

Anlage A4.1

Licca Liber - Weiterführende Untersuchungen

Anlage 4.1 Hydraulik – Modellaufbau und -anpassung

1	Veranlassung	3
2	Aufgabenstellung	3
3	Hydrologische Daten	4
3.1	Gewässersystem und Ausleitungen	4
3.2	Pegeldaten	6
3.2.1	Pegel Haunstetten	6
3.2.2	Pegel Augsburg u. d. Wertachmündung / Lech	7
3.3	Steuerung des Forggensees	8
3.4	Schwellbetrieb	9
4	Vorhandenes 2d-Modell	11
4.1	2D-Modell Projektgebiet - Fkm 56,7 bis Fkm 36	11
4.2	1D-Modell oberstrom Projektgebiet (Fkm 82,8 bis Fkm 56,7)	17
4.3	2D-Modell unterstrom Projektgebiet (Fkm 36,0 bis Fkm 0)	18
5	Modellkalibrierung	18
6	Sensitivitätsuntersuchung	24
7	Modellvalidierung	27
7.1	Modellaufbau	27
7.2	Ergebnisse	27
8	Kopplung Grundwasserhydraulik	28
9	Schnittstelle zur Geschiebetransportmodellierung	29
10	Verwendete Unterlagen und Literatur	29

Anlagen

- 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%)

1 Veranlassung

Für die weiterführenden Untersuchungen im Projekt Licca Liber kommt ein bereits vorhandenes numerisches 2d-Modell zum Einsatz. Der vorliegende Bericht behandelt den Modellaufbau und die durchgeführten Modellanpassungen, sowie die Verifikation des Modells.

Als Eingangsdaten für die Grundwassermodellierung werden zusätzlich Wasserspiegellagen des Lech ober- und unterstrom des Projektgebiets von Licca Liber benötigt. Im Bereich oberstrom von Augsburg liegt ein hydraulisches 1d-Modell vor, im Bereich unterstrom von Augsburg ist ein hydraulisches 2d-Modell vorhanden.

2 Aufgabenstellung

Abbildung 1 zeigt einen Übersichtsplan des Modellgebiets mit den Zuflussrändern, Zwischenrandbedingungen und dem Modellauslauf.

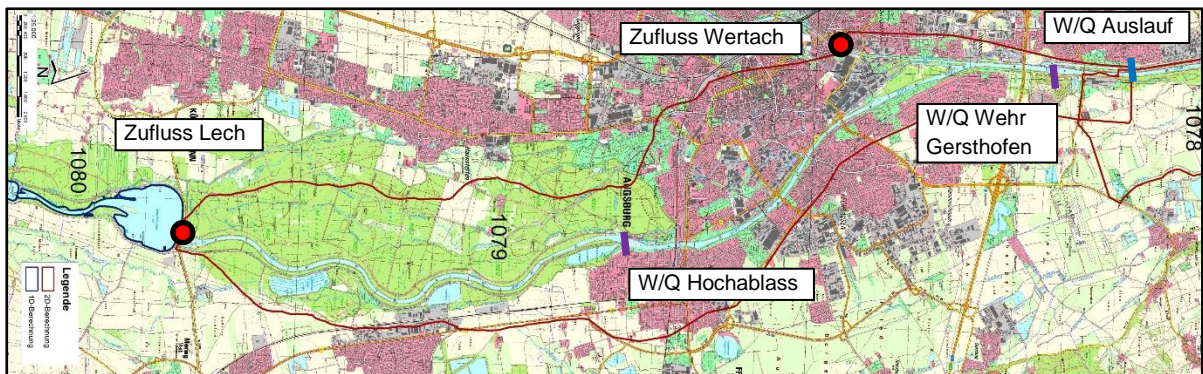


Abbildung 1: Übersicht Modellgebiet

Mit dem zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modell (nachfolgend als *2d-Modell* bezeichnet) werden Wasserspiegellagenberechnungen für verschiedene Abflusssituationen durchgeführt. Neben dem Istzustand werden Berechnungen für verschiedene Planzustände, die im Zuge des Projekts entworfen werden, durchgeführt. Das Modell und die generierten Berechnungsergebnisse dienen zum einen zur Beurteilung der hydraulischen Verhältnisse, den Auswirkungen der Maßnahmen auf die Wasserspiegel im Lech, insbesondere bei Hochwasserabflussverhältnissen. Zudem werden mit dem 2d-Modell wichtige Randbedingungen für das Grundwassermodell zur Modellierung des Einflusses der Oberflächenwasserkörper auf das Grundwasser erzeugt. Weiterhin bildet das 2d-Modell die Grundlage für die Erweiterung zum Geschiebetransportmodell.

3 Hydrologische Daten

3.1 Gewässersystem und Ausleitungen

In Abbildung 2 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 [4] beträgt die Mindestwasserführung im Lech zwischen dem Hochablass (Fkm 47) und der Einleitung der Kanustrecke (Fkm 46,35) $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Darin ist der für die Fischaufstiegsanlage erforderliche Abfluss von $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ enthalten. Im weiteren Verlauf bis zur Einmündung der Stadtbäche in der Wolfzahnau wird die in [4] die Mindestwasserführung wie folgt vorgeschrieben:

November bis Februar	$6 \text{ m}^3/\text{s}$
März und Oktober	$7 \text{ m}^3/\text{s}$
April und September	$8 \text{ m}^3/\text{s}$
Mai und August	$9 \text{ m}^3/\text{s}$
Juni und Juli	$10 \text{ m}^3/\text{s}$

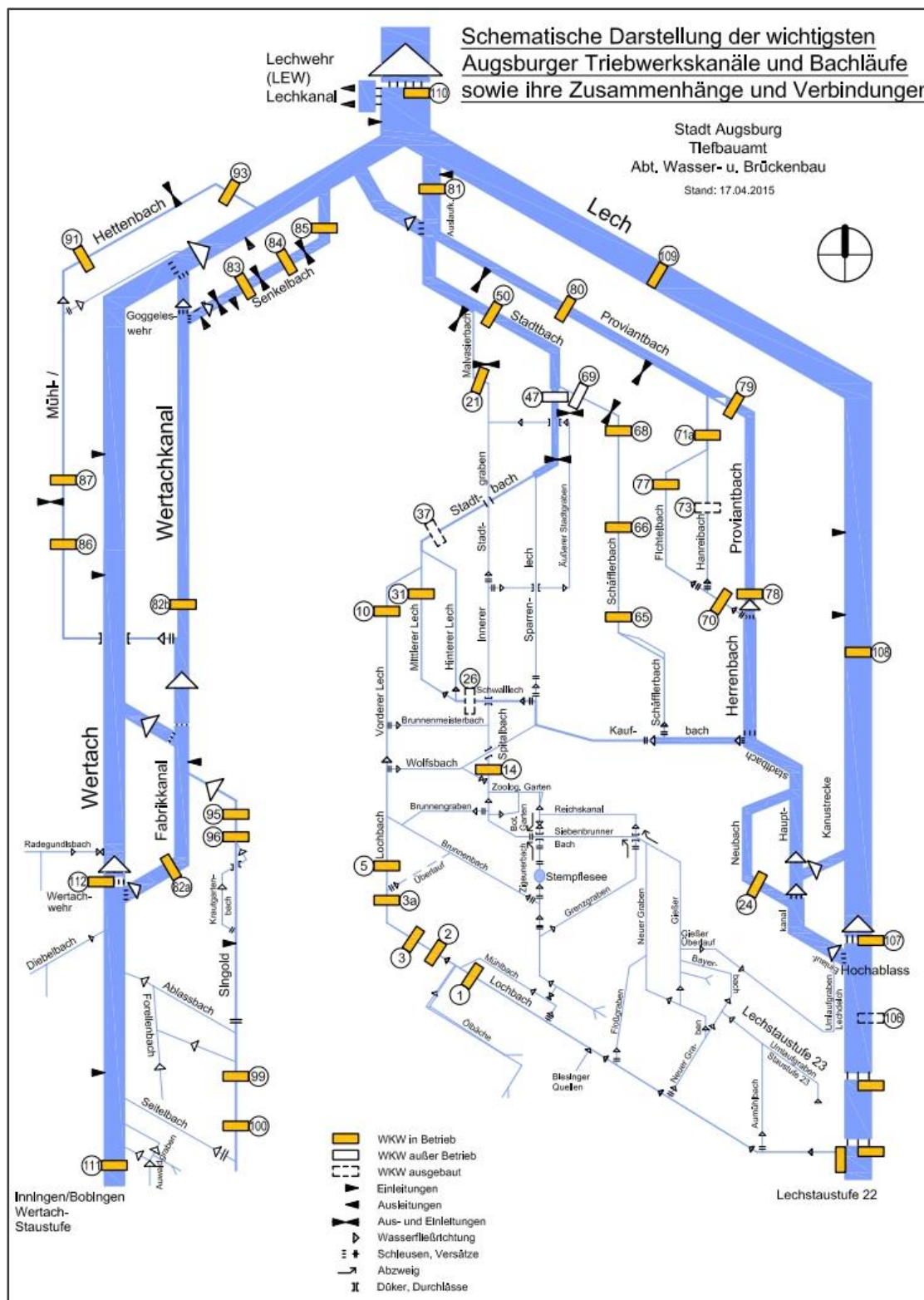


Abbildung 2: Schematische Darstellung der wichtigsten Triebwerkskanäle und Bachläufe im Stadtgebiet von Augsburg (Quelle: Stadt Augsburg)

3.2 Pegeldaten

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 $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ befindet sich hier der gesamte Abfluss im Lech. Das Einzugsgebiet hat eine Fläche von 2.347 km^2 . Der Pegel Haunstetten wurde 1976 in Betrieb genommen.

