100-jährlichen Hochwasserabfluss eingehalten werden.

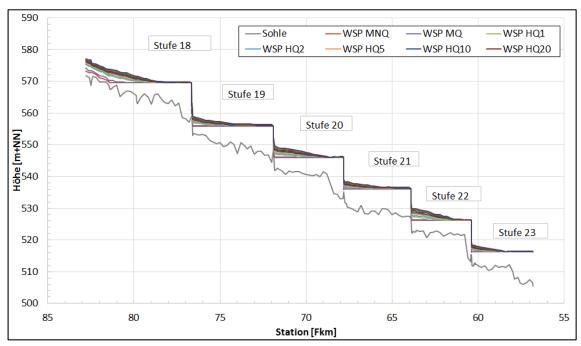


Abbildung 7: Längsschnitt Lech mit Wasserspiegeln zu versch. Abflüssen

Die berechneten Wasserspiegel konnten flächig auf das Berechnungsgitter des Grundwassermodells interpoliert und dort als Randbedingung angesetzt werden.

6 Sonstige Berechnungen

Die hydraulischen Berechnungen für die Planungszustände im Stadtwaldbereich erfolgen auf Basis einer ebenen Sohle. Strukturen im Bereich der Lechsohle wie z. B. Kiesbänke und Kolke werden nicht berücksichtigt. Dies könnte zu einer Überschätzung der berechneten Wasserspiegel bei kleinen Abflüssen führen. Um dies zu überprüfen, wurden am Beispiel der Variante I-A1 (Bereich Stadtwald) für Mittelwasser die Ergebnisse eines Rechenlaufs mit ebener Sohle mit denen eines Rechenlaufs mit einer voll entwickelten strukturierten Sohle verglichen. Die strukturierte Sohle ist Ergebnis einer Langzeitsimulation mit Hilfe des Geschiebetransportmodells. Die beiden Bilder in Abbildung 8 zeigen die ebene Sohle am Beginn der Berechnung sowie die ausgebildete Sohle mit entsprechenden Strukturen am Ende der Simulation mit dem Geschiebetransportmodell.

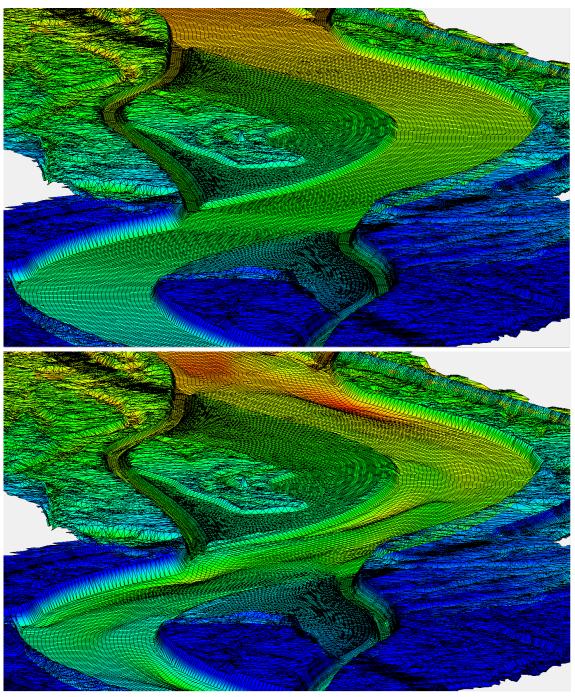


Abbildung 8: Topografie der Lechsohle im Planzustand zu Beginn einer Geschiebetransportsimulation (oben) sowie am Berechnungsende (unten) in einem Modellausschnitt

Der Vergleich der Wasserspiegel bei Mittelwasser im Längsschnitt der Abbildung 9 zeigt, dass es zwar lokal zu Wasserspiegeldifferenzen von bis zu etwa 35 cm kommt

(Bereich Fkm 52,6). Insgesamt ergeben sich aber keine wesentlichen Unterschiede in den berechneten Wasserspiegeln. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Berechnungsergebnisse für die Planungsvarianten auf Basis einer ebenen Sohle auch für kleine bis mittlere Abflüsse realitätsnahe Ergebnisse liefern.

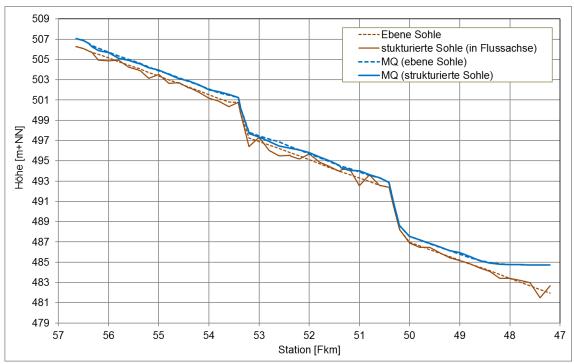


Abbildung 9: Längsschnitt der Wasserspiegel bei MQ für einen Rechenlauf mit ebener und strukturierter Sohle (am Beispiel der Variante I-A1)

7 Zusammenfassung

Basierend auf der Kalibrierung des hydraulischen Modells für das Projektgebiet wurde ein 2d-Modell für den Bezugszustand sowie jeweils Modelle für die zu untersuchenden Varianten in den Planungsbereichen I (Stadtwald) und II (Innenstadt) durchgeführt.

Die berechneten Wasserspiegel der Varianten werden in Form von Längsschnitten für verschiedene Abflüsse von MNQ bis HQ100 im Vergleich zu den entsprechenden Wasserspiegeln im Bezugszustand dargestellt. Zudem erfolgt eine flächige Darstellung der Fließtiefen bei den Abflüssen HQ1, HQ10 und HQ100 im Lageplan, ebenso wie eine Differenzendarstellung (Planungszustand – Bezugszustand).

Zudem wurden Rechenläufe mit hydraulischen Modellen ober- und unterstrom des Projektgebiets durchgeführt. Die Ergebnisse stellen wichtige Eingangsdaten für die Grundwassermodellierung dar.

Literaturverzeichnis

- [1] Stadt Augsburg: Betriebsvorschrift Hochablass, 03.11.2014.
- [2] LUWA Energiegesellschaft mbH: Wasserkraftanlage beim Eisenbahnerwehr am Lech bei Fkm 45,5 Genehmigungsplanung Stauzielanpassung, 17.05.2005.
- [3] Stadt Augsburg: Wasserkraftanlage beim Eisenbahnerwehr am Lech; Antrag aud Änderung der wasserrechtlichen Bewilligung vom 10.06.2002 Änderungsbescheid, 25.05.2007.
- [4] Fa. Cana Massivhaus GmbH: Wolfzahnauwehr Lech Fkm 40+600 Erläuterungsbericht, 14.07.2004.
- [5] Stadt Augsburg: Wasserrechtliche Bewilligung zur Ableitung und Wiedereinleitung von Wasser des Lechs Errichtung einer Wasserkraftanlage am sog. Wolfzahnauwehr Bewilligungsbescheid, 07.04.2008.