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

Tabelle 1: 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 2: 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 3: Hochwasser – Jährlichkeit (HQ_T)

	Abfluss
HQ_1	370 m^3/s
HQ_2	450 m^3/s
HQ_{10}	520 m^3/s
HQ_{100}	1.050 m^3/s
$\text{HQ}_{1.000}$	1.450 m^3/s

Hinweis: Die Ermittlung der Abflüsse HQ_{10} , HQ_{100} , HQ_{1000} erfolgte durch eine deterministische Untersuchung auf Grundlage der KOSTRA Niederschläge unter Berücksichtigung der Steuerung des Forggensees.

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 dem Gewässerkundlichen Dienst Bayern sind in den nachfolgenden Tabellen die Hauptwerte, die höchsten Abflüsse sowie die Hochwasser mit verschiedenen Jährlichkeiten zusammengefasst.

Tabelle 4: 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 5: 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 6: 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

Für die zur Modellkalibrierung verwendete Hochwasserganglinien sei auf das Kapitel 0 verwiesen.

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 Wertach u. d. Wertachmündung angepasst.

Die nachfolgenden Informationen zur Steuerung des Forggensees bei Hochwasser wurden der Homepage des WA Kempten entnommen (https://www.wwa-ke.bayern.de/fluesse_seen/gewaesserportraits/forggensee/hochwasserschutz/, Stand: 13.04.2019)

Aus Homepage des WWA Kempten:

- **Vorabsenkung des Forggensees bei Hochwassergefahr**

Durch eine Änderung der wasserrechtlichen Erlaubnis kann das Wasserwirtschaftsamt Kempten seit Juni 2000 bei drohender Hochwassergefahr eine Vorabsenkung des Forggensees veranlassen. Dadurch kann wertvoller Speicherraum für die Rückhaltung der Hochwasserwelle gewonnen werden. Falls

allerdings durch falsche Niederschlagsprognosen eine Vorabsenkung unnötigerweise durchgeführt wurde, kann dies zur Beeinträchtigung der Freizeitnutzung und zu Einbußen bei der Wasserkraftnutzung führen.

- **Hochwasservorhersagezentrale Iller/Lech beim Wasserwirtschaftsamt Kempten**

Ende 2001 wurde am Wasserwirtschaftsamt Kempten eine Hochwasservorhersagezentrale eingerichtet. Mit Hilfe von Niederschlagsvorhersagen, Niederschlagsmessungen und Pegelmessungen im Echtzeitbetrieb und von Computermodellen (Niederschlag-Abfluss-Modelle, Speichersteuerungsmodelle) kann eine optimierte Bewirtschaftung des Forggensees berechnet werden. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Risikobewertung in Hinblick auf die Vorabsenkung.

- **Umbau der Hochwasserentlastungsanlage am Kraftwerk Roßhaupten**

Die Möglichkeit der schnellen Vorabsenkung des Forggensees war durch die Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage beschränkt. Die E.ON erklärte sich im Jahr 2004 bereit, die Anlage umzubauen. Die Überlaufschwelle der Wehranlage wurde um 3,50 m tiefer gelegt und neue Drucksegmente (Wehrklappen) wurden eingebaut. Die Abgabekapazität der Anlage konnte durch den Umbau deutlich erhöht werden.

3.4 Schwellbetrieb

Gemäß Bescheid vom 21.12.2012 [3] erteilt das Landratsamt Landsberg am Lech die Bewilligung eines Schwellbetriebs zwischen den Lechstaustufen 18 und 23. Zur Erläuterung des möglichen Schwellbetriebs wird nachfolgend aus [3] 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 [3] für den Spitzenbetrieb an den Lechstaustufen 19 bis 22 enthalten.

Die Wirkung der Steuerung wird in Abbildung 3 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 3 ist diese langsamere Abflussreduzierung am 26.7.2016 zu erkennen.

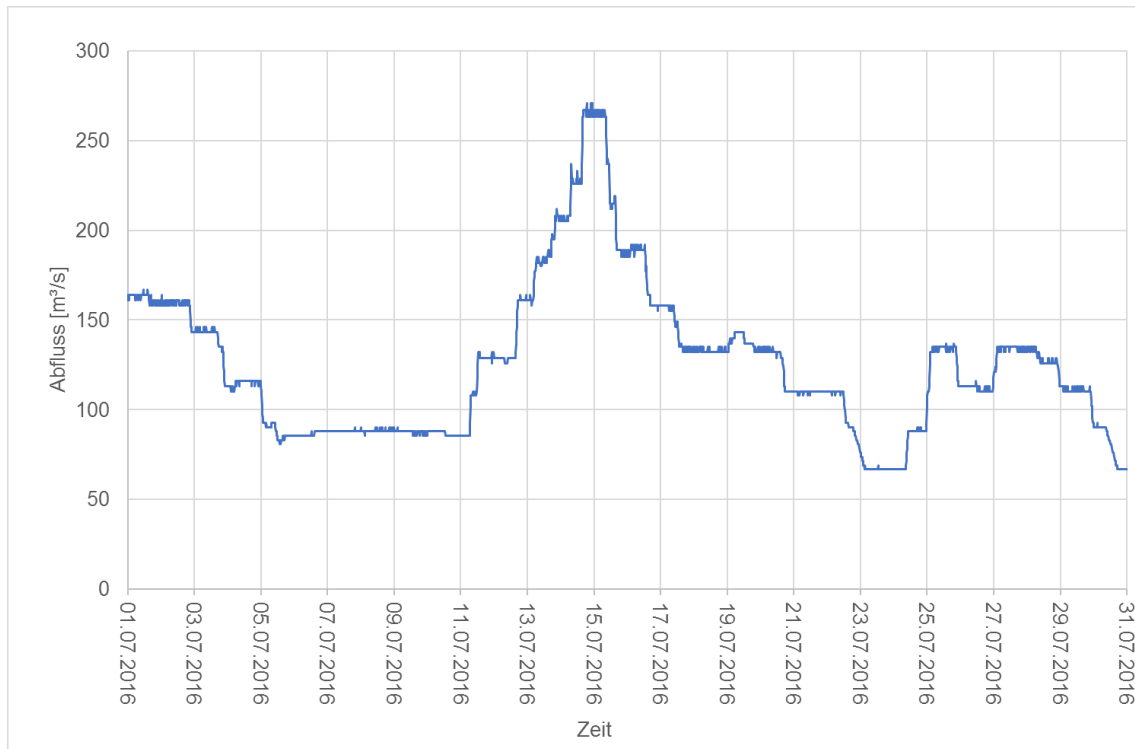


Abbildung 3: Abflussganglinie am Pegel Haunstetten vom 1.7.2016 bis 31.7.2016

Eine etwas ungewöhnliche Situation zeigt die Ganglinie am Pegel Haunstetten in Abbildung 4. Zwischen dem 28.4.2014 und dem 04.05.2014 wurde ein schwankender Abfluss zwischen etwa 30 und $50 \text{ m}^3/\text{s}$ eingestellt. Grundlage hierfür ist die beschränkte Erlaubnis des Landratsamtes Aichach-Friedberg vom 8.10.2009 [5] zu einer entsprechenden Steuerung, um den ordnungsgemäßen Betrieb der Olympiakanustrecke bei Kanuslalomveranstaltungen mit überregionaler Bedeutung zu ermöglichen.

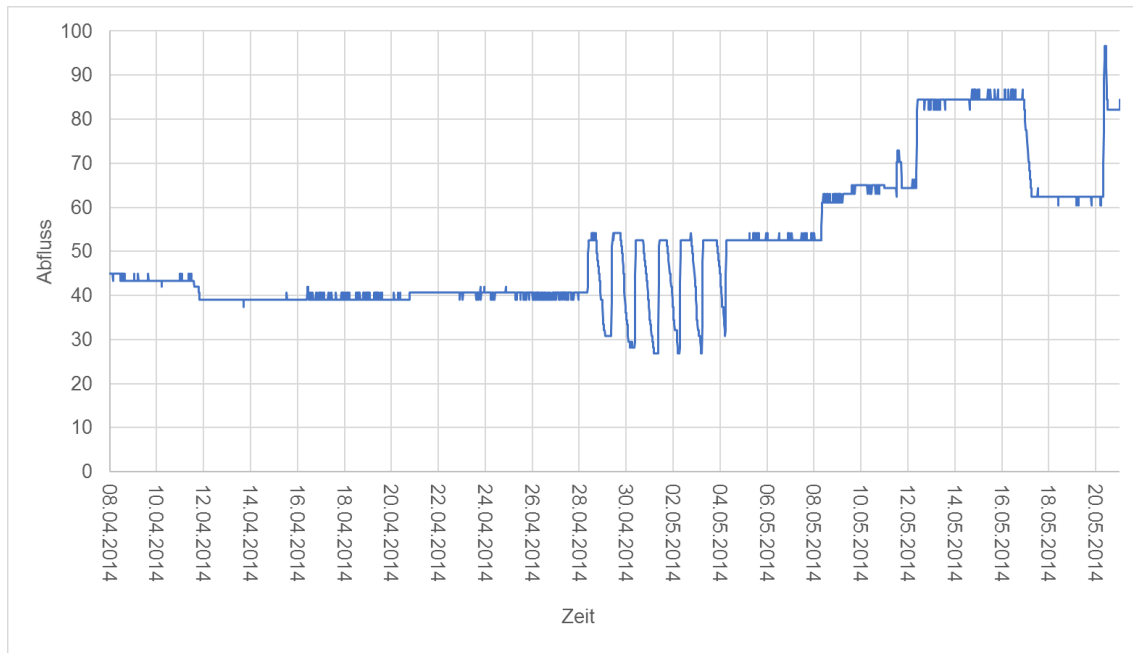


Abbildung 4: Abflussganglinie am Pegel Haunstetten vom 8.4.2014 bis 20.5.2014

4 Vorhandenes 2d-Modell

4.1 2D-Modell Projektgebiet - Fkm 56,7 bis Fkm 36

Für die Planungen am Lech wurde vom Wasserwirtschaftsamt Donauwörth ein 2d-hydraulisches Modell zur Verfügung gestellt. Dieses Modell wurde im Zuge der Hochwassergefahrenflächenermittlung im Auftrag des LfU von der RMD-Consult neu erstellt. Der Schlussbericht [1] lag zur Projektbearbeitung vor. Bearbeitungszeitraum für Modellerstellung (Modell ID 1079), Berechnungen und Auswertung war von Mai 2012 bis März 2013. Der Umgriff des Modells reicht von der Staustufe 23 (Mandichosee, Lech-km 56,7) bis Lech-km 36,0. Das Planungsgebiet (Stufe 23 bis zum Wehr Gersthofen bei Lech-km 37,3) ist also vollständig enthalten.

Nachfolgend werden die wesentlichen Merkmale des bestehenden Modells beschrieben:

- Für die Modellerstellung wurden von der RMD Consult hauptsächlich Querprofildaten von Juli, September und Oktober 2010 herangezogen.

- In Teilbereichen, vor allem im Bereich von Brücken, wurde auf ältere Querprofilaten zurückgegriffen. Brücken wurden anhand von Querprofilaten und Planunterlagen modelliert.
- An den Wehren (Hochablass und Wehr Gersthofen) wurden Energiehöhe-Abfluss-Beziehungen angesetzt. Diese gehen vom bescheidsgemäßen Betrieb der Wehre im n-Fall aus. Diese Abflussbeziehungen wurden in der weiteren Verwendung des Modells unverändert übernommen. Eine Verifizierung durch Wasserstandsaufzeichnungen des Betriebspersonals am Hochablass bei vergangenen Hochwasserereignissen gelang nicht, da die genaue Uhrzeit der Ablesung nicht protokolliert worden war. In Abbildung 5 und Abbildung 6 sind die Abflussbeziehungen am Hochablass und am Wehr Gersthofen grafisch dargestellt.

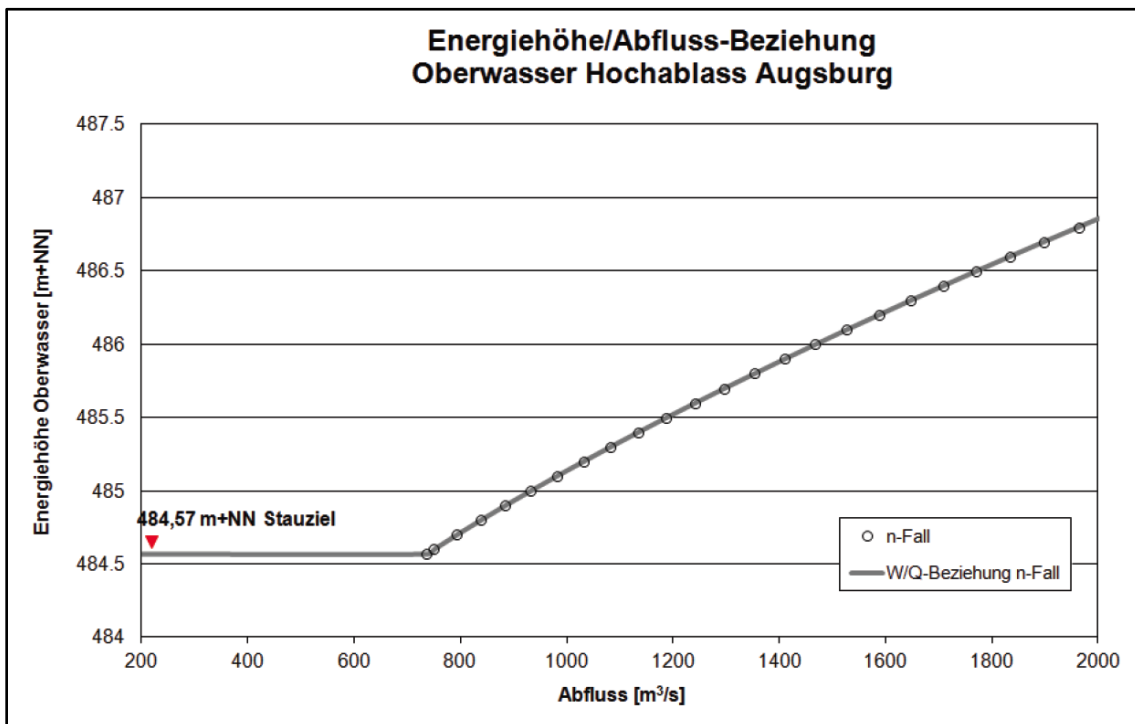
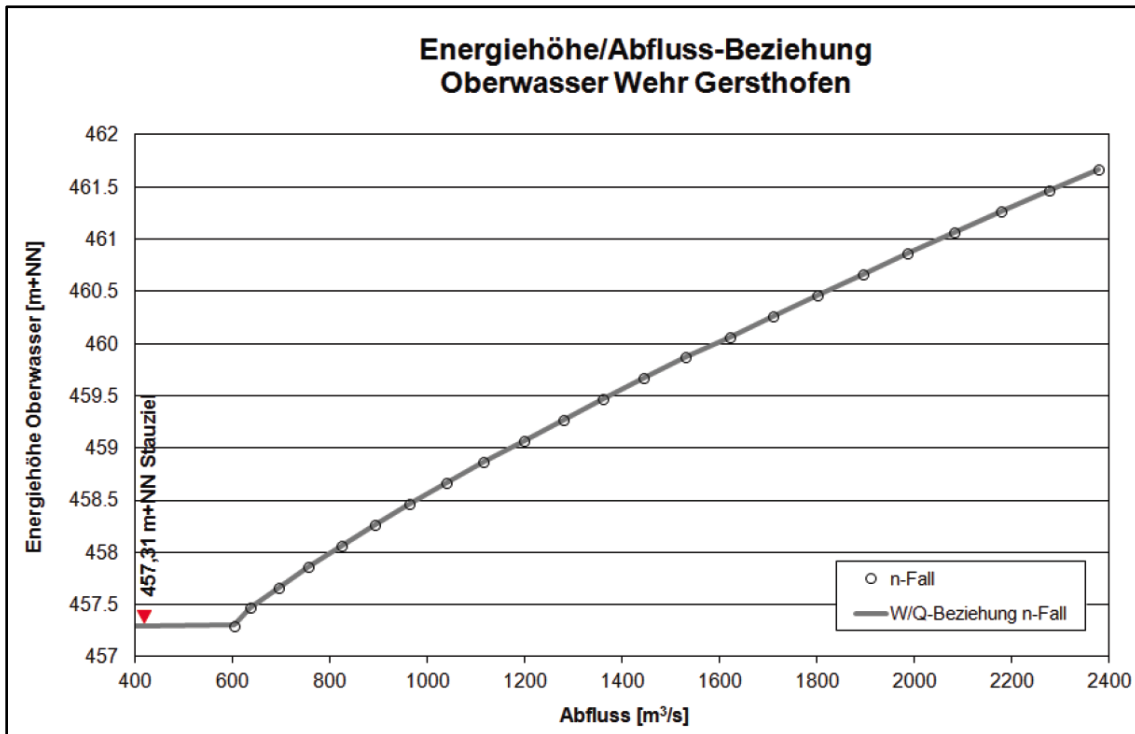


Abbildung 5: Energiehöhe-Abfluss-Beziehung am Hochablass (aus [1], Anlage 8)



- Abbildung 6: Energiehöhe-Abfluss-Beziehung Wehr Gersthofen (aus [1], Anlage 8).
- Der Kanaleinlauf am Wehr Gersthofen in den Lechkanal wurde als geschlossen angesetzt.
- Das Vorlandnetz wurde mittels Laserscan-Daten modelliert, die im Bereich von Deichen (zwischen Stufe 23 und Hochablass) im Zuge der Modellerstellung manuell korrigiert wurden. Hier ergaben sich aus den Laserscan-Daten unrealistische Senken in den Deichkronen. Die zur Modellierung verwendeten Laserscandaten stammen für den Bereich Augsburg aus dem Jahr 2003 und für die Bereiche südlich und nördlich davon aus dem Jahr 2007. Gemäß [1] wurden diese DGM-Daten mit den damals aktuellen DGM-Laserscandaten aus dem Jahr 2012 verglichen und sofern erforderlich lokale Aktualisierungen vorgenommen (siehe Anlage 11 in [1]). .Abbildung 7 zeigt die Lage der verwendeten DGM-Daten im vorliegenden Modell zusammen mit dem Modellumgriff.

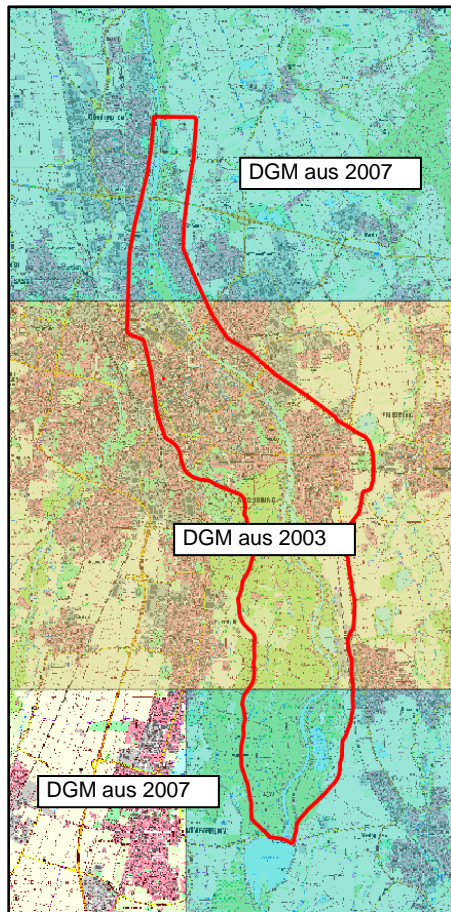


Abbildung 7: Übersicht verwendete DGM-Daten

- Gebäude wurden im vorliegenden Modell nur im Bereich der Überschwemmungsgebiete von HQ₁₀ und HQ₁₀₀ modelliert.
- Die Modellerstellung des vorliegenden Modells erfolgte mit der Software SMS (Aquaveo), Version 10, die vorliegenden Berechnungen wurden mit der Software HYDRO_AS-2D (Version 2.1) durchgeführt. Abbildung 8 zeigt die angesetzten Parametereinstellungen (Global Parameters) des vorliegenden Modells.

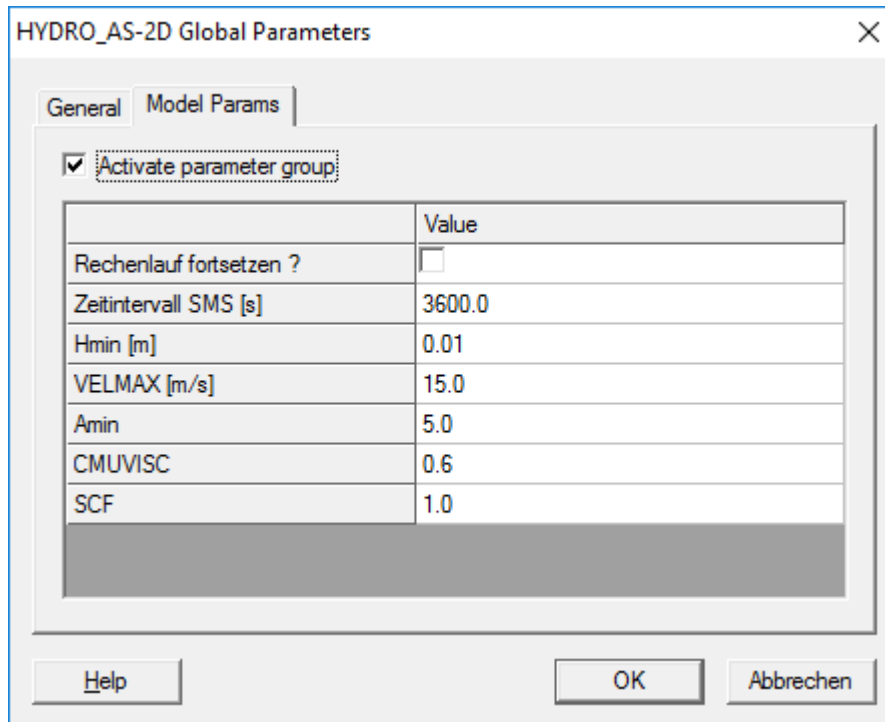


Abbildung 8: Parametereinstellungen des vorliegenden Modells

- Zur Kalibrierung des Modells wurden Wasserspiegellagen aus einem kalibrierten 1d-Modell (aus dem "Hochwasserschutzkonzept Lechtal", siehe [2]) nachgerechnet. Daraus ergeben sich im Flussschlauch Rauigkeitsbeiwerte von $k_{st} = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (oberstrom Hochablass) bzw. $k_{st} = 37 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (unterstrom Hochablass).
- Als unterstromige Randbedingung wurde am unteren Modellrand im entsprechenden Querschnitt aus den Wasserspiegellagen im unterstrom anschließenden Modell des Lech mit Modell ID 1078 eine Schlüsselkurve erzeugt und im Modell ID 1079 angesetzt. Das Modell mit ID 1078 erstreckt sich von der Straßenbrücke der Gersthofener Straße über den Lech (ca. 700 m unterstrom des Wehres Gersthofen) bis zur Mündung des Lechs in die Donau bei Marxheim. Die Donau ist zwischen Donauwörth und Marxheim im Modell enthalten.
- Im Zuge der Ermittlung der Hochwassergefahrenflächen wurden die drei Ereignisse $HQ_{\text{häufig}}$ (entspricht HQ_{10}), HQ_{100} und HQ_{extrem} untersucht. Die Berechnungen erfolgten instationär. Die entsprechenden Zuflussganglinien des Lechs und der Wertach wurden vom LfU zur Verfügung gestellt.

In Tabelle 7 werden die Daten zum vorhandenen 2d-Model zusammengefasst.

Tabelle 7: Zusammenfassung 2d-Modell RMD Consult

Merkmal	Modell Lech (ID 1079)	Bemerkung
Modellersteller	RMD Consult	
Grund Modellerstellung	Hochwassergefahren- und -risikokarten	
Auftraggeber	LfU	
Zeitraum Modellerstellung/ Berechnung/Auswertung	Mai 2012 bis März 2013	
Umfgriff Modell	Staustufe 23 (KW Merching) bis Wehr Gersthofen -> Licca Liber vollständig enthalten; Lech-km 56,7 bis 36,0	
Querprofile	Hauptsächlich von 2010	Vor allem im Bereich von Bauwerken (Brücken) ältere Querprofilaufnahmen
Brücken	Modellierung anhand von Querprofilen und Planunterlagen	
Wehre	Annahme: bescheidsgemäßer Betrieb, n-Fall	Hochablass: Einlaufwehr in Stadtbäche wird als geschlossen angesetzt
Vorlandnetz	Manuelle Korrektur der Deiche zwischen Stufe 23 und Hochablass (in den Laserscan-Daten sind Senken in den Deichen vorhanden)	
Gebäudeumgriffe	Nur im Bereich des Überschwemmungsgebiets bei HQ ₁₀ /HQ ₁₀₀ modelliert	
Kalibrierung	Nachrechnung von kalibrierten Wasserspiegeln aus 1d-Modell	1d-Modell aus "Hochwasserschutzkonzept Lechtal [2]"
Rauheiten Lech und Wertach	Flussschlauch oberstrom Hochablass: 35 m ^{1/3} /s Flussschlauch unterstrom Hochablass: 37 m ^{1/3} /s	Ergebnis der Kalibrierung (siehe [1], Anlage 13)

Merkmal	Modell Lech (ID 1079)	Bemerkung
Rauheiten Vorland	Siehe [1], Anlage 9	Empfehlung des LfU
Untersuchte Ereignisse	HQ _{häufig} (\triangleq HQ ₁₀), HQ ₁₀₀ , HQ _{extrem}	
Berechnungen	instationär	
Zuflüsse	Zufluss Lech, Zufluss Wertach	Zuflussganglinien übergeben vom LfU
Unterstromige Randbedingung	WQ-Beziehung aus unterstrom anschließen- dem Modell.	Unterstromiges Modell: ID 1078

4.2 1D-Modell oberstrom Projektgebiet (Fkm 82,8 bis Fkm 56,7)

Im Bereich oberstrom von Augsburg liegt ein hydraulisches 1D-Modell (ID 1080) vor. Dieses Modell erstreckt sich von der Staustufe 23 (Mandichosee) bei Fkm 56,7 bis Fkm 82,8 (Oberwasser der Autobahnbrücke der A 96). Zur Beschreibung des Modells wird auf [1] verwiesen. Das Modell wurde mit der Software HEC RAS erstellt. Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführten Berechnungen erfolgen ebenfalls mit HEC-RAS.

Zur Wasserspiegellagenberechnung für die Ermittlung von Eingangsdaten für die Grundwassermodellierung wurden am Modell Anpassungen vorgenommen. Bei der Durchsicht des Modells fiel folgendes auf:

- Die Staustufen waren im Modell nicht als Randbedingung enthalten.
- Die unterstromige Randbedingung (Stauziel an der Stufe 23) war nicht korrekt abgebildet.

Ausgehend von den Angaben zur Profilstationierung (siehe Schlussbericht [1], Anlage 5) wurden in das 1D-Modell die Staustufen implementiert. Die Stauziele wurden nach den Informationen im Schlussbericht [1], Anlage 8 in das 1D-Modell eingebaut. Auch die unterstromige Randbedingung wurde auf das korrekte Stauziel an der Stufe 23 in Höhe von 516,30 m+NN geändert. In Tabelle 8 sind die verwendeten Kenndaten der Staustufen zusammengestellt. Die Lagekoordinaten der Staustufen wurden aus der topografischen Karte abgegriffen.

Tabelle 8 Kenndaten der Staustufen 18 bis 23

Name	Fkm	Rechtswert	Hochwert	Stauziel [m+NN]
Stufe 18	76,6	4.415.428,175	5.331.315,724	569,50
Stufe 19	71,9	4.415.756,850	5.335.122,743	555,90
Stufe 20	67,8	4.416.993,252	5.338.639,043	546,00
Stufe 21	63,9	4.418.642,402	5.341.984,088	536,10
Stufe 22	60,4	4.420.368,585	5.344.941,587	526,20
Stufe 23	56,7	4.421.182,161	5.348.137,907	516,30

4.3 2D-Modell unterstrom Projektgebiet (Fkm 36,0 bis Fkm 0)

Im Bereich unterstrom von Augsburg liegt das hydraulische 2D-Modell [ID 1078] vor. Dieses Modell erstreckt sich vom Wehr Gersthofen bis zur Mündung des Lechs in die Donau (Fkm 0,0 bis Fkm 36,0). Zur Beschreibung des Modells wird auf [1] verwiesen.

Zur Wasserspiegellagenberechnung für die Ermittlung von Eingangsdaten für die Grundwassermodellierung wurde das Modell bearbeitet. Alle Zuflussränder an der Friedberger Ach wurden aus dem Modell entfernt. Der Lechkanal, der am Gersthofener Wehr aus dem Lech ausgeleitet wird und bei Thierhaupten wieder in den Lech einmündet, ist im hydraulischen Modell nicht enthalten. Der Abfluss des am Lech angesetzten Zuflussrandes wird um die maximale Abflussleistungsfähigkeit des Lechkanals in Höhe von 125 m³/s reduziert. Ein Mindestwasserabfluss in der Restwasserstrecke unterhalb der Ausleitung in den Kanal in Höhe von 5 m³/s wird berücksichtigt. An der Einmündung des Lechkanals bei Fkm 19,6 bei Thierhaupten wird der ausgeleitete Abfluss über einen weiteren Zuflussrand dem Lech wieder zugegeben. Im Mündungsbereich des Lech in die Donau ist ein Teilstück der Donau enthalten. Die Abflüsse in der Donau sind für die Berechnungen nicht relevant, da dieser Bereich weit außerhalb des Modellgebietes des Grundwassermodells liegt. Der Abfluss in der Donau wurde daher für alle Rechenläufe mit 680 m³/s angesetzt.

5 Modellkalibrierung

Das vorliegende 2d-Modell wurde anhand eines aktuellen Hochwasserereignisses kalibriert. Für die Kalibrierung wurde das Modell in die aktuelle Version 11 von SMS überführt. Die Berechnung erfolgte mit HYDRO_AS-2D Version 4.0.4. Die Modellrandbedingungen und Parametereinstellungen wurden mit Ausnahme der Zuflussrandbedingungen nicht verändert.

Vom Wasserwirtschaftsamt Donauwörth wurden verschiedene Hochwasserspiegelfixierungen übergeben. Eine Übersicht über die vorhandenen Fixierungen am Lech zeigt Tabelle 9.

Tabelle 9: Hochwasserspiegelfixierungen Lech

Zeitpunkt Hochwasserspiegelfixierung	Bereich Hochwasserspiegelfixierung
Juni 1965	Lech-km 21,0 bis Lech-km 61,5
Juli 1966	Lech-km 21,0 bis Lech-km 61,5
August 1970	Lech-km 21,0 bis Lech-km 61,4
Mai 1999	Lech-km 83,0 bis Lech-km 86,2
August 2002	Lech-km 79,4 bis Lech-km 149,0
August 2002	Lech-km 22,0 bis Lech-km 56,65
August 2005	Lech-km 38,0 bis Lech-km 45,8

Aus obiger Tabelle wird ersichtlich, dass für die jüngeren Hochwasserereignisse nur für August 2002 durchgehende Fixierungen im Modellgebiet vorliegen. Daher erfolgte die Kalibrierung anhand dieses Ereignisses. Die Wasserspiegel bei diesem Ereignis (12. August 2002) wurden während des Hochwassers im Abstand von 400 m am rechten bzw. linken Ufer abgelesen (Ablesezeitraum zwischen 13:25 Uhr und 20:40 Uhr).

Für die Kalibrierung des Modells wurde die Sohle im Flussschlauchnetz angepasst. Da für 2002 keine durchgehenden Querprofilaufnahmen vorliegen, wurde in Rücksprache mit dem Wasserwirtschaftsamt Donauwörth die Sohllage von 1999 (nach dem Hochwasserereignis aus dem Jahr 1999) ins Modell eingebaut. Bauwerke (Sohlstufen, Wehre) wurden aufgrund fehlender Querprofile aus dem 2d-Modell der RMD übernommen. Die Querprofile liegen nur bis zur Wertachmündung vor, unterstrom der Wertachmündung wurde die Sohle aus dem 2d-Modell der RMD übernommen (Profilaufnahmen aus dem Jahr 2010). Die Sohle der Wertach wurde ebenfalls aus dem Modell der RMD übernommen.

Die Hochwasserganglinien für das Ereignis am 12. August 2002 wurden aus dem Internet-Angebot des Gewässerkundlichen Dienstes (<http://www.gkd.bayern.de/>) entnommen. Für die Zuflussganglinie am Lech wurde die Ganglinie am Pegel Haunstetten herangezogen. Die Zuflussganglinie der Wertach wurde aus der Differenz der Ganglinie am Pegel "Augsburg u. d. Wertachmündung" und Pegel "Haunstetten" (ohne zeitliche Verschiebung) ermittelt. Für die Modellzuflüsse wurden die Ganglinien vom 11. August 2002, 10:30 Uhr bis 13. August 2002, 10:30 Uhr verwendet (siehe Abbildung 9).

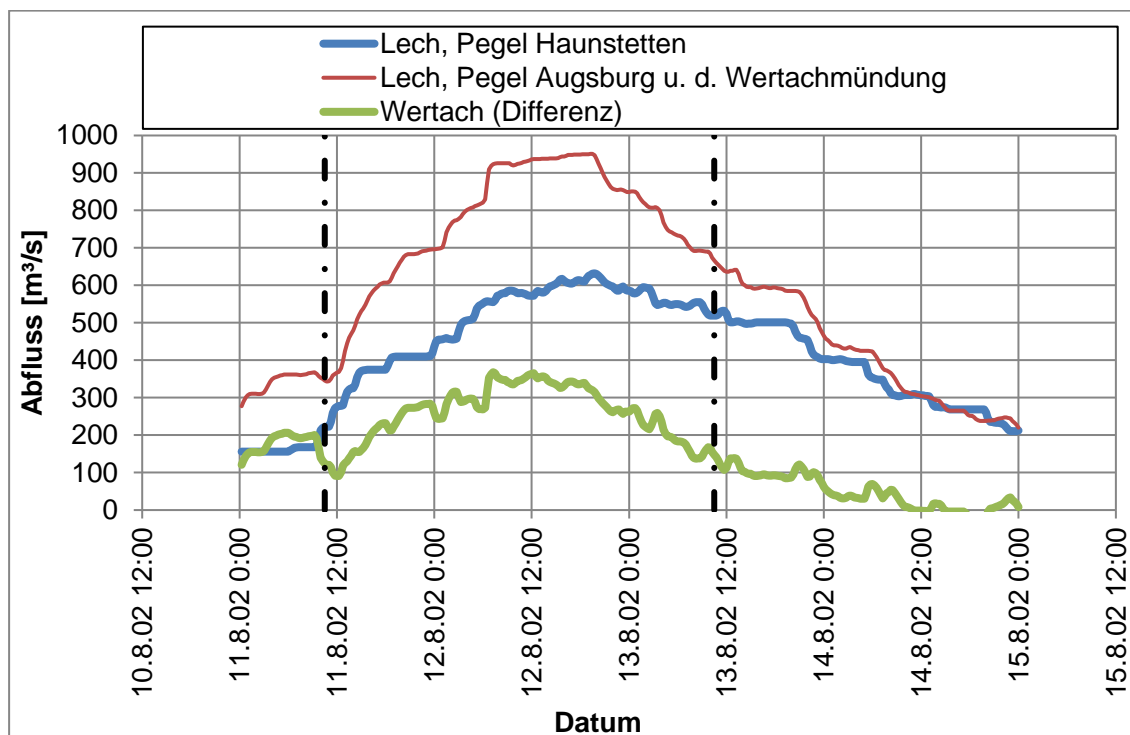


Abbildung 9: Zuflussganglinien Kalibrierung August 2002

Die Materialbelegung im Modell wurde im Vergleich zum 2d-Modell der RMD Consult nicht verändert. Es wurden die in Tabelle 10 aufgeführten Rauigkeitsbeiwerte verwendet.

Tabelle 10: Materialbelegung

ID	Material (Bezeichnung in SMS)	Strickler_Ist [m ^{1/3} /s]	Bemerkung
0	Disable		Nicht durchströmbare Netzelemente
16	Abbaufäche	10	Tagebau, Grube, Steinbruch
15	Ackerland	15	Landwirtschaft
14	Bebauung	10	Wohnbaufläche (geschlossene Bebauung einschl. Hofflächen, Hausgärten, Ein- und Auffahrten)
18	Beton	40	
13	Fließgewässer	37	Lech und Wertach unterstrom Hochablass
17	Fluss_ober_Augsburg	35	Lech oberstrom Hochablass

ID	Material (Bezeichnung in SMS)	Strickler_Ist [m ^{1/3} /s]	Bemerkung
12	Gehölz	10	Gebüsch, Strauchbewuchs, Baumreihe, Baumgruppe)
11	Gewerbegebiet	12	Industrie- und Gewerbeflächen
10	Grünland	20	Unkultivierte Fläche
9	Heide_Moor	18	
1	Material 01	20	Sonstiges Material (ohne besondere Bedeutung), wird vom Programm standardmäßig angelegt.
8	Siedlungsfreifläche	16	Sport, Freizeit und Erholung, Friedhof
7	Sonstige_Siedlungsfläche	12	Fläche gemischter Nutzung bzw. Fläche besonderer funktionaler Prägung (Krankenhaus, Universität etc.)
6	Stehendes_Gewässer	20	
5	Straße_Weg	40	
4	Sumpf_Ried	11	Sumpf (Ried, nasser Boden, Röhrich, Schilf)
3	Verkehrsfläche	40	Platz, Rollbahn, Bahnhofsanlage, Flughafen, Flugplatz, Hafen
2	Wald	10	Nadelwald, Laubwald, Mischwald, Forst

Die Auswertung des Kalibrier-Rechenlaufs erfolgte an den gleichen Stellen wie die Wasserspiegelfixierungen. Die Ablesung erfolgte entsprechend der Wasserspiegelfixierung am rechten bzw. linken Lech-Ufer. Die Auswertung der Wasserspiegel erfolgte ungefähr zur selben Uhrzeit wie die Ablesung der realen Wasserspiegel (Zeitschritt Modell 15 Minuten). Wurde bei der Hochwasserspiegelfixierung kein Ablesezeitpunkt angegeben, so wurde an dieser Stelle kein Wasserspiegel aus dem Kalibrier-Rechenlauf abgelesen.

Die Auswertung der Kalibrierung findet sich in Abbildung 10. Die Ergebnisse der Kalibrierung werden wie folgt zusammengefasst:

- Die Abweichungen zu den gemessenen Wasserspiegeln bewegen sich größtenteils etwa im Bereich von +/- 0,25 m und sind somit vergleichsweise gering.
- Unterstrom von den Abstürzen ergeben sich größere Abweichungen zu den gemessenen Wasserspiegeln. An diesen Stellen lagen von 1999 keine Querprofile

vor, es wurde also die Sohle aus dem RMD-Modell (von 2010) übernommen. Die Sohle, und dadurch auch der Wasserspiegel, liegt daher tiefer als in der Realität.

- Insgesamt können die Ergebnisse der Kalibrierung als sehr gut eingestuft werden. Mit dem kalibrierte 2d-Modell können somit Prognoserechenläufe für Varianten durchgeführt werden. Eine weitere Anpassung der Rauheitsbeiwerte (Stricklerwerte) ist nicht erforderlich.

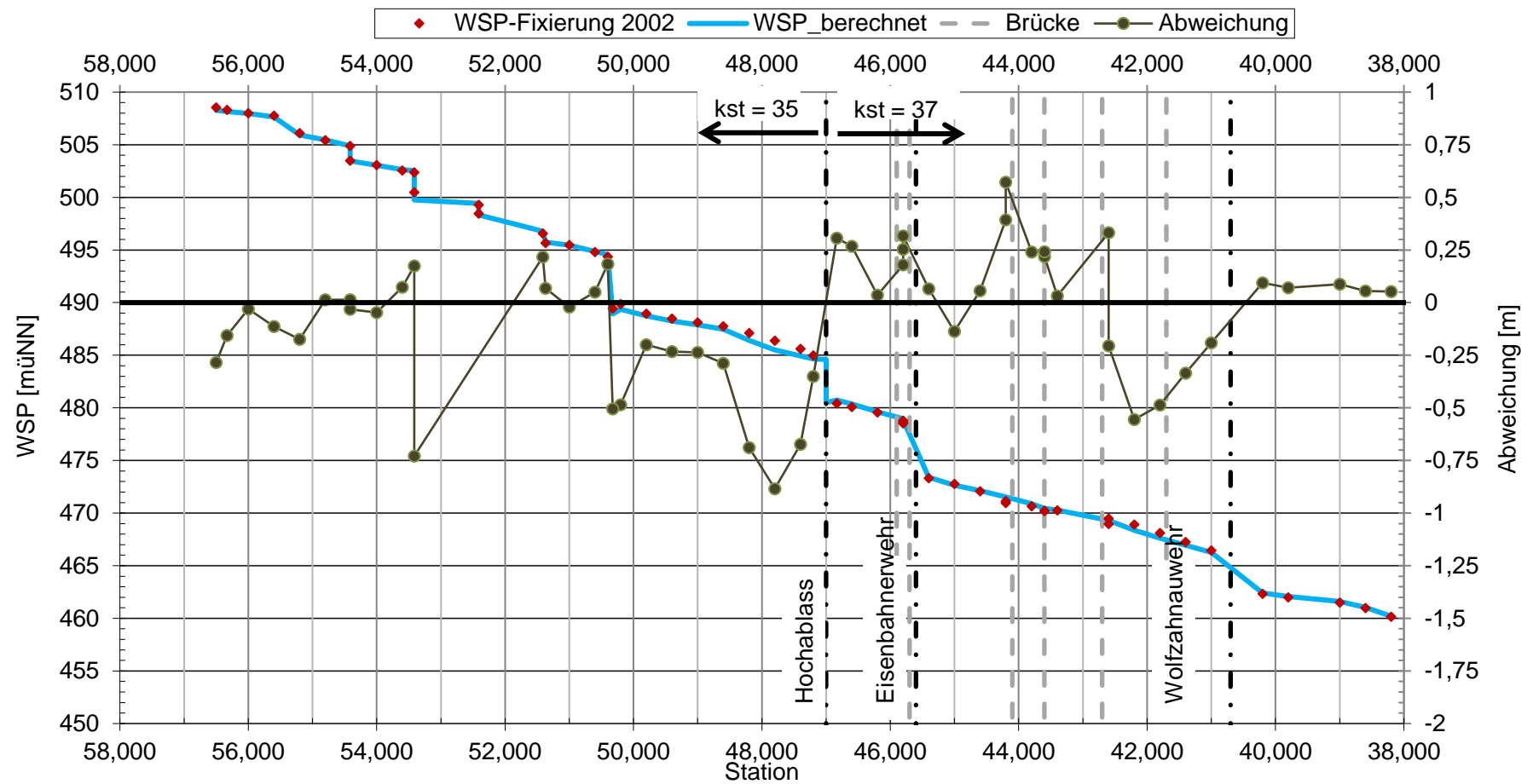


Abbildung 10: Auswertung Kalibrierung

6 Sensitivitätsuntersuchung

Für das kalibrierte 2d-Modell wurde eine Sensitivitätsuntersuchung durchgeführt. Hierzu wurden die Stricklerwerte um +/- 15 % variiert. Für die Sensitivitätsuntersuchungen ergeben sich die in Tabelle 11 eingetragenen Stricklerwerte.

Tabelle 11: Materialbelegung Sensitivitätsuntersuchung

ID	Material (Bezeichnung in SMS)	Strickler_Ist [m ^{1/3} /s]	Sensitivitätsuntersuchung	
			Strickler+15% [m ^{1/3} /s]	Strickler-15% [m ^{1/3} /s]
0	Disable			
16	Abbaufläche	10	11,5	8,5
15	Ackerland	15	17,3	12,8
14	Bebauung	10	11,5	8,5
18	Beton	40	46	34
13	Fließgewässer	37	42,6	31,5
17	Fluss_oben_Augsburg	35	40,3	29,8
12	Gehölz	10	11,5	8,5
11	Gewerbegebiet	12	13,8	10,2
10	Grünland	20	23	17
9	Heide_Moor	18	20,7	15,3
1	Material 01	20	23	17
8	Siedlungsfreifläche	16	18,4	13,6
7	Sonstige_Siedlungsfläche	12	13,8	10,2
6	Stehendes_Gewässer	20	23	17
5	Straße_Weg	40	46	34
4	Sumpf_Ried	11	12,7	9,4
3	Verkehrsfläche	40	46	34
2	Wald	10	11,5	8,5

Die Auswertung der Sensitivitätsuntersuchungen (siehe Abbildung 11 und Abbildung 12) zeigt, dass die Wasserspiegel mit den angepassten Stricklerwerten um bis zu maximal 0,5 m von den Wasserspiegeln des Kalibrier-Rechenlaufs abweichen. Die Abweichungen liegen in einem üblichen Rahmen. Erwartungsgemäß ist die Abweichung unmittelbar oberstrom der Wehre und Abströme am geringsten. Hier wird der Wasserspiegel vornehmlich durch die Bauwerke und weniger durch die Sohlrauheit beeinflusst.

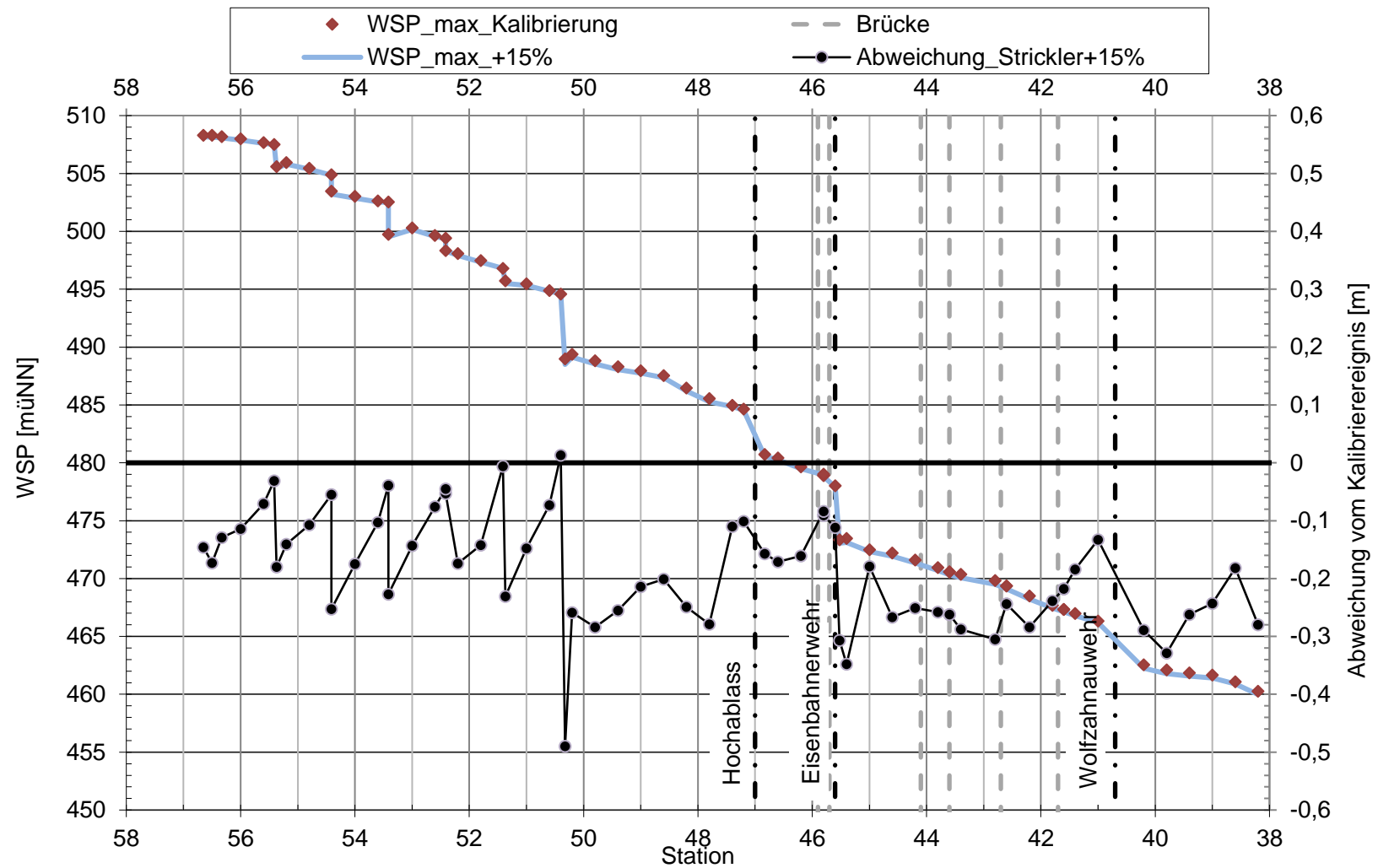


Abbildung 11: Auswertung Sensitivitätsuntersuchung Strickler +15%

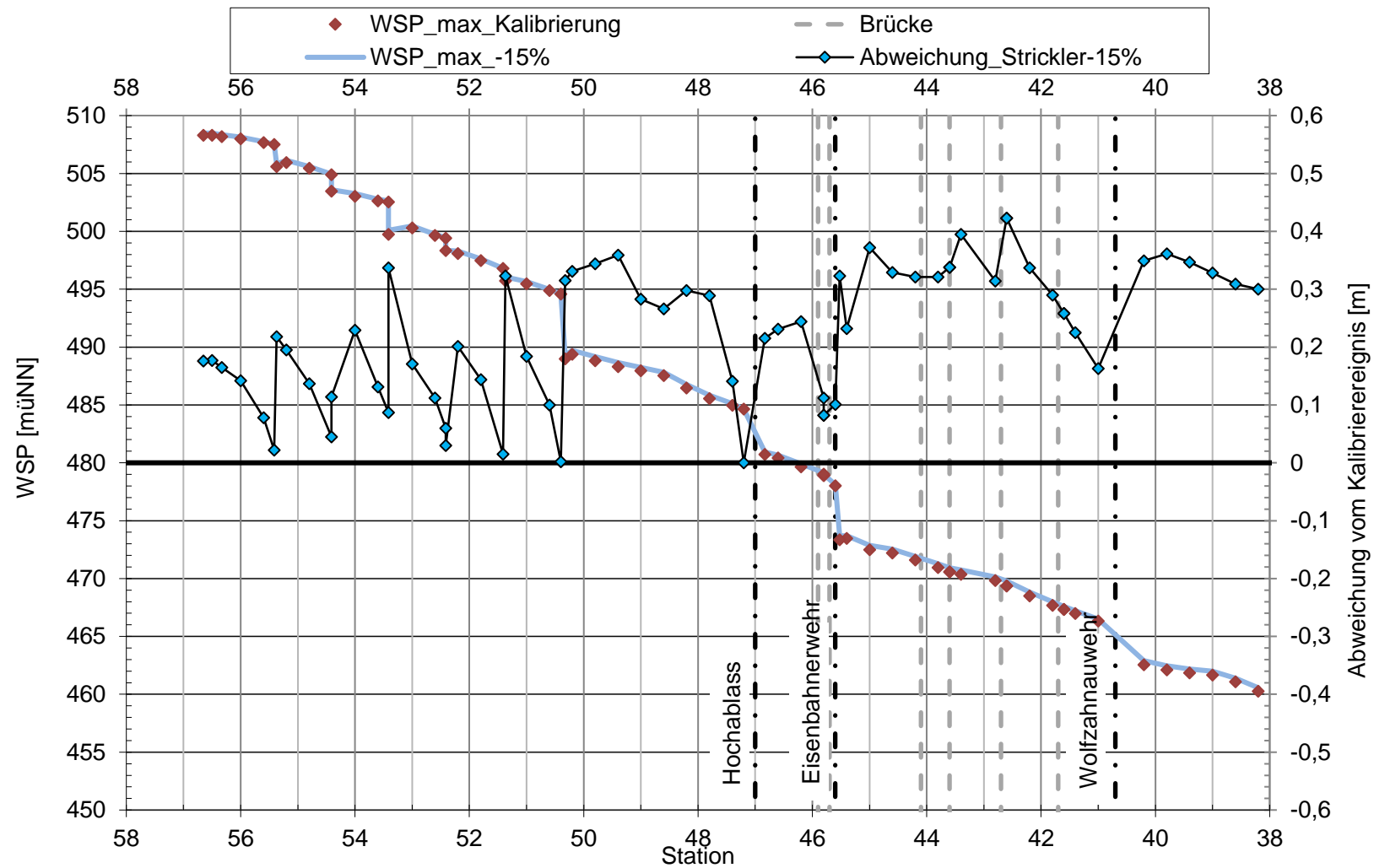


Abbildung 12: Auswertung Sensitivitätsuntersuchung Strickler -15%

7 Modellvalidierung

Es wird ein Hochwasser von 2005 simuliert. Die Pegeldata des Modells werden mit den Wasserspiegelfixierungen verglichen.

7.1 Modellaufbau

Verwendet wurden die Vermessungsprofile von 2006. Da an den Bauwerken rund 100 m bis 200 m Ober- und Unterstrom keine Profile vorhanden sind, werden direkt an den Bauwerken Profile aus dem Kalibrierungsmodell erstellt. Die Bauwerkshöhen selbst, stammen aus dem Kalibrierungsmodell, die Netzgeometrie inkl. Rauigkeiten vom Bezugszustand.

Die Randbedingungen (W/Q-Beziehungen) stammen aus dem Hochwasser-Modell 1999 (W/Q-Beziehungen für kleine und große Abflüsse und am Hochablass W/Q-Beziehung vor Stauzielerhöhung). Die Zuflussganglinie stammt aus den Original-Pegeldata, siehe:

H:\Projekte\65091\02_Bearbeitung\04_Hydraulik\06_Validierung_HW_Welle_2005\Abflüsse05.xls

7.2 Ergebnisse

Nachfolgende Tabelle 12 vergleicht die Wasserspiegelfixierungen des Hochwassers von 2005 mit den simulierten Wasserspiegellagen.

Tabelle 12: Vergleich der Pegeldata

FKM	Wasserspiegelfixierung	Pegel aus Modell	Differenz
45,8	479,65	479,56	-0,09
45,6	479,33	479,70	0,37
45,4	475,48	141,30	-1,18
45,2	474,77	474,32	-0,45
45,0	474,30	474,13	-0,16
44,8	473,91	473,98	0,07
44,6	473,68	473,58	-0,10
44,4	473,30	473,37	0,07
44,0	472,70	472,67	-0,03
43,8	472,36	472,48	0,12

FKM	Wasserspiegelfixierung	Pegel aus Modell	Differenz
43,6	472.26	472.13	-0.13
43,2	471.66	471.77	0.11
43,0	471.42	471.59	0.17
42,8	471.42	471.52	0.10
42,6	471.06	471.13	0.07
42,4	470.73	470.44	-0.29
42,2	470.30	469.94	-0.36
42,0	470.01	469.54	-0.48
41,8	469.41	468.92	-0.49
41,6	468.93	468.5	-0.38
41,4	468.38	468.07	-0.31
41,2	468.05	467.64	-0.41
41,0	467.52	467.61	0.09
40,8	466.95	467.40	0.45
40,4	464.43	464.08	-0.35
40,2	464.00	464.02	0.02
40,0	463.73	463.97	0.24
39,8	463.53	463.72	0.18
39,6	463.35	463.57	0.22
39,4	463.04	463.45	0.40
39,2	462.97	463.36	0.38
38,8	462.55	462.90	0.34
38,6	462.30	462.39	0.09
38,4	461.90	461.94	0.04
38,2	461.44	461.51	0.08
38,0	461.13	460.90	-0.22

8 Kopplung Grundwasserhydraulik

Die hydraulischen Modelle der Oberflächenwasserhydraulik liefern Eingangsdaten für das Grundwassermodell, um den Einfluss des Lechs auf das Grundwasser abzubilden. Die Datenübergabe erfolgt dabei folgendermaßen. Mit dem 2d-Modell werden Wasserspiegel zu verschiedenen stationären Abflusswerten berechnet. Diese Wasserspiegellagen werden zu jedem Knoten des Berechnungsgitters gespeichert. Damit erhält man zu jedem Gitterknoten im Modellgebiet zu verschiedenen konstanten Abflusswerten jeweils einen Wasserspiegel. Diese Werte können anschließen auf die Gitterknoten des Grundwassermodells als Randbedingung interpoliert werden. Die mit dem oberstrom von Augsburg vorliegenden 1D-Modell berechneten Wasserspiegel

werden als Längsschnitt übergeben. Diese Werte werden anschließend ebenfalls flächig auf die Gitterknoten des Grundwassermodells interpoliert. Weitere Informationen finden sich im Bericht 2, Modell Aufbau und Modell Anpassung zum Grundwassermodell in Anlage 6.2.

9 Schnittstelle zur Geschiebetransportmodellierung

Für das Geschiebetransportmodell stellt das 2d-Modell der Oberflächenwasserhydraulik die Ausgangsbasis dar. Die Modellgeometrie und Gitterstruktur wird für das Geschiebetransportmodell übernommen, die Sohlhöhen werden an den Startzeitpunkt der jeweiligen Simulationszeiträume (Kalibrierung, Validierung) angepasst. Weitere Anfangs- und Randbedingungen werden ergänzt. Weitere Informationen finden sich im Bericht 2, Modell Aufbau und Modell Anpassung zum Geschiebetransportmodell in Anlage 5.2.

10 Verwendete Unterlagen und Literatur

- [1] Ermittlung von Hochwassergefahrenflächen am Lech - Planungseinheit LE1 - Schlussbericht, RMD CONSULT, München, 2013.
- [2] Hochwasserschutzkonzept Lechtal – Modellentwicklung und IST-Analyse, RMD-Consult GmbH und SCIETEC Flussmanagement GmbH, Unterföhring und Linz, 2004.
- [3] Bewilligung der Zulassung des Schwellbetriebes zwischen den Lechstauufen 18 und 23. Landratsamt Landsberg am Lech, 21.12.2012.
- [4] Änderungsbescheid: 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. Stadt Augsburg, 08.04.2013.
- [5] Bescheid zum Absenken des Wasserspiegels in der Lechstauufe 23 zum Betrieb der kanustrecke am Eiskanal und Wiederaufstauen des Wasserspiegels in der Stauufe 23 außerhalb der Wettkampfzeiten. Landratsamt Aichach-Friedberg, 08.210.2009.